Erfahrungen mit neuartigen Brennwertgebern

zur Bestimmung des Brennwertes in < 15 Sekunden

Die Gasbeschaffenheiten in den deutschen Transport- und Verteilnetzen schwanken bereits erheblich, und die Dynamik der Gasbeschaffenheiten wird aus den verschiedensten Gründen weiter zunehmen. Ein Grund hierfür ist das Versiegen der traditionellen Quellen und die Zunahme der Einspeisung von Gas aus unkonventionellen Quellen, doch auch die Marktraumumstellung von L-Gas auf H-Gas trägt zu dieser Entwicklung bei. Diese Trends machen eine schnelle und zuverlässige Brennwertbestimmung erforderlich. An dieser Stelle will der folgende Beitrag einen Lösungsansatz liefern.

von: Dr. Achim Zajc (Meter-Q Solutions GmbH)

Die europäische und damit auch die deutsche Gaswirtschaft befinden sich im Umbruch: Traditionelle Erdgasquellen wie aus den Niederlanden und der einheimischen Erdgasförderung nehmen jährlich ab [1]. Das niederländische wie das aus deutscher Produktion stammende Erdgas haben die sogenannte L-Gasqualität. Um sicherzustellen, dass Millionen von Gasgeräten bei abnehmender Produktion von L-Gas weiter störungsfrei arbeiten, muss Gas mit H-Gasqualität unter Zumischung von Stickstoff auf die L-Gasqualität eingestellt werden.

Werden neue traditionelle Erdgasquellen erschlossen, so geschieht dies in der Regel außerhalb Europas. Zunehmend wird auch in Deutschland die Einspeisung von Liquefied Natural Gas (LNG) in das Erdgasnetz als Alternative zu russischem Erdgas diskutiert, um der Abhängigkeit von Russland entgegenzuwirken. Parallel dazu gewinnt die Einspeisung von regenerativen Quellen in das Erdgasnetz zunehmend an Bedeutung; außerdem bringt der stark zunehmende europäische und globale Erdgashandel zahlreiche Veränderungen mit sich. So konnte durch ein Projekt der E.ON gezeigt werden, dass in den letzten Jahren 30 Prozent der Haushaltskunden und 20 Prozent der Großkunden von starken Schwankungen des Wobbe-Index betroffen sind, die Schwankungen können dabei maximal bis zu 1,5 kWh/m³ betragen [2]. Die Variation der Gasbeschaffenheit in der Gaswirtschaft schlägt bis zum Gasverwender durch. Die Auswirkungen auf diverse industrielle Thermoprozesse (Produktqualität, Effizienz, Schadstoffe, Sicherheit, Lebensdauer etc.) können sehr unterschiedlich ausfallen [3, 4].

Die Dynamik der Gasbeschaffenheit stellt die Energieabrechnung und damit auch die Messung der Gasbeschaffenheit vor neue Herausforderungen [5]. Die klassische Gasbeschaffenheitsmessung bedient sich der Prozessgaschromatografie, die sehr genau und eichfähig, jedoch auch kosten- und wartungsintensiv ist. Außerdem ist die Analysezeit mit 3 bis 5 Minuten (je nach Hersteller) für Regelungsprozesse wie für eine Erdgaskonditionierungsanlage ungeeignet. Wobbe-Geräte wiederum bieten zwar die Möglichkeit, in Kombination mit einer Dichtemessung den Brennwert innerhalb von Sekunden zu messen. Gleichwohl sind diese Systeme ähnlich denen der Prozessgaschromatografen sehr kosten- und wartungsintensiv.

Genau an dieser Stelle setzt die Sensortechnologie an: MEMS-Systeme (Microelectromechanical Systems, Chipbasierte Fertigungstechnologie von Sensoren/Aktoren, auch als Mikrosystemtechnik bezeichnet) sind erheblich günstiger herzustellen und durch die Miniaturisierung können diese Systeme auch wesentlich näher am Prozess (Probenentnahmestelle) installiert werden, um die Probenzeit erheblich zu reduzieren, sodass Analysenzeiten (inklusive der Probenentnahme) von < 15 Sekunden (T_{90}-Zeit) möglich sind.

Der folgende Beitrag demonstriert die Leistungsfähigkeit moderner Gasbeschaffenheitssensoren unter Labor- und Feldbedingungen in Vergleichs-

Quelle: MEMS AG

Abb. 1: Gasbeschaffenheitssensor gasQS der Firma MEMS AG (hier die nicht-Ex-Version)

messungen mit einem traditionellen Prozessgaschromatografen in einem Netzkopplungspunkt (NKP) der Gastransport Nord GmbH, bei einem Einsatz als schneller Brennwerttransmitter in einer mobilen Gasmischanlage der Gastransport Nord GmbH sowie dem Aufbau eines Brennwertgebers für die Bestimmung des Brennwertes < 15 Sekunden (inklusive der Probentransportzeit).

Moderne Gasbeschaffenheitssensoren basierend auf der MEMS-Technologie

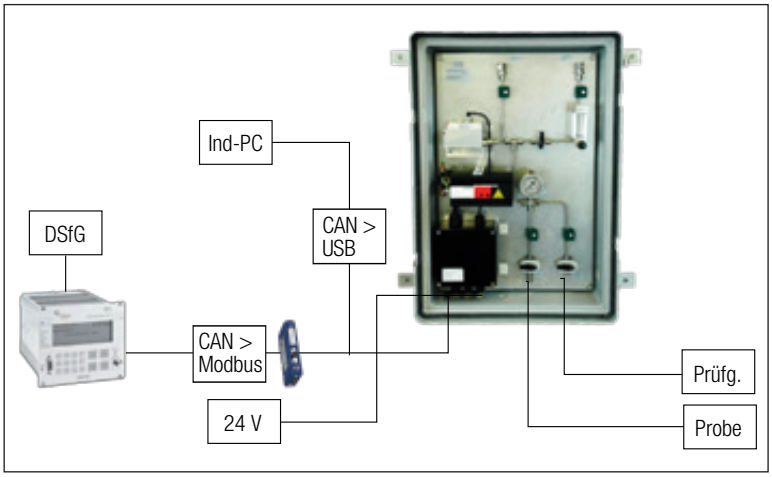
Aktuell am Markt befinden sich zwei Sensorsysteme, die auf der MEMS-Technologie aufgebaut sind und den Brennwert bzw. Wobbe-Index ermitteln können. Dies ist zum einen der gasQS von der Firma MEMS AG **(Abb. 1)** und der CVM 400 von der Firma AZBIL Corporation. Dieser Beitrag stellt die jeweiligen Sensorsysteme vor und diskutiert die technischen Unterschiede und die Ergebnisse aus dem Labor sowie aus Erdgasstationen im Vergleich zu herkömmlichen Prozessgaschromatografen.

Aufbau und Prinzip des Gasbeschaffenheitssensors der Firma MEMS AG

Der nur 3.5 x 2.1 mm² große Sensor-Chip, industriell hergestellt in einem komplementären Metall-Oxid-Halbleiter(CMOS)-Prozess, bildet das Herz des mikrothermischen Sensors. Wie der Name es bereits andeutet, handelt es sich dabei um ein voll integriertes Heizdrahtanemometer mit allen analogen und digitalen Kreisen für Signalverstärkung, AD-Wandlung und digitale Kommunikation. Der Chip erlaubt die Messung der Wärmeleitfähigkeit κ sowie der Wärmekapazität c_p eines Gasgemisches. Die Kombination des Sensorchips mit einer kritischen Düse liefert zusätzlich die Dichte ρ. Mittels eines Korrelationsverfahrens wird der Brennwert rechnerisch aus den erhaltenen Messwerten berechnet. Der Sensor zeigt in den Labortest gute Ergebnisse, denen zufolge die Brennwert- und Dichtemessung innerhalb einer Fehlerschwankung von ≤ ±1 Prozent liegt [6].

Vergleichsmessungen mit einem Prozessgaschromatografen

Im Anschluss an die Labormessungen wurde der gasQS-Sensor im Juni 2017 in dem Netzkopplungspunkt „Schatteburg" der Gastransport Nord GmbH installiert **(Abb. 2 & 3)**. In der Station ist auch ein Prozessgaschromatograf installiert.



Quelle: Meter-Q Solutions GmbH

Abb. 2: *Aufbau der Testinstallation des Sensors*

Quelle: Meter-Q Solutions GmbH

Abb. 3: *Die Testinstallation wurde an der Außenfassade des Netzkopplungspunktes „Schatteburg" der Gastransport Nord GmbH angebracht.*

In **Tabelle 1** ist die typische Erdgaszusammensetzung in dem genannten NKP angegeben; hierbei handelt es sich um eine typische L-Gas-Zusammensetzung. In den **Abbildungen 4** und **5** sind die Ergebnisse für den Brennwert und die Dichte zum einen für den gasQS-Sensor und zum anderen für den Prozessgaschromatografen für die Monate Juni und Juli 2017 dargestellt.

Tabelle 1: Typische Erdgaszusammensetzung in der Station „Schatteburg"

Bezeichnung	Einheit	L-Gas-Station „Schatteburg"
Methan	Mol-%	81,2
Stickstoff	Mol-%	14,2
Kohlenstoffdioxid	Mol-%	1,1
Ethan	Mol-%	2,8
Propan	Mol-%	0,4
Butane	Mol-%	0,15
Pentane	Mol-%	0,1
Hexane + höhere KW	Mol-%	0,05

Quelle: Gastransport Nord GmbH

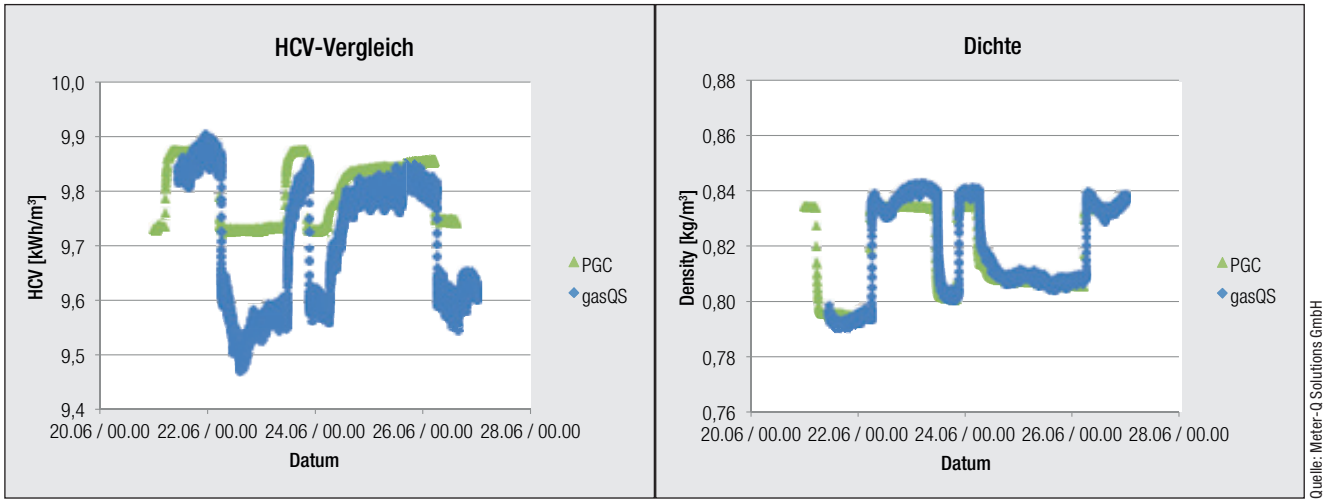


Abb. 4: *Abweichung des gasQS zum traditionellen PGC bezüglich des Brennwertes und der Dichte im Juni 2017*

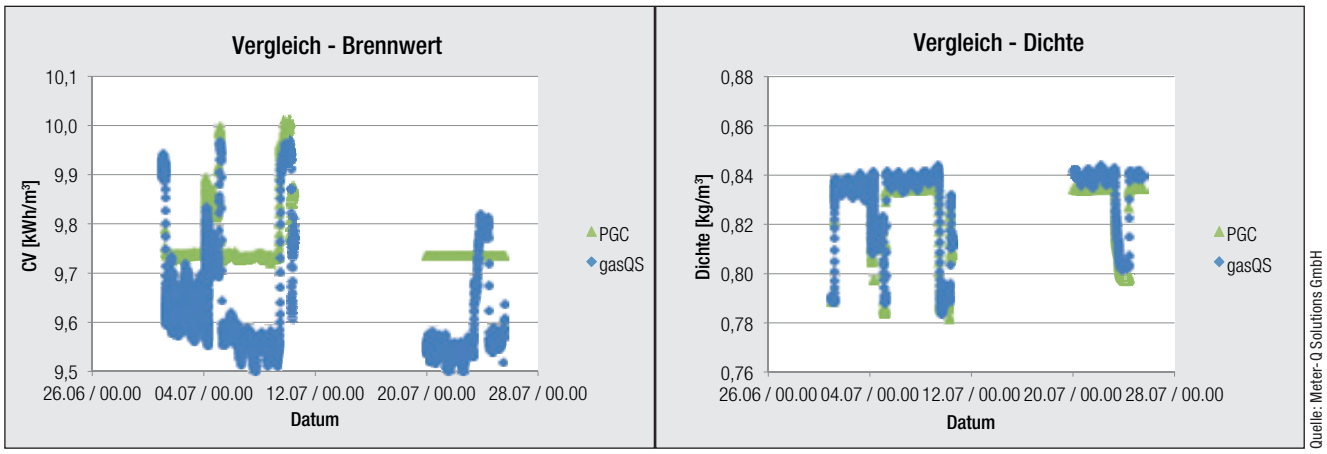


Abb. 5: *Abweichung des gasQS zum traditionellen PGC bezüglich des Brennwertes und der Dichte im Juli 2017*

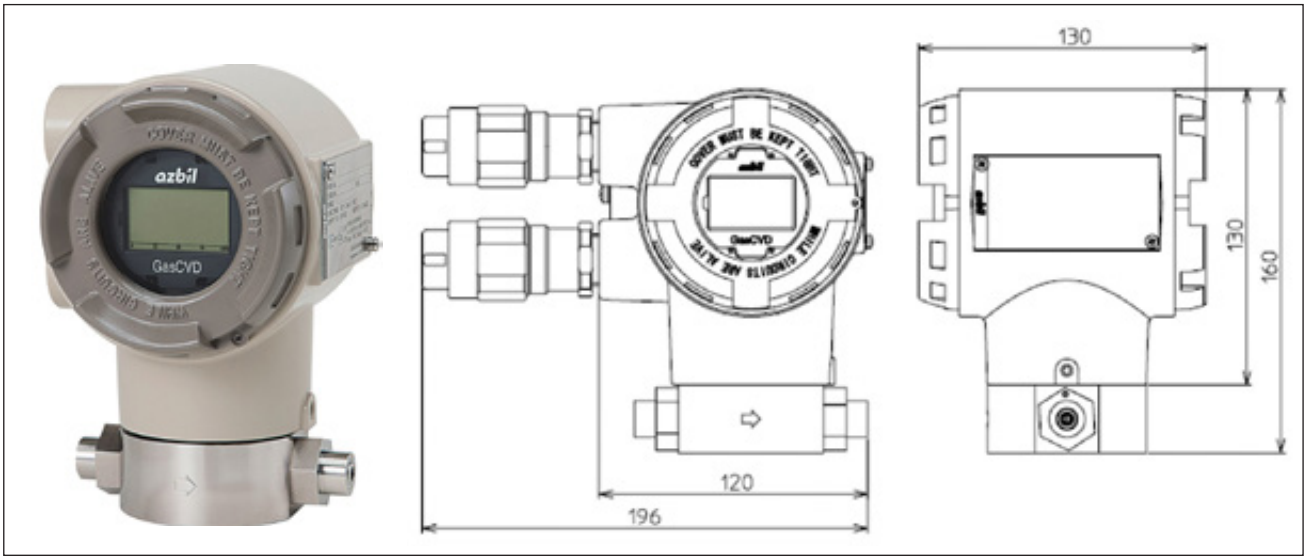
Bei der ersten Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass die Ergebnisse der Brennwertmessung mittels gasQS in den meisten Fällen unter denen des Prozessgaschromatografen liegen. Bei der Dichtemessung ist das nicht immer der Fall. Messwertänderungen des Prozessgaschromatografen werden auch von dem gasQS angezeigt. Während jedoch der Prozessgaschromatograf sehr konstante Werte liefert (wie z. B. um den 10. Juli 2017), zeigt der gasQS einen auffälligen negativen Trend bei der Brennwertbestimmung.

Tabelle 2: Vergleich der Monatsmittelwerte für den Brennwert des NKP „Schatteburg“

Brennwert-Monatsmittelwert	PGC [Wh/m³]	MEMS [Wh/m³]	Abweichung [Wh/m³]	Abweichung [%]
Juni 2017	9819	9738	82	-0,8
Juli 2017	9765	9637	128	-1,3
August 2017	9733	9573	159	-1,6
September 2017	9741	9555	186	-2,0
Oktober 2017	9746	9584	161	-1,7
November 2017	9743	9612	131	-1,3
Dezember 2017	9744	9635	109	-1,1
Januar 2018	9745	9635	101	-1,1
Februar 2018	9748	9595	153	-1,6
März 2018	9748	9589	159	-1,6

Quelle: Meter-Q Solutions GmbH

In den folgenden Monaten wurden die Testmessungen fortgeführt. Hierbei wurden die Monatsmittelwerte für den Brennwert, erzielt mit dem gasQS, mit denen des Prozessgaschromatografen verglichen. Im Juni 2017 war der Mittelwert des Brennwerts vom gasQS um 0,8 Prozent unterhalb des Mittelwertes für den Brennwert mittels Prozessgaschromatografen, dieser Trend setzte sich bis September fort, wo die Abweichung -2,0 Prozent betrug. Im Oktober 2017 drehte sich der Trend und die Abweichung zum Mittelwert des Prozessgaschromatografen wurde wieder kleiner. Im Dezember 2017 betrug die Abweichung -1,1 Prozent. Dieses Ergebnis ist überraschend, da erwartet wurde, dass der Sensor in den ersten vier Mo-



Quelle: AZBIL Corporation

Abb. 6: *Gasbeschaffenheitssensor CVM 400 der Firma AZBIL ATEX-Version (Abmaße in mm)*

naten des Praxiseinsatzes einem Alterungsprozess unterliegt und sich nun stabilisieren würde. Dies ist offenbar nicht der Fall. Eine weitere Verfolgung und Auswertung der Daten wird weiteren Aufschluss geben. Technisch ist der gasQS im Feld nicht mit einem Prüfgas kalibrierbar, sodass die hier beschriebenen Effekte nicht minimiert werden können.

Aufbau und Prinzip des Gasbeschaffenheitssensors der Firma AZBIL

Der Gasbeschaffenheitssensor CVM 400 misst die Wärmeleitfähigkeit eines Gasgemisches (wie z. B. Erdgas) bei verschiedenen Temperaturen und berechnet den Heizwert des Gases basierend auf seiner Wärmeleitfähigkeit. Die Bauweise in einem Exd-Gehäuse ist kompakt ausgeführt **(Abb. 6)**.

Der Gasbeschaffenheitssensor CVM 400 verwendet die Methode der Stützvektoren-Regression (SVR), die auch bei den Differenzdrucktransmittern der Azbil Corporation verwendet wird. Der Brennwert wird aus den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten des Prozesses unter Verwendung einer im Voraus erstellten Kennlinienformel und basierend auf Wärmeleitfähigkeiten, die bei verschiedenen Temperaturen des Erdgases gemessen werden, berechnet.

Der Sensor kann für die Bestimmung des Brennwertes konform zur OIML R 140 eingesetzt werden [7]. Außerdem ist der CVM 400 für den Einsatz in Zone 1 gemäß IECEx und ATEX geeignet. Die Messzeit (T_{90}-Zeit) beträgt fünf Sekunden und 30 Sekunden bei der OIML-Version. Eine automatische Kalibrierung für längere Stabilität im Feld ist im Gegenteil zum gasQS möglich. Die automatische Kalibrierung erfolgt mit reinem Methan, zudem erfolgt eine automatische Überprüfung der Kalibrierhistorie. Es werden bis zu fünf der letzten automatischen Kalibrierdatensätze angezeigt, um so Änderungen des Kalibrierungsfaktors festzustellen.

Aufbau des Brennwerttransmitters

Bei der schnellen Bestimmung des Brennwertes und/oder des Wobbe-Index ist es nicht nur entscheidend, dass der Sensor sehr schnell, d. h. innerhalb von Sekunden, den Messwert zur Verfügung stellen muss, sondern auch die Probenaufbereitung entsprechend ausgelegt sein muss. Die Transportzeit des Gases zum Sensor muss minimiert werden. Aus diesen Überlegungen entstand der Aufbau des Sensors als Brennwerttransmitter, der von der Firma Meter-Q Solutions GmbH als Gebrauchsmuster (Nr. 20 2017 005 215, IPC G01N 33/22) geschützt ist [8].

Abbildung 7 zeigt den Brennwerttransmitter vom Typ MGQ^{flex} direkt auf einer Gasleitung montiert – damit wird die Probentransportzeit minimiert. Die Aufbereitung der Probe fängt bereits in der Spitze der Entnahmesonde an. Hier befindet sich ein Filter zur Reinigung der zu messenden Probe. Außerdem wird auch hier der Prozessdruck auf ca. 2 bis 3 bar Probendruck reduziert.

Der Brennwerttransmitter MGQ^{flex} reduziert aufgrund des Aufbaus und Designs die T_{90}-Zeit inklusive der Probentransportzeit auf < 15 Sekunden. Im Sommer 2018 werden drei der Transmitter in einer Mischanlage der Gastransport Nord GmbH eingesetzt, danach werden erste Praxiserfahrungen mit dem Gerät vorliegen.

Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Der Gasbeschaffenheitssensor gasQS zeigt in den Labortests gute Ergebnisse; die Resultate der Brennwert- und Dichtemessung liegen innerhalb einer Fehlerschwankung von ≤ ±1 Prozent. In der praktischen Erprobung zeigt sich jedoch, dass die Ergebnisse der Brennwert- und Dichtemessung innerhalb einer Fehlerschwankung von ≤ ±2 Prozent angesiedelt sind. Als großer Nachteil des besagten Sensors hat sich herausgestellt, dass er im Feld nicht nachkalibriert werden kann.

Quelle: Meter-Q Solutions GmbH

Abb. 7: *Durch die Installation des Brennwerttransmitters vom Typ MGQ^{flex} direkt auf der Erdgasleitung lässt sich Probentransportzeit erheblich reduzieren.*

Hier wiederum hat der CVM 400 klar den Vorteil, dass er im Feld automatisch oder manuell auf einen Methananteil von 100 Prozent kalibriert werden kann. Neben diesem Vorzug ist die Messzeit mit < 5 Sekunden (Fehlerschwankung von ≤ ±1 Prozent) erheblich unter der des gasQS. Erweitert man die Messzeit auf < 30 Sekunden, so ist der CVM 400 mit einem OIML-Zertifikat R 140 Class B ausgestattet (Fehlerschwankung von ≤ ±1 Prozent). In weiteren Projekten wird nun der CVM 400 eingesetzt. Hierbei sind Installationen in Biogaseinspeisungen wie auch in Erdgaskonditionierungsanlagen geplant.

Ein Prozessgaschromatograf kann mit einer Messabweichung von ≤ 0,1 Prozent für die Brennwertmessung aufwarten. Im Gegenzug dazu benötigt der Chromatograf für die Messung allerdings auch 3 bis 5 Minuten (herstellerabhängig). Vergleicht man neben den Messabweichungen die Schnelligkeit und die Komplexität eines traditionellen Gasbeschaffenheitsmesssystems (Gerät mit Peripherie wie z. B. Druckreduzierung, Probenumschaltung, Prüfgasversorgung und Entnahmesonde) mit der eines Brennwerttransmitters vom Typ MGQ^{flex} von Metreg Solutions, so hat dieser den Vorteil der Wartungslosigkeit, da kein Trägergas notwendig ist. Dieser Vorteil wird umso deutlicher, wenn man die Investitionskosten vergleicht. Ein entsprechendes Messsystem lässt sich komplett inklusive Peripherie für etwa ein Drittel der Investitionskosten eines Prozessgaschromatografen realisieren. Generell kann der Brennwerttransmitter MGQ^{flex} bei Steuerungsprozessen zur Überwachung des Brennwertes bzw. des Wobbe-Index von nicht eichamtlichen Messungen aufgrund seiner sehr kurzen T_{90}-Zeit von < 15 Sekunden eingesetzt werden.

Danksagung

Der Autor dankt der Firma Gastransport Nord GmbH für die Unterstützung dieser Veröffentlichung sowie für die Überlassung der Messergebnisse des NKP „Schatteburg“. ■

Literatur

[1] Schumann, J.: Von „L“ nach „H“ – Gasmärkte im Zeichen sich verändernden Gasqualitäten, in: gwf-Gas Erdgas (2013), S. 828–832.

[2] Nitschke-Kowsky, P., Martino, A., Weßling, W., Vogt, M.: Gasbeschaffenheit und ihre Schwankungen in E.ON-Verteilnetzen, in: gwf-Gas Erdgas (2016), S. 166–176.

[3] Leichner, J., Giese, A.: Änderung der Gasbeschaffenheit in Deutschland und Europa: Auswirkungen auf industrielle Feuerungsprozesse (Teil 1), in: gwf-Gas Erdgas (2013), S. 754–760.

[4] Leichner J., Giese, A.: Änderung der Gasbeschaffenheit in Deutschland und Europa: Auswirkungen auf industrielle Feuerungsprozesse (Teil 2), in: gwf-Gas Erdgas (2013), S. 844–852.

[5] Kastner, J.: Neue Aufgaben für die Gasbeschaffenheitsmessung in der industriellen Gasanwendung, in: gwf-Gas Erdgas (2016), S. 166–176.

[6] Zajc, A., Ryll, T.: Schnelle Bestimmung des Brennwertes mittels eines neuartigen Gasbeschaffenheitssensor, in: gwf-Gas Energie (2016), S. 790–796.

[7] Calorific value determining device (CVDD) Pattern Evaluation Report, OIML recommendation R 140 “Measuring system for gaseous fuel”, Test report NMI-1120181-01.

[8] Brennwerttransmitter zur schnellen Ermittlung des Brennwertes und/oder Wobbe-Index, Gebrauchsmuster Nr. 20 2017 005 215, IPC G01N 33/22, Meter-Q Solutions GmbH, 2017.

Der Autor

Dr. Achim Zajc ist geschäftsführender Gesellschafter bei der Meter-Q Solutions GmbH in Butzbach.

Kontakt:
Dr. Achim Zajc
Meter-Q Solutions GmbH
Robert-Bosch-Str. 10
35510 Butzbach
Tel.: 06033 9245-210
E-Mail: az@meterq.de
Internet: www.meterq.de

wvgw Kalender 1/1