



Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH)
Lehrstuhl und Bereich Verbrennungstechnik
Leiter: Prof. Dr.-Ing. H. Bockhorn

**EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES VON
DRUCKVERLUST, LUFTVORWÄRMTEMPERATUR STÖCHIOMETRIE
AUF DIE TROPFEN-AUSBREITUNG
UNTER VERWENDUNG EINES AIRBLAST-ZERSTÄUBERS**

STUDIENARBEIT
VON
CAND. MACH. DIMITRIS TOSIDIS

03. DEZEMBER 2004



Studienarbeit Nr. 335
für Herrn cand. Mach. Dimitris Tosidis

Thema: **Experimentelle Untersuchung des Einflusses von Druckverlust ,
Luftvorwärmtemperatur und Stöchiometrie auf die Tropfen-Ausbreitung unter
Verwendung eines Airblast-Zerstäubers**

Kurzbeschreibung: Moderne Verbrennungskonzepte für Flugtriebwerke und stationäre Gasturbinen lassen erwarten, dass die sich in den letzten Jahren erreichte Reduktion von Schadstoffemissionen auch bei steigenden Prozessdrücken und –temperaturen weiter fortsetzt.

Unabhängig von der gewählten Verbrennungsführung spielt die Brennstoffaufbereitung bei der technischen Umsetzung eine entscheidende Rolle. Airblast-Zerstäuber stellen in modernen Gasturbinen derzeit die übliche Variante zur Flüssig-Brennstoffaufbereitung dar. Bei dieser Zerstäuber-Bauform wird der flüssige Brennstoff zunächst über einen Ringspalt bzw. einen Primärsprühstrahl auf einen Filmleger aufgebracht, dann Schubspannungsgetrieben durch die Gasströmung zur Zerstäuberkannte transportiert, wo der Film aufgrund hoher Relativgeschwindigkeiten durch Scherkräfte zum Sprühstrahl zerfällt. Bei der Zerstäubungsverbrennung der Brennstoffstrom wird in Einzeltropfen verteilt und mit der Verbrennungsluft gemischt. Die Tropfen werden durch Erwärmung von der konvektiven Wärmeabgabe der vorgewärmten Luft verdampft und gezündet. Durch die Zerstäubung von flüssigem Brennstoff, soll eine große Oberfläche geschaffen und damit eine schnelle Verdampfung bewirkt werden.

In der vorliegenden Arbeit sollen Zweiphasenströmungen unter atmosphärischen Bedingungen untersucht werden, um den Einfluss von

- **Druckverlust**
- **Luftvorwärmtemperatur**
- **Stöchiometrie**

auf die Sprühstrahl-Ausbreitung unter Verwendung von Airblast-Zerstäuber aufzuzeigen. Im atmosphärischen Prüfstand wird das Brennbild der Düse anhand des Eigenleuchtens der Flamme und der Mie-Streuung von Laserlicht an Brennstofftropfen für verschiedene Betriebsbedingungen beurteilt.

Beginn: 08. März 2004
Abgabe: 03. Dez. 2004
Aufgabensteller: Prof. Dr.-Ing. Nikolaos Zarzalis
Betreuer: Dipl.-Ing. Paris A. Fokaides
Prof. Dr.-Ing. Nikolaos Zarzalis

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1-1
2	Theoretische Grundlagen	
2.1	Drehströmungen – Drallflammen	
2.1.1.	Das Drehströmungsfeld	2-1
2.1.2.	Charakterisierung der Drallströmung	2-2
2.1.3.	Drallflammen	2-4
2.2.	Verbrennung der flüssigen Brennstoffe	
2.2.1.	Zerstäubungsprinzipien	2-5
2.2.2.	Grundlagen der Verbrennung von flüssigen Brennstoffen	2-6
2.2.3.	Verbrennung von Einzeltröpfchen	2-7
2.2.4.	Zur halbempirischen Ermittlung der Tröpfchenlebensdauer	2-9
2.2.5.	Brennstoffeigenschaften	2-10
2.3.	Tröpfchenverteilung durch Laserspektroskopie	
2.3.1.	Allgemeines	2-11
2.3.2.	Mie-Streuung	2-12
3	Infrastruktur	
3.1.1.	Versuchsanlage	3-1
3.1.2.	Mess- und Regelungstechnik	3-2
3.1.3.	Die Untersuchte Düse	3-3
3.2.	Messtechnik	
3.2.1.	Laser-Licht-Schnitt	3-7
3.2.2.	Mie – Streuung Ermittlung – Auswertung	3-8
4.	Ergebnisse und Diskussion	
4.1.	Experimentelle Bestimmung der Magerlöschgrenzen	
4.1.1.	Definition der Flammenstabilität	4-1
4.1.2.	Stabilitätsmessungen	4-2
4.1.3.	Zum halbempirischen Stabilitätsmodell	4-8
4.2.	Visualisierung der flüssigen Tropfen	4-11
5	Zusammenfassung	5-1
	Literatur	
	Anhang	
A-1	Stabilitätsmessungen	A1
A-3	Mie Streuung Auswertung	A3

Abbildungsverzeichnis

2 Theoretische Grundlagen

Abb. 2.1.1.	Starrkörper- und Potentialwirbel	2-1
Abb. 2.1.2.	Entwicklung des Drallfreistrahls mit zunehmender Drallstärke	2-2
Abb. 2.1.3.	Einteilung von Drallflammen aufgrund unterschiedlicher Strömungsfelder	2-4
Abb. 2.2.1.	Zerstäubungstypen	2-5
Abb. 2.2.2.	Zerstäubungsprinzipien	2-6
Abb. 2.2.3.	Phasen der Verbrennung von flüssigen Brennstoffen	2-7
Abb. 2.2.4.	Lebensdauer eines Tröpfchens	2-10
Abb. 2.3.1.	Vergleich der Streuungsintensitäten	2-12
Abb. 2.3.2.	Die Winkelverteilung des Streulichtes für einen Tropfen mit Durchmesser von 1 μm (links) und 10 μm (rechts)	2-13

3 Infrastruktur

Abb. 3.1.1.	Versuchsprüfstand	3-2
Abb. 3.1.2.	Aufbau der Airblast Düse	3-4
Abb. 3.2.1.	Laser-Licht-Schnitt Einstellung	3-8
Abb. 3.2.2.	LabView Anwendung Oberfläche	3-9

4. Ergebnisse und Diskussion

Abb. 4.1.1.	Abhängigkeit der Abblaseluftzahl von der Temperatur	4-3
Abb. 4.1.2.	Abhängigkeit der Abblaseluftzahl von der Druckdifferenz	4-6
Abb. 4.1.3.	Abhängigkeit der Abblaseluftzahl von der Flammenform	4-8
Abb. 4.1.4.	Proportionalitätsfaktoren	4-10
Abb. 4.2.1.	Vergleich der Flammenform bei gleichen Betriebsbedingungen und unterschiedlicher Düsengeometrie	4-12
Abb. 4.2.2.	Vergleich der Tröpfchenverteilung bei unterschiedlichen Temperaturen (488K;588K)	4-12
Abb. 4.2.3.	Vergleich der Tröpfchenverteilung bei unterschiedlichen Druckdifferenzen (2%;3%)	4-13
Abb. 4.2.4.	Adiabatische Verbrennungstemperatur in Abhängigkeit von der Luftzahl	4-14
Abb. 4.2.5.	Vergleich der Tröpfchenverteilung bei unterschiedlichem Luft-Brennstoff-Verhältnis (LBV =20;LBV=30)	4-15
Abb. 4.2.6.	Vergleich der Tröpfchenverteilung und der Strömungsform bei gleichen Betriebsbedingungen und unterschiedlicher Düsengeometrie	4-16

Tabelleverzeichnis:**2 Theoretische Grundlagen**

Tab.	2.2.1.	Lebensdauer eines Tröpfchens (Ausgangsdurchmesser 15 μ m)	2-9
Tab.	2.2.2.	Stoffeigenschaften des verwendeten Brennstoffes (Normbedingungen)	2-11
Tab.	2.3.1.	Spektroskopische Eigenschaften von Streuprozessen	2-12

3 Infrastruktur

Tab.	3.1.1.	Effektiver Fläche Messmatrix	3-5
Tab.	3.1.2.	Experimentelle Bestimmung der effektiven Flächen (T = 293K, $\Delta P = 3\%$)	3-5
Tab.	3.1.3.	Düsedaten	3-7
Tab.	3.2.1.	Technische Daten des Ar-Ionen Lasers	3-8

4. Ergebnisse und Diskussion

Tab.	4.1.1..	Λ_{MAX}/T^2 für Kerosin (Jet A)	4-3
Tab.	4.1.2.	Anpassungsgrößen zur Beschreibung der Zündstabilität	4-9
Tab.	4.2.1.	Messmatrix der Mie Spektroskopie	4-11