

Dynamische Gasflussmessungen mit Kolbennormalen

Kolbennormale sind bei volumetrischen Flussmessung von Gasen im kleinen und mittleren Durchflussbereich nach wie vor Stand der Technik. Deshalb erweiterte das Labor für Durchfluss- und Hydrometrie seine Kolbenmessanlage auf drei neue Betriebsarten. Damit ermöglicht es die Kalibrierung von kritisch betriebenen Venturidüsen oder von Instrumenten, die bei Drücken von mehreren Bar arbeiten.

MARTIN TSCHANNEN

Wieviel Methan entsteht in der Biogasanlage, entspricht die Menge Wasserstoff den Vorgaben des chemischen Prozesses und ist der Anteil Sauerstoff in Beatmungsgeräten richtig eingestellt? In der Chemie-, Pharma-, Prozessindustrie und Umweltmetrologie steigt die Nachfrage nach genau messbaren und rückführbaren Durchflüssen. Als Messgeräte der tendenziell immer kleiner werdenden Flüsse dienen oft Massendurchflussregler (Mass flow controller, MFC) und Massendurchflussmesser (Massflow-Meter, MFM) sowie kritisch betriebene Venturi-Düsen.

Damit diese Messgeräte genau stimmen, werden sie mit Kolbennormalen zuverlässig kalibriert. Kolbennormale sind bei der hochgenauen volumetrischen Flussmessung von Gasen nach wie vor Stand der Technik. Denn volumetrisch heisst auch unabhängig von der Gasart und den meisten Einflussfaktoren wie: Viskosität, Dichte, Wärmekapazität oder – bei feuchter Luft – Wasserdampfanteil. Im Gegensatz dazu sind bei anderen Messverfahren (z.B. kalorimetrische, oder Wirkdruckverfahren) die erwähnten Einflussfaktoren von zentraler Bedeutung und deren Auswirkungen oft nur schwer zu erfassen. Aus diesen Gründen setzt das Labor für Durchfluss- und Hydrometrie u.a. auf die Kolbenmessanlage und erweiterte diese mit neuen Betriebsarten. In der Vergangenheit konnte der Messplatz nur bei niedrigen Drücken von einigen zehn Millibar in einem einzigen Modus – dem Auspressen von Luft – arbeiten.

Die beiden METAS-Kolbennormale (6.5 L resp. 180 L) zusammen decken einen Durchflussbereich von zwei Millilitern bis 330 Litern pro Minute ab. Diese beeindruckende Dynamik von



1: Ein Massendurchflussregler (Mass flow controller, MFC) regelt einen Massenstrom auf einen Sollwert und kann mit Kolbennormalen kalibriert werden.

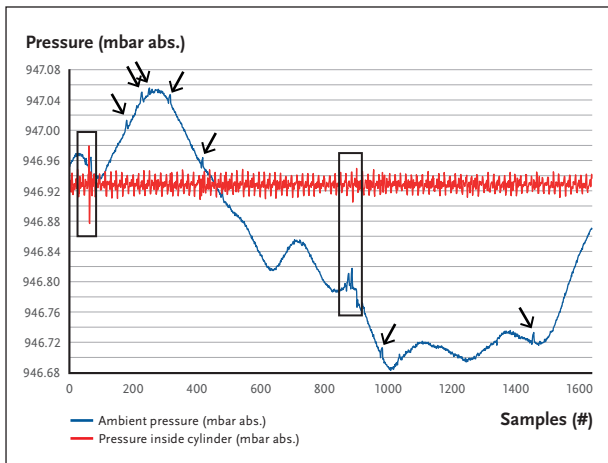
1:165 000 ist nicht zuletzt hochmodernen Servo-Antrieben und spielfreien Getrieben zu verdanken, welche die im Aussendurchmesser kalibrierten Kolben im Zylinderraum auf- und abbewegen. Das dabei freigegebene – oder verdrängte – Volumen, welches auch den Prüfling durchströmt, wird mittels Wegmessung bestimmt und kann bei der Kalibrierung anschliessend mit der Prüflingsanzeige verglichen und damit die Messabweichung bestimmt werden.

Kolben regelt dynamisch

Seit Kurzem kann der Messplatz in drei weiteren Betriebsarten arbeiten, von denen zwei druckgeregelt sind. Die Messmöglichkeiten wurden dadurch massiv erweitert und erlauben nun auch die Kalibrierung von Venturidüsen im kritischen Betrieb

Übersicht über die METAS-Kolbennormale

Nutzbares Messvolumen	6.5 L	180 L
Durchflussbereich L/min	0.002 bis 6	0.1 bis 330
Messunsicherheit (k=2)	0.15 % im Durchflussbereich von (0.002 bis 0.100) L/min 0.068 % im Durchflussbereich von (0.002 bis 0.100) L/min	0.068 % über den ganzen Bereich
Einsetzbare Gase	Ausser Helium alle inerten, nicht explosiven Gase	



2: Die Grafik zeigt den vom Umgebungsdruck entkoppelten Innendruck im Zylinderraum. Die Bandbreite beträgt maximal 4 Pa (0.04 mbar).

oder von Instrumenten, die bei Drücken von mehreren Bar arbeiten. Bei der Verwendung von kritisch betriebenen Venturidüsen nutzt man den physikalischen Effekt, dass bei Erreichen eines kritischen Druckverhältnisses zwischen Ein- und Ausgang der Düsen im Düsenhals Schallgeschwindigkeit herrscht. Die Schallgeschwindigkeit kann im Düsenhals auch bei Drücken oberhalb des kritischen Druckverhältnisses nicht überschritten werden. Somit kann mit diesen Düsen ein sehr stabiler Volumenstrom eingestellt werden. Aufgrund ihrer Stabilität, Robustheit und Wiederholbarkeit werden solche Düsen von akkreditierten Kalibrierlabors und Eichstellen häufig als Referenzstandards verwendet. Umfangreiche Anpassungen der Software lassen neu, nebst dem herkömmlichen Ausblasen bzw. Einsaugen von feuchter Luft, auch die Kalibrierung von Prüflingen zu, die selbst eine Flussquelle- oder Senke darstellen. Zu den Quellen zählen MFC, Venturidüsen (im bedruckten Betrieb) sowie Geräte, welche eine Pumpe eingebaut haben z.B. Gasverdünner. Senken sind kritisch betriebene Venturidüsen, (im Saugbetrieb) sowie Geräte, die eine Pumpe eingebaut haben, wie Luftkeimsammler. Für eine Kalibrierung wird die Fahrgeschwindigkeit der Kolben dynamisch während der Messzeit mit einem PID-Regelkreis geregelt. Beim Start der eigentlichen Messung wird der Gasdruck im Zylinderraum auf dem zu Beginn des Messvolumens aktuell herrschenden Umgebungsdrucks konstant gehalten. Damit werden – nebst weiteren positiven Auswirkungen – störende Effekte von wetterbedingten Luftdruckschwankungen eliminiert und damit längere Messzeiten ermöglicht.

Erfolgreiche Vergleichsmessungen

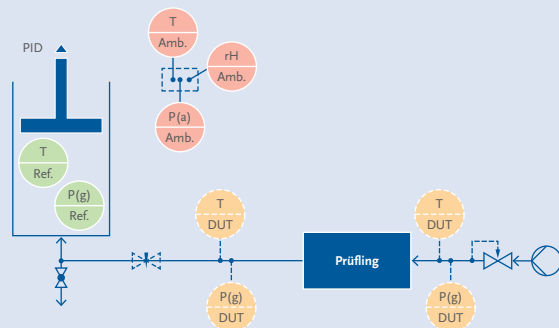
Das neue Verfahren mit motorisch angetriebenen und druckregulierten Kolbennormale musste METAS-intern gegen etablierte Messverfahren antreten. Vergleichsmessungen mit quecksilbergedichteten, kalibrierten und mit einem interferometrischen Positionsmesssystem ausgestattete Glaskolben bestätigen die Effizienz und die Genauigkeitsanalyse der neuen Messmöglichkeiten. Als Transfornormale wurden sog. Molblocs (Messung des Druckabfalls über ein laminares Strömungselement) mit Stickstoff und einem Eingangsdruck

Die Anwendung im Detail

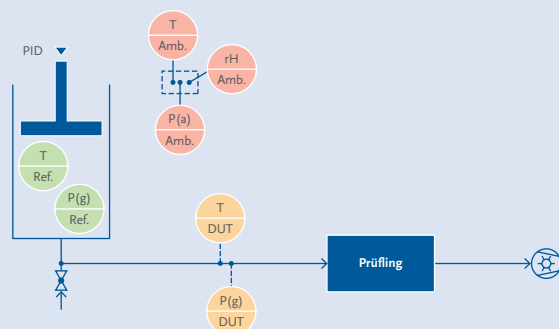
a) Prüflinge, welche selbst eine **positive Quelle** darstellen. Typisch: MFCs (Massflow-Controller) oder Prüfling welche einen grossen Druckabfall (> 15 mbar bei Q_{max}) erzeugen.

Aber auch kritisch betriebene Venturi-Düsen können auf diese Art kalibriert werden. Man spricht in diesem Fall von einer Mehrpunktkalibrierung im bedruckten Betrieb, d.h. die Bestimmung der druckabhängigen Düsenkennlinie.

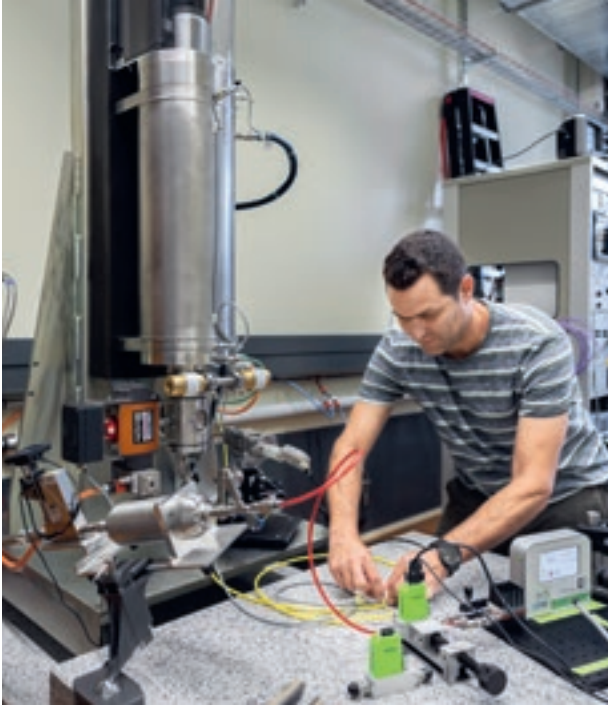
Diese Art von Prüflingen werden mit dem vom Kunden gewünschten Test-Gas (alle inerten, nicht explosiven Gase und kein Helium) bedruckt. Das Test-Gas passiert den Prüfling und strömt anschliessend in das Kolbennormal ein.



b) Prüflinge, welche selbst eine **negative Quelle (Senke)** darstellen. Typisch: Kritisch betriebene Venturi-Düsen (betrieben mit feuchter Luft). Dazu wird eine Vakuumquelle an den Prüfling angelegt. Der vom Prüfling generierte und konstante Volumenfluss – (Öffnungsquerschnitt der Düse x Schallgeschwindigkeit) wird vom Kolbennormal entnommen und passiert anschliessend den Prüfling.



von 3.0 bar verwendet. Ausserdem beweisen zahlreiche Validierungsmessungen – mit diversen anderen Gaszähler-Bauarten als Transfornormale – im Überlappungsbereich der beiden Kolbennormale sowie des grossen 10 m³-Kubizierapparates des METAS die hohe Reproduzierbarkeit und Übereinstimmung der Messwerte in allen Betriebsmodi.



3: Das präzise Einstellen von Feinregulierventilen ist zurzeit noch arbeitszeitintensiv, wird aber demnächst mit entsprechender Hard- und Software automatisiert.

Erster Kundenauftrag mit kritisch betriebenen Venturi-Düsen

Die Kalibrierung von zwei sogenannten Düsengalerien konnte erfolgreich durchgeführt werden. Düsengalerien sind parallel verbaute Einzeldüsen, welche im Durchfluss in der Regel eine binäre Abstufung aufweisen. Im gemeinsamen Düsenvorhof wird mit den Stoffparametern Druck, Temperatur und relative Feuchte die Luftdichte am Düseneingang bestimmt. Ein akkreditiertes Labor hat unsere neuen Messmöglichkeiten genutzt: Die Ergebnisse der Kalibrierungen stimmen hervorragend mit den zuvor ermittelten Ergebnissen überein, mit dem zusätzlichen Vorteil einer noch geringeren Messunsicherheit. Dies ist insofern von Bedeutung, weil kritisch betriebene Venturi-Düsen bei korrekter Behandlung keiner mechanischer Abnutzung oder geometrischer Änderung unterliegen und daher auch über Jahre beinahe keine Drift zu erwarten ist. In diesem Fall mit insgesamt 12 zu kalibrierenden Düsen im nominellen Durchflussbereich von (0.17 bis 48) L/min. Die Düsen wurden im Saugbetrieb mit feuchter Luft (Labor-Raumluft) bei atmosphärischen Bedingungen (Umgebungsdruck am Düseneingang) sowie mit einer Druckabsenkung (Umgebungsdruck MINUS (50 bis 100) mbar am Düseneingang) kalibriert. Mit dieser 2-Punkt



Kalibrierung lassen sich sowohl die Düsenkennzahl $Q_{v,20,tr,1000}$ (Lufttemperatur = 20°C, Luftfeuchte = 0%, Luftdruck = 1000 bar) als auch der Korrekturfaktor C_pE (Eingangsdruckabhängigkeit) bestimmen. Eine konservative Messunsicherheit von 0.10% (mit $k=2$) konnte für alle Messwerte ausgewiesen werden.

Verbesserte Messplatzsoftware und automatisierte Ansteuerung

Zurzeit sind Messungen in den druckgeregelten Modi immer noch arbeitszeitintensiv. Etwa das Setzen neuer Set-points an den Kundengeräten oder das präzise Einstellen von Feinregulierventilen für die Durchflussgenerierung verlangen das Beisein von Personal. Dieser manuelle Aufwand wird schrittweise durch die Implementierung der gängigsten Gerätetreiber für Kundengeräte in die Messplatzsoftware sowie durch automatisierte Ansteuerung vom MFCs für die Durchflussgenerierung verringert.

Weitere Vergleichsmessungen mit anderen NMIs, gerade in den kleinsten Durchflussbereichen, sind zeitnah geplant. Die grösste Schwierigkeit dabei ist – wie wohl sehr oft – die Findung und Charakterisierung von geeigneten und genügend stabilen Vergleichsnormalen.



4: Die 12-Venturi-Düsen wurden vor rund 5 Jahren bei der PTB in Braunschweig mit nahezu deckungsgleichen Ergebnissen gegenüber den Messwerten des METAS kalibriert.

Kontakt:

Martin Tschannen, Ing. FH

Technischer Experte, Labor Durchfluss- und Hydrometrie

martin.tschannen@metas.ch

+41 58 387 08 91

Mesures dynamiques des flux gazeux avec des étalons à piston

Quelle est la quantité de méthane générée dans une installation de biogaz? Le volume d'hydrogène correspond-il aux prescriptions liées au processus chimique? La part d'oxygène dans les respirateurs artificiels est-elle correctement réglée? La demande en flux gazeux pouvant être mesurés et tracés avec précision augmente dans les domaines de l'industrie et de la médecine. Des régulateurs de débit massique (mass flow controller MFC) et des débitmètres massiques (mass flow meter MFM), de même que des tubes de Venturi à écoulement critique sont souvent utilisés comme dispositifs de mesure.

Si ces appareils de mesure concordent précisément, ils peuvent être étalonnés de manière fiable grâce à des étalons à piston. Ceux-ci restent les instruments à la pointe de la technologie pour la mesure volumétrique hautement précise des flux gazeux. En effet, la qualification de volumétrie signifie également être indépendant du type de gaz et de la plupart des facteurs d'influence comme la viscosité, la densité, la capacité thermique ou la part de vapeur d'eau en cas d'air humide.

Les deux étalons à piston de METAS ont un volume de mesure utile de 6,5 l et 180 l et couvrent ensemble une plage de débit allant de 2 millilitres à 330 litres par minute. Depuis peu, la station de mesure peut travailler selon trois autres modes d'exploitation, dont deux sont réglés en pression. Les possibilités de mesure ont ainsi été considérablement étendues et permettent désormais également l'étalonnage de tubes de Venturi à écoulement critique ou d'instruments utilisés à des pressions de plusieurs bars.

La charge de travail manuel sera réduite à l'avenir, grâce notamment à l'implémentation de logiciels de places de mesure améliorés ou au pilotage automatisé des régulateurs de débit massique pour la génération de débit. De plus, il est également prévu de réaliser des mesures comparatives complémentaires avec d'autres instituts nationaux de métrologie.

Misurazioni dinamiche dei flussi di gas con campioni cilindrici

Quanto metano viene prodotto negli impianti a biogas? Il quantitativo di idrogeno corrisponde ai requisiti del processo chimico? La dose di ossigeno di un ventilatore polmonare è impostata correttamente? Nell'industria e nella medicina cresce l'esigenza di misurare esattamente e tracciare i flussi di gas. Come strumenti di misurazione si impiegano spesso regolatori e misuratori di portata massica (MFC e MFM), oltre a venturimetri.

Se è necessario che questi strumenti di misurazione corrispondano esattamente, è possibile tararli in maniera affidabile per mezzo di campioni cilindrici, che rappresentano oggi come ieri lo stadio tecnologico più avanzato per quanto riguarda la misurazione volumetrica ad alta precisione dei flussi di gas. Volumetrico significa infatti anche indipendente dal tipo di gas e dalla maggior parte dei fattori d'influenza, come viscosità, densità, capacità termica oppure, in presenza di aria umida, livello di vapore acqueo.

I due campioni cilindrici del METAS hanno un volume utile di misurazione di 6,5 l e 180 l e insieme coprono una gamma di flusso che va da 2 millilitri a 330 litri al minuto. Recentemente la stazione di misurazione è stata resa in grado di operare in tre nuove modalità operative, due delle quali sono regolate a pressione. Le possibilità di misurazione sono state così enormemente estese e consentono ora anche di calibrare venturimetri in attività critiche oppure strumenti che operano in presenza di pressioni di diversi bar.

In futuro gli sforzi manuali verranno ridotti, ad esempio con l'implementazione di un software migliorato per la stazione di misurazione, oltre che tramite la guida automatizzata di MFC per la generazione del flusso. Inoltre sono in programma ulteriori misurazioni comparative con altri istituti nazionali di metrologia.

Dynamic gas flow measurements with piston provers.

How much methane is produced in a biogas facility? Does a given quantity of hydrogen meet the requirements for a chemical process? Is the level of oxygen properly set in a ventilator? In both industry and medicine, there is growing demand for precisely measurable and traceable gas flows. Typical measuring devices include mass flow controllers (MFC), mass flow meters (MFM) and critically operated Venturi nozzles.

To ensure that these devices produce accurate results, they can be reliably calibrated using piston measurement standards. In the area of high-precision volumetric flow measurement for gases, piston measurement standards remain the state of the art. We should recall that the term «volumetric» also implies a measurement that is independent of the gas type as well as most influencing factors like the viscosity, density, thermal capacity and – in case of damp air – the share of water vapour.

The two METAS piston measurement standards have a usable measuring volume of 6.5 L and 180 L, respectively. Together, they cover a flow rate range from 2 mL to 330 L per minute. As of recently, the measuring station can be used in three further operating modes, two of which are pressure-controlled. Our measurement capabilities were thus greatly extended such that we can now also calibrate Venturi nozzles in critical operation as well as instruments operating at pressures of several bar.

The necessary manual effort will be reduced in future, e.g. by implementing improved test station software as well as through automated control of MFCs for flow generation. Further comparison measurements with other national metrological institutes are also in the planning stage.