Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 109 (1991)

Heft: 44

Artikel: Neues Volumenstrommessgerät für Gase: technischer Fortschritt bei der Prüfung kleiner pneumatischer Drosselquerschnitte

Autor: Jung, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-86041

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 26.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Neues Volumenstrommessgerät für Gase

Technischer Fortschritt bei der Prüfung kleiner pneumatischer Drosselquerschnitte

Ein neuentwickeltes, mikroprozessorgesteuertes Durchflussmessgerät – nach dem Prinzip des Laminarstrom-Differenzdruck-Verfahrens (LDV) arbeitend – liefert für die ermittelten Gasvolumenströme Messwerte von extremer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Das Messsystem besteht aus der Versorgungseinheit, einer oder mehreren Laminar-(Mess-)strecken sowie der Bedien- und Auswertelektronik. Der modulare Aufbau dieser Basisbausteine gestattet konzeptionelle Anpassung an jeweilige Mess-Anforderungen.

Das neue mikroprozessorgesteuerte Volumenstrom-Messgerät für Gase, zum Beispiel Luft, findet einen weiten An-

VON PETER JUNG,
HOMBURG/SAAR

wendungsbereich in der Prüf- und Fertigungstechnik bei der Messung kleiner bis mittlerer Volumenströme (Bild 1). Zurzeit stehen Messstrecken zur Verfügung, welche die Bereiche 20–1000 ml/min und 800–10 000 ml/min abdecken. In der Erprobung befinden sich derzeit Strecken für die Bereiche 2–100 ml/m in sowie 10–333 ml/min. Mit der eingebauten Temperaturkompensation wird für das Gerät ein Gesamtmessfehler von kleiner ±0,5% v.E. garantiert, bei einer Reproduzierbarkeit von besser ±0,2% v.E.

Das elektronische Steuergerät ermöglicht sowohl Handbedienung als auch den Betrieb mit einem übergeordneten Rechner bzw. einer Steuerung. Ein spezieller Anwendungsfall ist die weitgehend absolutdruckunabhängige, Prüfung kleiner Drosselquerschnitte, z.B. Blendendurchmesser im Bereich 0,1 bis 1 mm.

Messprinzip

Das Messprinzip des LDV 2000, das Laminarstrom-Differenzdruck-Verfahren, beruht auf der physikalischen Gesetzmässigkeit, dass in einer laminar durchströmten Röhre der Druckabfall längs der Röhre proportional dem Volumenstrom ist.

$V = \Delta p \cdot Konstante$

(gemäss Gesetz von Hagen und Poiseuille)

Laminare Rohrströmung bedeutet, dass sich alle durch ein Rohr strömenden Teilchen auf Stromlinien, parallel zur Rohrachse, bewegen. Dabei ergibt sich senkrecht zur Rohrachse eine parabelförmige Geschwindigkeitsverteilung. (Bild 2). Die Teilchengeschwindigkeit nimmt in der Rohrachse ein Maximum an und geht in Richtung Rohrwand gegen Null.

Ein Mass für die Laminarität der Strömung bildet die Reynoldszahl Re. Die Strömung ist laminar, solange die Reynoldszahl kleiner als die kritische Reynoldszahl Re_{crit} bleibt. Wird die kritische Reynoldszahl überschritten, so ist die Strömung turbulent.

Laminare Strömung: $Re < Re_{crit}$

Die Reynoldszahl ist im wesentlichen abhängig von der Grösse des durch die Röhre strömenden Volumenstromes selbst, vom Absolutdruck und den Eigenschaften der eingesetzten Röhre (gemäss Reynolds-Kriterium). Bei Röhren mit kreisrundem Querschnitt beträgt die kritische Reynoldszahl

$Re_{crit} = 2320.$

Die eingesetzten Messlaminarstrecken sind so dimensioniert und konstruiert (Einlauf- und Auslaufstrecken), dass die Laminarität der Strömung über den garantierten Messbereich gewährleistet ist.

Mittels der an die Laminarstrecke angebauten Sensorik und der weiterverarbeitenden Elektronik wird der Druckabfall über der Laminarstrecke gemessen und daraus der Volumenstrom berechnet.

Um Messfehler, die durch Temperaturänderungen des Messmediums entstehen, zu eliminieren, wird die Temperatur des durch die Laminarstrecke strömenden Gases über einen schnell ansprechenden Temperatursensor erfasst und in die Berechnung des Volumenstromes einbezogen.

Die Temperaturkompensation ist ausgelegt für die Gase Luft, Sauerstoff, Stickstoff und arbeitet bei diesen Medien im Bereich von 10° bis 40 °C.

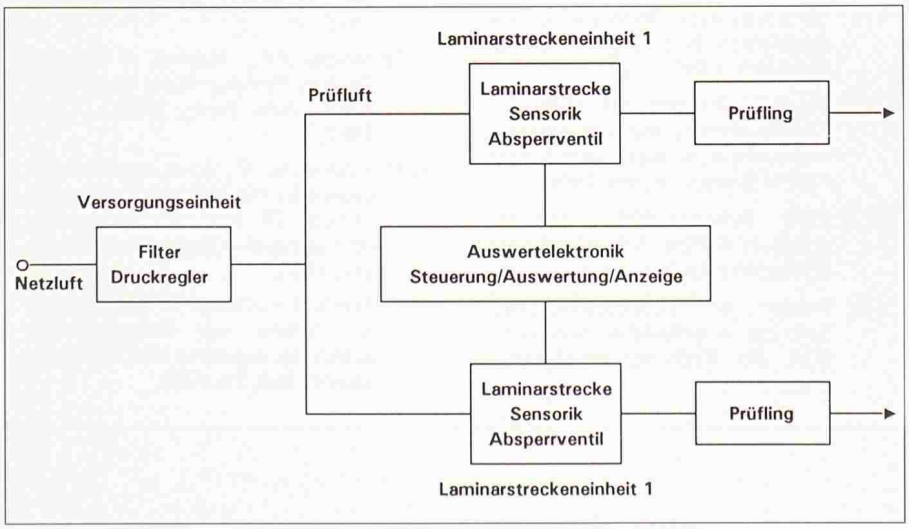

Bild 1. Die Grundeinheiten des Messsystems

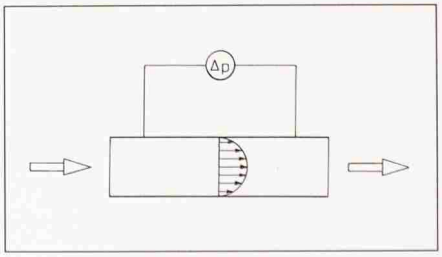

Bild 2. Geschwindigkeitsverteilung in einem Rohr bei laminarer Durchströmung

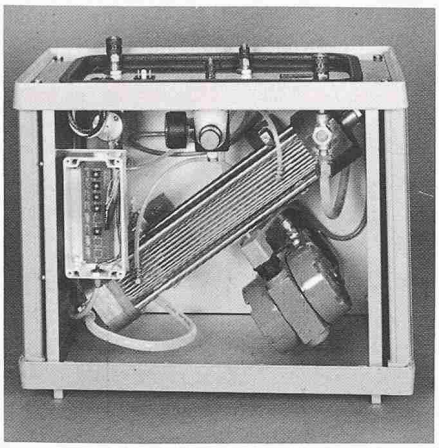

Bild 3. Laminarstrecke mit Sensorik und Absperrventil (rechts). (Moehwald, Lizenz Bosch)

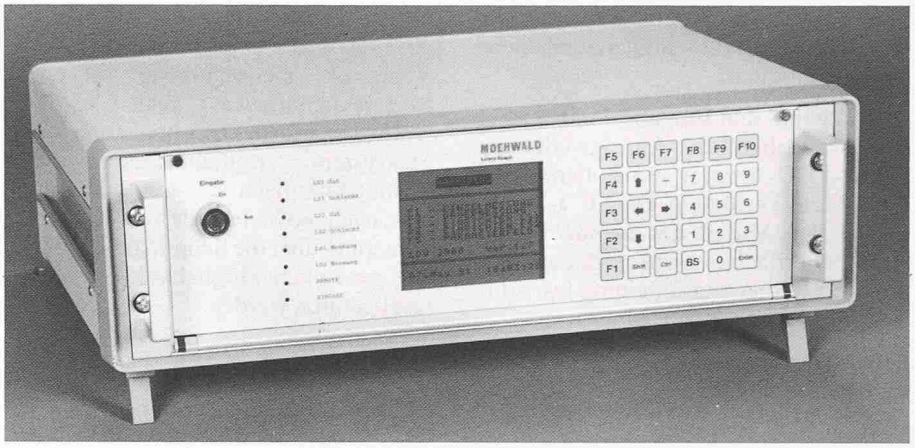

Bild 4. Auswerteelektronik des mikroprozessorgesteuerten Durchflussmessgerätes LDV 200 mit LCD-Anzeige und Folientastatur

Durchflussmessgerät für Gase LDV 200

Versorgungseinheit

Die Versorgungseinheit bereitet die angebotene Netzluft (Druckluft bis max. 16 bar) so auf, dass sie zum Messen in der Laminarstrecke verwendet werden kann. Sie besteht im wesentlichen aus einer Filtereinheit mit Wasserabscheider, einem Aktivkohlefilter und einem Feindruckregler zum Einstellen des Absolutdruckes. Damit ein genügend grosser Sicherheitsabstand zur kritischen Reynoldszahl gewährleistet ist, wird empfohlen, das Gerät nur bis zu einem Absolutdruck von 4 bar einzusetzen.

Anstelle des Überdrucks kann das System auch mit Unterdruck betrieben werden. Dazu wird hinter dem Prüfling eine Vakuumpumpe installiert, welche die Umgebungsluft durch Prüfling, Laminarstrecke und Versorgungseinheit ansaugt. Der Absolutdruckregler wird hierbei durch Umschalten von Druckbetrieb in Vakuumbetrieb umgangen, die notwendige Filtereinheit wird genutzt.

Laminarstreckeneinheit

Die Laminarstreckeneinheit (Bild 3) enthält neben der Laminarstrecke, in Edelstahlausführung, die komplette Sensorik sowie ein Absperrventil. Alle Laminarstrecken sind konstruktiv so ausgelegt, dass beim Messbereichsende der gleiche Differenzdruck über der Strecke abfällt. Der eingesetzte Differenzdrucksensor weist als Gesamtfehler weniger als ±∠ 0,1% v.E.

Kalibrierung

Die Kalibrierung der Laminarstrecken wird mittels einer Kolbenkalibrieranlage durchgeführt. Hierbei können Volumenströme mit einem Fehler von kleiner als ±0,25% erzeugt werden. Die Kalibrierung erfolgt standardmässig bei einem Absolutdruck von 3,5 bar. Eine einfache Überprüfung der Messgenauigkeit kann auf der Anwenderseite mit Kalibrierdüsen erfolgen, wobei eine Messunsicherheit von kleiner als ±0,5% v.E. erreicht wird.

Anpassung Auswerteelektronik

Zur Anpassung der Laminarstreckeneinheiten an die Auswerteelektronik enthält jede Strecke eine Kodierschaltereinheit, mit welcher der für die jeweilige Strecke spezifische Kalibrierwert eingestellt wird. Der Einstellwert wird von der Auswerteeinheit eingelesen. Dies bietet den Vorteil, dass jede beliebige Laminarstrecken-Einheit an eine Auswerteelektronik angeschlossen werden kann, ohne irgendwelche Kalibrierungen vornehmen zu müssen.

Der Absolutdruckaufnehmer verfügt standardmässig über einen Messbereich von 6 bar, der Temperaturaufnehmer über einen Bereich von 0–100 °C. Das zwischen Laminarstrecke und dem Prüfling befindliche Absperrventil erfüllt die hohen Anforderungen an die Dichtigkeit des Systems.

Mikroprozessorgesteuerte Auswerteelektronik

Die mikroprozessorgesteuerte Auswerteelektronik verarbeitet die Messsignale der Laminarstreckeneinheit und bringt diese zur Anzeige. Herzstück der Auswerteelektronik ist ein von der gleichen Unternehmung entwickelter Single Board Computer, dessen Realtime-Mul-

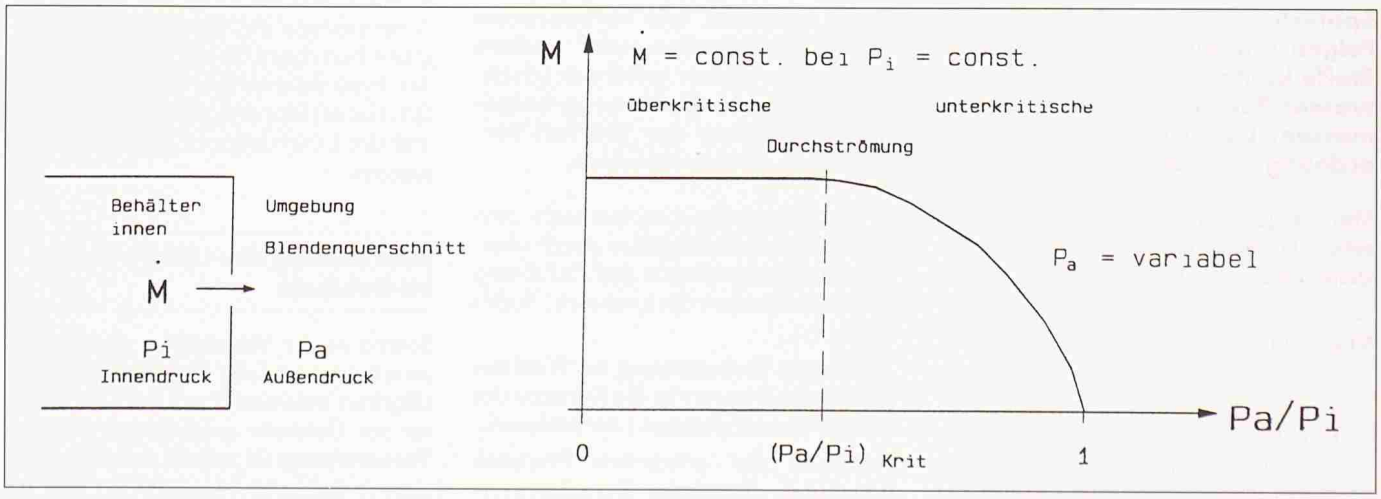

Bild 5. Ausströmvorgang an einer Blende, kritisches Druckverhältnis

titasking-Betriebssystem das gleichzeitige Messen mit zwei Laminarstreckeneinheiten ermöglicht.

Als Anzeige- und Eingabeeinheit stehen eine zweizeilige LED-Anzeige oder eine Grafik-LCD-Anzeige mit Folientastatur (Bild 4) zur Verfügung. Die LCD- Anzeige hat den Vorteil der menügeführten Bedienoberfläche, so dass sich damit der Griff zur Bedienungsanleitung fast erübrigt.

Die Auswerteelektronik bietet speziell folgende Möglichkeiten:

- Volumenstromanzeige wählbar in ml/min oder l/h
- Einstellung von Abtastrate und Anzahl der Messwerte für die Mittelwertbildung
- Anzeige von Differenzdruck, Absolutdruck und Temperatur
- Temperaturkompensation ein-/ausschaltbar
- Temperaturkompensation wählbar für Volumen- und Querschnittsmessung
- Selbstüberwachung und Fehlererkennung
- Automatische Nullpunktkorrektur für die Differenzdruckmessung
- Betriebsarten:
  Einzelmessung
  Dauermessung
  Einrichten
- Direkte Messwertausgabe an einen Drucker im Einzelmessmodus
- Batteriegepufferte Parametereinstellungen
- Überwachung der Grenzwerte des Volumenstromes
- Überwachung des Absolutdruckes
- Einstellbare Beruhigungs- und Messzeiten
- Analogausgänge für alle Messgrössen

Neben diesen Bedienmöglichkeiten über das Frontpanel ist die Auswerteelektronik standardmässig mit einer Rechnerschnittstelle nach RS-232-Norm ausgerüstet. Optional kann jedes Messystem zusätzlich mit einer Schnittstelle nach IEC-625 Norm aus- bzw. nachgerüstet werden. Auch bei der Steuerung über die Schnittstelle können alle genannten Möglichkeiten des Gerätes genutzt werden.

Anwendungsbeispiel: Prüfung kleiner Drosselquerschnitte

Die Prüfung kleiner Drosselquerschnitte ist ein spezieller Anwendungsfall für das Messystem LDV 2000. Für den Ausströmvorgang eines Gases über eine Blende oder Düse gilt die in Bild 5 dargestellte Gesetzmässigkeit.

Verändert man bei dem nach Bild 4 dargestellten Ausströmvorgang den Aussendruck P_a so, dass man auf der x-Achse von $P_a/P_i = 1$ nach $P_a/P_i = 0$ wandert, so findet man einen Punkt P_a/P_{icrit}, ab dem der ausströmende Massenstrom konstant bleibt (vorausgesetzt $P_i = konstant$). Man bezeichnet den Bereich

$P_a/P_i < P_a/P_{icrit}$

als überkritische Ausströmung und den Bereich

$P_a/P_i > P_a/P_{icrit}$

als unterkritische Ausströmung.

Befindet man sich im Bereich der überkritischen Ausströmung, so ist im Idealfall der austretende Massenstrom dem Innendruck P_i und der Austrittsfläche A proportional:

$\dot{M} = A \cdot Kl \cdot P_i$ *für* T = konstant.
(überkritische Ausströmung)

Da die Dichte der Luft vor der Blende ebenfalls proportional dem Innendruck P_i ist (bei T = konstant)

$\rho_i = P_i / R_i \cdot T_i$
(allg. Gasgleichung)

und weil die Dichte gleich dem Quotienten aus Masse und Volumen (bzw. Massenstrom/Volumenstrom) ist,

$\dot{v}_i = \dot{M} / \rho$

ergibt sich im Idealfall, dass der Volumenstrom vor der Blende im Bereich der überkritischen Ausströmung allein zur Austrittsfläche A proportional ist.

$\dot{v} = A \cdot K_2$
(überkritische Ausströmung)

$K_2 = f$ (Blendenform, Temperatur)

In der Praxis ergeben sich für die Konstante K_2 Abhängigkeiten von der Temperatur sowie von der Blendenform. Die Temperaturabhängigkeit lässt sich mit einer im Gerät implementierten Kompensationsformel weitgehend beseitigen. Die Abhängigkeit von der Blendenform verunmöglicht Absolutmessungen des Blendenquerschnitts. Sinnvoll sind nur vergleichende Messungen zwischen Blenden derselben Bauform.

Das Messsystem LDV 2000 wurde im Jahr 1990 von der Moehwald GmbH in Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH als Lizenzgeberin entwickelt.

Adresse des Verfassers: *P. Jung*, Dipl.-Ing., Moehwald GmbH, Bereich Entwicklung und Projektierung, D-6650 Homburg/Saar.

Löschwasser-Rückhaltung

Spätestens seit dem 1. November 1986 ist bekannt, wie verheerende Folgen unkontrolliert abfliessendes, durch Chemikalien oder andere Stoffe kontaminiertes Löschwasser haben kann. Daher wird der Löschwasser-Rückhaltung heute eine wesentlich grössere Bedeutung beigemessen. Durch die kürzlich erfolgte Inkraftsetzung der Störfall-Verordnung wird deren Notwendigkeit gesetzlich vorgeschrieben.

Von den gegebenen Örtlichkeiten her gesehen, lassen sich zwei Entsorgungs-Systeme unterscheiden:

VON TONI SCHÖB,
VADUZ

☐ Rückhaltung des Löschwassers im Gebäude (Keller, Produktions- oder Lagerraum) durch Abschottung sämtlicher Ausgänge

☐ Auffangen des Löschwassers ausserhalb des Brandobjektes durch oberirdische Sammelrinnen und Zuführung in Sammelbecken (Betonwanne, Stahltank)

Wichtigste Voraussetzung zur Wahl des geeigneten Systems ist die Kenntnis der Menge des anfallenden Löschwassers.

Aufgrund der gelagerten Produkte (Quantität, chemische Zusammensetzung), vorhandenen Alarm- und Brandschutzanlagen und Eingreifzeit der Feuerwehr, lässt sich der Löschwasseranfall und die Höhe der benötigten Absperrungen mit genügender Genauigkeit berechnen. In der Regel wird bei der Bestimmung des Löschwasseranfalls von der Brandfläche in Quadratmetern und der Löschdauer in Minuten ausgegangen.

Rückhaltung des Löschwassers im Gebäude

Soweit es die Vorschriften des Gewässerschutzes und die Gegebenheiten des Objektes zulassen, kann das Löschwasser im Gebäude aufgefangen werden. Voraussetzung ist jedoch, dass durch geeignete bauliche Massnahmen alle ins Freie führenden Durchlässe wie Türen,