

Doppler Global Velocimetry

Messung der Zylinderinnenströmung mit ottomotorischer Direkteinspritzung

Im Entwicklungsprozess motorischer Brennverfahren haben sich optische Messverfahren zur Strömungsmessung im Zylinderraum durchgesetzt. In der IAV GmbH wird hierfür seit 2000 die Doppler Global Velocimetry (DGV) genutzt. Flexible Endoskope und Powell-Linsen, die in Kooperation mit dem DLR e.V. entwickelt wurden, erlauben die Messung bei kompliziertem optischen Zugang [1]. Dadurch ist es zum Beispiel möglich, die Messungen mit ottomotorischer Direkteinspritzung durchzuführen. Die Adaption der Messtechnik kann mit geringem Aufwand an Serienmotoren erfolgen.

1 Einleitung

Die Nutzung der Doppler Global Velocimetry begann im stationären Strömungsversuch an Flowboxen und Zylinderköpfen [2]. Um die Ladungsbewegung im realen Motorbetrieb zu visualisieren und deren Auswirkung auf konkrete Gemischbildungs- und Brennverlaufsparameter zu untersuchen, wurde die Messtechnik für Messungen der Zylinderinnenströmung in der Ansaug- und Verdichtungsphase eines Hubkolbenmotors weiterentwickelt. Dabei wurde besonderer Wert auf eine möglichst einfache Applikation der Messtechnik auch an Serienmotoren gelegt. Außerdem wurde ein Ansatz gesucht, um auf Basis der schnell und kostengünstig zu erzielenden Ergebnisse der stationären Strömung Aussagen zur drehzahl- und lastpunktabhängigen Ladungsbewegung im Motorbetrieb ableiten zu können. Der gefundene Lösungsansatz konnte seine Eignung unter Beweis stellen, wie Vergleiche mit den im geschleppten Motor gemessenen Ergebnissen zeigen. Auf diese Weise ist es gelungen, die Lücke im Entwicklungsprozess zwischen stationären Strömungsergebnissen und realem Brennverlauf ein Stück zu schließen [3]. Bisher veröffentlichte DGV-Messergebnisse der Zylinderinnenströmung wurden jedoch ohne Kraftstoffeinspritzung erzielt. Nachfolgend wird gezeigt, dass die Doppler Global Velocimetry auch zur Messung mit ottomotorischer Einspritzung geeignet ist.

2 Messaufbau

2.1 Physikalisches Wirkprinzip

Die Doppler Global Velocimetry gehört zu den laseroptischen Lichtschnittver-

fahren. Unter Nutzung des Dopplereffektes werden alle drei räumlichen Geschwindigkeitskomponenten des Strömungsfeldes in einer Ebene orts aufgelöst gemessen [4]. Es ist möglich, verschiedene Varianten zur Lichtschnittzeugung und Bildaufnahme unabhängig voneinander zu kombinieren. **Bild 1** beinhaltet zwei typische Beispiele (links: Verwendung paralleler Lichtschnitte und Kameraobjektiv, rechts: Verwendung von Powell-Linsen und Endoskop) [5].

2.2 Versuchsträger

Als Versuchsträger zur Demonstration der Messmöglichkeit mit ottomotorischer Direkteinspritzung wurde ein Vierzylinder-Viertakt-Ottomotor mit Homogendirekteinspritzung und zirka 500 cm³ Hubvolumen pro Zylinder gewählt. Der Motor ist mit einem variablen Tumblesystem ausgestattet, durch welches eine Ladungsbewegung generiert werden kann.

Um die Wechselwirkung zwischen Einspritzstrahl und umgebender Strömung sichtbar zu machen, wurden zwei verschiedene Versuchsaufbauten angewendet:

- Messung bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle, gepulster Einspritzung und freier Abströmung (ohne Kolben)
- Messung im geschleppten Motorbetrieb.

2.3 Messaufbau bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle

Bild 2 zeigt den schematischen Versuchsaufbau bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle.

Für die Beleuchtung der Strömung kommen parallele Lichtschnitte zum Einsatz, die mit rotierenden Prismen erzeugt werden. Parafintröpfchen, die in die Einlassströmung eingebracht werden, stellen

Die Autoren



Dr.-Ing.
Thomas Seidel
ist Fachreferent Strömungsmesstechnik bei der IAV GmbH in Chemnitz.



Dipl.-Ing.
Henry Steuker
ist Versuchsingenieur Strömungsmesstechnik bei der IAV GmbH in Chemnitz.

zusammen mit den bei der Direkteinspritzung entstehenden Flüssigkeitströpfchen das für das Messverfahren erforderliche Seeding dar, das heißt es wird die Strömungsgeschwindigkeit dieser Seedingpartikel gemessen. Die Beobachtung des Strömungsfeldes erfolgt mit einem Kamerasystem. Es wurden Einzelmessungen in insgesamt acht senkrecht zur Zylinderachse angeordneten Messebenen durchgeführt und Volumendatensätze der Strömungsfelder mit und ohne Einspritzung erzeugt.

In Anlehnung an eine Motordrehzahl von 1200/min und Teillastbetrieb erfolgte die Einspritzung gepulst mit einer Frequenz von 10 Hz bei einem Einlassventilhub von 2 mm. Mit Hilfe der Impulsdauer wurde das globale Luft/Kraftstoff-Verhältnis von $\lambda=1$ eingestellt, **Bild 3** (links).

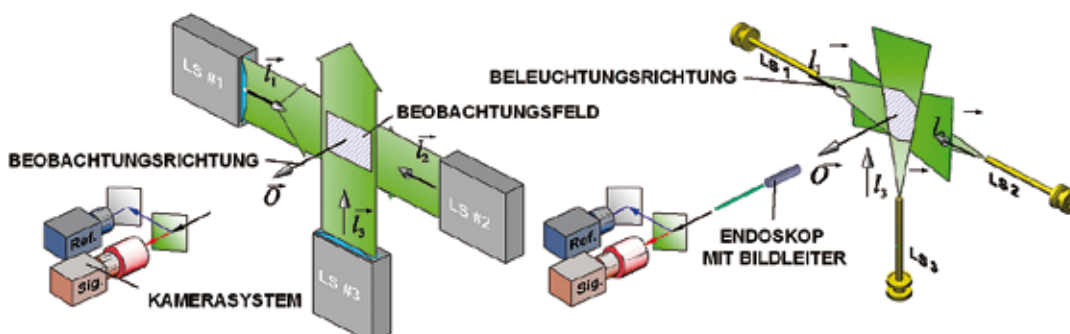


Bild 1: Varianten zur Lichtschnittzeugung und Bildaufnahme für die DGV-Messung aller drei Geschwindigkeitskomponenten in einer Ebene

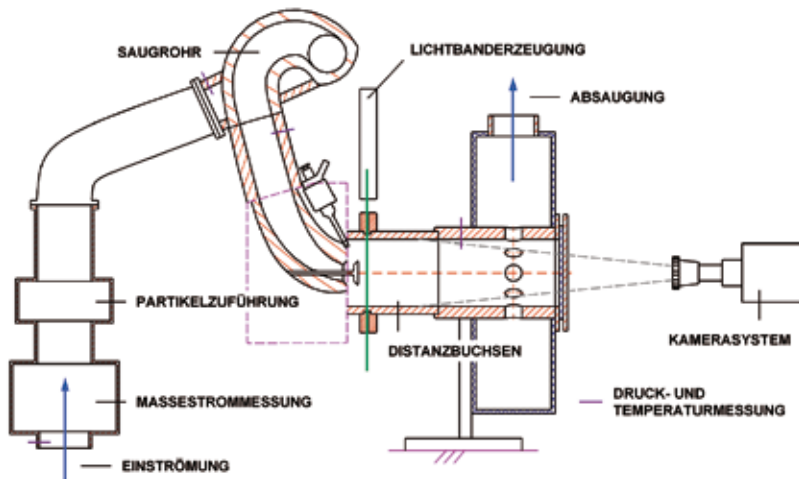


Bild 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle

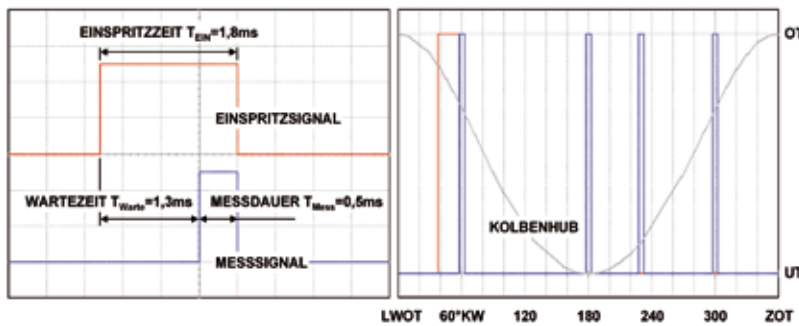


Bild 3: Triggersynchronisation der Einspritzung und Messung

2.4 Messaufbau im geschleppten Motorbetrieb

Die Strömungsmessung im geschleppten Ottomotor mit Direkteinspritzung erfolgte unter Verwendung der Powell-Linsen und einem Endoskop mit flexiblem Bildleiter. Um den Einspritzstrahl gut beobachten zu können, wurde im Beispiel eine senkrechte Lichtschnittenanordnung gewählt. Dabei ist das Endoskop rechtwinklig zur Zylinderachse angeordnet und eine von drei Powell-Linsen in der Zündkerzenbohrung

positioniert. Die dadurch entstehende Messebene, die sich aus der Überlagerung der drei Lichtbänder aus den verschiedenen Beleuchtungsrichtungen ergibt, ist in **Bild 4** dargestellt. Die Beobachtung erstreckt sich bis in den Zündkerzenbereich. **Bild 4** zeigt zudem die Verwendung einer Zwischenplatte, um die Positionierung der restlichen zwei Powell-Linsen und des Endoskops sicherzustellen, und eines verlängerten Kolbens zur Wiederherstellung der Kompression. Diese hat den Vorteil, dass

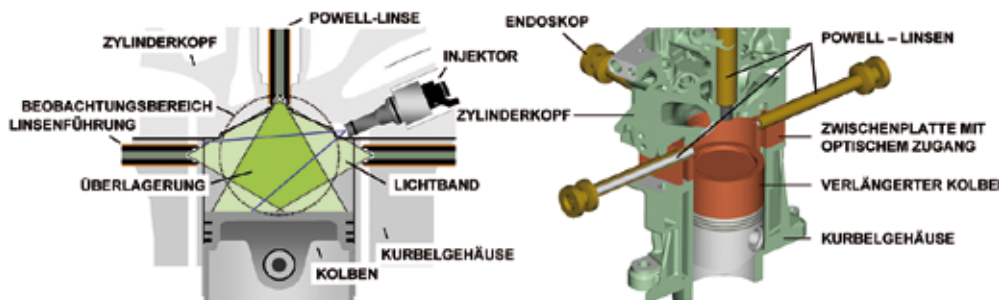


Bild 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Strömungsmessung im geschleppten Motorbetrieb

kaum mechanische Bearbeitungen am Serienmotor notwendig sind und er nach der DGV-Messung für Motorversuche wiederverwendet werden kann. Durch Mehrfachbelichtung des Kamerasystems, verbunden mit stroboskopischer Beleuchtung (Kurbelwinkelauflösung 5°), ergibt sich eine Mittelung des Strömungsfeldes über zirka 500 Zyklen. Im **Bild 3** ist rechts die verwendete Triggerung für Einspritzung und Messung dargestellt.

3 Messergebnisse der Zylinderinnenströmung mit ottomotorischer Direkteinspritzung

3.1 Messergebnisse bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle

Die Lage der Schnittebene der grafischen Darstellung der stationär gemessenen Strömungsfelder ist frei wählbar, da mehrere Messebenen vermessen wurden. **Bild 5** zeigt Beispiele gemessener Strömungsfelder mit und ohne Einspritzung in einer senkrechten und einer waagerechten Schnittebene. Die Farbskala in der senkrechten Darstellung entspricht dem Betrag der Geschwindigkeit und in der waagerechten Darstellung der Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Zylinderachse. Die Vektorkomponenten in der jeweiligen Ebene sind als Pfeile dargestellt. Die Richtung des Einspritzstrahles ist im **Bild** schematisch gekennzeichnet.

Durch die Unempfindlichkeit des DGV-Messverfahrens gegenüber Schwankungen der Tröpfchenkonzentration kann eine gleichzeitige Messung des Strömungsfeldes innerhalb des Einspritzstrahls und der umgebenden Ansaugluft erfolgen. Der Einfluss der Einspritzung auf das Strömungsfeld ist deutlich erkennbar. Durch die Einspritzung ist besonders in Ventilmähe eine hohe Strö-

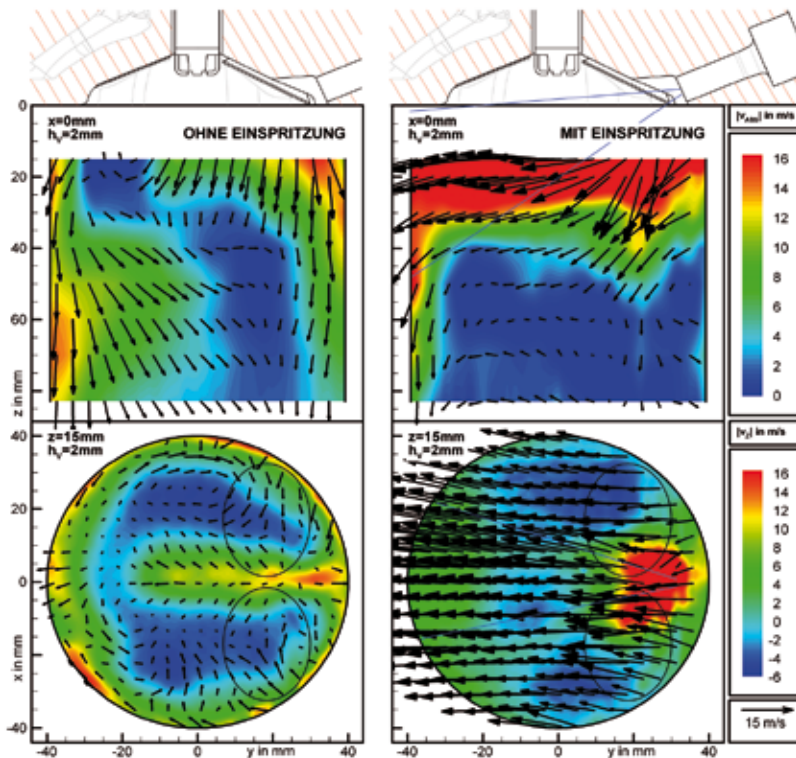


Bild 5: Vergleichende Darstellung der Strömungsfelder bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle

mungsgeschwindigkeit vorhanden, die das Strömungsfeld stark beeinflusst. Es treten hohe Strömungsgeschwindigkeiten in Richtung Zylinderwand auf, die die mittige Einströmung der Luft behindert.

Der Informationsgehalt dieser Strömungsfelder ist jedoch begrenzt, da der Kolbeneinfluss und dynamische Effekte unberücksichtigt bleiben. Um die Randbedingungen denen im Motorbetrieb besser anzupassen, wurden darüber hinaus Messungen im geschleppten Motorbetrieb durchgeführt.

3.2 Messergebnisse im geschleppten Motorbetrieb

In **Bild 6** sind Beispiele für entsprechende Messergebnisse dargestellt. Die ersten beiden Strömungsbilder zeigen einen Vergleich der Strömung mit und ohne Einspritzung bei einer Motordrehzahl von 3000/min, wobei die Einspritzung während der Einströmung bei 37 °KW nach dem LWOT erfolgte und im unteren Totpunkt gemessen wurde. Farblich sind

DRUCKTRANSMITTER FÜR MOTOREN-PRÜFSTÄNDE



KELLER



HOCHGENAU
-10...80 °C: 0,1%FS

BUS-FÄHIG

PROGRAMMIERBAR



...aus Liebe zur Perfektion.

KELLER Ges. für Druckmesstechnik mbH Tel. 07745 - 9214 0
E-Mail: eurocenter@keller-druck.com www.keller-druck.com

die Geschwindigkeitskomponenten senkrecht zur Blickrichtung dargestellt.

In beiden Strömungsfeldern ist die Ausbildung einer Tumbleströmung zu erkennen, die durch das aktivierte Tumblesystem erzeugt wurde. Das Wirbelzentrum liegt unterhalb des Messgebietes. Trotz der starken Beeinflussung des Strömungsfeldes während der Einspritzung, die sich aus den Messungen bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle ergibt, zeigt sich im geschleppten Motorbetrieb kein wesentlicher Unterschied der beiden Strömungsfelder zum Messzeitpunkt. Bei geänderten Parametern der Einspritzung könnte der Einfluss der Einspritzung durchaus größer sein. Es ist weiterhin zu beachten, dass sich im stationären Fall die Strömung zwischen den einzelnen Einspritzvorgängen vermutlich nicht ausreichend normalisiert. Auf Grund dieser Randbedingungen sind die Messungen im geschleppten Motorbetrieb der stationären Messung zu bevorzugen.

Bild 6 beinhaltet außerdem Messergebnisse, die demonstrieren sollen, dass es auch möglich ist, die Messung während der Einströmung und Einspritzung vorzunehmen. Dies eröffnet Spielraum für weiterführende Untersuchungen.

4 Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt den Einsatz der Doppler Global Velocimetry zur Strömungsmessung im Zylinderraum mit ottomotorischer Direkteinspritzung. Hierzu wurden Messungen sowohl bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle als auch im geschleppten Motorbetrieb durchgeführt.

Die Ergebnisse belegen die Messmöglichkeit mit Doppler Global Velocimetry in beiden Fällen, wobei das Strömungsfeld im Strahl und der Umgebung gleichzeitig gemessen werden konnte, da sich das Messverfahren relativ unempfindlich gegenüber Konzentrationsunterschieden der in der Strömung enthaltenen Tröpfchen (Seeding) verhält. Es zeigt sich, dass der Informationsgehalt der Messergebnisse bei stationärer Durchströmung der Einlasskanäle für Einspritzuntersuchungen begrenzt ist, da der Kolbeneinfluss und dynamische Effekte unberücksichtigt bleiben müssen. Beispielsweise wurde im stationären Strömungsversuch die Messung mit einer Triggerfrequenz

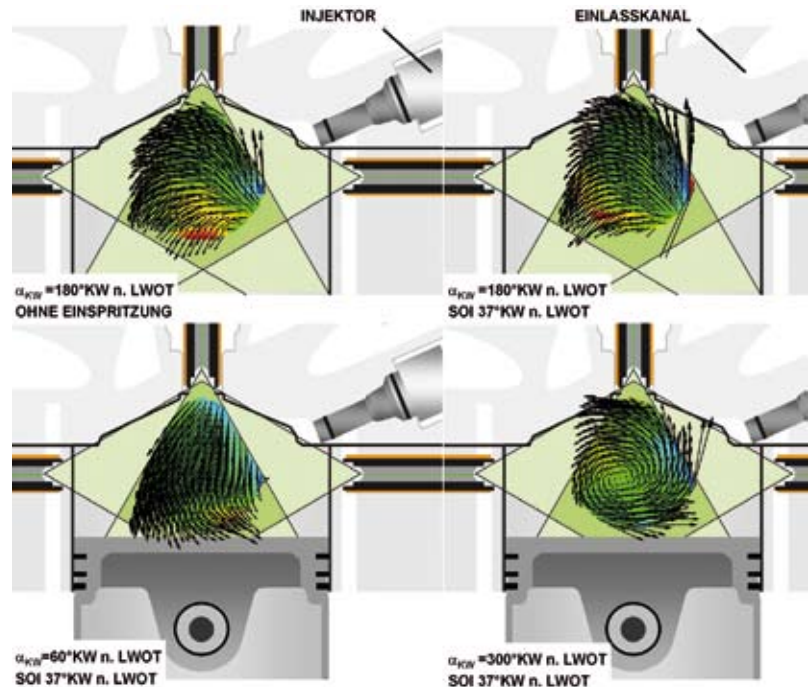


Bild 6: Vergleichende Darstellung der Strömungsfelder im geschleppten Motorbetrieb

von 10 Hz durchgeführt, das heißt die Strömung konnte sich zwischen den einzelnen Einspritzvorgängen nicht beruhigen. Es wurde festgestellt, dass unter den gegebenen Randbedingungen ein wesentlicher Einfluss der Einspritzung auf die globale Ladungsbewegung nur kurzzeitig vorhanden ist. Die vorhandene DGV-Messtechnik erlaubt weiterführende Untersuchungen zur Einspritzung im ottomotorischen Prozess bei Variation der Einspritzparameter.

5 Weitere Anwendungen

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 erstreckt sich das Einsatzgebiet auch auf die Messung der Strömung an Abgaskatalysatoren und an anderen Bauteilen. So wurden beispielsweise Spülströmungen von Zweitaktmotoren bei stationärer Durchströmung und auch im geschleppten Motor mit bis zu 8500/min vermessen. Auch Aufgaben zur Messung des Strömungsfeldes im Abgastrakt, zum Beispiel die Ausströmung aus einer

Turboladerturbine mit bis zu 120.000/min, sowie Strömungsfelder vor und nach Katalysatorwaben wurden gelöst. Hierbei wird die CFD-Simulation durch die Bereitstellung von Messdaten unterstützt.

Literaturhinweise

- [1] Seidel, T.; Steuker, H.: Doppler-Global-Velocimetry (DGV) Anwendungen im Zylinderraum und an Abgaskatalysatoren von Hubkolbenmotoren; Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", BTU Cottbus, Deutschland, 6. bis 8. September 2005
- [2] Dingel, O.; Kahrstedt, J.; Seidel, T.; Zülch, S.: Dreidimensionale Messung der Ladungsbewegung mit Doppler Global Velocimetry. In: MTZ 64 (2003), Nr. 2
- [3] Dingel, O.; Seidel, T.; Steuker, H.: Strömungsmessung während der Kompression mit Doppler Global Velocimetry. In: MTZ 67 (2006), Nr. 5
- [4] Röhle, I.: Laser Doppler Velocimetry auf der Basis frequenzselektiver Absorption: Aufbau und Einsatz eines Doppler Global Velocimeters, Dissertation Bochum, 1999
- [5] 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

Download des Beitrags unter
www.ATZonline.de

ATZ
online

MTZ

Read the English e-magazine.
Order your test issue now:
vieweg@abo-service.info



Empfehlen Sie die ATZ oder MTZ Schöne Belohnung

Mit ATZ und MTZ sind Sie immer top informiert! Überzeugen Sie einen neuen Leser von den Vorzügen des Abos. Als Dankeschön erhalten Sie von uns 100 € bar auf die Hand.

- Erstklassige Branchen-News direkt auf den Schreibtisch
- Preis-Garantie für den bezahlten Bezugszeitraum
- 11 Ausgaben + mindestens 5 brandaktuelle Extras pro Jahr, z. B. über neue Fahrzeugmodelle
- Kostenloser Fachartikel-Download – exklusiv für Abonnenten unter www.ATZonline.de



- Ja, ich abonniere ATZ 311 08 002
 Ja, ich abonniere MTZ 311 08 003

Ich bin der neue Abonnent:

Vorname _____ Name _____
 Straße/Hausnummer _____ PLZ/Ort _____
 Telefon _____ Datum/Unterschrift _____

Gegen Rechnung:

Das Abonnement, 11 Hefte jährlich + mind. 5 Sonderhefte, gilt sofort bis auf Widerruf (für mindestens 1 Jahr) zum Jahresbezugspreis von zzt. € 219,- (zzgl. Versandkosten). Nach diesem Jahr kann ich jederzeit zur nächsten erreichbaren Ausgabe kündigen.

Als Dankeschön für die Werbung eines neuen Abonnenten von ATZ oder MTZ erhalte ich 100 € auf folgendes Konto überwiesen:

Geldinstitut _____
 BLZ _____ Konto-Nr _____
 Vorname _____ Name _____
 Straße/Hausnummer _____ PLZ/Ort _____

Eigenwerbung ist nicht gestattet. Das Angebot ist 12 Monate gültig.

Einfach Coupon ausfüllen und faxen an 0611.7878-423 oder online bestellen unter www.ATZonline.de

Vieweg Verlag Leserservice
Abraham-Lincoln-Str. 46 | 65189 Wiesbaden
Telefon: 0611.7878-151 | Telefax: 0611.7878-423
www.ATZonline.de



Besuchen Sie uns auf der
SAE World Congress 2008
 Detroit, USA
 14.-17. 04. 2008
 Stand-Nr. 1401

Innovative Erkenntnisse in der Motoren-Entwicklung

STAR-CD's Position als führende CFD-Lösung in der Automobilindustrie begründet sich auf einer kontinuierlichen Umsetzung innovativer Methoden und Erkenntnisse in den vergangenen zwei Jahrzehnten.

Als erstes kommerziell verfügbares CFD-Werkzeug bot STAR-CD die heute üblichen unstrukturierten Rechengitter, die das Vernetzen komplexer Geometrien maßgeblich vereinfacht haben. Ebenso war STAR-CD der erste Löser, der mittels bewegter Netze und komplexer physikalischer Modelle die Bewegungen im Kolbenmotor realistisch wiedergeben konnte.

Sprechen Sie mit CD-adapco und erfahren Sie, wie unsere Innovationen Ihnen neue Erkenntnisse in Ihrem Motoren-Entwicklungsprozess liefern können.

Kontakt:
info@de.cd-adapco.com



Your CAE Partner for Success
www.cd-adapco.com