

Experimentelle Analyse der Mischungsstruktur in turbulenten nicht vorgemischten Flammen

Doctoral Thesis

Author(s):

Flury, Matthias

Publication date:

1999

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003823511>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH Nr. 13312

Experimentelle Analyse der Mischungsstruktur in
turbulenten nicht vorgemischten Flammen

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

MATTHIAS FLURY
Dipl. Masch. Ing. ETH
geboren am 28. Dezember 1966
von Lommiswil, SO

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. D. Poulikakos, Referent
Prof. Dr. P. Suter, Korreferent

Zürich 1999

Zusammenfassung

Zur Validierung numerischer Simulationen von Flammen braucht es umfassende Messdaten, die Auskunft über physikalisch wichtige Grössen wie Geschwindigkeits-, Temperatur und Speziesverteilung geben können. Im Rahmen dieser Arbeit wurden detaillierte Laser Doppler Anemometrie Messungen an verschiedenen, nichtvorge-mischten H_2/He sowie $\text{CO}/\text{H}_2/\text{N}_2$ Jetflammen durchgeführt. Gleichzeitig wurden von Dr.R.Barlow am Sandia National Laboratories Livermore USA dieselben Flam-men bezüglich Temperatur und Spezies vermessen.

Aufgrund des während der LDA-Messungen festgestellten Conditional-Sampling wer-den in dieser Arbeit die verschiedenen Flammen bezüglich ihrer Mischungsstruktur eingehend untersucht.

Die Analyse der Turbulenzstruktur zeigt, dass sich alle untersuchten Flammen bei den gemittelten Strömungsgrössen gemäss den Gesetzmässigkeiten des klassischen Freistrahles verhalten, wogegen in der Feinstruktur der Turbulenz erhebliche Un-terschiede festgestellt werden. So ist z.B. das turbulente Frequenzspektrum in den $\text{CO}/\text{H}_2/\text{N}_2$ Flammen deutlich zu höheren Werten verschoben. Ebenso zeigt die Waveletanalyse der Geschwindigkeitsfluktuationen das Vorhandensein von weitaus feinem Turbulenzstrukturen als in den H_2/He Flammen.

Die Analyse der Temperaturfluktuationen weist in gewissen Gebieten der H_2/He Flammen eine bimodale Verteilung auf, wogegen in den $\text{CO}/\text{H}_2/\text{N}_2$ Flammen an vergleichbarer Stelle eine homogene Verteilung zu beobachten ist. Ebenso lässt die vorhandene Sauerstoffkonzentration auf der Mittelachse der H_2/He Flamme auf eine grossräumige Mischungsstruktur schliessen.

Anhand dieser Beobachtungen wird gezeigt, dass mittels Einbezug eines effektiven Durchmessers D_{eff} die Strömungs- und Turbulenzfelder aller untersuchten Flammen skaliert werden können. Diese Skalierung versagt aber für die verbrennungsspezifi-schen Grössen und in der Folge auch für die Flammenlänge.

Aus den Resultaten der detaillierten Datenanalysen der Mischungsstruktur wird in einem weiteren Schritt eine brennstoffunabhängige Skalierung für die Flammenlänge entwickelt und anhand weiterer Flammen aus der Literatur validiert. Diese Skalie-rung beinhaltet neben dem effektiven Durchmesser einen weiteren Term, der die Mischungsstruktur miteinbezieht und somit die Effekte sowohl der grossen Struktu-ren in den H_2/He Flammen als auch die der kleinen Strukturen in den $\text{CO}/\text{H}_2/\text{N}_2$ Flammen korrekt wiedergibt.

Abstract

To validate and understand the results from numerical simulation of combustion processes there is a need of experimental data. In the present work turbulent non premixed H₂/He and CO/H₂/N₂ flames were investigated with a three dimensional Laser Doppler Velocimeter. At the same time the temperatures and species of these flames were analysed by Dr. R. Barlow, Sandia National Laboratories.

Based on different conditional sampling effects, which were observed during the measurements the mixing structures of the flames were analysed.

The mean values of the flow parameters showed the classical behaviour of a jet, whereas the fine structure of the turbulence appeared to be very different between the H₂/He and CO/H₂/N₂ flames. The turbulent energy spectrum in the CO/H₂/N₂ flames were shifted towards higher frequencies and the wavelet analyse showed much smaller turbulent structures. In the H₂/He flames the temperature fluctuations showed in some areas bimodal distributions, whereas in the CO/H₂/N₂ flames the comparable areas had a homogenous structure. An other indication of a large size mixing structure in the H₂/He flames was the appearance of oxygen in the middle of the flame.

Including the effective diameter D_{eff} it was possible to scale the flow and turbulence fields, but not the combustion related parameter like flame length, temperature and species concentrations.

Based on a detailed analysis of the measurement results, a new fuel independent scaling law for the combustion related parameters was developed. It includes the different mixing structures of the flames. With measurement results of other flames found in literature, the scaling law could be validated.