

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 479/2010**

(22) Anmeldetag: **25.03.2010**

(43) Veröffentlicht am: **15.07.2010**

(51) Int. Cl.⁸: **G01P 5/00** (2006.01),

G01P 5/01 (2006.01),

G01P 5/26 (2006.01),

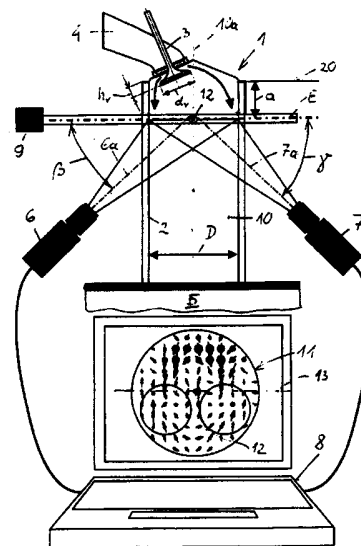
G01M 15/04 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM ERFASSEN EINER WIRBELSTRÖMUNG IM ZYLINDERRAUM**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erfassen einer Wirbelströmung im Zylinderraum (10) eines zumindest teilweise optisch durchlässigen Messzylinders (2) an einem Strömungsprüfstand, wobei eine erste Kamera (6) auf eine Messebene (ϵ) im Zylinderraum (10) gerichtet ist. Um ein Verfahren bereitzustellen, mit welchem sowohl die Tumbleströmung, als auch die Drallströmung im Zylinderraum einer Brennkraftmaschine möglichst genau erfasst werden kann, ist vorgesehen, dass ein dreidimensionales Strömungsvektorfeld \vec{v} der Wirbelströmung in der Messebene (ϵ) mittels der ersten Kamera (6) und einer auf die Messebene (ϵ) gerichteten zweiten Kamera (7) unter Verwendung einer Berechnungsmethode ermittelt wird, wobei die Achsen (6a, 7a) der Kameras (6, 7) unter einem definierten Winkel (β, γ) zur Messebene (ϵ) geneigt sind, und dass basierend auf dem dreidimensionalen Strömungsvektorfeld \vec{v} Drall- und Tumblewerte berechnet werden.



ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erfassen einer Wirbelströmung im Zylinderraum (10) eines zumindest teilweise optisch durchlässigen Messzylinders (2) an einem Strömungsprüfstand, wobei eine erste Kamera (6) auf eine Messebene (ϵ) im Zylinderraum (10) gerichtet ist. Um ein Verfahren bereitzustellen, mit welchem sowohl die Tumbleströmung, als auch die Drallströmung im Zylinderraum einer Brennkraftmaschine möglichst genau erfasst werden kann, ist vorgesehen, dass ein dreidimensionales Strömungsvektorfeld \vec{v} der Wirbelströmung in der Messebene (ϵ) mittels der ersten Kamera (6) und einer auf die Messebene (ϵ) gerichteten zweiten Kamera (7) unter Verwendung einer Berechnungsmethode ermittelt wird, wobei die Achsen (6a, 7a) der Kameras (6, 7) unter einem definierten Winkel (β, γ) zur Messebene (ϵ) geneigt sind, und dass basierend auf dem dreidimensionalen Strömungsvektorfeld \vec{v} Drall- und Tumblewerte berechnet werden.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erfassen einer Wirbelströmung im Zylinderraum eines zumindest teilweise optisch durchlässigen Messzylinders an einem Strömungsprüfstand, wobei eine erste Kamera auf eine Messebene im Zylinderraum gerichtet ist.

Die Ladungsbewegung ist sowohl für Otto- als auch für Diesel-Brennkraftmaschinen ein Parameter, der die Verbrennung wesentlich beeinflusst. Grundsätzlich wird zwischen Drall, einer Ladungsbewegung um die Zylinderachse und Tumble einer Ladungsbewegung um eine Achse senkrecht zur Zylinderachse, unterschieden, wobei beide Ladungsbewegungen oft gleichzeitig in vermischter Form auftreten. Zum Erfassen beider Arten der Ladungsbewegung haben sich am Prüfstand für stationäre Strömung integrative Methoden durchgesetzt, welche sehr schnell Summenergebnisse liefern können. Im Falle des Dralles ergeben integrative Messmethoden gute Korrelationen zwischen Verbrennungsergebnis und Drallmessung, da der Drall während des Kolbenhubes im wesentlichen erhalten bleibt. Im Falle des Tumbles ergibt eine Zuordnung zwischen Ergebnissen am Strömungsprüfstand und dem Verbrennungsergebnis allerdings ein eher verwirrendes Bild. Der Grund dafür ist, dass der Tumble zwischen Kolben und Zylinderkopfboden quasi zerquetscht wird und sich in komplexe Strömungsstrukturen und schließlich Turbulenz auflöst.

Es sind verschiedene Arten von integrativen Messmethoden bekannt. So ist es beispielsweise bekannt, am Strömungsprüfstand den Drall mit Hilfe eines Momentenmessgerätes oder eines Drehflügels für eine Reihe von Ventilhuben zu messen und daraus durch Integration über den Kurbelwinkel eine Drallzahl zu bestimmen. Obwohl am realen Motor andere Strömungsstrukturen auftreten als am Strömungsprüfstand für stationäre Strömung, lassen sich die Ergebnisse gut mit den Verbrennungsergebnissen korrelieren.

Auch zur Erfassung der Ladungsbewegung Tumble im Zylinderraum sind integrative Messmethoden bekannt. Aus der Veröffentlichung SAE 97 16 37 mit dem Titel "Correlation of the Combustion Characteristics of Spark Ignition Engines with the In-Cylinder Flow Field Characterized Using PIV in a Water Analogy Rig", JACKSON, N.S., et al. ist die sogenannte "T-Stück-Methode" bekannt. Dabei wird der Zylinderkopf auf ein T-Rohr aufgesetzt, wobei in jeweils einem Teil des Querrohres integrative Messgeräte, wie beispielsweise Drehflügel oder Momentmessgeräte angeordnet sind. Die asymmetrische Strömung aus dem Einlasskanal trifft in weiterer Folge auf das Querrohr, in welchem aufgrund der Asymmetrie eine Drallströmung erzeugt wird. Durch Verdrehen des Zylinderkopfes bis zum Erreichen des maximalen Messwertes kann auch der Tumble-Winkel erfasst werden.

Weiters ist es aus der DE 41 33 277 A1 bekannt, zur Tumble-Erfassung einen rotierenden Ring im Zylinderraum zu verwenden, dessen Drehachse normal zur Mittelachse des Zylinderraumes ist. Zum Unterschied zu anderen stationären Strömungsmessungen wird der Zylinderraum nach unten durch eine Kolbenatrappe verschlossen und außerdem die Luft seitwärts im Bereich der Drehflügelachse abgesaugt. Durch das asymmetrische Auftreffen des Luftstrahles auf die Kolbenatrappe wird eine Drehbewegung induziert, die über die Drehzahl des rotierenden Ringes erfasst wird. Der Tumble-Winkel ergibt sich durch Verdrehen der Lage des rotierenden Ringes oder des Zylinderkopfes zur Stellung mit maximalen Ringdrehzahlen.

Aus dem Artikel "Räumlicher Drallmesser für Drall- und Tumble-Messung", TIPPELMANN, G., MTZ 58 (1997), Nr. 6, Seite 327 ist es bekannt, zur integrativen Messung der Tumble-Strömung ein Momentmessgerät zu verwenden, das aus einem sphärischen Strömungsgleichrichter besteht. Der sphärische Gleichrichter kann aufgrund seiner radial angeordneten Gleichrichterbohrungen nicht nur einen Drehimpuls um die z-Achse, sondern auch ein Kippmoment um eine Achse in der x-y-Ebene erfassen und damit sehr elegant auf die Asymmetrie des Strömungsfeldes reagieren. Da alle drei räumlichen Momente erfasst werden, ergeben sich Drall, Tumble und Tumble-Winkel aus einer einzigen Messung. Der Strömungswiderstand des Gleichrichters und die daraus folgende Rückwirkung auf das Strömungsfeld haben allerdings nachteilige Auswirkung auf das Messergebnis.

Aus der DE 100 63 045 A2 ist ein Verfahren zur Erfassung einer Tumble-Strömung in einem Zylinderraum einer Brennkraftmaschine bekannt, wobei ein Tumble-Kennwert als Quotient aus der Winkelgeschwindigkeit der Tumble-Bewegung und der Winkelgeschwindigkeit der Brennkraftmaschine bestimmt wird. Dabei wird die Asymmetrie eines Strömungsfeldes im Zylinderraum mit einer differentiellen Meßmethode am Strömungsprüfstand für eine vordefinierte Anzahl an Messpunkten i erfasst und der Tumble-Kennwert auf Grund der Asymmetrie des Strömungsfeldes ermittelt wird. Als differentielle Meßmethode wird die Laser Doppler Anemometry (LDA) eingesetzt. Im Kreuzungspunkt zweier Laserstrahlen wird eine axiale Geschwindigkeitskomponente gemessen. Auf Grund der Asymmetrie des Strömungsfeldes kann eine Drehgeschwindigkeit einer Tumbledrehbewegung um eine Achse normal zur Zylinderachse ermittelt werden. Mit der LDA erfolgt die Messung an einer Vielzahl vorher bestimmter Messpunkte. Zur Bestimmung eines Drallkennwertes ist das Verfahren weniger gut geeignet.

Aus der EP 0 566 120 B1 ist es bekannt zur Messung der Strömungsverhältnisse unter anderem in Brennräumen von Brennkraftmaschinen das PIV-Verfahrens (Particle-Imaging-Velocimetry) anzuwenden. Beim Particle-Imaging-Velocimetry-

Verfahren erhält das strömende Fluid Markierungspartikel und das Fluid wird mittels eines kontinuierlichen oder gepulsten Lasers angestrahlt. Dies macht die Fluidverteilung, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit mittels der Markierungspartikel sichtbar. Entsprechende Bilder werden aufgenommen und mittels einer Bildverarbeitung ausgewertet. Es werden beispielsweise mit 25 Hz zweidimensionale Bilder in Form von Vektorfeldern aufgenommen und anschließend einer Abfolge von mehreren aufeinanderfolgenden Vektorfeldern die tatsächlichen Strömungsgeschwindigkeiten ermittelt. Bei dem PIV-Verfahren in Verbindung mit Tumble-Messungen wird das dreidimensionale Strömungsfeld im Zylinder auf die zweidimensionale Ebene reduziert, welche im größten Zylinderdurchmesser vorliegt. Für die Ermittlung der Drallzahl wird ein um 90° gedrehtes Messverfahren angewendet, wobei das Strömungsfeld senkrecht zur Zylindermittelnachse ausgewertet wird. Hierbei misst beispielsweise eine Kamera senkrecht von unten in den Brennraum.

Die DE 100 38 460 A1 beschreibt ein Verfahren zum Messen von Strömungsverhältnissen von Fluiden, wobei aus aufeinanderfolgenden Momentaufnahmen der Strömungsverhältnisse jeweilige Strömungsvektoren mit Strömungsrichtung und Geschwindigkeit an verschiedenen Orten bestimmt und daraus Kennzahlen der Strömung berechnet werden. Dabei werden aus den Momentaufnahmen jeweilige tatsächliche Mittelpunkte der Wirbelströmung ermittelt und die Kennzahlen aus den Strömungsvektoren an den verschiedenen Orten berechnet, wobei zur Berechnung für jeden Ort eines jeweiligen Strömungsvektors ein zugehöriger Ortsvektor verwendet wird, der vom tatsächlichen Mittelpunkt der Wirbelströmung als Ursprung ausgeht. Die Momentanaufnahmen werden mittels eines PIV-Verfahrens hergestellt.

Ein Prüfstand für optische Messungen von Strömungsverhältnissen von Fluiden wird weiters durch die DE 102 47 709 A1 offenbart. Dabei werden unter Anwendung von optisch-mathematischen Auswerteverfahren die Kennzahlen von Tumble und/oder Drall der Wirbelströmung erfasst, wobei als Strömungs-Visualisierungsverfahren das PIV-Verfahren eingesetzt wird. Zur Beobachtung der Strömung von allen Seiten ist ein kastenförmiger Aufbau rund um einen inneren Zylinder vorgesehen.

Aus der EP 1 460 433 A2 ist weiters ein Verfahren zur Bestimmung der Abbildungsgleichung für die Selbstkalibrierung von Stereo-PIV-Verfahren bei visualisierten Strömungen bekannt. Dabei wird von zwei Kameras in etwa der gleiche Bereich des Bildausschnittes, aber aus unterschiedlichen Richtungen betrachtet.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren bereitzustellen, mit welchem sowohl die Tumbleströmung, als auch die Drallströmung im Zylinderraum einer Brennkraftmaschine möglichst genau erfasst werden kann.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass ein dreidimensionales Strömungsvektorfeld $\vec{V}(w, v, u)$ der Wirbelströmung in der Messebene mittels der ersten Kamera und einer auf die Messebene gerichteten zweiten Kamera unter Verwendung einer Berechnungsmethode ermittelt wird, wobei die Achsen der Kameras unter einem definierten Winkel zur Messebene geneigt sind, und dass basierend auf dem dreidimensionalen Strömungsvektorfeld \vec{V} Drall- und Tumblewerte berechnet werden.

Zum Unterschied zu den bekannten integrativen Methoden wird beim erfindungsgemäßen Verfahren eine differentielle Messmethode verwendet, um das Strömungsfeld im Zylinderraum in seiner Struktur zu erfassen. Aus dieser Struktur können dann beliebige integrale Parameter abgeleitet werden.

Zum Unterschied zu den bekannten differentiellen Methoden wird beim erfindungsgemäßen Verfahren durch Erfassen aller drei Geschwindigkeitskomponenten die Auswertung sowohl einer Tumble- als auch Drallbewegung mit einem Messaufbau ermöglicht.

Dadurch können sowohl Tumble- als auch Drall-Kennwerte auf einfache Weise und ohne Änderung des Messaufbaues erfasst werden.

Dabei kann einerseits die Asymmetrie des axialen Strömungsfeldes w_{PIV} im Zylinderraum erfasst und ein Tumble-Kennwert auf Grund der Asymmetrie des axialen Strömungsfeldes w_{PIV} ermittelt werden. Dazu wird vorzugsweise gemäß der Gleichung

$$w_i = w_{PIV} - \bar{w}$$

ein reduziertes axialen Strömungsfeld w_i ermittelt, wobei \bar{w} die mittlere axiale Strömungsgeschwindigkeit des axialen Strömungsfeldes w_{PIV} ist.

Aus den axialen Geschwindigkeitskomponenten und dem Tumble-Kennwert für mehrere Einlassventilhübe kann eine Tumble-Zahl bestimmt werden.

Besonders gute Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn der Tumble-Kennwert auf Grund der Winkelgeschwindigkeit ω_i für jeden Messpunkt i gemäß der Gleichung

$$\omega_i = \frac{w_i}{r_i},$$

berechnet wird, wobei r_i der Abstand des Messpunktes i von der Mittelachse des Zylinderraumes ist. Jedem Messpunkt i wird dabei vorzugsweise ein Flächenelement f_i zugeordnet und die Winkelgeschwindigkeit der Tumble-Bewegung ω_{FK} gemäß der Gleichung

$$\omega_{FK} = \frac{\sum \omega_i \cdot r_i^2 \cdot f_i}{\sum r_i^2 \cdot f_i}$$

berechnet.

Zur Bestimmung einer Drall-Zahl wird andererseits aus den axialen und tangentialen Geschwindigkeitskomponenten (w, v) ein Moment des dreidimensionalen Strömungsvektorfeldes $\vec{V}(w, v, u)$

$$M = \rho \int_0^R \int_0^{2\pi} w(r, \varphi) v(r, \varphi) r^2 dr d\varphi,$$

berechnet, mit der Luftdichte ρ , den Zylinderkoordinaten r, φ und dem Radius R des Messzylinders.

Weiters wird aus dem Moment M des Strömungsvektorfeldes \vec{V} und einem gemessenen Volumenstrom \dot{V} der Zylinderladung ein reduzierter Drehungskennwert

$$\left(\frac{n_D}{n} \right)_{red} = \frac{2MD}{\rho \dot{V}^2}$$

berechnet, wobei D der Durchmesser des Messzylinders ist.

Schließlich kann aus den reduzierten Drehungskennwerten für mehrere Ventilhubhöhe durch Integration über dem Kurbelwinkel (α) und Wichten mit der Kolbengeschwindigkeit $c(\alpha)$ eine reduzierte Drallzahl

$$\left(\frac{n_D}{n} \right)_{m,red} = \frac{1}{\pi} \int \left(\frac{n_D}{n} \right)_{red} \left(\frac{c(\alpha)}{c_m} \right)^2 d\alpha$$

berechnet werden, wobei c_m die mittlere Kolbengeschwindigkeit ist.

Die Messebene ist normal zur Mittelachse des Zylinderraumes angeordnet, wobei vorzugsweise die Messebene in einem Abstand vom Zylinderkopfboden positioniert ist, welche dem halben Bohrungsdurchmesser des Zylinderraumes entspricht.

Die Messung wird mit einem stationären Strömungsprüfstand am kolbenlosen Zylinderraum durchgeführt, welcher in einen Beruhigungsbehälter mündet. Das erfindungsgemäße Verfahren macht sich dabei die Erkenntnis zunutze, dass die Größe des im Zylinderraum der Brennkraftmaschine auftretenden Tumble proportional zur Größe der Asymmetrie der axialen Strömungsstruktur im kolbenlosen Zylinderraum des stationären Strömungsprüfstandes ist.

Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, dass als differentielle Messmethode ein PIV-Verfahren (Particle-Imaging-Velocimetry) verwendet wird.

Die Erfindung wird im Folgenden an Hand der Figuren näher erläutert.

Es zeigen Fig. 1 den prinzipiellen Messaufbau am Strömungsprüfstand, Fig. 2 ein typisches Tumble-Strömungsfeld in der Messebene, Fig. 3 ein typisches Drall-Strömungsfeld in der Messebene und Fig. 3 einen Vergleich zwischen einer integralen Messmethode und der Messmethode nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

In Fig. 1 ist der verwendete Messaufbau für eine differentielle Messmethode mit einem stationären Strömungsprüfstand 1 dargestellt, welcher einen transparenten Messzylinder 2 aufweist, in welchen über ein Einlassventil 3 zumindest ein Einlasskanal 4 einmündet. An der dem Einlassventil 3 abgewandten Seite mündet der Messzylinder 2 in eine Beruhigungskessel 5. Die Gesamtlänge des Zylinderraumes 10 ergibt sich aus der Bohrung D und der daraus folgenden Kamerapositionierung zu einer Mindestlänge von 2,5 mal dem Bohrungsdurchmesser D. Als Messsystem wird ein Stereo-PIV-Verfahren mit einer ersten Kamera 6 und einer zweiten Kamera 7 eingesetzt, welche mit einer Auswerteeinheit 8 verbunden sind. Die Achsen 6a, 7a der beiden Kameras 2, 3 sind unter Winkel β, γ zwischen 25° und 60° , vorzugsweise 45° , zur Messebene ε geneigt angeordnet. Die Messebene ε ist normal zur Zylinderachse 10a ausgebildet und in einem Abstand a vom Zylinderkopfboden 20 angeordnet, welcher dem halben Durchmesser D des Zylinderraumes 10 entspricht.

Beim PIV-Verfahren (Particle-Imaging-Velocimetry) erhält das strömende Fluid Markierungspartikel und das Fluid wird mittels eines gepulsten Lasers 9 in der Messebene ε angestrahlt. Dies macht die Fluidverteilung, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit mittels der Markierungspartikel sichtbar. Entsprechende Bilder werden aufgenommen und mittels einer Bildverarbeitungssoftware in der Auswerteeinheit 8 ausgewertet. Es werden von jeder der beiden Kameras 6, 7 zweidimensionale Bilder in Form von Vektorfeldern aufgenommen und anschließend durch Differenzbildung der Stereo-Aufnahmen ein dreidimensionales Bild erstellt und dreidimensionale Vektorfelder für die tatsächlichen Strömungsge-



schwindigkeiten mit den Geschwindigkeitskomponenten w , v , u in den drei Raumrichtungen (axial, tangential, radial) ermittelt.

Das dreidimensionale Strömungsvektorfeld $\vec{V}(w, v, u)$ wird somit mit Hilfe der beiden Kameras 6, 7 differentiell erfasst, wobei durch das Stereo-PIV alle drei Geschwindigkeitskomponenten w , v , u bestimmt werden.

In Fig. 1 im Display der Auswerteeinheit 8, sowie vergrößert in Fig. 2, ist ein typisches Tumbleströmungsfeld 11 dargestellt, wobei mit den unterschiedlich großen Punkten (volle Punkte = Geschwindigkeit zum Beruhigungskessel 5, leere Kreise = Geschwindigkeit zum Einlasskanal 4) unterschiedlich große Geschwindigkeitskomponenten in axialer Richtung w und mit den Pfeilen die zweidimensionalen Vektoren aus tangentialer und radialer Geschwindigkeitskomponente v , u dargestellt sind. Es ist nun möglich, mit Hilfe der aus der DE 100 63 045 A2 bekannten Methodik aus den axialen Geschwindigkeitskomponenten w einen Tumblekennwert und mit mehreren Ventilhuben auch eine Tumblezahl zu ermitteln.

Zusätzlich lässt sich aber hier aus den axialen und tangentialen Geschwindigkeitskomponenten w , v auch ein Drehungskennwert und bei Messung mit mehreren Ventilhuben auch eine Drallzahl berechnen.

Bestimmung der Tumblezahl:

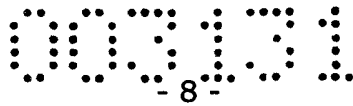
Aus dem durch die differenzielle Messmethode mittels PIV-Verfahren gemessenen dreidimensionalen Strömungsvektorfeld $\vec{V}(w, v, u)$ wird ein Tumble-Kennwert ω_{FK} durch ω_{Mot} berechnet. Zunächst wird aus dem axialen Strömungsfeld w_{PIV} , also den gemessenen axialen Geschwindigkeiten in Richtung der Zylinderachse 10a des Zylinderraumes 10, eine mittlere axiale Strömungsgeschwindigkeit \bar{w} berechnet. Durch Reduktion des Strömungsfeldes w_{PIV} um die mittlere Geschwindigkeit \bar{w} folgt das reduzierte, quasirotierende Strömungsfeld w_i unter Annahme einer Tumble-Achse 13, die durch den Zylindermittelpunkt 12 geht und senkrecht auf die Zylinderachse 10a des Zylinderraumes 10 steht. Es gilt somit:

$$w_i = w_{PIV} - \bar{w} \quad (1)$$

Aus diesem reduzierten axialen Strömungsfeld w_i berechnet sich die Winkelgeschwindigkeit ω_i in jedem Messpunkt i wie folgt:

$$\omega_i = \frac{w_i}{r_i} \quad (2)$$

wobei r_i der Abstand des Messpunktes i von der Tumble-Achse 13 ist.



Ist jedem Messpunkt i das Flächenelement f_i zugeordnet, so ergibt sich die Winkelgeschwindigkeit ω_{FK} der gesamten Tumble-Bewegung durch die Gleichung

$$\omega_{FK} = \frac{\sum \omega_i \cdot r_i^2 \cdot f_i}{\sum r_i^2 \cdot f_i} \quad (3)$$

Daraus kann der Tumble-Kennwert wie folgt berechnet werden:

$$\text{Tumble - Kennwert} = \frac{\omega_{FK}}{\omega_{Mot}}, \quad (4)$$

wobei ω_{Mot} die Motorwinkelgeschwindigkeit der Brennkraftmaschine ist.

Werden die Tumble-Kennwerte für mehrere Ventilhübe des Einlassventils 3 des Einlasskanales 4 bestimmt, so kann mittels Integration über den Kurbelwinkel α die Tumble-Zahl berechnet werden, wobei die Tumble-Kennwerte mit der Kolbengeschwindigkeit c gewichtet werden:

$$\text{Tumble - Zahl} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{\alpha=0}^{\pi} \frac{\omega_{FK}}{\omega_{Mot}} \cdot \left(\frac{c(\alpha)}{c_m} \right)^2 \cdot d\alpha. \quad (5)$$

Bestimmung der Drallzahl:

Mit Hilfe der beiden Geschwindigkeitskomponenten w und v lässt sich das Moment M des Strömungsvektorfeldes $\vec{V}(w, v, u)$ berechnen. Der Formalismus dazu lautet:

$$M = \rho \int_0^R \int_0^{2\pi} w(r, \varphi) v(r, \varphi) r^2 dr d\varphi \quad (6)$$

ρ ...Luftdichte

r, φ ...Zylinderkoordinaten

$R = D/2$

Mit dem Moment M und dem gemessenen Volumenstrom \dot{V} wird der reduzierte Drehungskennwert berechnet:

$$\left(\frac{n_D}{n} \right)_{red} = \frac{2MD}{\rho \dot{V}^2} \quad (7)$$

\dot{V} ...Volumenstrom

D ...Durchmesser des Messzylinders 2

Aus den Drehungskennwerten für mehrere Ventilhubbe des Einlassventils 3 folgt dann durch Integration über dem Kurbelwinkel α unter Berücksichtigung einer Ventilerhebungskurve und Wichten mit der Kolbengeschwindigkeit $c(\alpha)$ die reduzierte Drallzahl:

$$\left(\frac{n_D}{n}\right)_{m,red} = \frac{1}{\pi} \int \left(\frac{n_D}{n}\right)_{red} \left(\frac{c(\alpha)}{c_m}\right)^2 d\alpha \quad (8)$$

c_m ist die mittlere Kolbengeschwindigkeit.

Ein typisches Drall-Strömungsfeld 14 ist in Fig. 3 dargestellt.

Das Diagramm in Fig. 4 stellt einen Vergleich zwischen einer konventionellen integralen Messmethode (Momentenmessgerät) und den durch PIV-Messungen nach obigem Formalismus berechneten Drehungskennwerten dar. Dabei ist mit 15 die mit einer integralen Messmethode und mit Bezugszeichen 16 der mit dem beschriebenen PIV-Verfahren ermittelte reduzierte Drehungskennwert $(n_D/n)_{red}$ bezeichnet. Man erkennt eine hervorragende Übereinstimmung. Mit den Linien 17 bzw. 18 sind die Durchflusskennwerte $\mu\sigma$ bezogen auf den inneren Sitzquerschnitt für das integrale Verfahren bzw. für das PIV-Verfahren eingezeichnet. Mit h_v/d_v ist der Ventilhub normiert auf den Sitzdurchmesser d_v angeführt.

Ähnlich wie die Drehungskennwerte können auch Sekundärwirbel, wie man sie am Tumbleströmungsfeld in Fig. 1 und 2 an den schwarzen Pfeilen erkennen kann, einer quantitativen Analyse zugeführt werden. Dies gilt genauso auch für vertikale Schnittebenen, sodass nun die, mit Hilfe von PIV erfassten, differentiellen Strömungsfelder hinsichtlich unterschiedlichster Kriterien zu integralen Kennwerten und Zahlen weiterverarbeitet werden können.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Erfassen einer Wirbelströmung im Zylinderraum (10) eines zumindest teilweise optisch durchlässigen Messzylinders (2) an einem Strömungsprüfstand, wobei eine erste Kamera (6) auf eine Messebene (ϵ) im Zylinderraum (10) gerichtet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein dreidimensionales Strömungsvektorfeld $\vec{V}(w, v, u)$ der Wirbelströmung in der Messebene (ϵ) mittels der ersten Kamera (6) und einer auf die Messebene (ϵ) gerichteten zweiten Kamera (7) unter Verwendung einer Berechnungsmethode ermittelt wird, wobei die Achsen (6a, 7a) der Kameras (6, 7) unter einem definierten Winkel (β, γ) zur Messebene (ϵ) geneigt sind, und dass basierend auf dem dreidimensionalen Strömungsvektorfeld \vec{V} Drall- und Tumblewerte berechnet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Asymmetrie des axialen Strömungsfeldes w_{PIV} im Zylinderraum (10) erfasst und ein Tumble-Kennwert auf Grund der Asymmetrie des axialen Strömungsfeldes w_{PIV} ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Tumble-Kennwert auf Grund eines reduzierten axialen Strömungsfeldes w_i gemäß der Gleichung

$$w_i = w_{PIV} - \bar{w}$$

ermittelt wird, wobei \bar{w} die mittlere axiale Strömungsgeschwindigkeit des axialen Strömungsfeldes w_{PIV} ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Tumble-Kennwert auf Grund der Winkelgeschwindigkeiten ω_i für mehrere Messpunkte i gemäß der Gleichung

$$\omega_i = \frac{w_i}{r_i}$$

ermittelt wird, wobei r_i der Abstand des Messpunktes i von der Mittelachse des Zylinderraumes ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem Messpunkt i ein Flächenelement f_i zugeordnet wird und dass die Winkelgeschwindigkeit ω_{FK} der Tumble-Bewegung auf Grund einer über alle Messpunkte i gewichteten Mittelung der Winkelgeschwindigkeiten ω_i bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Winkelgeschwindigkeit der Tumble-Bewegung ω_{FK} gemäß der Gleichung

$$\omega_{FK} = \frac{\sum \omega_i \cdot r_i^2 \cdot f_i}{\sum r_i^2 \cdot f_i}$$

berechnet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den axialen und tangentialen Geschwindigkeitskomponenten (w, v) ein Moment M des dreidimensionalen Strömungsvektorfeldes \vec{V}

$$M = \rho \int_0^R \int_0^{2\pi} w(r, \varphi) v(r, \varphi) r^2 dr d\varphi$$

berechnet wird, mit der Luftdichte ρ , den Zylinderkoordinaten r, φ und dem Radius R des Messzylinders (10).

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Moment M des Strömungsvektorfeldes \vec{V} und einem gemessenen Volumenstrom \dot{V} der Zylinderladung ein reduzierter Drehungskennwert

$$\left(\frac{n_D}{n} \right)_{red} = \frac{2MD}{\rho \dot{V}^2}$$

berechnet wird, wobei D der Durchmesser des Messzylinders (10) ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den reduzierten Drehungskennwerten $(n_D/n)_{red}$ für mehrere Ventilhübe durch Integration über dem Kurbelwinkel (α) und Wichten mit der Kolbengeschwindigkeit $c(\alpha)$ eine reduzierte Drallzahl

$$\left(\frac{n_D}{n} \right)_{m,red} = \frac{1}{\pi} \int \left(\frac{n_D}{n} \right)_{red} \left(\frac{c(\alpha)}{c_m} \right)^2 d\alpha$$

berechnet wird, wobei c_m die mittlere Kolbengeschwindigkeit ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass als differentielle Messmethode ein PIV-Verfahren (Particle-Imaging-Velocimetry) verwendet wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messebene (ϵ) normal zur Zylinderachse (10a) des Zylinderraumes (10) angeordnet wird, wobei vorzugsweise die Messebene (ϵ) in einem Abstand (a) vom Zylinderkopfboden (20) gelegt wird, welche etwa dem halben Durchmesser (D) des Zylinderraumes (10) entspricht.
12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Erfassung einer Wirbelströmung im Zylinderraum (10) eines zumindest teilweise optisch

durchlässigen Messzylinder (2) an einem Strömungsprüfstand (1), mit einer ersten Kamera (6), die auf eine Messebene (ϵ) im Zylinderraum (10) gerichtet ist, nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zweite Kamera (7) auf die Messebene (ϵ) gerichtet ist, wobei die Kameras (6, 7) mit einer Auswerteeinheit (8) verbunden sind, welche dazu ausgebildet ist, ein dreidimensionales Strömungsvektorfeld w_{PIV} der Wirbelströmung in der Messebene (ϵ) unter Verwendung einer Berechnungsmethode zu ermitteln und basierend auf dem dreidimensionalen Strömungsvektorfeld Drall- und Tumblewerte zu berechnen.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messebene (ϵ) normal zur Zylinderachse (10a) des Zylinderraumes (10) angeordnet ist, wobei vorzugsweise die Messebene (ϵ) in einem Abstand (a) vom Zylinderkopfboden (20) positioniert ist, welche etwa dem halben Durchmesser (D) des Zylinderraumes (10) entspricht.

2010 03 25

Fu

Patentanwalt
Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk
A-1150 Wien, Mariahilfer Gasse 39/17
Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333
e-mail: ~~mailto:patent@babsir.at~~

00131

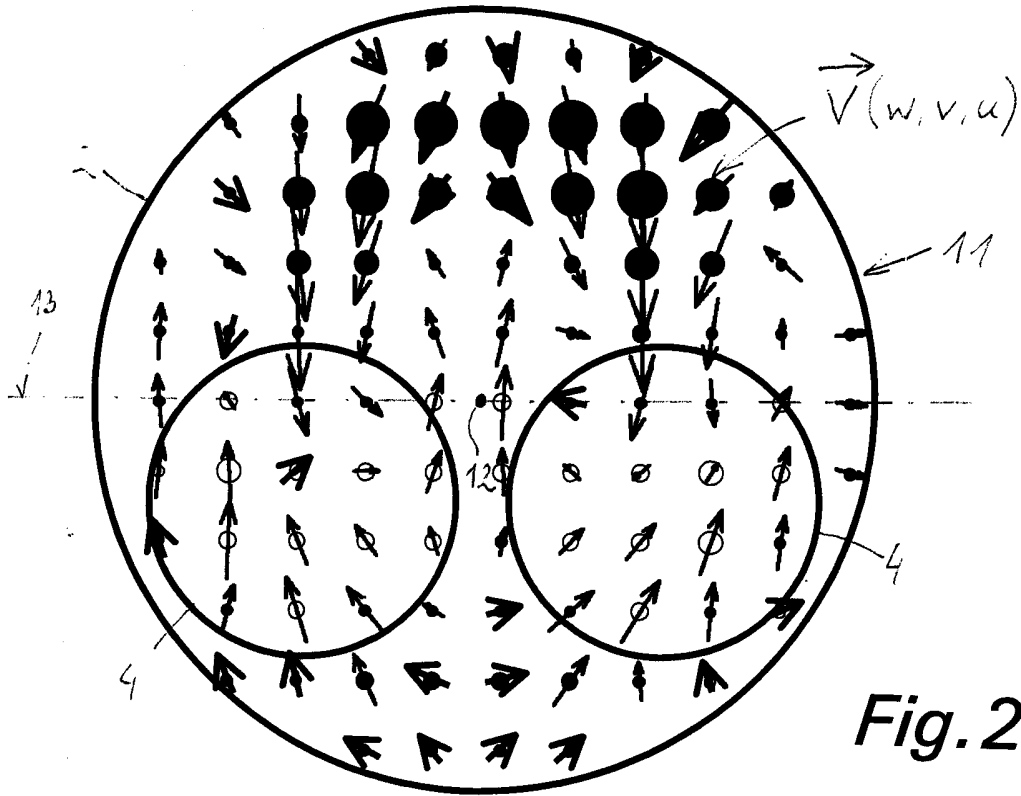


Fig. 2

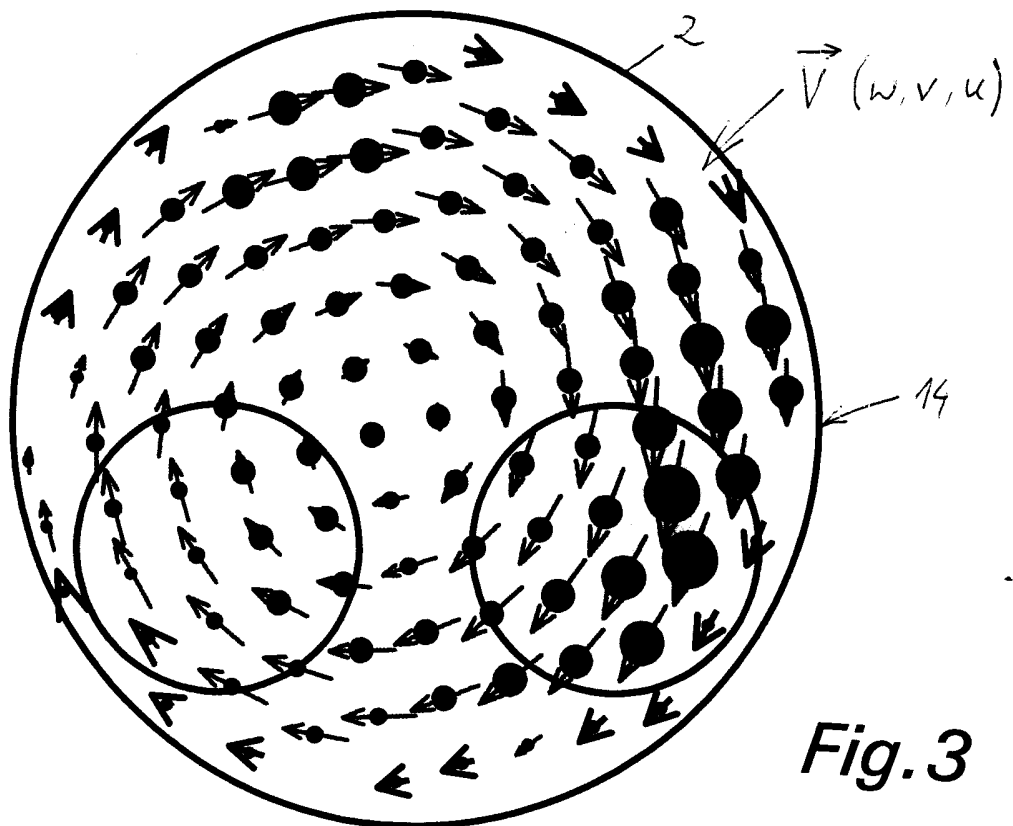


Fig. 3

003131

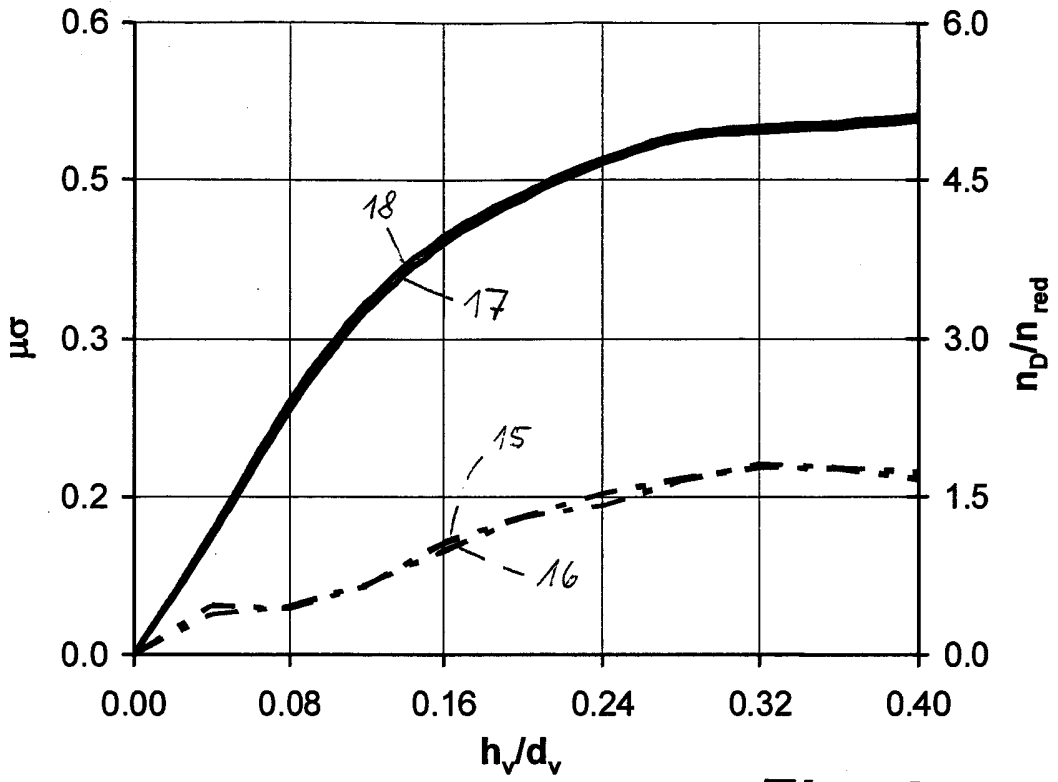


Fig. 4