

## **DOPPLER-GLOBAL-VELOCIMETRY (DGV) ANWENDUNGEN IM ZYLINDERRAUM UND AN ABGASKATALYSATOREN VON HUBKOLBENMOTOREN**

**Thomas Seidel, Henry Steuker**

IAV GmbH  
Kauffahrtei 45  
D-09120 Chemnitz

### **Abstract**

Ausgehend vom physikalischen Messprinzip wird die Anwendung der Doppler Global Velocimetry in der Motorenentwicklung aufgezeigt. Beispiele sind die Messung der Zylinderinnenströmung und der Strömung am Abgaskatalysator. Die Kenntnis der innermotorischen Strömung ist entscheidend für die Brennverfahrens- und Einlasskanalentwicklung. Zur Strömungsmessung im Zylinderraum werden zwei verschiedene Versuchsaufbauten verwendet: 1. Messung bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle und freier Abströmung (ohne Kolben), 2. Messung im geschleppten Motorbetrieb. Die Kenntnis der Strömung an Abgaskatalysatoren ist ein Hilfsmittel zur Auslegung des Katalysators und der vorgeschalteten Abgasanlage mit dem Ziel der Erhöhung der Abgaskonvertierung und Dauerhaltbarkeit. Es werden Messergebnisse, wie sie für einen Vierzylindermotor typisch sind, dargestellt.

### **1. Einleitung**

Die Entwicklung von Verbrennungsmotoren für Verkehrsfahrzeuge wird seit vielen Jahrzehnten von dem Bestreben geleitet, das Leistungsgewicht, den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen zu senken. Neben Leichtbau und reibungsreduzierenden Maßnahmen ist die Optimierung der innermotorischen Verbrennung dabei der Schlüssel zum Erfolg. Eine möglichst effektive und vollständige Verbrennung setzt zunächst eine gezielte Vermischung des Kraftstoffs mit der Verbrennungsluft voraus. Beide Vorgänge, die Verbrennung ebenso wie die vorausgehende Gemischbildung, laufen in wenigen Millisekunden ab, sind also mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen. Um ein besseres Verständnis für die in Einlasskanal und Brennraum ablaufenden Vorgänge zu gewinnen, wurden in den letzten Jahren mit großem Erfolg CFD-Programme generiert und weiterentwickelt, die es erlauben, die realen Vorgänge mit immer größerer Genauigkeit abzubilden. Um mit dieser Entwicklung auf dem Berechnungssektor Schritt zu halten, mussten sich aber auch die Messmethoden in vergleichbarem Maße weiterentwickeln, denn die Abbildung komplexer realer physikalischer Vorgänge in Rechenmodellen kann nie hundertprozentig gelingen. Vielmehr unterliegen Modelle immer bestimmten Vereinfachungen und Annahmen, deren Akzeptanz und Gültigkeit durch einen Vergleich mit Messungen belegt werden muss. In der Strömungsmesstechnik sind seit langem viele Geschwindigkeitsmessverfahren bekannt und im praktischen Einsatz. Ein Verfahren, welches bei akzeptablem Aufwand in der Lage ist, alle drei Komponenten eines Geschwindigkeitsfeldes flächenhaft orts aufgelöst in einem Messvorgang zu erfassen, ist für die Erfassung und Analyse innermotorischer Strömungsvorgänge von großem Vorteil, da es genau die Daten liefert, die zum Vergleich mit den berechneten CFD-Daten benötigt werden.

Mit der Doppler Global Velocimetry (DGV) steht eine Messtechnik zur Verfügung, die die oben genannten Anforderungen erfüllt.

## 2. Physikalisches Messprinzip

Das physikalische Wirkprinzip der DGV, die teilweise auch als Planar Doppler Velocimetry (PDV) bezeichnet wird, ist in **Abbildung 1** dargestellt [1]. Das Messverfahren ist sowohl für stationäre als auch für periodische Strömung geeignet. Hierbei wird das zeitlich bzw. phasengemittelte Strömungsfeld gemessen.

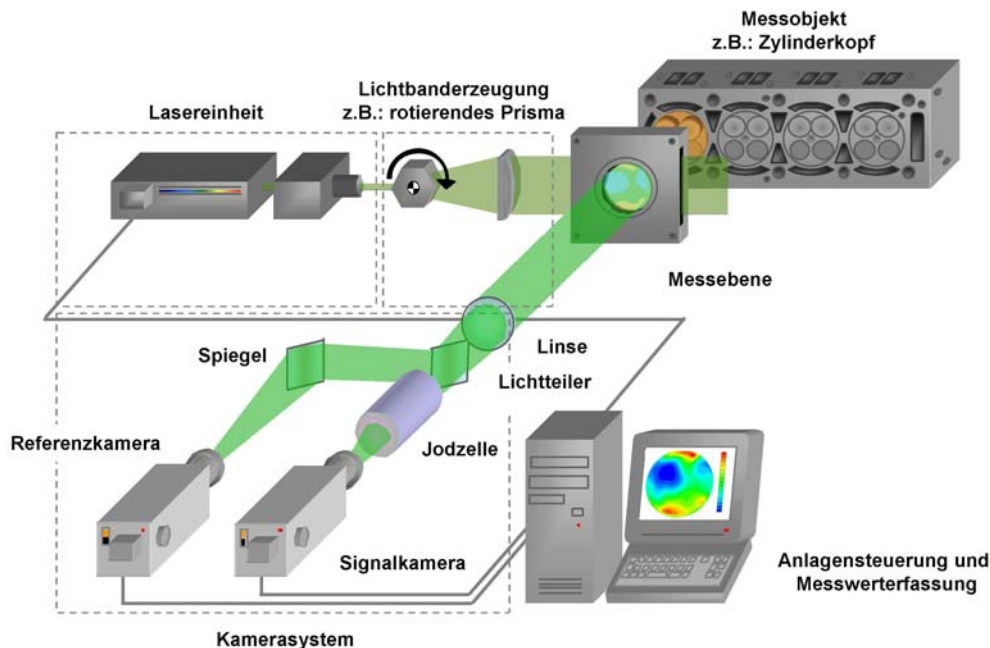


Abbildung 1: Schematische Darstellung des DGV-Verfahrens [1]

Ein frequenzstabilisierter Laser erzeugt über ein optisches System ein Lichtband (Laserschnitt), welches die partikelbehaftete Strömung beleuchtet. Infolge des Doppler-Effekts weist das von den Partikeln (Seeding) reflektierte Licht eine Frequenzverschiebung auf, aus der das Strömungsfeld berechnet wird. Die grundlegende Idee des Messprinzips ist die Messung der reflektierten Lichtfrequenz, indem das reflektierte Licht durch eine Absorptionszelle geleitet wird. Dies ist ein mit gasförmigem Jod gefüllter Glaskolben. Jod hat scharfe Absorptionslinien, von denen eine zur Frequenz-Intensitäts-Konvertierung benutzt wird. Zwei Kameras nehmen ein Bildpaar auf (Bild durch die Absorptionszelle und Referenz-Bild). Von diesem Bildpaar wird ein Intensitäts-Verhältnis berechnet, welches von der Frequenzverschiebung abhängt. Nach der zu Grunde liegenden physikalischen Theorie wird eine Geschwindigkeitskomponente gemessen, die in Richtung der Winkelhalbierenden zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung liegt. Alle drei Komponenten des Geschwindigkeitsfeldes können deshalb aus der Kombinationen verschiedener Beobachtungs- und Beleuchtungsrichtungen erhalten werden. Zur Messung der Zylinderinnenströmung und Strömung am Abgaskatalysator werden drei Beleuchtungsrichtungen und eine Beobachtungsrichtung gewählt, wobei zur Lichtbänderzeugung und Bildaufnahme in Abhängigkeit vom Anwendungsfall verschiedene Varianten Verwendung finden (**Abbildung 2**). Zur Lichtbänderzeugung sind dies entweder Polygon-Lichtschnitte (rotierendes Prisma) oder Powellinsen. Zur Bildaufnahme wird ein Kamerasystem entweder mit Objektiv oder mit Endoskop eingesetzt. Sowohl flexible als auch starre Endoskope sind verwendbar. Im Vergleich mit einem starren Endoskop hat ein flexibles Endoskop eine geringere räumliche Auflösung. Daraus ergibt sich für

das DGV-Messprinzip im Gegensatz zu anderen Messverfahren (z.B. PIV) keine Einschränkung, da die Position einzelner Partikel nicht bestimmt werden muss. Die Varianten zur Lichtbänderzeugung und Bildaufnahme lassen sich unabhängig voneinander kombinieren. Die Lichtbänder werden zeitlich nacheinander hell geschaltet. Der resultierende Geschwindigkeitsvektor setzt sich somit aus drei einzeln gemessenen Vektoren zusammen. Anschließend erfolgt eine Umrechnung in kartesische Koordinaten und die Darstellung des resultierenden Vektors.

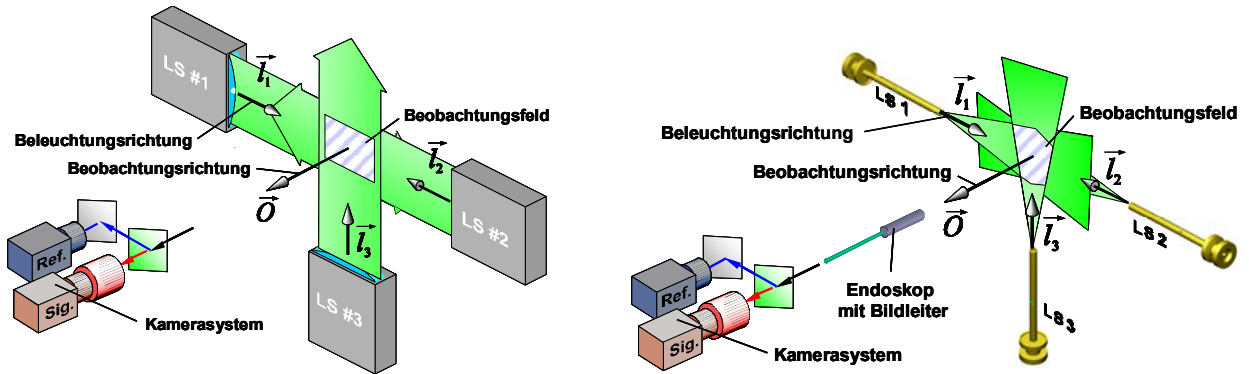


Abbildung 2: Varianten zur Lichtbänderzeugung und Bildaufnahme für die Messung aller 3 Geschwindigkeitskomponenten (links: Verwendung paralleler Lichtbänder und Kameraobjektiv, rechts: Verwendung von Powellinsen und Endoskop) [2, 3]

### 3. DGV-Anwendung zur Messung der Zylinderinnenströmung

#### 3.1. Versuchsaufbau

Zur Strömungsmessung im Zylinderraum werden je nach Aufgabenstellung zwei verschiedene Versuchsaufbauten verwendet. Die Messung der stationären Durchströmung der Einlasskanäle erfolgt bei freier Abströmung ohne Kolben. Um die Zylinderinnenströmung während der Kompressionsphase zu ermitteln, wird eine Messung im geschleppten Motorbetrieb durchgeführt. Die beiden Versuchsaufbauten sind in **Abbildung 3** dargestellt.



Abbildung 3 : Versuchsaufbauten zur DGV-Messung [3]

#### Stationäre Strömung

Ziel der stationären Strömungsmessung ist die Bewertung des Einströmvorganges unabhängig vom Kolbeneinfluss. Die Durchströmung der Einlasskanäle erfolgt mit konstanter Druckdifferenz von 50 mbar. Seeding und Luft werden in der Beruhigungskammer durchgemischt. Ein Strömungsgleichrichter verhindert unerwünschten Drall in der Zuströmung. Der Ventilhub wird stufenweise von ca. 1 bis 10 mm verändert. Im Prozess der Einlasskanalentwicklung können so z. B. verschiedene Einlasskanalvarianten miteinander verglichen werden [4, 5].

Die Lichtbänderzeugung erfolgt mit Polygon-Lichtschnitten, die Bilderfassung mit Kamerasystem und Objektiv. Mit austauschbaren Buchsen verschiedener Länge wird der Abstand der Messebene vom Zylinderkopf im Bereich von ca. 9 mm-100 mm variiert. Durch Kombination der Messebenen kann eine 3D - Darstellung des Strömungsfeldes generiert werden.

#### Transiente (periodische) Strömung im geschleppten Motor

Mit Hilfe der DGV-Messung im geschleppten Motor wird die Strömung in der Kompressionsphase untersucht. Gegenüber der stationären Strömungsmessung wird die DGV-Messung gegenwärtig nur in einer Messebene (ca. 8 mm unterhalb des Zylinderkopfes) in einem Durchmesserbereich von ca. 30 mm durchgeführt. Zur Lichtbänderzeugung kommen drei divergente Powelllinsen mit einem Öffnungswinkel von 60° zum Einsatz, die speziell für diesen Zweck entwickelt wurden. Die Lichtbänder der einzelnen Powelllinsen müssen sich in dem vom Endoskop beobachteten Bereich überdecken, um alle drei Komponenten des Strömungsfeldes messen zu können. Zur Bilderfassung dient ein Endoskop, welches an das DGV-Kamerasystem angeschlossen ist. Es wurde ein Endoskop mit flexiblem Bildleiter, der aus einem Glasfaserbündel besteht, verwendet. Dies hat gegenüber einem starren Endoskop die Vorteile einer mechanischen Schwingungsentkopplung des Kamerasystems vom Motor und einer höheren Lichtstärke.

Die Lichtbänderzeugung erfolgt stroboskopisch in Abhängigkeit von der Kolbenposition durch Triggerung des Laserlichtes mit einer Auflösung von 5° Nockenwinkel. Die Messebene wird somit während der Messzeit von ca. 30 s je Lichtschnitt mehrfach belichtet. Daraus resultiert eine Mittelung des Strömungsfeldes über mehrere Zyklen in Abhängigkeit von der Drehzahl. Die Belichtungszeit ergibt sich aus der Lichtintensität der Lichtbänder in Verbindung mit der Empfindlichkeit der Kameras. Sie wird experimentell ermittelt.

### **3.2. Exemplarische Resultate der stationären Strömungsmessung**

Die zu erzielende Ladungsbewegung ist abhängig von den Anforderungen des jeweiligen Brennverfahrens. Die in **Abbildung 4** dargestellten Strömungsfelder zeigen typische Ladungsbewegungen von Drall-, Tumble- und Durchflusskonzepten, die an einem saugrohreinspritzenden Vierventil-Ottomotor erzeugt wurden. Tumble- und Drallströmung unterscheiden sich hinsichtlich der Lage der Achse des Hauptwirbels. Drallwirbel haben eine Wirbelachse parallel zur Zylinderachse, Tumblewirbel senkrecht dazu. Durchflusskonzepte sind auf maximalen Durchfluss ausgelegt, daher möglichst ohne Wirbelbildung.

Die grafischen Darstellungen geben einen Eindruck von den Messmöglichkeiten mit DGV. Je Messebene werden bis zu 320 x 256 Messwerte (üblicher Datensatz: 120 x 120 Messwerte) aufgenommen. Der Volumendatensatz wird aus Messdaten von 8 bis 11 Messebenen zusammengesetzt. Die Schnittebene für die Darstellung eines so gemessenen Volumendatensatzes kann frei gewählt werden. Das gemessene, orts aufgelöste Geschwindigkeitsfeld ermöglicht es, charakteristische Kennzahlen der Strömung zu berechnen und deren Korrelation zu Verbrennungsergebnissen des Motors zu untersuchen. Hierzu wurde eine Drallströmung durch Abschalten eines der beiden symmetrisch angeordneten Einlassventile erzeugt. Die so asymmetrisch einströmende Luftmasse erzeugt dann einen Drallwirbel. So konnte das Drallniveau erhöht werden. Die Tumblebewegung wurde durch ein Tumbleklappensystem variiert, bei dem der unter Teil des Einlasskanals verschlossen wird und die angesaugte Luft vorrangig über die Oberseite des Einlassventils einströmt. Im Vergleich zum Durchflusskonzept, bei dem eine maximale Zylinderfüllung erreicht werden soll und die Einströmung über den gesamten Umfang des Ventils erfolgt, wurde die Ladungsbewegung verändert und der Einfluss der so erzeugten Strömung auf die Verbrennung im Motorbetrieb untersucht. Die Verbrennungsergebnisse, die hier am Motorbetriebspunkt von 2000 min<sup>-1</sup>,

einem mittleren Effektivdruck von 2 bar und einem Luft-Kraftstoffverhältnis von 1,6 ermittelt wurden, zeigten dann eine Verringerung der HC- und NO<sub>x</sub>-Emissionen bei gleichbleibendem Kraftstoffverbrauch durch die erhöhte Drallbewegung. Die geschlossene Ladungsbewegungsklappe generierte eine starke Tumbleströmung. Dadurch konnte der Vorzündbedarf und die Brenndauer stark verkürzt werden. Auch eine deutliche Verringerung der Stickoxidemission von über 50 % war zu erkennen. Da durch die Generierung der Ladungsbewegungen Verluste in der Füllung eintreten, musste der Motor zum Erreichen des Motorbetriebspunktes entdrosselt werden. Durch die Gerichtete Ladungsbewegung wird der Transport des Luft-Kraftstoffgemisches beeinflusst [6].

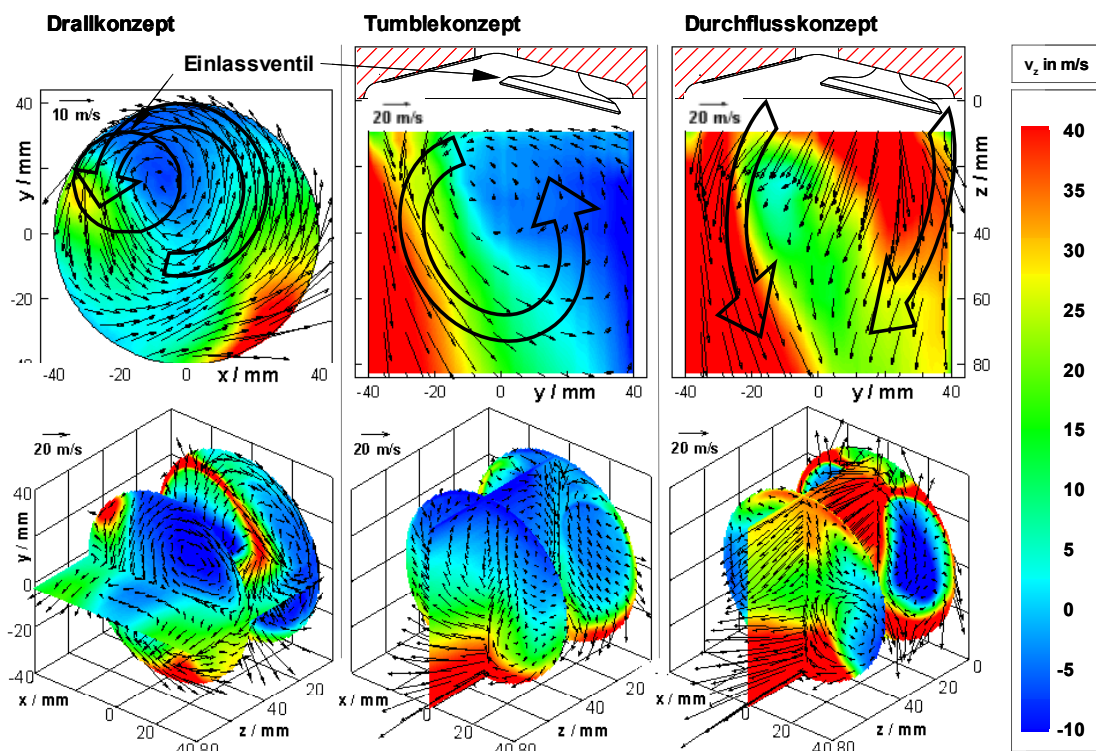


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Strömungsbilder aus den stationären Strömungsversuch

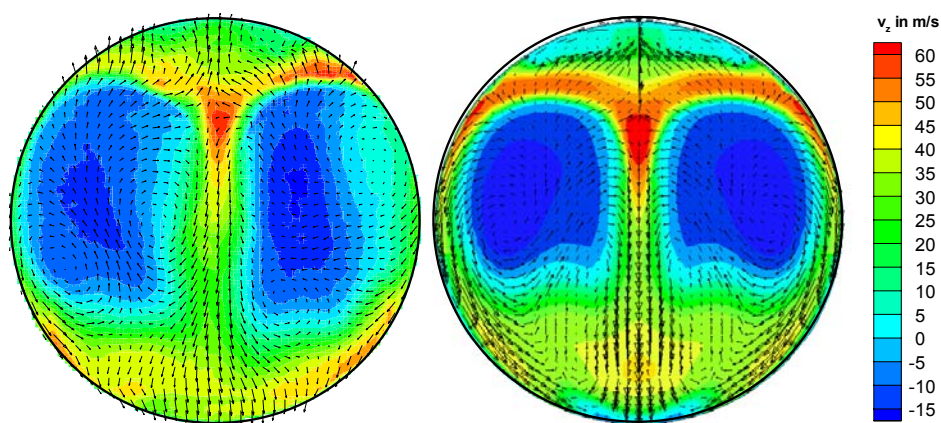


Abbildung 5: Vergleich eines gemessenen (links) und eines berechneten (rechts) stationären Strömungsfeldes (Bedingungen: Abstand der Messebene vom Zylinderkopf 15 mm, Ventilhub 10 mm, positive z-Koordinate zeigt vom Zylinderkopf weg)

Weitere Ziele der Strömungsmessung sind die Validation der CFD-Daten und der Einfluss der Fertigung auf das Strömungsfeld. **Abbildung 5** zeigt ein gemessenes Strömungsbild mit leicht asymmetrischer Einströmung die im berechneten Strömungsfeld nicht zu erkennen ist.



Diese asymmetrische Einströmung ist auf Fertigungseinflüsse zurückzuführen. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch die Generierung von Ladungsbewegung das Strömungsfeld symmetrischer und stabiler wird, und sich dann in geringeren zyklischen Schwankungen der Verbrennung zeigt [6].

### 3.3. Ergebnisse der transienten Strömungsmessung

Die Messung der Zylinderinnenströmung im geschleppten Motorbetrieb bietet den Vorteil der Untersuchung einer periodischen Strömung unter Verwendung realer Kolbengeometrien. Sie ist technisch komplizierter als die stationäre Strömungsmessung. Eine besondere Schwierigkeit besteht in der Einbringung geeigneter optischer Zugänge für die Lichtschnittzeuger und die Bildaufnahme. Dieses Problem wurde durch den Einsatz von Powellinsen und Endoskopen gelöst. Bisherige DGV-Messungen im geschleppten Motorbetrieb wurden sowohl an einem Otto- wie auch einem Diesel-Einzylindermotor durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die DGV-Messung im geschleppten Motorbetrieb während der Kompressionsphase möglich ist [7].

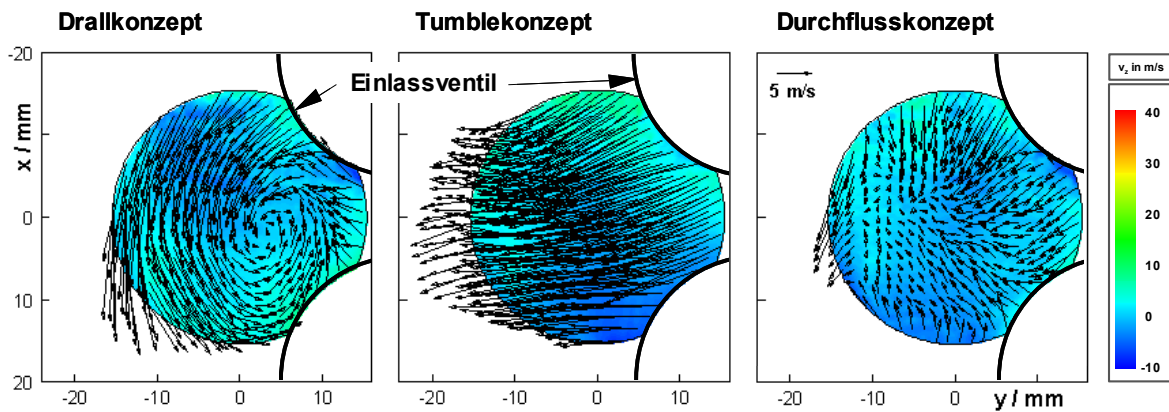


Abbildung 6: Beispiele für DGV- Messergebnisse am geschleppten Ottomotor

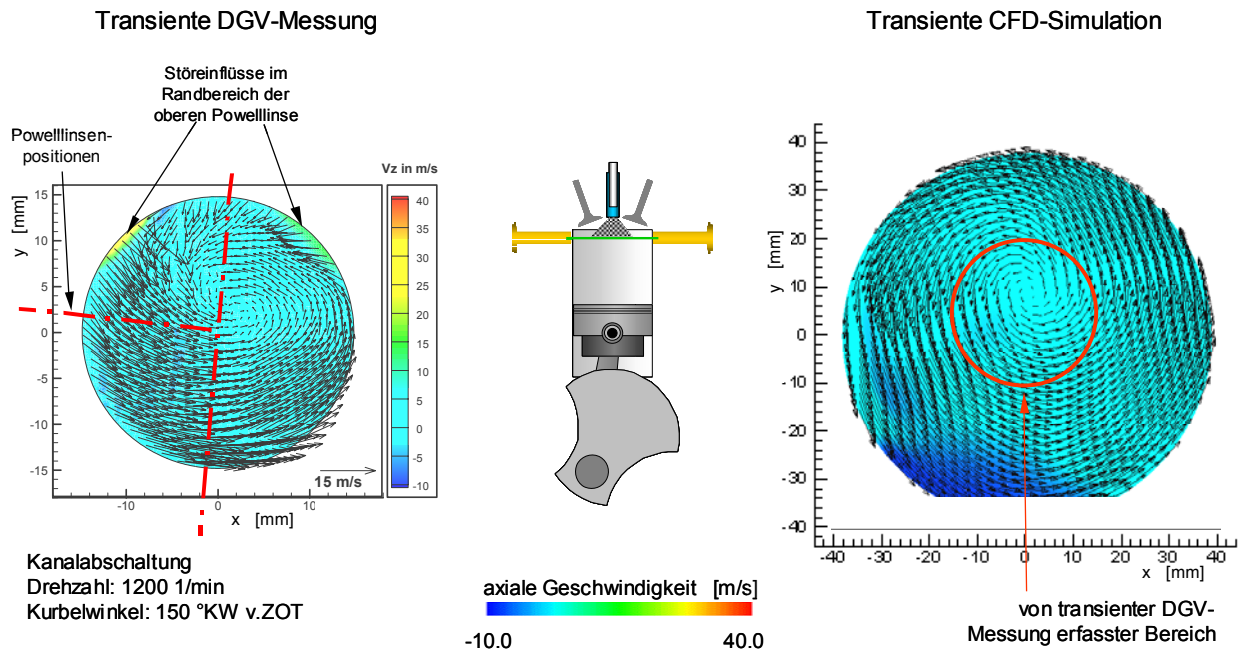


Abbildung 7: Vergleich DGV – CFD für Drallströmung im geschleppten Motorbetrieb (Drehzahl 1200  $\text{min}^{-1}$ , Kurbelwinkel: 150° KW v. ZOT)

In **Abbildung 6** sind beispielhafte Ergebnisse, welche mit dem Ottomotor erzielt wurden, dargestellt. Das Versuchsprogramm erster Versuche umfasste je ein Durchfluss-, Tumble- und Drallkonzept, wobei die Kolbenposition ( $50^\circ$  bis  $180^\circ$  vor ZOT) und die Kurbelwellendrehzahl ( $1200$  bis  $3000 \text{ min}^{-1}$ ) variiert wurden. Die obere Grenze der Drehzahl wurde nicht durch das Messprinzip, sondern durch das Verdampfen des Seedings infolge Temperaturerhöhung bestimmt, zumal der Motor ohne Wasserkühlung geschleppt wurde. Der Drehzahlbereich kann mit Wasserkühlung oder durch den Einsatz von Rauchpartikeln als Seeding nach oben erweitert werden. **Abbildung 7** zeigt beispielhaft ein Ergebnis der transienten DGV-Messung und der ebenfalls in der IAV GmbH durchgeführten transienten CFD-Simulation am Beispiel der Drallströmung, wobei eine gute Übereinstimmung erkennbar ist.

#### 4. DGV-Anwendung in Katalysatoren

Katalysatoren sind eine wichtige Baugruppe im Automobilbau. Kontinuierlich schärfer werdende Abgasgrenzwerte erfordern ständige Anpassungsarbeit ihres Betriebsverhaltens um höhere Umsetzungsraten der Schadstoffe zu erzielen. So müssen Katalysatoren nach erfolgreichem Kaltstart des Motors möglichst rasch ihre Betriebstemperatur erreichen und das bei gleichzeitig sehr geringem Massendurchsatz. Hier ist eine anisotrope Durchströmung erwünscht, um lokal hohe Durchsätze, hohe Temperaturen und gute Konvertierungsraten zu realisieren. Andererseits sollte der Katalysator bei Vollastbetrieb des Motors möglichst homogen durchströmt werden, damit die thermische Belastung auf den Monolithen so gering wie möglich bleibt.

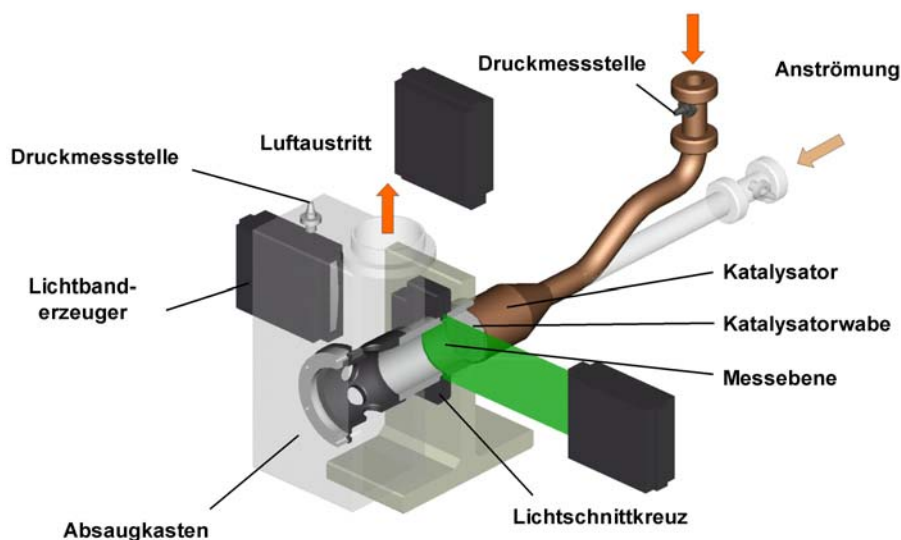


Abbildung 8: Experimenteller Aufbau, Adaption eines Abgasstrangs an die DGV-Messzelle

Die Untersuchung der Katalysatordurchströmung bei unterschiedlichen Massenströmen und bei Verwendung ausgewählter die Strömung beeinflussender Maßnahmen wurde mit der Doppler-Global-Velocimetry (DGV) durchgeführt [8]. Hierzu wurde eine Versuchseinrichtung konzipiert. Der Katalysator wird kalt, d.h. mit normaler Raumluft durchströmt. Die Zuströmung erfolgt entweder idealisiert durch ein gerades Rohr oder durch den Krümmer eines realen Vierzylindermotors, wobei hier die vier Zylinderauslässe gleichzeitig oder einzeln durchströmt werden können. Es wird das Strömungsfeld vor dem Monolithen mittels einer Endoskopoptik ausgemessen und das ausströmseitige Strömungsfeld am offenen Querschnitt mit einer gewöhnlichen Optik erfasst. Ziel der Untersuchung ist die Bestimmung der Katalysatordurchströmung in Abhängigkeit vom Massendurchsatz und dem Aufbau des Monolithen, zusätzlich wurden unterschiedliche Maßnahmen zur Beeinflussung der Anströmung am Katalysatoreintritt betrachtet. Wünschenswert wäre eine möglichst fokussierte Strömung

bei niedrigen Massendurchsätzen, wie sie z. B. bei Motorstart und bei geringer Leistungsabgabe vorliegen, wodurch lokal begrenzte hohe Umsetzungsraten im Katalysator das Erreichen der sog. light-off-Temperatur sicherstellen. Demgegenüber sollte die Durchströmung des Katalysators bei großen Durchsätzen möglichst homogen ausgebildet sein, um lokale Hot-spots zu vermeiden und eine möglichst gleichmäßige thermische Belastung des Monolithen zu erreichen.

Zur Beurteilung des Strömungsfeldes werden aus der Geschwindigkeitsverteilung über den Katalysatorquerschnitt integrale Größen abgeleitet. Eine etablierte Größe [9] ist der Uniformity Index  $\gamma$ , der die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung  $c_i$  beschreibt, wobei hier der Betrag der Differenz zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit betrachtet wird und N die Anzahl der Zellen des Monolithen ist:

$$\gamma = 1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^N |c_i - \bar{c}|}{N \cdot \bar{c}} \quad (1)$$

Eine gleichförmige Strömung wird durch  $\gamma = 1$  beschrieben, es sind also für hohe Massendurchsätze möglichst große Werte für  $\gamma$  anzustreben. Es zeigt sich, dass höhere Zelldichten homogenere Durchströmungen ergeben, wobei insbesondere höhere Zelldichten im Kern des Monolithen zu gleichmäßigen Strömungsverteilungen führen, wie das Beispiel eines gebauten Monolithen aus einem Kern mit 900 Zellen pro Quadratzoll (cells per square inch) und einem äußeren Ring mit 350 cpsi zeigt.

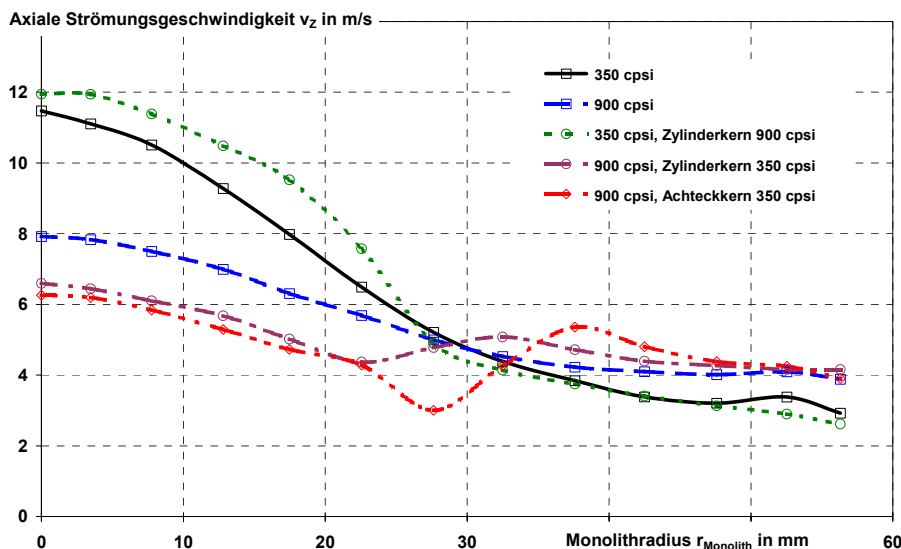


Abbildung 9: Radiale Geschwindigkeitsverteilungen bei Monolithen mit unterschiedlichen Zelldichten

Ein Katalysator mit vertauschter Zelldichtenanordnung (900 cpsi außen und 350 cpsi innen) erzeugte eine ungünstige Durchströmung mit hohem Kernmassenstrom, wie die radialen Geschwindigkeitsverteilungen in **Abbildung 9** zeigen. Zur Charakterisierung der Strömung bei kleinen Durchsätzen bietet sich der Fokussierkoeffizient  $F$  an, der das Verhältnis des Massenstroms im Kern des Monolithen zum Gesamtmassenstrom darstellt:

$$F = \frac{\dot{m}_{Kern}}{\dot{m}_{Kat}} \quad (2)$$

Im Zuge der Untersuchungen wurden verschiedene strömungsbeeinflussende Maßnahmen betrachtet, **Abbildung 10**, wobei sich zeigt, dass der Effekt einer möglichst starken Fokus-



sierung der Strömung mittels eines verschiebbaren Rohres erzielt wird, wie es in Patentschriften von [10, 11] beschrieben wird.

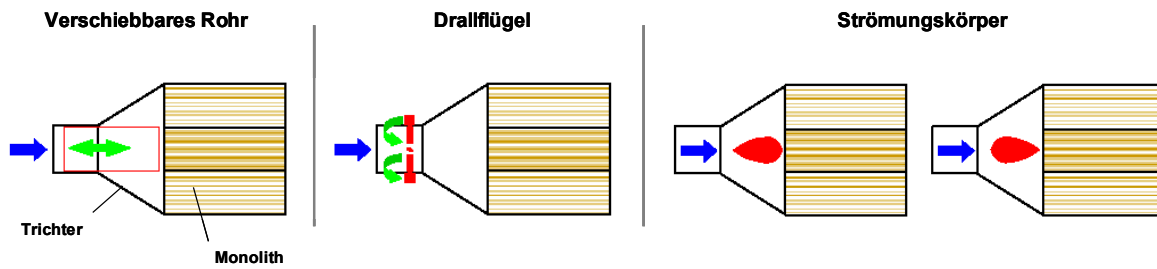


Abbildung 10: Maßnahmen zur Strömungsbeeinflussung

In **Abbildung 11** sind die erreichten Fokussierkoeffizienten der in **Abbildung 10** skizzierten Maßnahmen dargestellt, die höchste Fokussierung kann mit einem voll ausgefahrenen Rohr (Abstand 0 mm zum Monolith) erreicht werden.

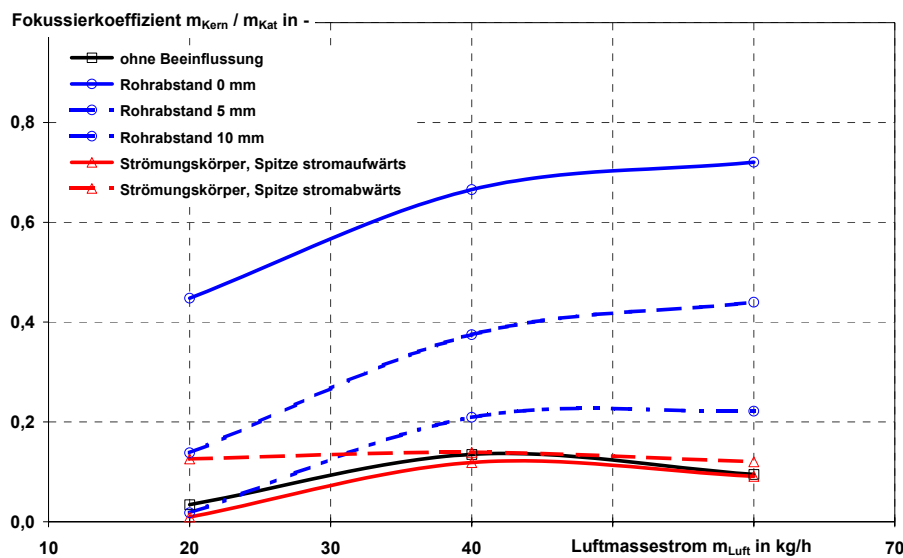


Abbildung 11: Fokussierungsgrad verschiedener Maßnahmen über dem Gesamtmassenstrom

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Doppler Global Velocimetry erlaubt die gleichzeitige Messung von drei Geschwindigkeitskomponenten in einer Ebene. Eine Besonderheit des Verfahrens ist dessen Optimierung für die Messung des zeitlich- bzw. phasengemittelten Strömungsfeldes. Dreidimensionale Strömungsfelder werden aus mehreren nacheinander gemessenen Ebenen zusammengesetzt. In den beschriebenen Versuchsaufbauten zur Messung der Zylinderinnenströmung werden Lichtschnitte aus drei Richtungen mit Hilfe von hierfür entwickelten Polygon-Lichtschnitten oder Powellinsen erzeugt. Ein Kamerasystem zeichnet das reflektierte Licht auf, wobei teilweise ein neu entwickeltes flexibles Endoskop verwendet wurde. Ein wesentliches Versuchsergebnis ist der Nachweis der Eignung der Doppler Global Velocimetry für die Messung der Zylinderinnenströmung während der Kompressionsphase im geschleppten Motorbetrieb. Dies wurde am Beispiel von drei grundlegenden Konzepten der Ladungsbewegung (Drall- Tumble- und Durchflusskonzept) dargestellt. Auf Grund der schnellen und hoch aufgelösten Messung von Strömungsfeldern hat sich die Anwendung der Doppler Global Velocimetry zu einer standardmäßigen Dienstleistung der IAV GmbH entwickelt. Neben der Messung der Zylinderinnenströmung erfolgen auch Messungen an anderen Bauteilen. Eine

weitere Anwendungsmöglichkeit der DGV-Messtechnik ist die Strömungsmessung an Abgaskatalysatoren. Die Kenntnis der Strömung ist hier ein Hilfsmittel zur Auslegung des Katalysators und der vorgeschalteten Abgasanlage, mit dem Ziel der Erhöhung der Abgaskonvertierung und Dauerhaltbarkeit. Hierzu werden Messergebnisse bei stationärer Strömung, wie sie für einen Vierzylindermotor typisch sind, gezeigt. Um den Einfluss dynamischer Effekte der Strömung im Abgassystem zu untersuchen, sind Versuche mit periodischer Strömung geplant, wie sie im realen Motorbetrieb auftreten. Perspektivisch sind auch Strömungsmessungen mit der DGV-Messtechnik im heißen Abgas unter Beimengung von Festpartikeln denkbar. Auf Grund der schnellen und hoch aufgelösten Messung von Strömungsfeldern hat sich die Anwendung der Doppler Global Velocimetry zu einer standardmäßigen Dienstleistung der IAV GmbH entwickelt. Neben der Messung der Zylinderinnenströmung und der Strömung an Abgaskatalysatoren erfolgen auch Messungen an anderen Bauteilen.

## Danksagung

Die Weiterentwicklung der Messtechnik erfolgte im Rahmen eines Kooperationsvertrages der IAV GmbH mit dem DLR e.V. Die Autoren danken insbesondere Herrn Dr. Schodl (DLR e. V) und seinen Mitarbeitern für Ihre wertvollen Beiträge zum Gelingen des Vorhabens. Weiterhin ist Prof. Peter Stücke (FH Zwickau) für seine Betreuung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der Katalysatorströmung zu danken.

## Literatur

- [1] Röhle, I.: Laser Doppler Velocimetry auf der Basis frequenzselektiver Absorption: Aufbau und Einsatz eines Doppler Global Velocimeters, Dissertation Bochum, 1999
- [2] Willert, C.; Roehle, I.; Schodl R.; Dingel O.; Seidel, T.: Application of Planar Doppler Velocimetry within Piston Engine Cylinders; 11<sup>th</sup> International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, 2002
- [3] Dingel, O., Seidel, T., Steuker, H.: Application de la « Doppler Global Velocimetry » (DGV) en vue d'une mesure de l'écoulement dans la chambre de combustion de moteurs à pistons, FLUVISU11, Lyon, France, 7-9 juin 2005
- [4] Zülch, S.; Behnk, K.; Deepe, R.; Findeisen, B.; Seidel, T.; Sommer, A.; Stiegler, L.: The New Hardware Assisted Inlet Port Development Process for Diesel Engines using Doppler Global Velocimetry; Detroit, USA, SAE 2005-01-0640
- [5] Dingel, O.; Kahrstedt, J.; Behnk, K.; Zülch, S.; Seidel, T.: Measurement of 3-D In-Cylinder Flow Fields using Doppler Global Velocimetry, Detroit, USA, SAE-Paper 2004-01-1409
- [6] Steuker, H.: Messung und Bewertung der Zylinderinnenströmung von Ottomotoren und deren Korrelation zu Motorkennwerten, Diplomarbeit TU Chemnitz - IAV GmbH, 2003
- [7] Lorenz, G.: Untersuchung zur Eignung der DGV-Messtechnik: Untersuchung zur Eignung der DGV-Messtechnik zur Messung von instationären Zylinderinnenströmungen im geschleppten Ottomotor, Fachhochschule Jena - IAV GmbH, 2005
- [8] Meinke, P.: Strömungsuntersuchung am Abgaskatalysator mit DGV, Westsächsische Hochschule Zwickau - IAV GmbH, 2004
- [9] Badimi, M.; u.a.: CFD Analysis and Experimental Validation of the Inlet Flow Distribution in Close Coupled Converters. SAE, Warrendale, 2003-01-3072, 2003.
- [10] Schutzrecht DE 3738539-C2
- [11] Schutzrecht DE 3903803-C2