

Martin Pillei / Tobias Kofler / Michael Dues / Stefan Kunze / Andreas Wierschem / Michael Kraxner

Experimentelle Untersuchung des Strömungsprofils vor einem Luftmassensensor (HFM) im Ansaugtrakt eines Filtersystems

121- LEP - Low Emission Powertrains

Abstract

Für eine korrekte Kraftstoffzumessung benötigen Verbrennungskraftmaschinen eine möglichst exakte Information über die angesaugte Luftmasse, die im Verbrennungsraum zur Verfügung steht. Insbesondere bei stark limitiertem Platzangebot im Motorraum kann jedoch bei der Positionierung des Luftmassensensors bzw. Ansaugluftfilters die Umströmung des Sensors nicht optimal berücksichtigt werden. Die vorliegende Arbeit zeigt eine Methode zur Messung des Strömungsfeldes im Einzugsbereich des HFM-Sensors mittels nicht-invasiver Strömungsmesstechnik, und die Berechnung einer Kennzahl UI (Uniformity Index) zur Beschreibung des Homogenitätsgrades vor dem Sensor. Diese Messungen dienen als Referenz für CFD Simulationen zur numerischen Berechnung der Strömungsverhältnisse und abgeleitet daraus zur Kompensation der für die Luftmassenmessung nicht optimalen geometrischen Verhältnisse im Ansaugtrakt.

Keywords:

HFM Sensor, Verbrennungsprozesse, Strömungsevaluierung, 3C-PIV, LDA, CFD

1. Einführung

Luftmassensensoren (HFM, Heißfilmmassenstrom-Sensoren) werden für die Bestimmung des Luftmassenstroms im Ansaugtrakt von Verbrennungskraftmaschinen eingesetzt. Der gemessene Luftmassenstrom entspricht dabei proportional dem molaren Anteil des in der Luft enthaltenen Oxidationsmittels Sauerstoff. Diese Information des tatsächlichen Sauerstoffgehaltes im Brennraum ist essentiell für eine möglichst genaue Kraftstoffzumessung zur Luft bzw. eine vollständige Verbrennung. Neben der Steigerung des Drehmomentes aus der Verbrennung kann auch eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs sowie der Schadstoffemissionen erzielt werden. Diese möglichst korrekte Information ist essentiell sowohl für klassische Vergaser als auch Systeme mit Saugrohreinspritzung sowie Direkteinspritzung. Darüber hinaus hat die richtige Positionierung des Sensors im Ansaugtrakt eine wesentliche Bedeutung, da es bei einer ungünstigen Positionierung (vor bzw. nach Krümmer etc.) zur Aufnahme von falschen Messwerten kommt und keine korrekte Information der Steuereinheit zur Kraftstoffzumessung bereitgestellt werden kann.

Das im Motorraum zur Verfügung stehende Volumen ist sehr limitiert, weshalb die Position des Ansaugluftfilters inkl. HFM-Sensor in der Regel nicht optimal gewählt werden kann. Es wird daher meist ein Kompromiss aus bestmöglicher und verfügbarer Position gewählt. Diese Fehlpositionierung bewirkt, dass die Sensorwerte auf Basis eines inhomogenen Strömungsfeldes errechnet werden, durch welche der tatsächliche Luftmassenstrom nicht hinreichend beschrieben wird. Dies resultiert in zu dünnen oder zu fetten Gemischen im Verbrennungsraum, was zu einem höheren Spritverbrauch, schlechteren Abgaswerten sowie zu einer reduzierten Motorleistung führen kann (Eichseder et al. 2008). Zur Kompensation dieses auf den Verbrennungsprozess negativen Effekts, wird auch für räumlich stark limitierte Umgebungen versucht, den HFM möglichst günstig zu positionieren, um exaktere Messwerte zu erhalten. Hierzu wird eine Kennzahl eingeführt, welche die Gleichförmigkeit der Strömung im Bereich des Luftmassensensors beschreibt, der *Uniformity Index* (Badami et al. 2003).

2. Versuchsaufbau und Methodik

Für die Untersuchungen wird eine idealisierte Form eines Ansaugtraktes verwendet. Dieses Modell besteht aus einem zylindrischen Glasrohr aus Bor-Silikat-Glas und einem trompetenförmigen Einlauf, um ein gleichmäßiges Anströmen des Sensors zu ermöglichen (s. Abb. 1). Der Sensor ist parallel zur Rohrachse mittig positioniert. Im Rahmen dieses Beitrags werden die in Z-Richtung max. möglichen Messebenen (Messebene 1: 3mm vor HFM, Messebene 2: 29mm vor HFM) definiert, die sich im Anströmbereich des HFM Sensors befinden. Die Positionen der Ebenen resultieren aus der für die Messtechnik sehr anspruchsvollen optischen Zugänglichkeit. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wird eine *Area of Interest* (Abb. 1, rechts) definiert, die den Einfluss direkt vor dem HFM Sensor zeigen soll.

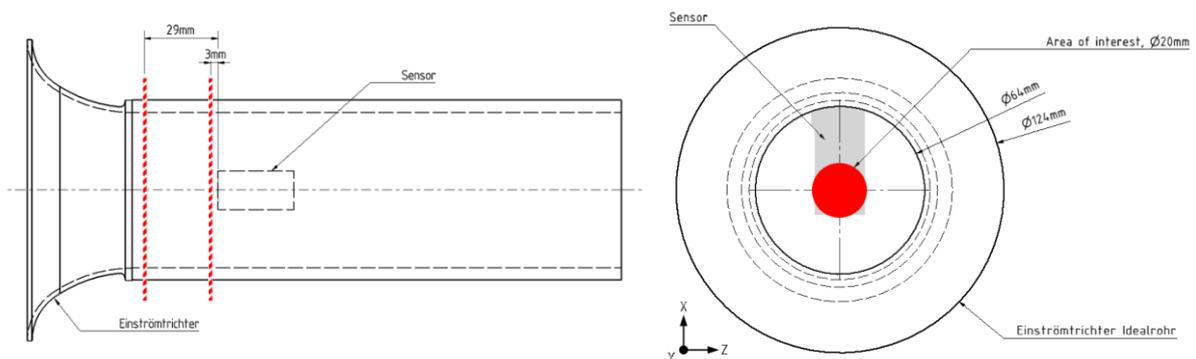


Abb. 1 - Messebenen im Idealrohr (links), Area of Interest vor Sensor (rechts)

Für die Untersuchung des Strömungsfeldes werden zwei nicht-invasive optische Messmethoden angewendet. Durch diese Messmethoden können die potentiellen Messfehler im schwer zugänglichen Strömungsfeld erhoben und minimiert bzw. ausgeschlossen werden. Es werden sowohl *Laser Doppler* (LDA) Messungen als auch die stereoskopische *Particle Image Velocimetry* (3C-PIV) Messungen zur Evaluierung des Strömungsfeldes herangezogen.

Abb. 2 zeigt die Frontalansicht des Idealrohres aus Upstream-Richtung und die gewählte *Area of Interest* für die LDA Messungen mit einem Durchmesser von 16mm. Die Extraktionslinie für die 1D-Betrachtung ist durch die horizontale Linie (links) beschrieben. In der Detailansicht A (3:1) für die LDA Matrix sind die mittels Traversierung abgetasteten Messpunkte schematisch eingezeichnet. Es sind 160 Punkte über den Kreisquerschnitt gleich verteilt, welche mit einer durchschnittlichen *Valid Burst Rate* von 1000-5000 pro Messpunkt aufgenommen werden. Dieser Wert variiert aufgrund der inhomogenen Seedingbedingungen insbesondere an Positionen mit hohem Geschwindigkeitsgradienten sowie aufgrund von Reflexionen an der Rohrwand.

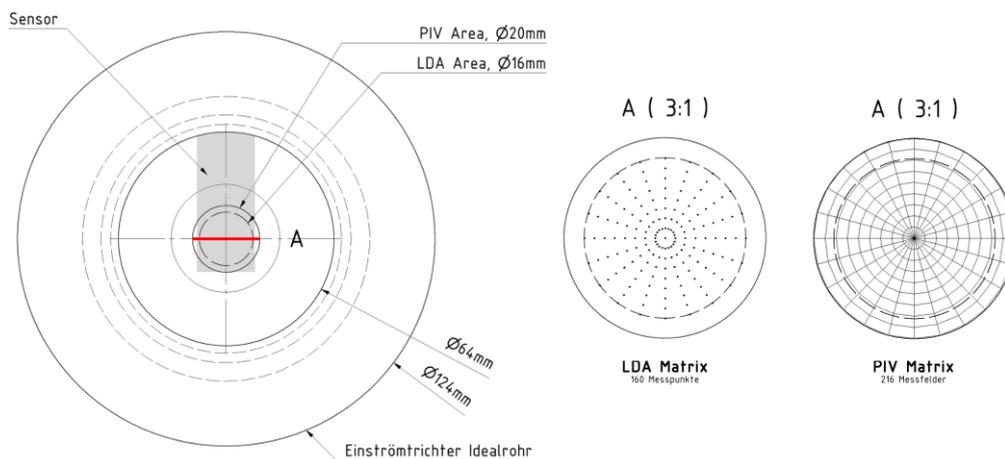


Abb. 2 - Vergleich Messmatrix LDA / PIV

Entsprechend Abb. 3 ist der stereoskopische Aufbau dargestellt. Über die Laserschnittoptik wird der Laserstrahl normal zur Strömungsrichtung durch den Idealrohr-Glaszylinder geführt. Mittels Seeding-Generator wird ein sehr homogenes Tröpfchenaerosol erzeugt, welches aufgrund des kleinen Durchmessers bei einem Modalwert um $1\mu\text{m}$ praktisch schlupffrei der Strömung folgt und sich ferner, aufgrund der hohen Sphärizität, sehr gut für optische Messungen eignet. Über ein Target werden die Messebene und der Laserschnitt kalibriert. Das Target dient darüber hinaus zur Definition des Koordinatensystems für die anschließende Verrechnung durch Kreuzkorrelation und Rekombination der Geschwindigkeitskomponenten (Raffel et al. 2007, Westerweel et al. 2013).

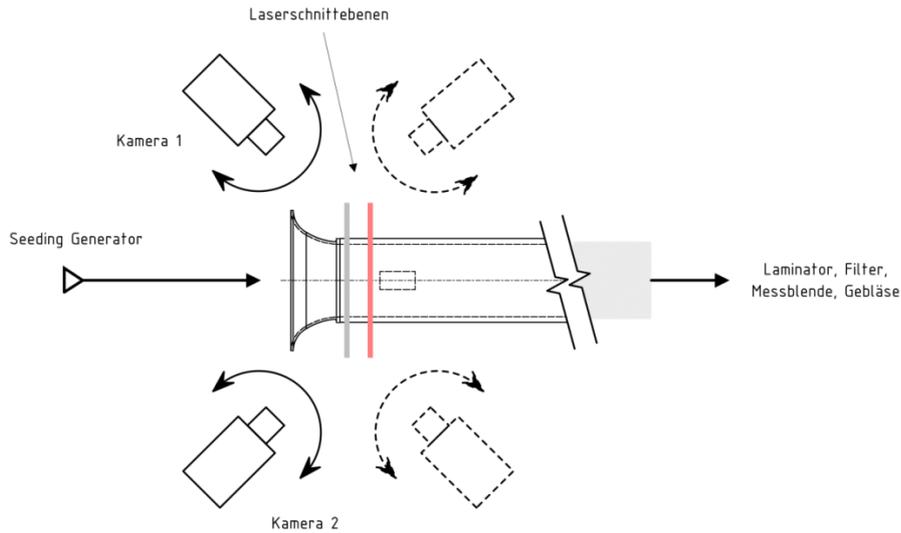


Abb. 3 - Stereoskopischer Aufbau PIV

3. Ergebnisse

Die Plots in Abb. 4 zeigen den Strömungsquerschnitt in der Messebene 1 und der entsprechenden Konfiguration (vgl. Abb. 1). Es werden die Contourplots von CFD-Berechnung und PIV-Messung direkt gegenübergestellt und über den CFD-Plot des ganzen Querschnitts gelegt. Exemplarisch kann an folgendem Beispielplot die *Area of Interest* sowie die gewählte Zonierung mit 25 x 10 Zellen eingesehen werden. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird über diese Zellen der bereits in Kapitel 2 erwähnte *Uniformity Index* ident für die CFD-Berechnung sowie die PIV Messung erstellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den flächigen 2D/3C-PIV Ergebnissen und den 1D LDA Ergebnissen (s. Abb. 4).

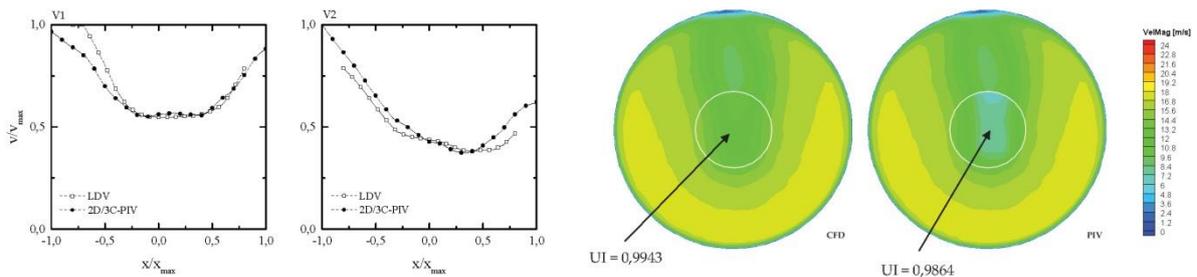


Abb. 4 - LDA/PIV Vergleich (links), PIV/CFD Vergleich mit Uniformity Index (rechts)

Im Bereich zwischen $-0,5 < x/x_{\max} < 0,5$ kann die zeitgleich flächige 3C-PIV Messung die LDA Ergebnisse bestätigen. Aufgrund der starken Krümmung des untersuchten Glasquerschnittes können trotz Brechungsindexkorrektur die LDA Ergebnisse mittels PIV nur sehr eingeschränkt für die

Evaluierung herangezogen werden. Dieser Bereich $-0,5 > x/x_{\max} > 0,5$ liegt außerhalb der *Area of Interest*, weshalb die PIV Messung für eine Aussage hinsichtlich der Gleichförmigkeit des Strömungsfeldes vor einem HFM Sensor herangezogen werden kann.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die optimale Positionierung bzw. die korrekten Messwerte des Luftmassensensors im Ansaugtrakt einer Verbrennungskraftmaschine sind entscheidend für ein optimales Drehmoment sowie für eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs bzw. der Schadstoffemissionen. Dieser Beitrag stellt eine Methode zur Messung des Strömungsfeldes im Einzugsbereich eines HFM-Sensors vor, um eine mögliche Fehlplatzierung und die daraus resultierenden falschen Messwerte zu kompensieren. Da eine zeitgleiche flächige Evaluierung des Strömungsfeldes in allen drei Strömungskomponenten nur mit einer 2D/3C-PIV möglich ist, wird die PIV mittels LDA referenziert. Die PIV Ergebnisse stellen die Basis für die zukünftigen Untersuchungen und Validierung von numerischen Berechnungen (CFD) dar.

5. Dankesworte

Für die Unterstützung der Untersuchungen durch das MCI, die ILA GmbH und die Mann+Hummel GmbH sei an dieser Stelle gedankt.

Literaturliste/ Quellenverzeichnis:

Eichlseder, H./Klütting, M./Piock, W. (2008): Grundlagen und Technologien des Ottomotors. Wien: Springer Verlag

Badami, M./Millo, F./Zuarini, A./Gambarotto, M. (2003): Experimental and Computational Analysis of the Flow Distribution in a Close Coupled Catalytic Converter. In: 5th Stuttgart International Symposium, Automotive and Engine Technology, 238-251

Raffel, M./Willert, C. E./Wereley, S./Kompenhans, J. (2007): Particle Image Velocimetry: A practical guide. 2nd Edition Heidelberg: Springer Verlag

Westerweel, J./Elsinga, G. E./Adrian, R. J. (2013): Particle Image Velocimetry for Complex and Turbulent Flows. In: Annu. Rev. Fluid Mech. 45, 409-436