

Einsatz der Laser-Doppler-Velozimetrie zur Kalibrierung von Durchflussmessgeräten

Laseroptische Durchflussmessung



Inhalt:

- Wer ist die ILA?
- Ausgangssituation Volumenstrommessung
- Vorteile laseroptischer Verfahren
- Messprinzip
- LDV zur Durchflussmessung
- Erreichbare Genauigkeiten
- Projekte
- Zusammenfassung
- Ausblick

Laseroptische Durchflussmessung



Wer ist die ILA?

Company Data

Founded 1995, by two (Dues, Kallweit) ex-scientists of the TU Berlin (Turbomachinery and Fluid Dynamics).

Headquarter

Jülich, somewhere near Aachen, where Aachen is near Köln, in the heart of the EUREGIO. International Sales Office in **Edinburgh**.

Partners

International Sales are made through **OXFORD Lasers** (US and Japan).

Distributors

In the US, **UK**, Japan, Korea, Australia, Italy, Taiwan and Persia.



Laseroptische Durchflussmessung

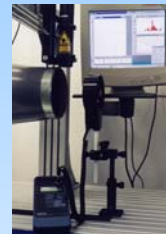


Laser Doppler Velocimetry



Research

Calibration



Volume Flow Metering



Industry

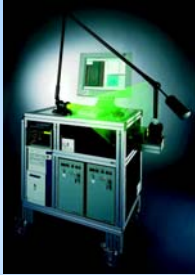


Laseroptische Durchflussmessung

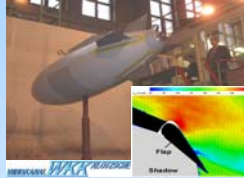


Particle Image Velocimetry

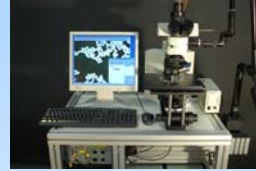
PIV System



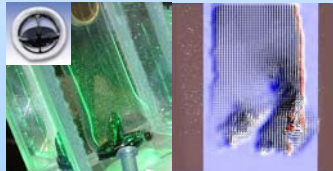
Large Scale PIV



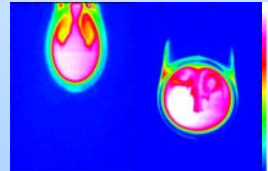
Micro PIV



High Speed PIV



LIF

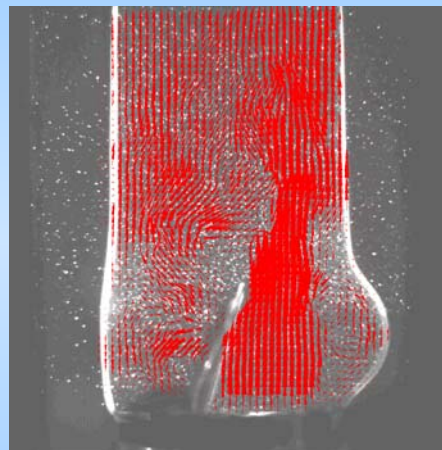


Laseroptische Durchflussmessung



High Speed PIV

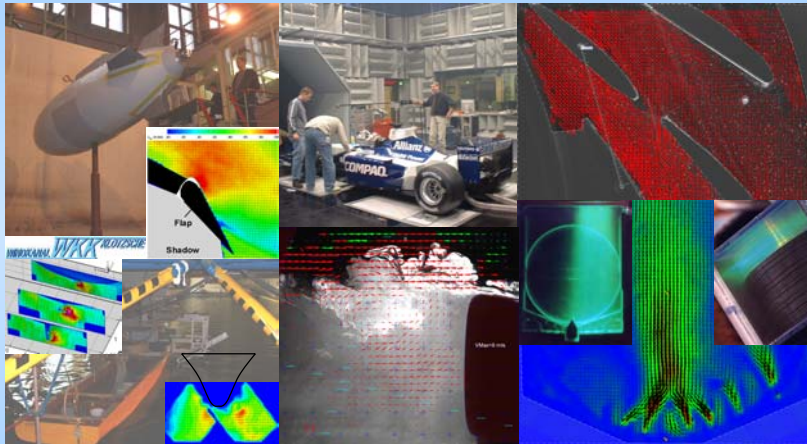
Umströmung einer Herzklappe
1000 Frames / s
Auflösung 1k x 1k



Laseroptische Durchflussmessung



Consultancy Services



Aero
dynamics
Ship
modelling
Turbo
machinery
Semicon.
industry
Process
engineering
...

Laseroptische Durchflussmessung



Volumenstrommessung:

Ausgangssituation:

Volumenstrommessungen werden z.Z. mit Sekundärstandards wie z.B. MIDs, Woltman-Zählern, Ultraschallmeßgeräten u.a. durchgeführt. Die Kalibrierung dieser Systeme erfolgt auf speziellen Prüfständen, die von den Einsatzbedingungen der Messgeräte hinsichtlich folgender Punkte abweichen:

- Einbausituation (Zulaufstrecken, Krümmer, Armaturen, etc.)
- ungleichmäßige Geschwindigkeitsprofile
- Temperatur (Fernwärme)
- Leitfähigkeit und Magnetitgehalt

Laseroptische Durchflussmessung



Ziel:

Ziel ist die Entwicklung eines laseroptischen Durchflussmessgerätes zur Kalibrierung konventioneller Messsysteme im eingebauten Zustand, das eine höhere Unempfindlichkeit gegenüber den Störeinflüssen

- Einbausituation (Zulaufstrecken, Krümmer, Armaturen, etc.)
- ungleichmäßige Geschwindigkeitsprofile
- Temperatur (Fernwärme)
- Leitfähigkeit und Magnetitgehalt

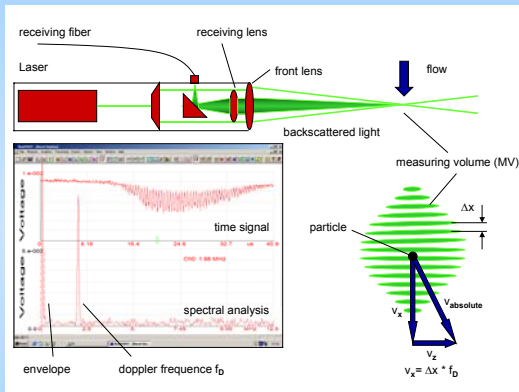
aufweist, eine Meßgenauigkeit von 0,5-1% hinsichtlich des Volumenstromes besitzt und eine ausreichende Langzeitstabilität sicherstellt.

Vorteile laseroptischer Verfahren:

Laseroptische Verfahren zur Volumenstrommessung weisen folgende Vorteile auf:

- weitgehend unabhängig von inneren Größen wie Temperatur, Druck, Magnetitgehalt und Leitfähigkeit
- berührungslos
- auch Geschwindigkeitsprofile können erfaßt werden
- hohe Meßgenauigkeit
- hohe Langzeitstabilität

Meßprinzip LDV:

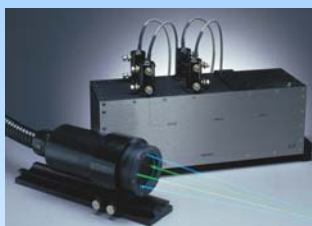


Zwei sich kreuzende Laserstrahlen erzeugen ein Interferenzstreifenmuster. Durch das Messvolumen bewegte Partikel streuen amplitudenmoduliertes Licht mit einer geschwindigkeitsproportionalen Frequenz f_d zurück. Die gemessene Geschwindigkeit ergibt sich aus dem Produkt von Dopplerfrequenz f_d mal Interferenzstreifenabstand.

Laseroptische Durchflussmessung



Ausgeführte LDV-Systeme:

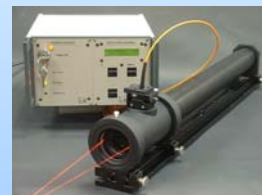


Faseroptische Systeme:
1D/ 2D /3D
geschiftet



Direktgekoppelte Systeme:
Nd:YAG-Laser
geschiftet/ ungeschiftet

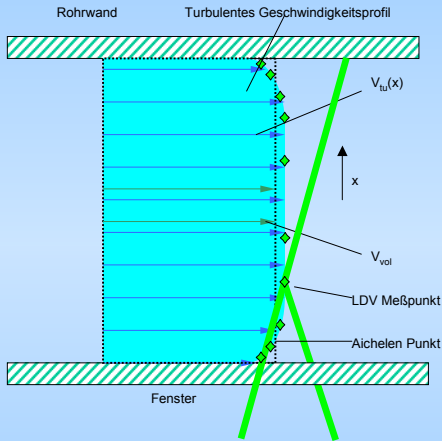
Direkt gekoppelte
Systeme:
HeNe-Laser
ungeshiftet



Laseroptische Durchflussmessung



LDV zur Durchflussmessung:



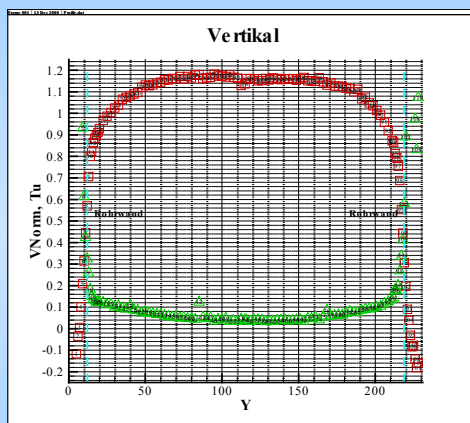
Ermittlung des Volumenstroms durch

- Integration des Profils
- Schwerlinienverfahren (VDI 2640)
- Aichelen Punkt Messung

Laseroptische Durchflussmessung



LDV zur Durchflussmessung:



Profilmessung

Erfassung der Geschwindigkeitsverteilung auf verschiedenen Profilen und Ermittlung des Volumenstromes durch Integration.

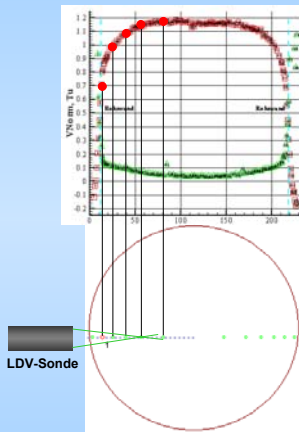
Vorteil: Gute Erfassung ungleichmäßiger Zuströmungen

Nachteil: aufwendig, erfordert gute optische Zugänglichkeit, zeitintensiv

Laseroptische Durchflussmessung



LDV zur Durchflussmessung:



Schwerlinienverfahren

Erfassung der Geschwindigkeit auf den Schwerpunktklinien flächengleicher Ringflächen und Ermittlung des Volumenstroms durch Addition der Teilvolumenströme.

Vorteil:

Geringer Meßaufwand, keine Wandeffekte

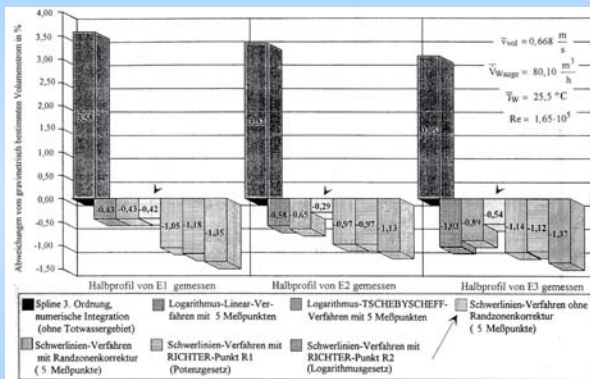
Nachteil:

Nicht für hohe Ungleichförmigkeitsgerade geeignet.

Laseroptische Durchflussmessung



Erreichbare Genauigkeiten:



Quelle: BMFT-Projekt PTB/ TU Berlin

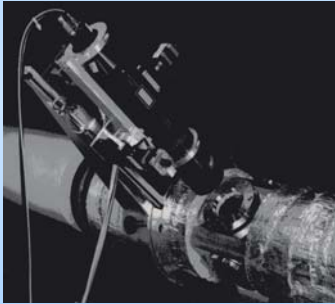
- LDV-Verfahren für die Messung des Volumenstromes mit Messunsicherheiten <1% auch bei gestörter und instationärer Zuströmung prinzipiell geeignet
- LDV-Messungen nur an ausgewählten Messpositionen erforderlich (1-5 Punkte)
- LDV-Messungen sind auch unter den schwierigen Temperaturbedingungen der Fernwärme möglich

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

BMFT-Projekt : Untersuchungen an einem Halbleiter-LDV-System als Volumenstrommessgerät hoher Genauigkeit für den Einsatz in Fernwärme-Versorgungsanlagen (PTB Berlin, TU Berlin), 1993



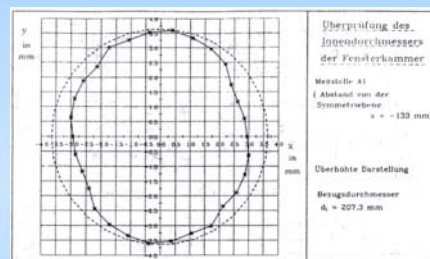
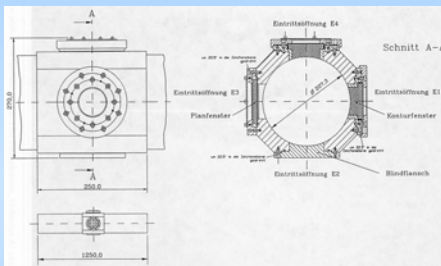
- LDV-Messungen in der PTB-Versuchsanlage,
- Vergleich gegen Waage
- Messungen in FWV-Station Klinikum Berlin Steglitz
- Profil- und Mehrpunktmessungen
- Messungen bei unterschiedlichen Wassertemperaturen

Laseroptische Durchflussmessung

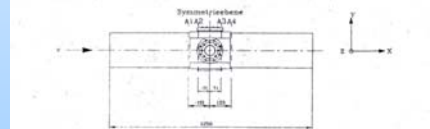


Projekte:

BMFT-Projekt : Eingesetzte Fensterkammern



- große Fenster für Querschnittsmessungen
- relativ großer Totraum
- planparallele, abgesetzte und konturangepaßte Fenster

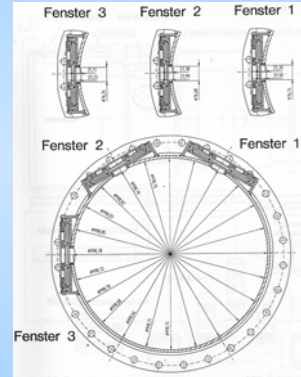
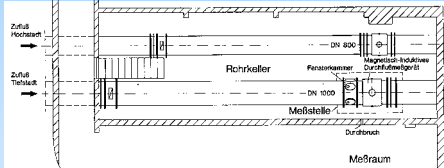


Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Pilot-Projekt BWB : Versuchsmessungen 1997 im Wasserwerk Jungferneide in FK DN1000



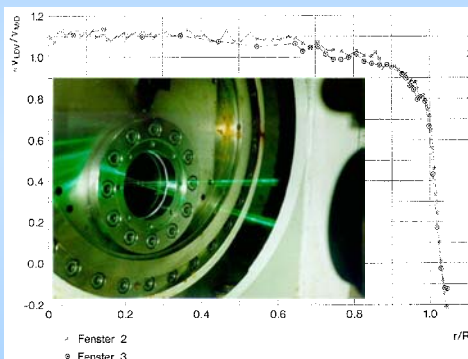
- Fensterkammer DN1000 mit austauschbaren Fenstern
- LDA-System mit 4 Watt Ar-Laser
- Messung von Halbprofilen durch 3 Fenster

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Pilot-Projekt BWB : Ergebnisse



- Partikel sind im Trinkwasser ausreichend vorhanden
- Messung von Halbprofilen möglich

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Pilot-Projekt GEW Köln: Fernwärmestation Uniklinik Köln 2001/2



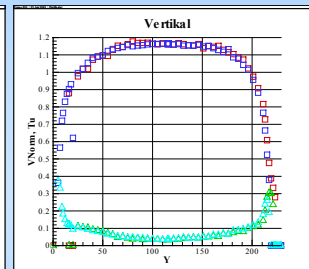
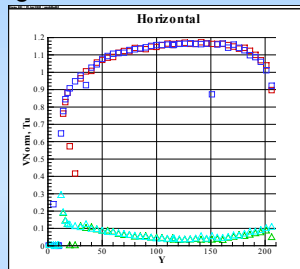
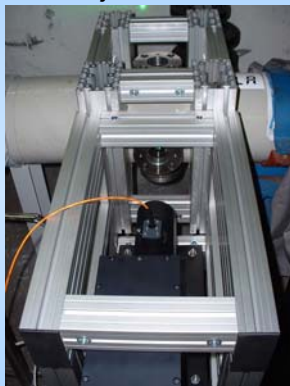
- Fensterkammer DN200
- Einsatz geschliffener Optik fp63 und ungeschliffener Optik fp50 (kalibriert, Fehler <0,2%)
- Profilmessungen und Messungen auf Schwerlinien

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Pilot-Projekt GEW Köln: Ergebnisse



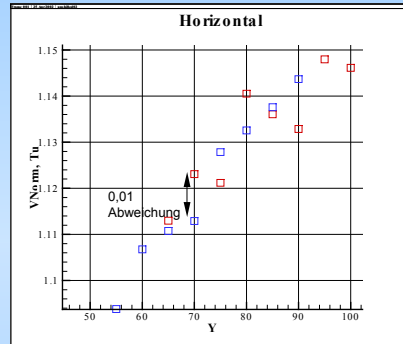
- Horizontal ungleichförmiges Strömungsprofil
- Vertikal leichte Störung durch geöffnete Klappe in Zuströmung

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Pilot-Projekt GEW Köln: Ergebnisse



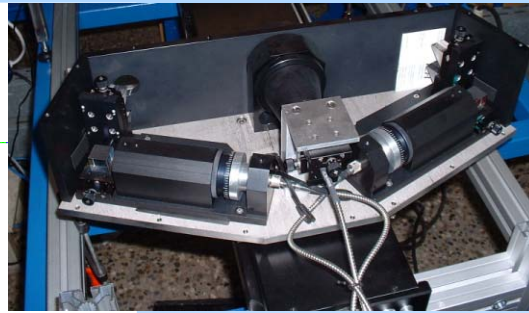
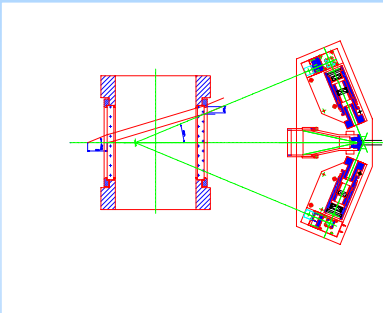
- Wiederholgenauigkeit ca. 0,01
- Ursachen für Messabweichung gegenüber MID: Versatz Kalt-/Warmwasser, Temp. Meßumformer, Leitfähigkeitsunterschiede zur Kalibriermessung, gestörte Zuströmung durch Klappe

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Projekt PTB Berlin: Sonderkonstruktion



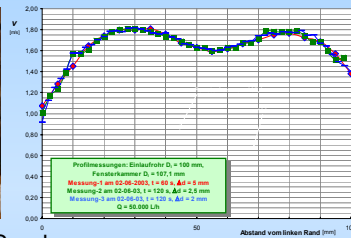
Schnittweite 400mm, MV-Länge 120 μm , Abweichung Interferenzstreifen < 0,1%

Laseroptische Durchflussmessung



Projekte:

Projekt BEV (Bundesamt für Eich- und Meßwesen, Wien)



- Verkleinerung der LDV-Sonde
- Vorbereitung eines 3-Kanal-Systems
- Optimierung des Systems für Vorort-Messungen in der Fernwärme
- Neues Fensterdesign

Laseroptische Durchflussmessung



Zusammenfassung:

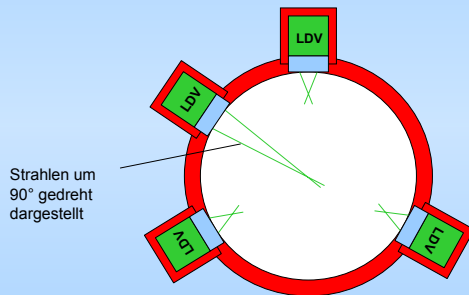
- Die Bestimmung des Volumenstromes aus punktwise gemessenen Geschwindigkeitswerten ist auch bei instationären Durchflüssen möglich. Das Verfahren wurde an der PTB Berlin erfolgreich erprobt.
- Die LDV-Hardware steht bereits zur Verfügung und ist in mehreren Pilotprojekten erprobt.
- Die LDV ist zur Kalibrierung von Durchflussmessgeräten im eingebauten Zustand grundsätzlich geeignet.

Laseroptische Durchflussmessung



Ausblick:

- Zur Reduzierung der Messpunkte soll ein 4-Punktsensor aufgebaut und erprobt werden, der an 4 festen Messpunkten gleichzeitig Geschwindigkeitsmessungen durchführt.



Vorteile

- Keine beweglichen Teile
- Keine Normierung auf v_{MID}
- Auch für asymmetrische Profile

Ausblick:

- Nächster Schritt ist die Implementierung eines Systems Fensterkammer / 4-Punktsensor an dem neuen nationalen Volumenstromnormal der PTB Berlin.
- Für dieses Gesamtsystem wird die Messgenauigkeit in Abhängigkeit auch von gestörten Strömungsprofilen ermittelt.
- Damit steht ein Transfernormal mit einer Messunsicherheit < 1% zur Vorort-Kalibrierung bestehender Durchflusssysteme zur Verfügung.

21./22. Juni, Göteborg

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Laseroptische Durchflussmessung



Anhang

Bestimmung des volumetrischen Mittelwertes der Geschwindigkeit (VDI 2640)

- Der Innendurchmesser der Fensterkammer wird in fünf flächengleiche Kreisringe geteilt. Auf den Mittellinien der Kreisringe wird der Geschwindigkeitswert für diese Fläche gemessen. Der arithmetische Mittelwert ist gleich dem volumetrischen Mittelwert $v_{\text{vol.LDV}}$
- Um Volumenstromschwankungen während der Messung auszugleichen, wird jeder Geschwindigkeitswert $v_{\text{LDV},i}$ auf den Momentanwert der Geschwindigkeit $v_{\text{MID},i}$ des MID normiert.

Pro Meßpunkt

$$\bar{v}_{LDV}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{LDV,i}$$

$$\bar{v}_{MID}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{MID,i}$$

Mittelung der Schwerlinienmessungen

$$\bar{v}_0(t) = \frac{1}{nS} \sum_{i=1}^n \frac{v_{LDV,i}(t)}{v_{MID,i}(t)}$$

$$v_{\text{vol.LDV}}(t) = \bar{v}_{MID}(t) \bar{v}_0(t)$$

$$\varepsilon = \frac{v_{\text{vol.LDV}}(t) - v_{MID}(t)}{v_{\text{vol.LDV}}(t)}$$

Laseroptische Durchflussmessung

