Forschungsberichte Strömungslehre und Aerodynamik

Band 24

Benjamin Balewski

Experimental investigation of the influence of nozzle-flow properties on the primary spray breakup

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2010
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9001-6
ISSN 1610-3114

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Die Erzeugung von Sprays spielt in vielen Anwendungen eine wichtige Rolle. Zum Beispiel sind die Eigenschaften eines Sprays in Verbrennungsmaschinen verantwortlich für die Qualität bzw. Vollständigkeit der Verbrennung und damit letztendlich für den Treibstoffverbrauch und den Schadstoffausstoß. Um ein Spray mit den erforderlichen Eigenschaften zu erzeugen muss der ganze Prozess der Zerstäubung verstanden werden, wobei besonders der Bereich des primären Strahlaufbruchs von großer Bedeutung ist. Bis heute sind die Modelle zur Beschreibung des Zerstäubungsprozesses nicht zufriedenstellend, was in der Schwierigkeit der experimentellen Datenbeschaffung sowohl von innerhalb der Düse als auch aus dem Bereich des primären Strahlaufbruchs begründet ist. Aufgrund der damit unvollständigen Datenbasis ist die Entwicklung von Aufbruchmodellen sehr schwierig und auch ein Abgleich mit numerischen Simulationen ist nur an wenigen Stellen möglich.

Aus diesen Gründen ist es ein Hauptziel der vorliegenden Arbeit auf experimentellem Weg einen hoch aufgelösten Datensatz zu erstellen, welcher sowohl Daten der Düsenströmung und der Turbulenzverteilung in der Düse als auch quantitative Daten aus der primären Aufbruchszone des Sprays, welches von derselben Düse erzeugt wird, enthält. Dazu werden verschiedene Düsengeometrien untersucht, die so konzipiert wurden, dass hohe Turbulenz und ein sekundäres Geschwindigkeitsfeld vorhanden ist. Zudem werden Experimente bei verschiedenen Reynoldszahlen vorgenommen, wobei einmal die Reynoldszahl durch eine Änderung in der Viskosität des Mediums und einmal durch eine Veränderung des Volumenstroms erreicht wird.

Zur Erfassung des dreidimensionalen Geschwindigkeit- und Turbulenzfeldes innerhalb transparenter Düsen wird ein modifiziertes Laser Doppler System (LD, LDV) verwendet, welches durch sein sehr kleines Messvolumen eine hohe örtliche Auflösung bereitstellt. Tropfengrößen und ihre dreidimensionale Geschwindigkeit im Raum werden mit einem HiDense Dual Mode Phase Doppler System (PD, PDA) vermessen, wobei Messungen schon direkt nach Düsenaustritt möglich sind. Die Anwendbarkeit dieser Messtechnik im düsennahen Bereich wurde anhand von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen bestätigt, auf welchen neben Ligamenten auch sphärische Tropfen zu sehen sind. Zusätzlich wurde zur quantitativen Auswertung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen ein Programm erstellt, welches Durchmesser, Länge, Wachstumsgeschwindigkeit und Orientierung von Ligamenten sowie die Geschwindigkeit der Strahloberfläche berechnen kann.

Aufgrund der hohen optischen Dichte im Bereich des primären Strahlzerfalls sind optische Messtechniken nur begrenzt anwendbar. Um dieses Problem zu umgehen wurde eine neue Messtechnik entwickelt, welche auf der Extinktion von Röntgenstrahlung beruht.

Mittels dieser Technik wurden Röntgenaufnahmen des Sprays aus verschiedenen Blickwinkeln erstellt. Aus diesen wurde anschließend mit einer ebenfalls neu erstellten Tomographie-Software die dreidimensionale Dichteverteilung im Spray rekonstruiert.

Basierend auf den gewonnen Datensätzen konnte gezeigt werden, dass das Turbulenzlevel sowohl die Art als auch die Stärke des Aufbruchs maßgeblich bestimmt. Bei sehr niederen Werten beginnt der Aufbruch über Oberflächenwellen und der Beginn des Aufbruchs wird über Viskosität und Strahlgeschwindigkeit definiert. Bei hohem Turbulenzniveau findet ein sogenannter turbulenter Aufbruch statt, welcher sich durch die Ausbildung von Ligamenten auszeichnet die vom Strahlkern ausgehen und anschließend in Tropfen zerfallen.

Abstract

In many applications the generation of sprays plays an important role, e.g. in an internal combustion engine the properties of the fuel spray are important for the quality of combustion and subsequently for the fuel consumption and the emissions. To design a spray with the desired characteristics the whole process of atomization has to be understood in detail, especially the connection between nozzle flow and primary breakup, the first part of atomization. Until now, the models describing this process are not satisfactory which is related to the very challenging problem of obtaining suitable experimental data from the nozzle flow as well as from the primary breakup region. This difficulty arises because of the usually small dimensions of the nozzle and the limited optical access to the primary breakup region. Since these data are missing, the modeling of breakup models is difficult and for numerical simulations no comparative data for validation are available.

Therefore, the research objective of this work is to provide high resolution data sets of the flow and turbulence in the nozzle combined with quantitative information about the primary breakup region of the spray generated by this nozzle in the atomization regime. This is done for different nozzle geometries designed to obtain turbulence and a secondary flow field as well as for different Reynolds numbers achieved by firstly a change of the medium and secondly by a variation of flow rate.

For this propose, a modified Laser Doppler system (LD, LDV) with a very small measurement volume was applied to measure three components of the velocity and turbulence field inside the transparent nozzles with high resolution. To observe the drops generated and their three component velocity after the breakup right from the nozzle exit a HiDense Dual Mode Phase Doppler system (PD, PDA) was employed. To assure the applicability of the PD system in this optically dense area high speed images from the relevant regions are taken to show that not only ligaments but also spherical drops are present that can be measured by the PD system. In addition a software was developed to allow a quantitative analysis of the images providing ligament diameters, length, growth speed, orientation and surface velocity.

Due to the high optical density, no information about the inner spray regions is available by optical measurement techniques. Therefore a new X-ray measurement system was developed to perform extinction measurements of the spray. Combined with this data taken from different observation directions and a new developed tomographic reconstruction software, it was possible to calculate the three-dimensional density distribution of the spray in the primary breakup region.

Out of these data sets it was found that the turbulence level defines the type and the strength of the breakup. For very low turbulence levels a surface wave based breakup occurs, the onset of the breakup being defined by the viscosity and the velocity. For high turbulence levels, a turbulent primary breakup based on the formation of ligaments attached to the spray core is present. Here, a higher Reynolds number leads to smaller drops which can be explained by smaller scales available in the turbulent spectrum.