

EINSATZ DER LASER DOPPLER ANEMOMETRIE ZUR REALISIERUNG EINES OPTISCHEN DURCHFLUSSNORMALS FÜR HD-ERDGAS

H. Müller, V. Strunck, B. Mickan, R. Kramer, D. Dopheide

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Fachbereich Gase
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Abstract

Der Beitrag beschreibt den Einsatz der Laser Doppler Anemometrie für die Realisierung eines optischen Durchflussnormal für die Hochdruck-Erdgasmessung. Dargestellt werden der derzeitige Entwicklungsstand und erste Messergebnisse an dem Hochdruck-Erdgasmodul zur optischen Durchflussbestimmung.

Einleitung

Nachdem bereits auf der letzten GALA-Fachtagung das Konzept für die Realisierung eines optischen Durchflussnormal für die Hochdruck-Erdgasmessung und dessen Bedeutung hinsichtlich der Erweiterung des bisherigen Normal durch ein neues unabhängiges Messprinzip vorgestellt wurde, siehe Müller et al 2003, soll in diesem Beitrag der derzeitige Entwicklungsstand dargestellt werden. Erste Messergebnisse als Vorstufe für die präzise Volumendurchflussmessung basieren auf einer Einpunkt-Strömungsgeschwindigkeitsmessung in der Mitte der Austrittsfläche der LDA-Messdüse zur Erzeugung annähernd rechteckförmiger Strömungsgeschwindigkeitsprofile. Unter der Voraussetzung eines rechteckförmigen Strömungsgeschwindigkeitsprofils (Vernachlässigung des Grenzschichtprofils) kann eine Volumendurchflussbestimmung mit einer Unsicherheit von ca. 0,5 % bereits durch eine Einpunktströmungsgeschwindigkeitsmessung erreicht werden.

Die einzelnen Module des optischen Durchflussnormal

Die unmittelbar zum optischen Durchflussnormal gehörige Rohrleitungsanordnung umfasst mit der Seedingvorrichtung zur Erzeugung kleinster Streuteilchen im 1µm-Bereich, der Einlaufstrecke zur Erzeugung eines voll ausgebildeten turbulenten Strömungsprofils und dem LDA-Düsenmodul mit Messfensteranordnung eine Länge von ca. 22 m. Die nachgeschaltete Düsenstaffel mit parallel angeordneten kritischen Düsen dient zum Einen als Transfornormal vom optischen Durchflussnormal zur Rohrprüfstrecke als volumetrischem Durchflussnormal für Erdgas unter Hochdruck und zum Andern der Stabilisierung des Durchflusses für die Dauer der LDA-Messungen.

Das Funktionsprinzip des optischen Durchflussnormal (s. Abb. 1) für Erdgas unter Hochdruck entspricht der vor über 15 Jahren in der PTB errichteten Fundamentalapparatur für die Großgasmengenmessung von Luft unter atmosphärischem Druck mittels präziser Laser-Doppler-Anemometer, Dopheide et al 1990, die technischen Ausführungen unterscheiden

sich jedoch entsprechend der auf dem Prüfstand „pigsar“ der Ruhrgas AG in Dorsten vorgegebenen Randbedingungen (Erdgas bis 50 bar, Explosionsschutzzone 2) erheblich.

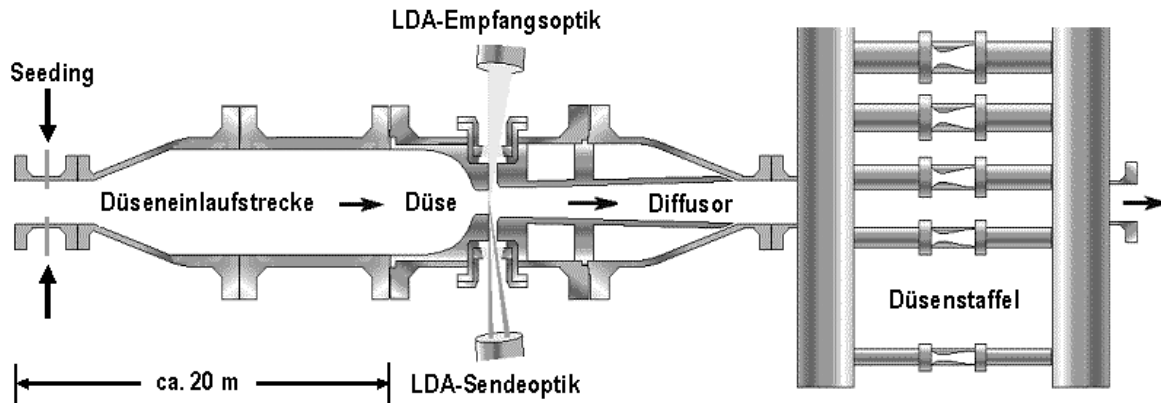


Abb. 1: Schematische Anordnung des optischen Durchflussnormalis

Der Prüfstand „pigsar“ verfügt eingangsseitig über einen Filter, der im Gas befindliche Partikel abscheidet. Dadurch ist sichergestellt, dass Ablagerungen auf den Normalen oder Prüflingen, die einen Einfluss auf das Messverhalten haben können (Langzeitdrift), vermieden werden. Der Einsatz optischer Methoden für die Strömungsgeschwindigkeitsmessung setzt jedoch eine ausreichende Anzahl von Partikeln mit bekannter Größenverteilung voraus, die nur durch geeignete Partikelgeneratoren erzeugt werden können. Es wurde deshalb von der PTB in enger Zusammenarbeit mit der TU Dresden ein Partikelgenerator auf Basis einer Spaltdüse nach Laskin entwickelt. Der Partikelgenerator zerstäubt DEHS mit Hilfe einer Spaltdüse und ist bis $p = 100$ bar einsetzbar. Das Druckgefäß entspricht der europäischen Druckgeräterichtlinie und ist für den Einsatz in Erdgasanlagen geprüft. Die Spaltdüse befindet sich unterhalb des DEHS Spiegels in einem Druckgefäß mit 2 Schaugläsern (siehe Abb.2). Die Schaugläser dienen sowohl der Überwachung des Flüssigkeitsspiegels als auch zur Kontrolle der Funktion. Die Spaltdüse ist konstruktiv für einen Überdruck bis zu 20 bar gegenüber dem Druckniveau des DEHS ausgelegt. Um bei dem geringen Innenvolumen des Generators eine ausreichende Abscheidung großer Partikel zu erreichen, befindet sich zwischen Düse und Ausgang eine perforierte Trennwand.

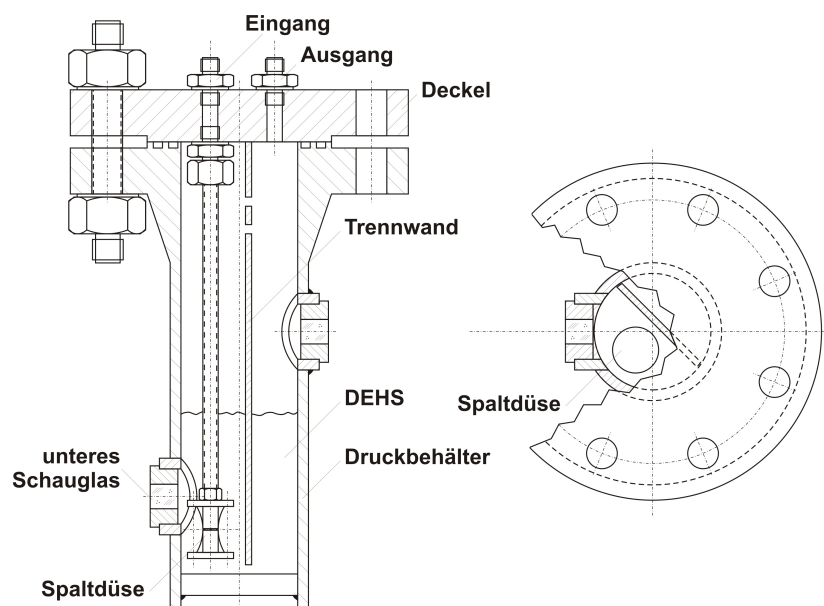


Abb. 2: Druckgefäß des Partikelgenerators mit Spaltdüse.

Zur Erzeugung von Partikeln ist ein Überdruck zwischen dem Trägermedium (Erdgas) und der zu zerstäubenden Flüssigkeit notwendig. Erste Versuche zeigten, dass bereits ein Überdruck von 1 bar ausreichend ist, um eine genügend starke Zerstäubung zu erreichen. Da der Arbeitsdruck innerhalb der Anlage unterschiedlich sein kann, wird der Partikelgenerator über einen Differenzdruckregler mit dem Trägergas versorgt (siehe Bild 2). Die Regelmembran des Differenzdruckregler wird sowohl mechanisch über ein Stellrad federbelastet als auch mit Hilfe einer Messleitung mit dem Ausgangsdruck beaufschlagt. Folglich kann durch Änderung der Federbelastung der Membran der Differenzdruck unabhängig vom Ausgangsdruck eingestellt werden. Die weiteren in Abbildung 3 dargestellten Armaturen dienen der Befüllung, Bespannung und Entspannung des Generators. Erste Ergebnisse zeigten sowohl hinsichtlich der Konzentration, der Homogenität der Partikelbeladung des Düsenstromes als auch der Größe der Partikel gute Resultate.

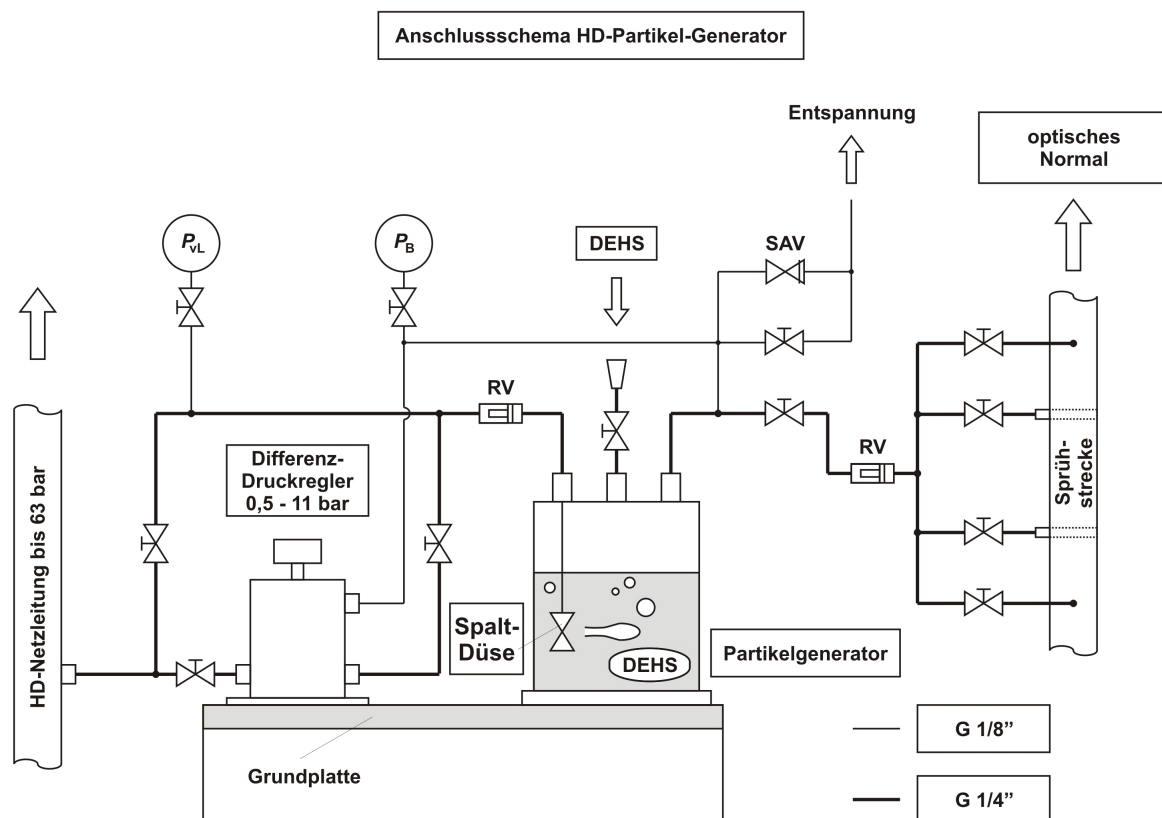


Abb. 3: Anschlussschema des HD-Partikelgenerators

Die ersten Messungen wurden hinter einer ca. 20 m langen Einlaufstrecke (s. Abb. 1 und 4) am Düsenaustritt der LDA-Messdüse mit einem Düsenaustrittsdurchmesser von 60 mm und einem Kontraktionsverhältnis von 49:1 durchgeführt. Die Düse ist als austauschbarer Düseneneinsatz für das LDA-Düsen-Messfenstermodul konzipiert, wobei der optische Zugang für die LDA-Messung durch ein ca. 4 cm dickes, in einen Stahlring eingeschmolzenes Borosilikatglasfenster gegeben ist. Für das LDA wurde ein Nd:YAG-Laser mit einer Ausgangsleistung von ca. 100 mW bei einer Wellenlänge von 532 nm verwendet (s. Abb. 5 und 6). Der Arbeitsabstand betrug 500 mm und die Kalibrierung des LDA-Systems erfolgte unter Berücksichtigung der Messfensterdicke. Die Messung erfolgte durch das dem LDA gegenüberliegende Messfenster durch Detektion des in Vorwärtsrichtung gestreuten Lichts.

Die Fotografie in Abbildung 4 zeigt die Gesamtanordnung des optischen Durchflussnormals, und die Abbildung 5 das Düsen-/Messfenstermodul mit eingebautem Nd:YAG-LDA.

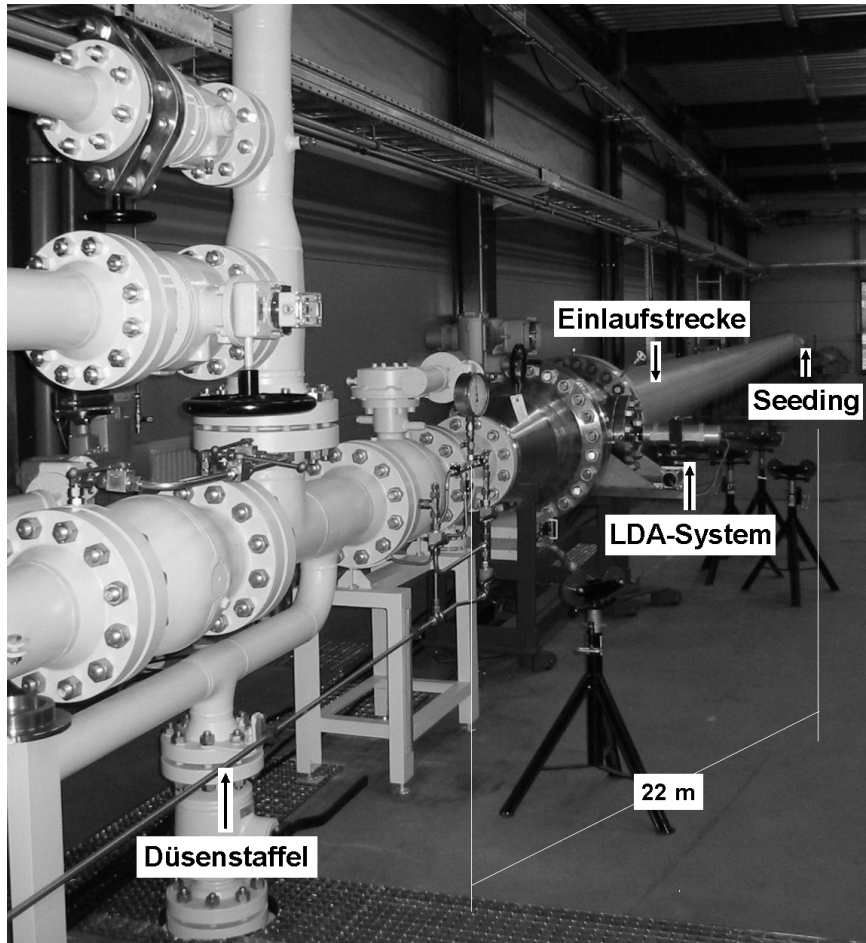


Abb. 4: Standort des optischen Durchflussnormals in der Halle des Prüfstands „pigsar“

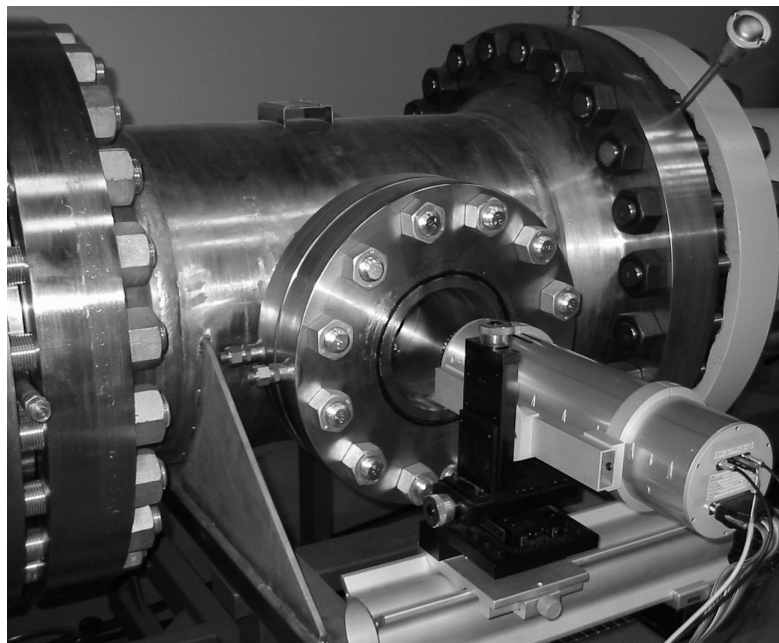


Abb. 5: Düsen-Messfenstermodul mit angebautem LDA

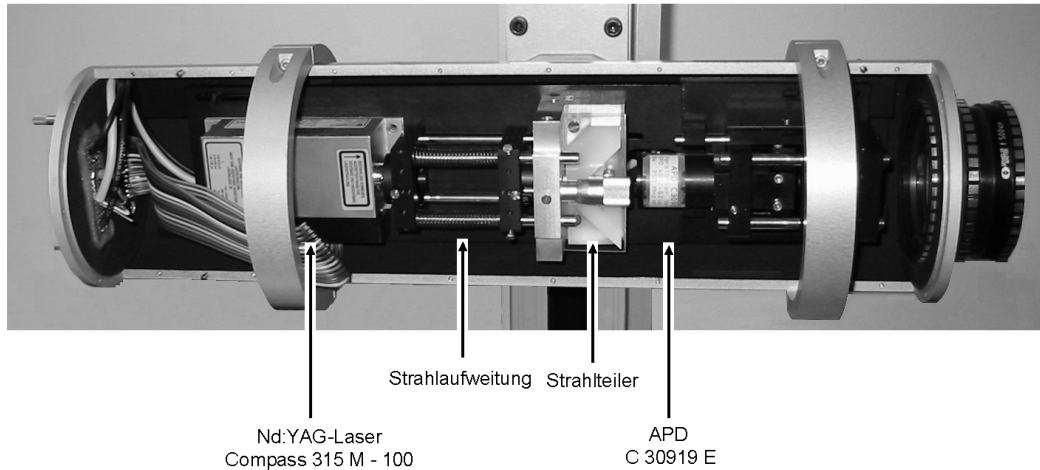


Abb. 6: Nd:YAG-LDA zur Strömungsgeschwindigkeitsmessung am Düsenaustritt, verwendet wurde nicht die eingebaute APD, sondern eine Fotoempfängeranordnung in Vorwärtsrichtung.

Messergebnisse

Der Volumendurchfluss wurde durch eine Geschwindigkeitsmessung am Düsenaustritt bei Annahme eines rechteckförmigen Strömungsgeschwindigkeitsprofils bestimmt. Die Abbildung 7 zeigt das Messfenster zu den gemessenen bzw. berechneten Größen.

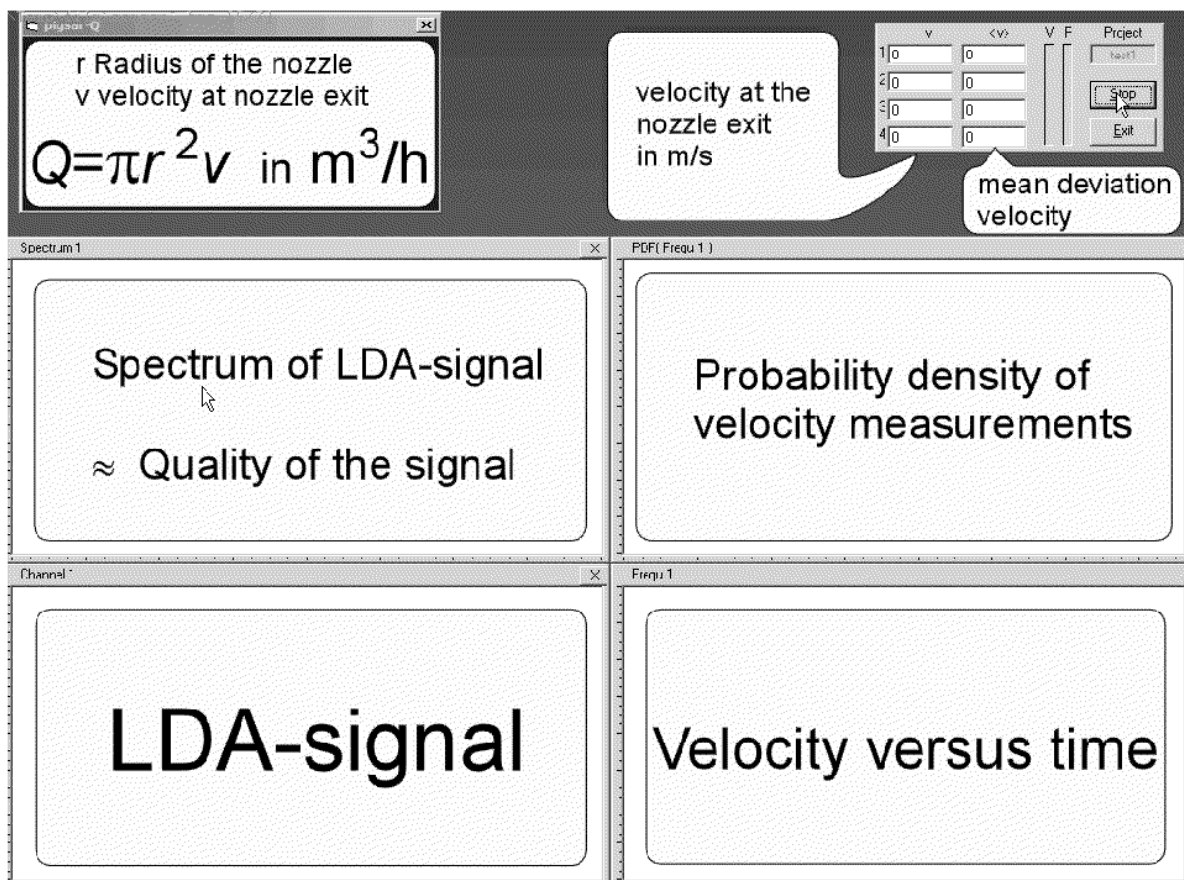


Abb.7: Bedienoberfläche zur optischen Durchflussmessung

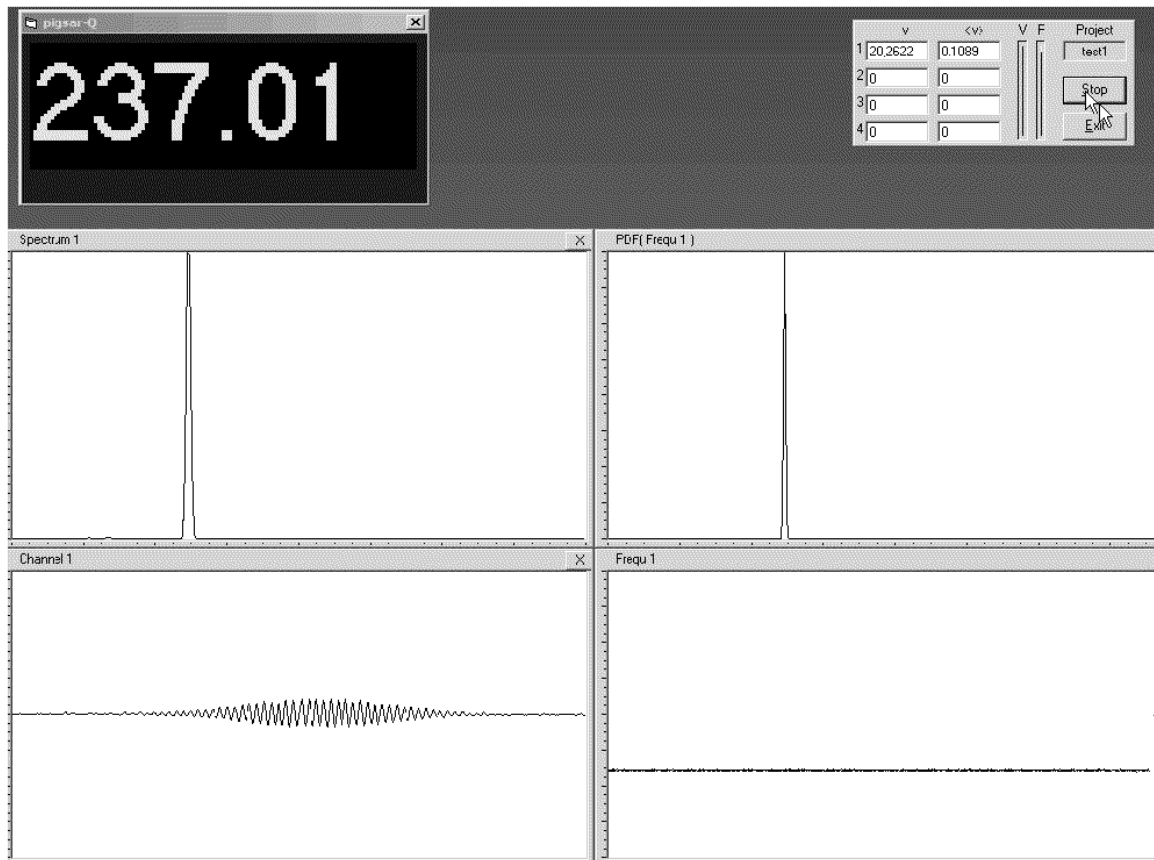


Abb. 8: Beispiel einer Volumendurchflussmessung für Erdgas unter Hochdruck

Mit dem neuen optischen Durchflussnormal konnten bereits erste Durchflussmessungen durchgeführt werden, wobei der Turbulenzgrad für die Strömungsgeschwindigkeit hinter dem Düsenaustritt bei 0,5 % lag. Die Unsicherheit für die Durchflussbestimmung kann bei der zunächst durchgeführten Einpunkt-Strömungsgeschwindigkeitsmessung unter der Annahme eines kastenförmigen Strömungsprofils anhand der bisherigen Erfahrungswerte aus dem Niederdruckbereich mit ca. 0,5% abgeschätzt werden.

Dankesworte

Die Autoren danken Herrn Dr. Gehlhaar von der TU-Dresden für die gute Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Generators. Ferner danken die Autoren der Fa. Topas für die Unterstützung bei der Fertigung der Spaltdüse.

Literatur

- Dopheide, D., Taux, G., Krey, E.-A., 1990: "Entwicklung eines neuen fundamentalen Messverfahrens zur genauen Durchflussmessung von Gasen mittels Laser-Doppler-Anemometrie", PTB-Mitteilungen 100 5/90, S. 333 -342
- Müller, H., Strunck, V., Mickan, B., Kramer, R., Dopheide, D., Hotze, H.-J., 1993: „Optisches Durchflussnormal für HD-Erdgas: Voraussetzungen für einen LDA-Einsatz“, Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, 11. Fachtagung 2003, 8.1 – 8.6, ISBN: 3-00-011903-5