

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	xiii
Symbole	xiv
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Zielsetzung der Arbeit	5
2.1 Flammenstabilisierung	5
2.2 Einfluss der Turbulenz auf die lokalen Eigenschaften der Flammenfront	8
2.3 Stabilisierung und Destabilisierung von Flammen durch Wirbelaufplatzen	12
2.4 Axiale Drallströmungen	16
2.5 Wirbelaufplatzen	19
2.5.1 Analyse des Wirbelaufplatzens: „lokale“ Theorie	23
2.5.2 Analyse des Wirbelaufplatzens: „globale“ Theorie	26
2.5.3 Einfluss der Abströmungsrandbedingungen auf das Wirbelaufplatzen	31
2.5.4 Reynolds-Zahl-Abhängigkeit des Wirbelaufplatzens	35
2.6 Verbrennungsinduziertes Wirbelaufplatzen	36
2.6.1 Flammenbeschleunigung in Wirbelzentren	37
2.6.2 Flammenrückschlag durch verbrennungsinduziertes Wirbelaufplatzen in Vormischverbrennungssystemen	41
2.6.3 Besondere Herausforderungen bei der Untersuchung des Flammenrückschlags durch verbrennungsinduziertes Wirbelaufplatzen	45
2.6.4 Einfluss der Betriebsbedingungen auf den Flammenrückschlag durch verbrennungsinduziertes Wirbelaufplatzen	48
2.7 Forschungsziele	53
3 Experimentelle Methodik	56
3.1 Zielsetzung der experimentellen Untersuchungen	56
3.2 Versuchsaufbau	59
3.3 Versuchskonfigurationen	63
3.4 Versuchsprogramm	64
3.5 Definition der Stabilitätsgrenze	67
3.6 Methoden zur Auswertung und Analyse der Messdaten	67

3.6.1	Auswertung im mit dem Staupunkt mitbewegten Koordinatensystem . .	70
3.6.2	Bestimmung der turbulenten Brenngeschwindigkeit an stark intermittierenden Flammenfronten	74
4	Grundlegende Betrachtung zum verbrennungsinduzierten Wirbelaufplatzen	78
4.1	Kräftebilanz und Transitionsgeschwindigkeit	78
4.2	Numerisches Stromfadenmodell	80
4.3	Mögliche Zustände einer Drallströmung	82
4.4	Einfluss von Verbrennung auf das Wirbelaufplatzen	84
5	Charakterisierung der untersuchten Strömung	89
5.1	Einstellung der Drallströmung	89
5.1.1	Abhängigkeit der Stabilitätsgrenze von der Lage des Wirbelaufplatzens	90
5.1.2	Konsequenzen für die Gestaltung des Experiments	93
5.2	Charakterisierung der nicht-reagierenden Strömung	94
5.2.1	Die nicht-reagierende Strömung der Versuchskonfiguration 1 zur Unter- suchung des Flammenrückschlags durch CIVB	95
5.2.2	Die nicht-reagierende Strömung der Versuchskonfiguration 1 zur Unter- suchung des Flammenrückschlags durch TBVA	97
5.2.3	Wichtige Strömungsbereiche für die Flammenstabilisierung	99
5.2.4	Die nicht-reagierende Strömung der Versuchskonfiguration 2	101
5.3	Charakterisierung der reagierenden Strömung	103
5.3.1	Charakterisierung des untersuchten Flammenrückschlags anhand instan- taner Geschwindigkeitsfelder	104
5.3.2	Charakterisierung des untersuchten Flammenrückschlags anhand von Mittelwerten	108
5.3.3	Aerodynamik des Flammenrückschlags durch verbrennungsinduziertes Wirbelaufplatzen	116
5.3.4	Charakterisierung der stabilen reagierenden Strömung	121
5.3.5	Qualitative Schlussfolgerungen	131
6	Einfluss der Betriebsbedingungen auf die reagierende Strömung	132
6.1	Einfluss der Betriebsbedingungen auf das Verbrennungsregime	133
6.1.1	Untersuchung der räumlichen Verteilung der Dicke der Vorreaktionszone	135
6.1.2	Analyse des Einflusses der Betriebsbedingungen auf die Verdickung der Flammenfront	139
6.2	Das Verbrennungsregime an der Stabilitätsgrenze	144
6.3	Einfluss der Betriebsbedingungen auf das Strömungsfeld an der Stabilitätsgrenze	145

6.3.1	Die Mittellage der Flammenfront an der Stabilitätsgrenze	146
6.3.2	Die Verbrennungsbedingungen an der Stabilitätsgrenze	151
6.3.3	Die Flammenstabilisierung an der Stabilitätsgrenze und während des Flammenrückschlags	153
6.3.4	Einfluss des Brennstoffs auf die Flammenstabilisierung an der Stabili- tätsgrenze	155
7	Stabilitätsgrenze des Flammenrückschlags	160
7.1	Einfluss der untersuchten Betriebsparameter auf die Stabilitätsgrenze	160
7.2	Korrelation für die Stabilitätsgrenze	164
7.3	Vergleich mit bestehenden Korrelationen	169
8	Zusammenfassung	175
	Literatur	177
	Anhang	185
A.1	Historischer Hintergrund	185
A.2	Erläuterungen zur Flammenstreckung	186
A.3	Erläuterungen zur turbulenten Brenngeschwindigkeit	187
A.4	Einfluss der Strömungsbedingungen auf die turbulente Verbrennung	188
A.5	Gegenüberstellung gemittelter und instantaner Betrachtung einer Drallflamme .	191
A.6	Auftreten negativer Brenngeschwindigkeiten in Rezirkulationszonen	192
A.7	Erläuterungen zur Aerodynamik der Gasexpansion einer Flammenfront	194
A.8	Impulsstromdefekt des mittleren Geschwindigkeitsfeldes	196
A.9	Erläuterungen zur Wirbelstärke	197
A.10	Erläuterungen zur Wirbeltransportgleichung	198
A.11	Berechnung der nominellen Drallzahl des Brenners	200
A.12	Erläuterung zum Stromfadenmodell des Wirbelaufplatzens	203
A.13	Erläuterungen zum Diffusor-Paradoxon von Drallströmungen	203
A.14	Transitionsbedingte Axialimpulsstromänderung in Drallströmungen	204
A.15	Einfluss von Reynolds-Zahl, Drallniveau und Form der Drallströmung	207
A.16	Dissipationsbedingte Drehimpulsstromänderung in Rohrwirbeln	209
A.17	Einfluss des radialen Einschlusses der Strömung	212
A.18	Erläuterung zur Bestimmung der Dicke der Formaldehyd-Schicht	213
A.19	Vergleich der gemessenen und der geschätzten Brenngeschwindigkeit	216
A.20	Ergänzung zum Einfluss der globalen Karlovitz-Zahl	217

A.21 Übersicht der untersuchten Betriebspunkte und Stabilitätsgrenzen	218
A.22 Vergleich der Korrelation für den Flammenrückschlag durch TBVA	224
A.23 VK1 - Selbstähnlichkeit der untersuchten Strömung	225
A.24 Entwicklung des Strömungsfeldes bei Annäherung der Stabilitätsgrenze	232