



Doctoral Thesis

Flow field and turbulence measurements in different non-reacting and reacting flow configurations

Author(s):

Blum, Lars

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005014564> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 15967

**FLOW FIELD AND TURBULENCE MEASUREMENTS IN
DIFFERENT NON-REACTING AND REACTING FLOW
CONFIGURATIONS**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

LARS BLUM

Dipl. Verfahrens-Ing. ETH

born on February 17th, 1971
citizen of Saanen, BE

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. D. Poulikakos, examiner
Prof. Dr. T. Rösgen, co-examiner
Dr. J. Gass, co-examiner

2005

Abstract

Stability and NO_x -reduction of fully and partially premixed flames are strongly related to the fluid dynamics, whose properties were determined in this work by applying a 3D-laser-Doppler-velocimeter. The present study consists of two experiments: At first, the inert flow of annular jets at high blockage ratios were investigated, and secondly, the behavior of turbulent partially premixed flames were analyzed.

The flow characteristics of the annular jets were analyzed in the near-field of the bluff-body disk. Predominantly, 3D-LDV measurements along the centerline were performed. The objectives were the determination of the influence of the blockage ratio (in the range $0.50 \leq \text{BR} \leq 0.89$) and of the initial velocity (characterized by the Reynolds number within $800 \leq \text{Re} \leq 6000$) on the mean flow field and on the turbulent mixing.

For $\text{BR} \leq 0.68$, the findings from literature could be confirmed. The radial symmetric flow field featured substantially anisotropic turbulence having its peak intensity in the region of the stagnation point. Within $0.68 < \text{BR} < 0.72$, it was found that the symmetry breaks resulting in tilted recirculating torus for $\text{BR} \geq 0.72$. The symmetry breaking did not show any dependency on the Reynolds number. The asymmetric flow pattern featured only weak sensitivity to blockage ratio and Reynolds number variation. Bimodal probability density distributions of the velocity along the device symmetry axis have not been found and energy spectra at selected points on the axis confirmed the absence of predominant frequencies.

In the second experiment, turbulent partially premixed flames were investigated in terms of the physico-chemical interaction, which is closely related to the stability and to the pollutant formation. The partially and the fully premixed flames were stabilized in an opposed jet flow configuration. A pure air jet of Reynolds numbers $\text{Re} = [4000;5000;6000]$ impinged on an impulse balanced methane/air jet of equivalence ratios $\Phi = [1.0;1.7;5.0]$. Additionally, the flow of pure counter flowing air was examined. Defined turbulence was produced using perforated plates. The LDV measurements were provided in axial direction along the symmetry axis and in radial direction at up to six different axial locations.

The mean velocity as well as the fluctuation profiles along the symmetry axis were mainly affected by the variation of the flame mode from fully to partially premixing. The mean axial velocity profile along the axis of the premixed flame exhibited a large “hump” in between the mixture jet nozzle and the stagnation plane indicating a high heat release rate and a high gas expansion. This effect was not observable with the partially premixed flames, which were in contrast to the fully premixed flame located close to the stagnation plane. The analysis of the velocity probability density distributions in the reaction zone revealed bimodal structure for the fully premixed flame. This phenomenon was not observed with the partial premixed combustion zones. The increase of the Reynolds number did not considerably affect the flow characteristics.

Finally, the pollutant formation reduction potential of turbulent partially premixed flames was explored. This combustion mode was established in a 20kW commercial household gas burner. Its NO_x - and CO-levels at the exhaust were measured. By partial premixing the fuel stream, the NO_x - as well as the CO-production could be simultaneously reduced by 37% respectively by 60% in comparison to the non-premixed operation mode.

Zusammenfassung

Stabilität und NO_x -Reduktion von voll und teilvorgemischtem Flammen sind eng mit der Fluidodynamik verknüpft. Die Eigenschaften der Strömungsfelder wurden in der vorliegenden Arbeit mittels 3D-Laser Doppler Anemometrie detektiert. Die Studie umfasst zwei Experimente: Zuerst wird das Strömungsfeld einer inerten Ringströmung bei hohen Verblockungen und zweitens das Verhalten von teilvorgemischtem Flammen untersucht.

Die Ringströmungen wurden im Nahbereich der Bluff-body Scheibe charakterisiert. Die 3D-Laser Doppler Anemometrie Messungen wurden entlang der Symmetrieachse gemacht. Dabei wurde der Einfluss der Verblockung (im Bereich $0.50 \leq \text{BR} \leq 0.89$) und der Geschwindigkeit im Ringspalt (charakterisiert mittels der Reynoldszahl im Intervall $800 \leq \text{Re} \leq 6000$) auf das gemittelte Strömungsfeld und auf das turbulente Mischungsverhalten ermittelt.

Für $\text{BR} \leq 0.68$ konnten die Resultate aus der Literatur bestätigt werden. Das Turbulenzverhalten des radialsymmetrischen Strömungsfeldes ist mehrheitlich anisotrop, wobei die höchste Turbulenzintensitäten beim Stagnationspunkt gemessen wurde. Im Intervall $0.68 < \text{BR} < 0.72$ wurde die Symmetrie zerstört, wobei sich der Rezirkulationstorus für $\text{BR} \geq 0.72$ gegenüber dem Bluff-body neigte. Die Symmetriezerstörung war von der Reynoldszahl unabhängig. Das asymmetrische Strömungsbild zeigte gegenüber der Verblockung wie auch gegenüber der Reynoldszahl keine Abhängigkeit. Bimodale Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen der Geschwindigkeiten entlang der Achse konnten nicht gefunden werden. Auch die Energiespektren ausgewählter Punkte auf der Achse bestätigten die Abwesenheit dominierender Turbulenzfrequenzen.

Die turbulenten, teilvorgemischten Flammen wurden auf ihre physikalisch-chemische Interaktion untersucht, welche in engem Bezug zur Stabilität und zur Schadstoffbildung steht. Die vor- und teilvorgemischten Flammen wurden in einer Gegenstrom-Konfiguration stabilisiert. Dabei trafen reine Luftströme der Reynoldszahlen $\text{Re} = [4000; 5000; 6000]$ auf impulsäquivalente Methan/Luftjets, dessen Äquivalenzverhältnisse $\Phi = [1.0; 1.7; 5.0]$ betragen. Das inerte Strömungsfeld wurde auch untersucht. Definierte Turbulenz wurde mittels Lochplatten generiert. Die LDA-Messungen umfassen Axialprofile entlang der Symmetrieachse sowie bis zu sechs Radialprofile.

Entlang der Symmetrieachse wurden die Geschwindigkeitsprofile sowie die der Fluktuationen durch die Variation des Flammentyps von der Vormisch- zur Teilvormischflamme beeinflusst. Bei der Vormischflamme zeigte das Axialgeschwindigkeitsprofil auf der Achse zwischen der Düse des Vormischjets und der Stagnationsebene einen "Buckel", was auf eine hohe Wärmefreisetzungsrate verbunden mit einer hohen Gasexpansion schließen lässt. Bei den teilvorgemischten Flammen konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. Im Gegensatz zur Vormischflamme stabilisierten sich diese in der Nähe der Stagnationsebene. Die Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen in der Reaktionszone offenbarte bimodale Strukturen bei der Vormischflamme. Dieses Phänomen konnte bei den teilvorgemischten Flammen nicht beobachtet werden. Die Erhöhung der Reynoldszahl hatte keinen merklichen Einfluss auf die fluidodynamischen Eigenschaften.

Abschliessend wurde das Schadstoffreduktionspotential teilvorgemischter Flammen untersucht. Dieser Verbrennungstyp wurde in einem kommerziellen 20kW-Haushaltsgas-

brenner etabliert, wobei die NO_x - and CO-Konzentrationen im Abgas gemessen wurden. Durch Teilvormischung des Brennstoffstroms wurde eine gleichzeitige Reduktion der NO_x - als auch der CO-Bildungsrate um 37% respektiv um 60% im Vergleich zum nicht-vorgemischten Betriebsfall erreicht.