

DISS. ETH NO. 20852

**Experimental characterization of the two phase flow of a  
modern, piezo activated hollow cone injector**

A dissertation submitted to the  
ETH ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
ANDREAS MANUEL SCHMID  
Dipl. Masch.-Ing. ETH Zürich  
born April 21<sup>st</sup>, 1979  
citizen of Ausserberg and Raron, VS, Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos, ETH Zürich, examiner  
Prof. Dr. Ulrich Spicher, Universität Karlsruhe, GER, co-examiner  
Dr. Graham Wigley, Loughborough University, UK, co-examiner

2012

# Abstract

Focus of this study is the experimental investigation of liquid fuel sprays at Otto engine relevant conditions. In a state-of-the-art constant volume chamber, the high pressure high temperature cell (HTDZ) at ETH Zürich, laser optic methods have been applied to investigate the spray of an A-injector (outwardly opening, pintle-type, hollow cone injector) in particular the influence that gas density, injection pressure, needle lift and fuel properties have on the spray under evaporating and non-evaporating conditions. At University of Loughborough LDA and PDA (Laser and Phase-Doppler Anemometry) data for atmospheric conditions were obtained to provide detailed information on droplet velocity and diameter. The fuel exiting an A-injector has a distinctive string-like structure. These strings are not steady in the beginning of the injection (as they wander around) but stabilize after very short time. The A-injector produces toroidal vortices in the air surrounding the spray which carry very small droplets (non-evaporating conditions). These vortices can be strong enough to influence the spray in subsequent phases. Along the nominal propagation direction of the liquid phase, different zones with increasing droplet size form. Gas density shows strong influence on spray morphology and spray propagation. Injection pressure has negligible influence on spray shape but a much stronger one on spray tip penetration, size of circumferential vortices and droplet size. The spray shows also strong dependency on needle lift; the spray becomes thicker towards higher needle lift while break up length are bigger. The experimental results indicate that correlations from established literature on multihole injectors describe the physics of an A-injector only partially. For example the influence of needle lift on spray breakup is overestimated while the gas density is not taken into account. Therefore a new correlation for A-injectors is presented in this work.

# Zusammenfassung

In der vorgelegten Arbeit wurden experimentelle Untersuchungen zur Ausbreitung des eingespritzten Brennstoffs einer Hohlkegeldüse für die Benzindirekteinspritzung unter motornahen Bedingungen durchgeführt. In einer modernen Konstantvolumenkammer, der Hochtemperatur- Hochdruckzelle (HTDZ) der ETH Zürich, wurde mittels laseroptischer Verfahren das Gemischbild einer A-Düse (nach aussen öffnende, piezo-gesteuerte Hohlkegeldüse) unter verdampfenden und nicht verdampfenden Bedingungen untersucht. An der Universität Loughborough wurden mittels Laser und Phasen-Doppler Anemometrie Tropfengeschwindigkeit und -durchmesser unter atmosphärischen Bedingungen bestimmt. Das Spraybild hat eine strähnige Struktur die charakteristisch ist für die A-Düse. Die Position dieser Strähnen ist anfangs zeitlich variabel. Während des Beginns der Einspritzung wandern sie in tangentialer und radialer Richtung, stabilisieren sich jedoch nach kurzer Zeit. An den Flanken des Hohlkegels bildet sich ein toroidaler Wirbel in der Luft. Dieser transportiert sehr kleine Tropfen (nichtverdampfende Bedingungen). Entlang der Strahlachse bilden sich mit zunehmender Distanz Zonen mit steigender Tropfengrösse. Die Gasdichte hat einen starken Einfluss auf das Spraybild und die Strahlausbreitung. Der Einspritzdruck beeinflusst die Geschwindigkeit der Strahlausbreitung und damit Tropfen- sowie Wirbelgrösse. Grösserer Nadelhub macht den Spray dichter und vergrössert die Aufbruchlänge des Sprays. Es zeigte sich, dass bekannte Korrelationen für Mehrlochdüsen die physikalischen Vorgänge einer A-Düse nur teilweise beschreiben. Die Einflüsse auf Eindringtiefe der Strahlspitze sowie auf den Strahlaufbruch werden nur ungenügend wiedergegeben. Aus diesen Gründen wurde neu eine Korrelation für die A-Düse erarbeitet, die aus Messwerten genommen wurde. Die Voraussagen über die Eindringtiefe der flüssigen Phase stimmen sehr gut mit den Messungen überein.