

HYDRAULISCHER WANDLER FÜR LASER DOPPLER DURCHFLUSSMESSER

HYDRAULIC CONVERTER FOR LASER DOPPLER FLOWMETER

Sławomir Zator

Opole University of Technology
ul. St. Mikołajczyka 5
45-271 Opole
Polen
s.zator@po.opole.pl

Schlagworte: primär Wandler, Durchflussmessung, Laser Doppler Durchflussmessung
Keywords: primary converter, flow rate, laser Doppler flowmeter

Einleitung

Die Durchflussmessers die auf LDA Systems basieren, haben eben einen Hydraulischenkanal. Sind viele Lösungen Laser Doppler Durchflussmessers, aber einen Aufbau mit Düsen dominiert. In diesen Losungen soll die Geschwindigkeitsprofil fast flach sein.

Geschwindigkeitsmessungen sind in Aichelen Punkt oder in Zentrum der Abflussfläche durchführen. Bei beiden Messungen ist die Kalibrierung erforderlich. Theoretisch erste Methode hat konstanten Kalibrierfaktor, zweite dagegen braucht eine Empfindlichkeitsfunktion bestimmen. Diese Funktion ist der Quotient der Mittelwertgeschwindigkeit zu gemessener Geschwindigkeit als die Reynoldszahlfunktion. Diese Elemente konnte man als hydraulischen Wandler bezeichnen.

Durchflussmessungen den Flüssigkeiten mit Laser Doppler Anemometer basieren am meisten auf einen Messungspunkt (oder mehr Punktes). Die Volumenstromberechnung erfordert die Abhängigkeit zwischen der mittleren Geschwindigkeit in den Kanal und der Geschwindigkeit im Messpunkt, dies soll früher bestimmt sein. Verwertung mehr als einen Messpunkt führt zur Verkleinerung der Unsicherheit des Volumendurchflusses.

Die Unsicherheit des Volumendurchflusses hat zwei grundsätzliche Quellen. Die erste von den ist die Methode der Geschwindigkeitsmessung in den Messungspunkt. Die zweite Quelle ist hydrodynamischen Effekten, die in dem Kanal auftreten. Die haben direkten Einfluss auf dem Geschwindigkeitsprofil in Messungspunkt. Elementen, die den Einfluss haben sind: die Geometrie den Kanal (die Länge und der Querschnitt), die Viskosität der Flüssigkeit und Störungen so in kleiner wie in großer Distanz von dem Messpunkt. Der letzte Faktor hat entscheidend Einfluss an bekommende Durchflussmessungsunsicherheit.

Problem

Seit Anfang Anwendungen der Abtastmethoden zur Durchflussmessungen (Prandtlröhre, Pitotröhre), neben Forschungen den optimalen Orten für Vermessungspunkte, sind gesuchte auch solche geometrische Konstruktionen den Wandler, welche minimalisieren Einflüsse früher genannt störende Faktoren auf das Resultat der Durchflussmessung. Wenn Messungen sind in existieren Kanälen durchführen, dann erfordert ist entsprechend lange gerade Strecke vor- und nach- dem Messungspunkt. Zweite Möglichkeit ist die Anwendung

41.2

der hydraulischen Wandler, der verbesserte und stabilisierte Durchfluss. Der Wandler einführt leider zusätzlichen Druckverlust, der normalerweise nicht groß ist, oft kleiner als der Druckverlust in langen Strecken oder Stabilisatoren. Die wünschenswerte Eigenschaft der Wandler ist konstanten Wert der Quotient der Mittelgeschwindigkeit v_m zur gemessener Geschwindigkeit v_p , der als Wandlerfaktor oder Empfindlichkeitsfaktor genannt ist und welche Gl.(1) beschreibt.

$$k_Q = \frac{v_m}{v_p}. \quad (1)$$

Der Wandlerfaktor ist als definierter Quotient der Mittelgeschwindigkeit in zylindrischem Teil Einlaßkanal zur gemessener Geschwindigkeit in der Achse dem optischen Fenster (Abb. 1). Die Achse befindet sich etwa 7mm nach Abflussfläche der zweiten Düse.

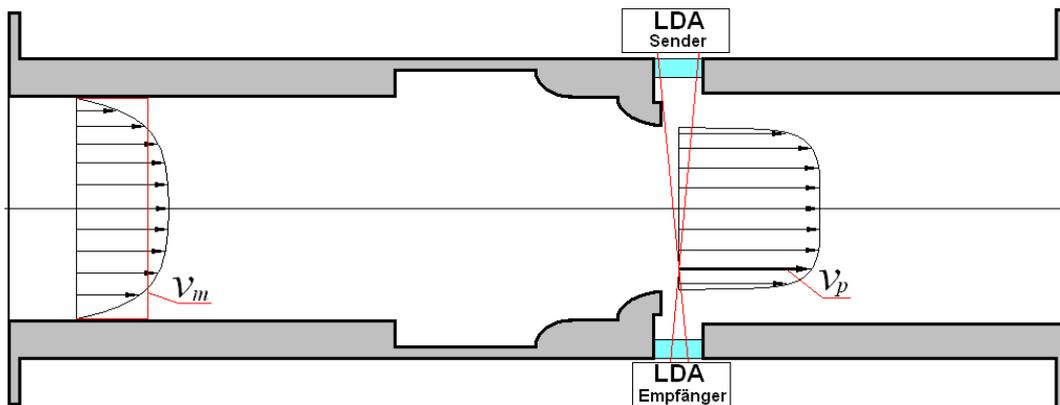


Abb. 1: Der Standort den Messpunkt

Die Kenntnis den Wandlerfaktor lässt der Volumendurchfluss berechnet, auf Grund der Abhängigkeit (2).

$$Q_v = k_Q \cdot A \cdot v_p, \quad (2)$$

in welche:

A – die Querschnittfläche den Wandlerkanal,

v_p – Die Geschwindigkeit im Punkt für den der Faktor k_Q berechnet war.

Mittlere Geschwindigkeit berechnet man nach Gl.(3).

$$Q_v = \int_A v dA \quad (3)$$

Wenn das Geschwindigkeitsprofil achsensymmetrisch ist, dann kann man das Profil entlang des Radius messen und das Volumendurchfluss berechnet nach Gl. (4),

$$Q_v = 2\pi \int_0^R v(r) r dr \quad (4)$$

Für den glatten Kanal mit dem radförmigen Querschnitt und turbulentem Durchfluss ist ein Punkt, in welchem alle relative Profile sich überschneiden. Der Punkt sogenannten Aichelen-Punkt oder Durchbruchpunkt heraustritt für den relativen Radius 0.762.

Berechnungen

Autor bittet eine Konstruktion neuer Typ of Wandler an, der 3D-Querschnitt zeigt Abb. 2. Er besteht aus kurzer Strecke gerade Rohrleitung, nach dem folgt Sprungvergrößerung des Rohrleitungsradius und anschließend zwei Düsen. Zweite Düse hat die Form des Einlassanteils der ISA 1932 Düse. Nach den Düsen ist die Abflugsrohrleitung desselben Radius wie die Einlassleitung. In der Abflugfläche zweiter Düse befinden sich vier symmetrisch setzende Glasfenster. Höchstes Druckverlust den Wandler beträgt 5 kPa für Durchfluss $21 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Re = 150\,000$).

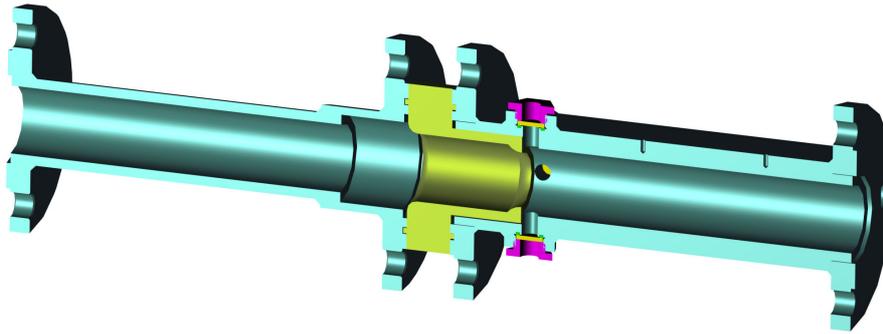


Abb. 2: 3D-Querschnitt den hydraulischen Wandler

Abb. 3 stellt Resultaten numerischen Berechnungen (mittels CFD FIDAP-Program) den relativen Geschwindigkeitsprofilen vor (Zator 2002). Für einigen Radiusdistanzbereich (ungefähr 5.5 mm) gibt es fast gleiche Wandlerfaktoren für jeweiligen Radius. In breitem Messbereich (Re -Zahl von 1500 bis 150000) ein hydraulischer Wandler hat nicht nur einen Punkt, sondern auch eine Zone, die hat solche Eigenschaften wie der Aichelen Punkt (Abb. 3). Der Unterschied zwischen den Berechnungen und Messungen ist nicht größer als 1,5% und die Unsicherheit dieses Wertes übersteigt 0,5% nicht. Für Düse 50 mm Diameter der Unterschied zwischen berechnete und gemessener Stellung ist nur 0.7 mm.

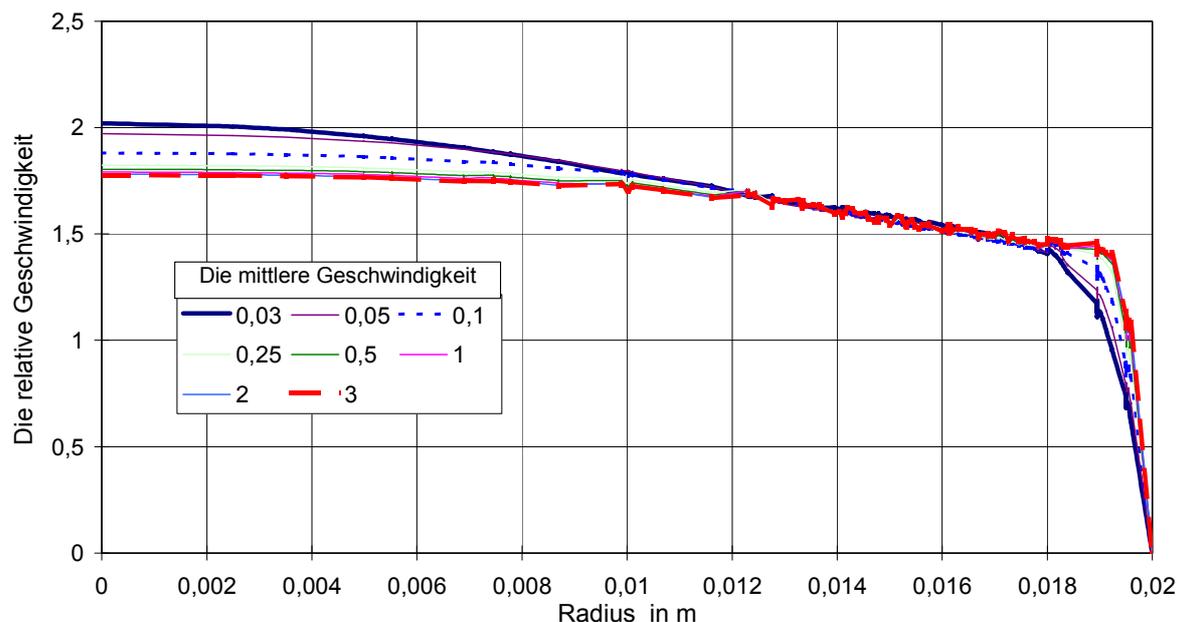


Abb. 3: Die Diagramme dem Relativgeschwindigkeitsprofil den hydraulischen Wandler

41.4

Konstanter Wert der Wandlerfaktor für gegebenen Radius gibt's über Reynolds-Zahl gleich 1500. An den numerischen Berechnungen bestimmt man den halben Abstandwert des Wandlerfaktors, die war zwischen 0,3% do 1,7% oszillieren. Bei Abnahme einer linear Approximation den Wandlerfaktor von Radius kann man ihn einfach berechnen, was zeigt Abb. 5.

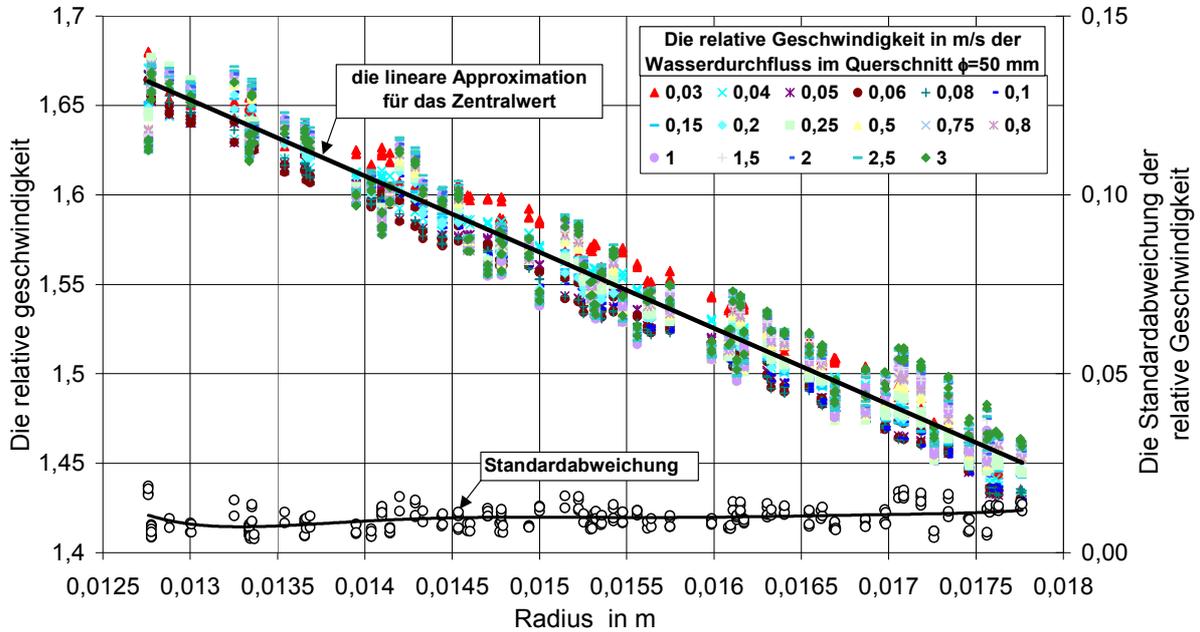


Abb. 4: Die Mittelgeschwindigkeitsprofile in die Zone der gleichen Profilsform für die Geschwindigkeiten (0,03-3) m/s

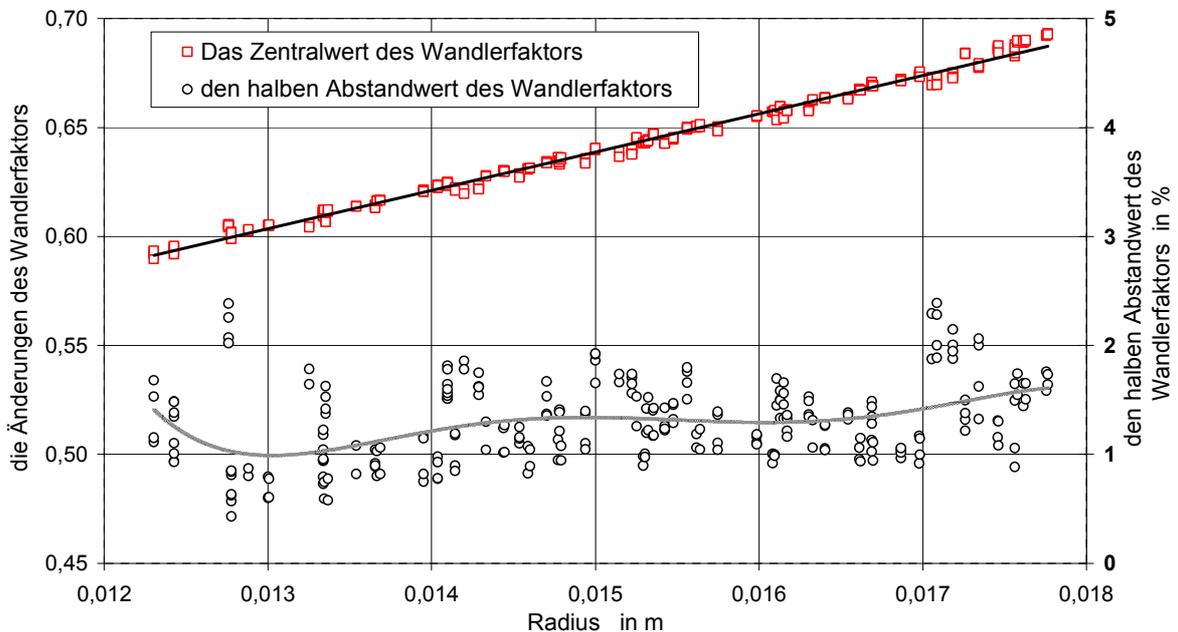


Abb. 5: Die Änderungen den Wandlerfaktor und ihn lineare Approximation und Approximationsfehler

Gesamte Wandlerfaktorunsicherheit, die auch die Approximationsfehler berücksichtigen, ist nicht größer als 2,4%.

Messungsergebnisse

Durchgeführte Messungen mittels Laser Doppler Anemometer haben die numerischen Berechnungen verifizieren. Ebenso ist die Zone, wo Wandlerfaktor mit ändert sich linear mit Geschwindigkeit, repräsentierten auch mit Reynolds-Zahl. Ganz gut stimmen auch die berechnete und gemessene Werte. Unterschied zwischen den Wandlerfaktoren ist kleiner als 1,3% und die gemessene Breite der Zone ist um 0,3 mm kürzer. Die Abschätzung der Unsicherheit den Wandlerfaktor für den Erweiterungsfaktor $k = 2$ ist nicht größer als 3,5%. Der Wert war für Prüfungspunkten verifizieren und es war auch die Approximationsfehler zu berücksichtigen, bei Verwertung der numerisch Berechneten Approximationsfunktion.

Es war auch das die Änderungen den Wandlerfaktor, oft als Empfindlichkeitsfunktion bezeichnet, für den Messpunkt in die Kanalachse berechnet. Abb. 6 zeigt berechnete und gemessene Empfindlichkeitsfunktion für den Punkt im Zentrum der Abflussfläche. Die Fehlergrenze zeigt auf diese Abbildung übersteigen 1% nicht.

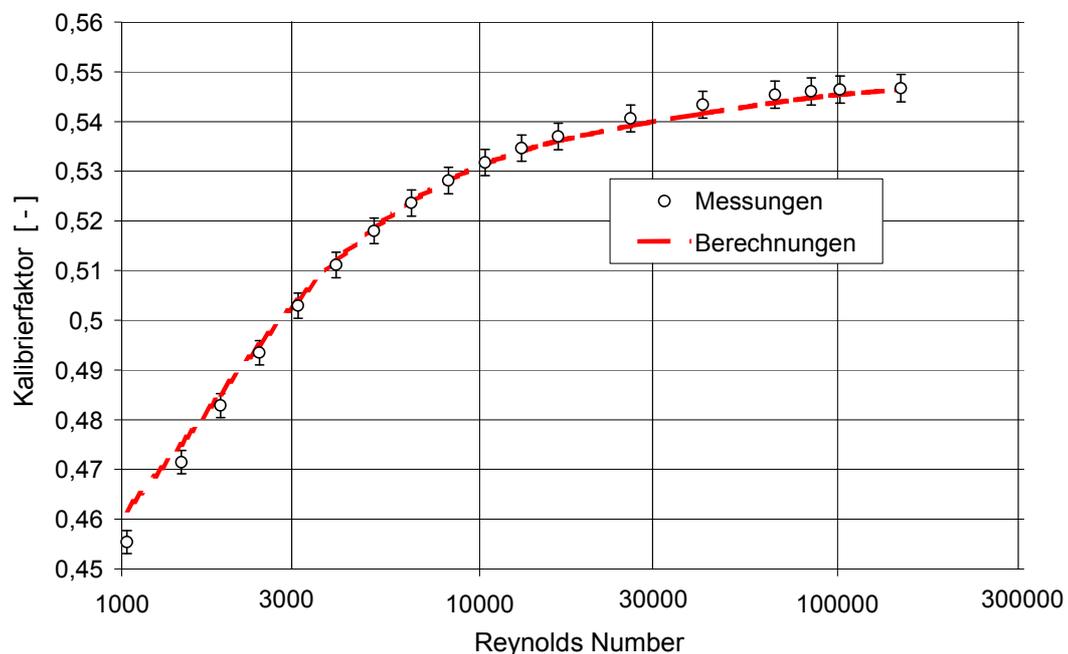


Abb. 6: Empfindlichkeitsfunktion im Zentrum der Abflussfläche

Diese Resultate zeigen, dass für neuen hydraulischen Wandler man ganz gute Resultaten erreicht. Die Resultate erhaltene nach CFD Berechnungen stimmen sich mit Messungen auch gut. Auf Grund durchgeführter Durchflussmessungen im Prüfstand und Geschwindigkeitsmessungen mit Hilfe LDA war auch die Linearapproximation Wandlerfaktor berechnet. Ein Vergleich von berechneten und gemessenen Resultaten ist in Abb. 7 dargestellt. Die Unsicherheit des Volumendurchflusses im Prüfstand ist kleiner als 0.5%.

Erweiterte Messunsicherheit der Durchfluss bestimmende nach Geschwindigkeitsmessung in berechnete Zone war nicht größer als 2,5%.

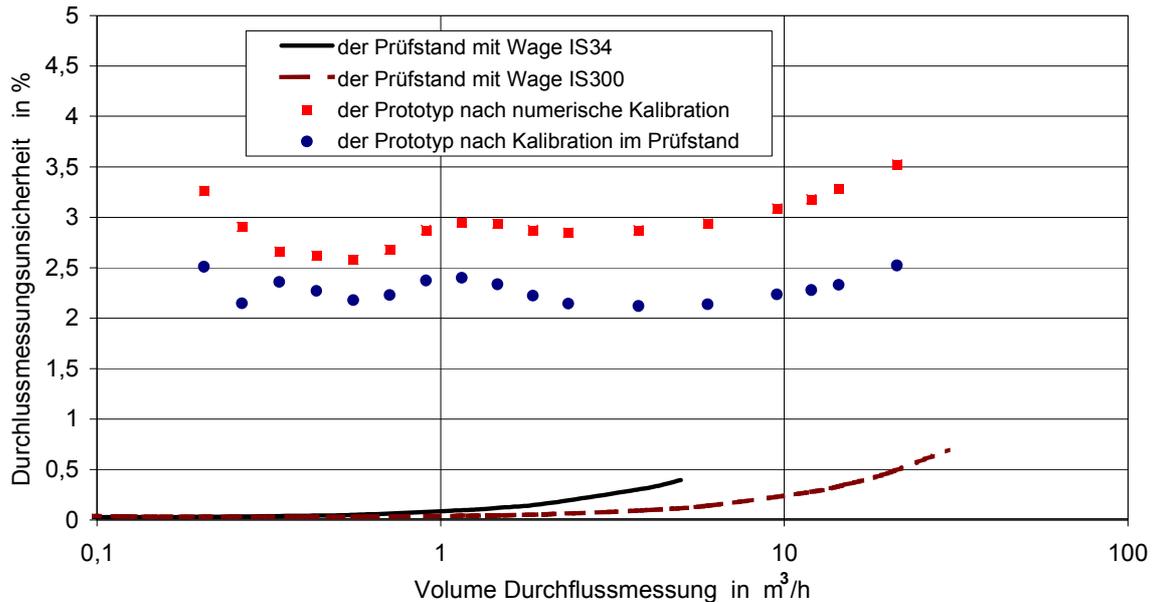


Abb. 7: Durchflussmessungsunsicherheit den neuen Wandler

Zusammenfassung

Der Bericht stellt den hydraulischen Wandler mit modifizierter ISA 932 Düse vor, der ermöglicht die Volumendurchflussmessung auf Grund der Geschwindigkeitsmessung in einem Punkt. Basis an numerischen Berechnungen feststellen das es möglich ist Durchflussmessung mit der Unsicherheit der gemessene Wert nicht größer als 3,5% für den Messbereich $Q_{\max}/Q_{\min} = 100$. Gleichzeitig die Messunsicherheit nach der Kalibrierung an die Kontrollstellung ist an das Level 2,5% für den gleichen Messbereich.

Das Forschungsergebnis den Wandler mit modifizierter ISA 1932 Düse zeigt die interessante Eigenschaft ob eine Zone auftreten, in der die relative Geschwindigkeitsprofile fast das gleiche sind. Relative Geschwindigkeitsprofile bestimmende nach den numerischen Berechnungen lassen bestimmen die Abhängigkeit zwischen mittlerer Geschwindigkeit in der Einlasskanal den Wandler und Geschwindigkeit in der bestimmenden Zone. Hier vorstellende Ergebnisse war während Forschungen an der Konstruktion Laser Doppler Durchflussmesser entstand (Zator 2006). Der hydraulische Wandler kann auch für Durchflussmessung mit anderen Geschwindigkeitsmessungsmethoden in geschlossenen Kanälen benutzt sein.

Literatur

Zator S., 2006: Neue Kalibrierungsmethode für optische Geschwindigkeitsmessgeräte, Proceedings der 14. GALA-Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmeßtechnik", 5. – 7. September 2006, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig, pp.21.1-21.6

Zator, S., 2002: Numerical study on a hydraulic converter in a laser Doppler flowmeter, Metrology and Measurement System, Nr 2, pp.141-158

Waluś, S., 2003: Optymalizacja metrologiczna pomiaru strumienia płynu za pomocą przepływomierzy próbkujących, Monografie 43, Silesian University, Gliwice

Müller, H., Strunck, V., Mickan, B., Kramer, R., Dopheide, D., Hotze, H.-J., 2003: „Optisches Durchflussnormal für HD-Erdgas: Voraussetzungen für einen LDA-Einsatz“, Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, 11. Fachtagung 2003, pp. 8.1 – 8.6

Müller, H., Strunck, V., Kramer, R., Mickan, B., Dopheide, D., Hotze, H.-J.: Germany's new Optical Primary National Standard for Natural Gas of high pressure at pigsar™, from www.pigsar.de