

# MESSUNG DER GASBESCHAFFENHEIT

## CHIP-BASIERTE MESSSYSTEME UND TRADITIONELLE GASBESCHAFFENHEITSMESSUNG IM VERGLEICH

Aufgrund neuer Pipelines und Gasbezugsquellen wie Flüssigerdgas (LNG), Gas aus Strom, Biogas usw. wird die Gasbeschaffenheit in Zukunft stärker schwanken. Dies hat Auswirkungen in Bezug auf Effizienz, Abgasverhalten und Betriebssicherheit bei gastechnischen Anwendungen in Haushalt und Industrie. Zur Bestimmung der Gasbeschaffenheit können auch Chip-basierte Messsysteme eingesetzt werden. Im nachfolgenden Artikel wird aufgezeigt, wo sie die heutigen Prozessgeräte ersetzen oder ergänzen können, wenn es darum geht, Gasqualitätsschwankungen sicher zu detektieren.

Andreas Kempe; Philippe Prêtre\*; Christa Zimmerli, Mems AG

### RÉSUMÉ

#### MESURES DE LA QUALITÉ DU GAZ – COMPARATIF D'UN SYSTÈME DE MESURE À PUCE ÉLECTRONIQUE ET D'UN PROCÉDÉ DE MESURE CLASSIQUE

Comme mentionnait l'article dans *Aqua & Gas* 12/2014 [1], il existe bien des procédures de mesure corrélatives de la qualité du gaz ne présentant pas les désavantages des chromatographes en phase gazeuse du processus (PGC) – à savoir le coût élevé de l'acquisition, la complexité de la maintenance et le caractère «off-line» de la mesure. Cependant, l'élimination de ces deux premiers désavantages doit faire appel à nouvelles technologies, telles que des systèmes de capteurs à puces électroniques. Mems AG a développé une solution de ce type, dans laquelle des capteurs sont intégrés sur une puce électronique de type CMOS, permettant de diminuer les coûts de production de l'ensemble du système et également de réduire l'entretien au strict nécessaire. Selon la version, cette technologie, appelée «gas quality sensing» et enregistrée à l'échelle internationale sous l'appellation «gasQST<sup>TM</sup>», est déjà exploitée en série pour les piles à combustible et dans les installations de biogaz.

Les chromatographes en phase gazeuse déterminent la composition d'un mélange de gaz. Le calcul de la qualité du gaz en fonction de sa composition est basé sur des référentiels normatifs ou des équations d'état proposées par des autorités reconnues en matière de gaz, telles que l'AGA ou le GERG. La technologie

### EINLEITUNG

#### BESCHAFFENHEIT, EIGENSCHAFTEN UND QUALITÄT VON GAS

Im Zusammenhang mit der Verwendung von Erdgas sind Gasqualitäten weitläufig als Gasbeschaffenheiten zu verstehen, die über die Verwendbarkeit eines Erdgases in einem Prozess bzw. in einer Anwendung entscheiden, oder die eine Einstell- oder Regelgrösse eines Prozesses oder einer Anlage beeinflussen. Die Messung der Gasbeschaffenheit ist nicht zu verwechseln mit der Messung der Gaszusammensetzung – resp. der Bestimmung des molaren Inhalts von Gasen. Ebenfalls nicht zu verwechseln ist in diesem Kontext die Gasqualität mit der Reinheit eines Gases, die oftmals auch als Gasqualität jeweils mit der Angabe des Mindestgehaltes (z. B. 3,5 für 99,95%) ausgewiesen wird. Neben der Gasqualität kennt man Gaseigenschaften wie Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit oder Dichte. Diese sind meist von der jeweiligen Anwendung unabhängige, messbare physikalische Grössen. Gaseigenschaften können dann jedoch für bestimmte Prozesse als Kenngrösse genutzt werden und so die Gasqualität markieren. Sind die Werte mehrerer unabhängiger Gaseigenschaften bekannt, so lassen sich daraus über einen weiten Gasbereich verschiedenste Gasqualitätsgrössen korrelativ ermitteln.

\* Kontakt: [Philippe.Pretre@mems.ch](mailto:Philippe.Pretre@mems.ch)

Für die Bestimmung der Gasbeschaffenheit gibt es unterschiedliche Messverfahren [1]. Fünf davon werden in der technischen Regel DVGW G 488(A) [2] gelistet: gaschromatographische, kalorimetrische und korrelative Messverfahren sowie die Messung von Dichte und CO<sub>2</sub>-Gehalt. In diesem Fachartikel wird das gaschromatographische und korrelative Messverfahren anhand von realen Messwerten direkt miteinander verglichen.

**INDIREKTE KORRELATION**

Basierend auf der Messung von molarer Gaszusammensetzung Mittels Prozessgaschromatographen (PGC) wird die molare Zusammensetzung des Messgases bestimmt und ausgegeben. Nach der Messung können mit entsprechenden Berechnungsvorschriften weitere Größen wie Kompressibilität oder spezifischer Brenn- oder Heizwert mithilfe von Datenbanken ermittelt werden.

PGC-basierte Systeme benötigen einen Anschluss an ein Trägergas. Da der PGC diskontinuierlich arbeitet, sind entsprechende Verzögerungen der Messwerte im Bereich von einigen Minuten in Kauf zu nehmen.

**DIREKTE KORRELATION**

Basierend auf der Messung von Gaseigenschaften Bei der korrelativen Messmethode werden eine oder mehrere, auf einfachere Art messbare, Gaseigenschaften wie Wärmekapazität oder Dichte bestimmt und hieraus mit entsprechenden Berechnungsvorschriften Gasbeschaffenheiten wie der Brennwert direkt ausgegeben. Die von der *Mems AG* international registrierte *gasQS™* Technologie basiert auf einem solchen korrelativen Messverfahren (Fig. 1). Der schematische Aufbau eines Gasqualitätsmessgerätes vom Typ *gasQS flonic* ist in *Figur 2* dargestellt. Das zu analysierende Gas strömt bei geöffnetem Ventil aus der Messleitung ins Gasreservoir und fließt weiter in Richtung einer kritischen Düse. Ein mikrothermischer CMOS\*-Sensor wird benutzt, um die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und in Kombination mit der kritischen Düse die Wärmekapazität  $c_p$  und die Dichte  $\rho$  des Messgases zu bestimmen. Mit diesen drei physikalischen Gaseigenschaften kann die gewünschte Gasbeschaffenheit, z. B. der Brennwert, korreliert werden.

CMOS = Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

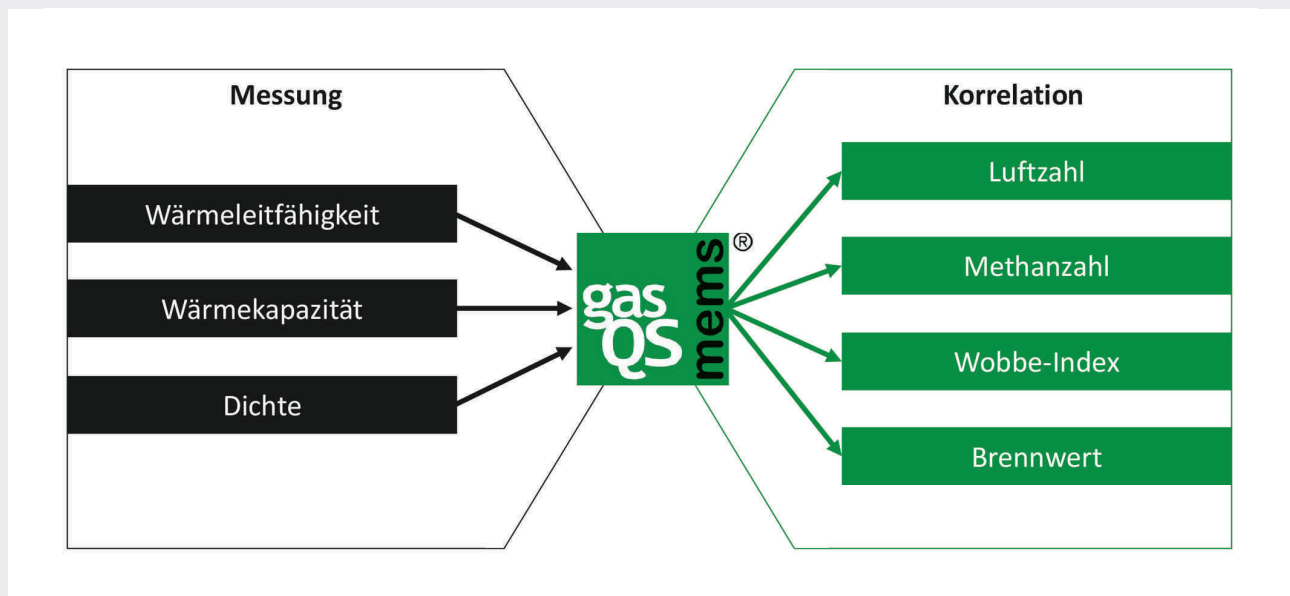


Fig. 1 Messung und Korrelation von Gaseigenschaften mit der gasQS Technologie  
 Mesure et corrélation de la qualité du gaz avec la technologie gasQS

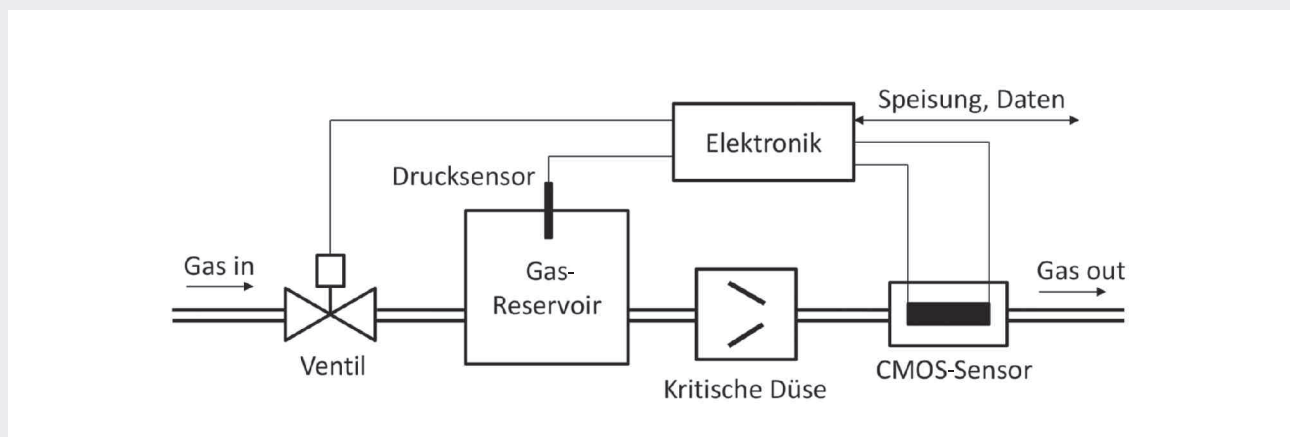


Fig. 2 Schematischer Sensoraufbau eines gasQS flonic  
 Représentation schématique d'un capteur d'un système gasQS flonic

### GASBESCHAFFENHEIT AUF DEM PRÜFSTAND

#### MESSAUFBAU AM PRÜFSTAND

Verschiedene Testgase wurden mit einem Laborgaschromatographen ( $\mu$ GC) von der Prüfstelle des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) für Gasanalytik sowie mit zwei Gasqualitätsmessgeräten vom Typ *gasQS flonic* der *Mems AG* analysiert. Um auf die Genauigkeit dieser zwei unterschiedlichen Gasbeschaffenheitsmessverfahren rückschließen

zu können, wurden Zwischenresultate ( $\Delta_1$ ,  $\Delta_3$ ), verwendete Datenbanken ( $\Delta_2$ ) sowie Korrelationswerte ( $\Delta_4$ ) direkt miteinander verglichen. *Figur 3* zeigt den dazugehörigen schematischen Messaufbau.

Für die Messungen wurden Testgase mit unterschiedlichen Gasmischungen verwendet, um möglichst viele gebräuchliche, natürliche Gasmischungen abzudecken. Total wurden fünfzehn verschiedene Testgase vermessen. Der SVGW hat sechs Gasflaschen zur Verfügung gestellt. Diese sind in den nachfolgenden

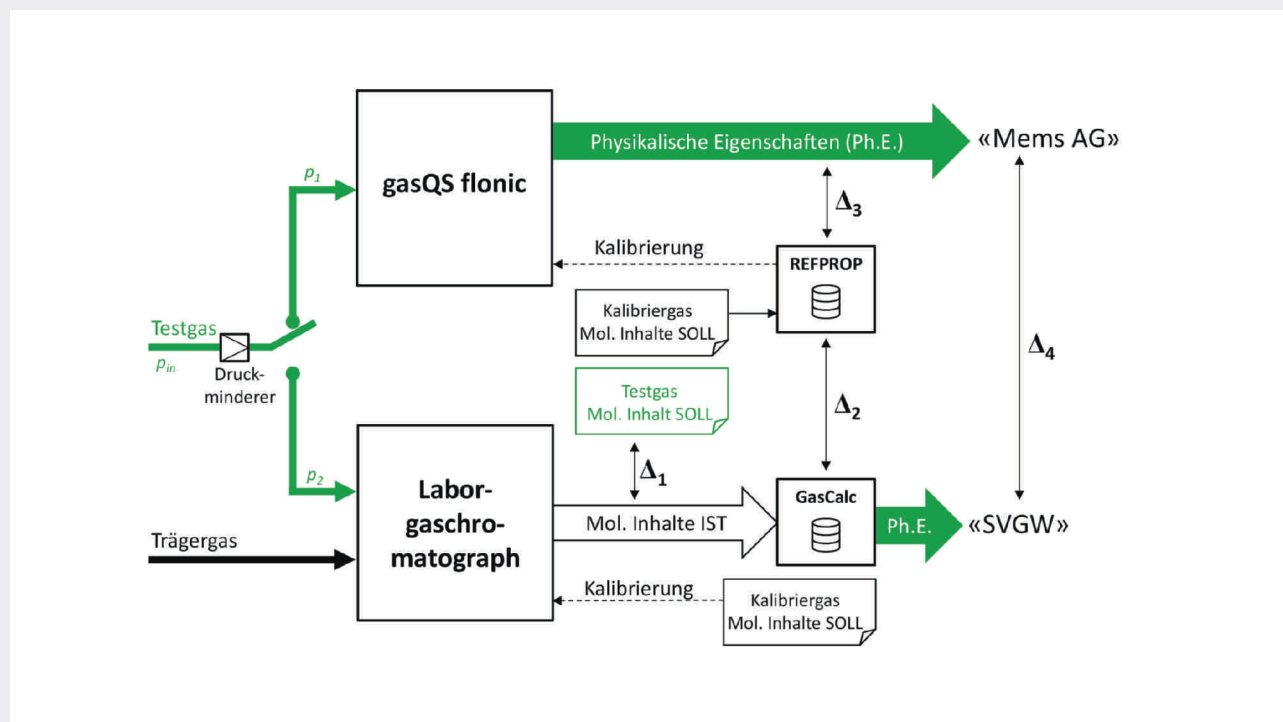


Fig. 3 Testaufbau / Installation de test

Bezeichnung	Symbol	Einheit	GG1	GG2	GG4	G21	G222	G23	CH4-N45
Methan	CH <sub>4</sub>	Mol %	64,1923	99,0463	64,3616	87,0066	77,5083	92,7972	99,9872
Stickstoff	N <sub>2</sub>	Mol %	0,5122	0,0000	0,9685	0,0000	0,0000	7,2028	0,0049
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	Mol %	34,0012	0,0000	34,4303	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Mol %	0,5297	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Mol %	0,2016	0,0000	0,0000	12,9934	0,0000	0,0000	0,0000
n-Butan	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,0516	0,1565	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2-Methylpropan	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,0507	0,1556	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Pentan	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0251	0,1571	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2-Methylbutan	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0254	0,1575	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Hexan	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Mol %	0,0506	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Helium	He	Mol %	0,0495	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	Mol %	0,0130	0,2092	0,0182	0,0000	22,4917	0,0000	0,0000
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	Mol %	0,1869	0,0000	0,2011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0068
Kohlenstoffmonoxid	CO	Mol %	0,0910	0,1179	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	Mol %	0,0192	0,0000	0,0203	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ethylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007
Wasser	H <sub>2</sub> O	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Total</b>	<b>Σ</b>	<b>Mol %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Farbskala Mol % ■ x > 1 ■ x > 10 ■ x > 50 Molarer Inhalt

Tab. 1 Gasmische: molare Inhalte in % der mit dem  $\mu$ GC gemessenen Gase

Tabellen und Grafiken mit «GG»=Gasgemisch oder gemäss ihrem Inhalt gelistet. Die anderen Testgase wurden von der *Mems* zur Verfügung gestellt und sind entsprechend ihrem Inhalt betitelt sowie in den Tabellen *orange* gekennzeichnet.

### MESSABLAUF

Der  $\mu$ GC und der *gasQS flonic* benötigen im Betrieb einen unterschiedlichen Vordruck. Da am SVGW keine geeigneten Apparaturen vorhanden waren, um das Testgas mit unterschiedlichem Druck auf beide Geräte gleichzeitig zu führen, wurden die Messungen nicht zeitgleich, aber zumindest am gleichen Tag und Ort durchgeführt.

Bei jedem Gaswechsel wurde die Zuleitung zu den Messgeräten mehrere Male mit dem neu angeschlossenen Testgas gespült, um die Anteile des vorhergehend gemessenen Gases im System zu minimieren.

Beim  $\mu$ GC wurden nach der Spülung für jede Messung drei Messwerte aufgenommen und davon der Mittelwert gebildet. Bei den Messungen mit dem *gasQS flonic* wurden nach der Spülung die letzten vier Messwerte einer Messserie gemittelt.

- Zeit für einen Messwert mit dem  $\mu$ GC: 255 Sekunden
- Zeit für einen Messwert mit dem *gasQS flonic*: 20 Sekunden

### MESSUNG DER VERWENDETEN MISCHGASE

Die molaren Inhalte (Ist) der Mischgase wurden mit dem  $\mu$ GC ermittelt und sind in *Tabelle 1* ersichtlich. Die Abweichung der molaren Inhalte wird analysiert, in der *Figur 3* gekennzeichnet als Differenz  $\Delta 1$ . Die absolute Differenz [Ist-Soll] in *Tabelle 2* zeigt, um wie viel der mit dem  $\mu$ GC gemessene Wert vom Sollwert abweicht, der vom Hersteller der Gasflasche spezifiziert ist. Für die Bewertung der Messwerte für den *gasQS flonic* sind vor allem die absoluten Fehler ausschlaggebend, da beim vorgängigen Kalibrieren die vom Hersteller angegebenen molaren Inhalte als effektive Kenngrössen verwendet wurden. Absolu-

te Fehler grösser als 1% sind in *Tabelle 2 gelb* gekennzeichnet. Eine Betrachtung des relativen Fehlers [(Ist-Soll)/Soll] gibt zusätzliche Hinweise zur Messung, die sich ebenfalls als interessant herausstellen und darum farblich gekennzeichnet sind. In *Tabelle 2 blau* eingetragen sind jene Gasinhalte, die vom  $\mu$ GC gemessen, aber nicht auf der Gasflasche spezifiziert wurden. *Violett* gekennzeichnet ist der umgekehrte Fall, wenn die Spezifikation der Gasflasche einen Wert listet, der nicht vom  $\mu$ GC detektiert wurde.

Abweichungen von Messwerten zur Spezifikation vom Gasflascheninhalt kann verschiedene Ursachen haben: Das sind zum einen Messtoleranzen des  $\mu$ GC, der eine spezifizierte Toleranz von  $\pm 2\%$  relativ zum Messwert hat. Weitere Unsicherheiten können bei der Abfüllung der Gasflaschen und der anschliessenden Messung vom Hersteller dazukommen. Ausserdem ist es möglich, dass der Gasflascheninhalt mit Gasrückständen aus vorgängig angeschlossenen Druckminderern kontaminiert wurde.

Bei näherer Betrachtung von *Tabelle 2* erkennt man, dass bei zwei Gasflaschen Inhalte mit über 2% relativer Abweichung, ausserhalb der angegebenen Toleranz vom  $\mu$ GC, gemessen wurden (GG1, CH<sub>4</sub>-N45). Bei mehreren Gasflaschen wurden die nicht spezifizierten Gase Ethylen und Sauerstoff vom  $\mu$ GC detektiert. Betrachtet man den absoluten Fehler, wird ersichtlich, dass es sich bei allen gekennzeichneten Werten um sehr kleine absolute Differenzen handelt. Gerade beim fast reinen Gas Methan (CH<sub>4</sub>-N45), wurde der Hauptanteil von CH<sub>4</sub> (Soll: 99,9950 Mol-%, Ist: 99,9872 Mol-%) auf  $-0,0078\%$  relative und  $-0,0078\%$  absolute Abweichung gemessen. Auffällig bei den absoluten Differenzen ist das Gasgemisch ISO-H<sub>3</sub>, welches über 1% absolute Abweichungen aufweist. Diese Abweichung kann relevant werden für die Interpretation der Differenz  $\Delta 3$  in *Figur 3*, die sich als Differenz zwischen den in der Datenbank eingegebenen Soll-Werten und dem gemessenen Wert ergibt.

Bezeichnung	Symbol	Einheit	ISO-H1	ISO-H2	ISO-H3	ISO-L1	ISO-L3	RUSSLAND	STEINRING	HOLLAND I
Methan	CH <sub>4</sub>	Mol %	96,2818	90,2936	84,8115	73,0128	83,0666	98,2391	86,7729	81,8429
Stickstoff	N <sub>2</sub>	Mol %	0,2902	2,8553	0,9465	9,3699	10,7870	0,7633	7,7058	13,2842
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	Mol %	0,6559	0,5511	1,6434	1,7195	1,1846	0,1141	4,8539	1,0850
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Mol %	1,9801	5,1053	9,5113	3,6219	3,8493	0,5708	0,6674	3,0971
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Mol %	0,4440	0,8359	2,2761	0,7349	0,7467	0,2009	0,0000	0,3933
n-Butan	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,3475	0,3583	0,8114	0,3699	0,3540	0,1015	0,0000	0,2971
2-Methylpropan	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Pentan	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2-Methylbutan	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Hexan	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Helium	He	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	9,9869	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0114	0,0098	0,0000	0,0000
Kohlenstoffmonoxid	CO	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	1,1842	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ethylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Mol %	0,0006	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0005	0,0000	0,0005
Wasser	H <sub>2</sub> O	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Total</b>	<b>Σ</b>	<b>Mol %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Farbskala Mol % ■ x > 1 ■ x > 10 ■ x > 50 Molaren Inhalt

Tab. 1 Mélanges gazeux: contenus molaires en % des gaz mesurés avec le  $\mu$ GC



Bezeichnung	Symbol	Einheit	GG1	GG2	GG4	G21	G222	G23	CH4-N45
Methan	CH <sub>4</sub>	Mol %	0,3241	0,0529	0,6000	-0,0934	0,2083	0,3972	-0,0078
Stickstoff	N <sub>2</sub>	Mol %	0,0122	0,0000	-0,0385	0,0000	0,0000	-0,3972	0,0034
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	Mol %	-0,4288	-0,1013	-0,5597	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0001
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Mol %	0,0287	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Mol %	0,0016	0,0000	0,0000	0,0934	0,0000	0,0000	0,0000
n-Butan	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,0015	0,0043	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2-Methylpropan	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,0006	0,0048	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Pentan	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0001	0,0047	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2-Methylbutan	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0004	0,0073	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Hexan	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Mol %	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0024
Helium	He	Mol %	-0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	Mol %	-0,0070	0,0086	-0,0019	0,0000	-0,2083	0,0000	0,0000
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	Mol %	-0,0131	0,0000	-0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0063
Kohlenstoffmonoxid	C <sub>o</sub>	Mol %	0,0810	0,0186	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	Mol %	-0,0008	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ethylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007
Wasser	H <sub>2</sub> O	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0005

Farbskala Mol %    x > 1    Fehler absolut    x<sub>rel</sub> > 2    x<sub>rel</sub> = -1    rel Div 0    Referenz zu Fehler relativ

Tab. 2 Gasgemische: Abweichung (absolut) in % von dem mit µGC gemessenen Inhalt zu dem vom Hersteller spezifizierten Inhalt. Zusätzliche Farbkennzeichnung gemäss Höhe der relativen Fehler.

Bezeichnung	Symbol	Basis Einheit	Einheit	GG1	GG2	GG4	G21	G222	G23	CH4-N45
<b>AGA8 (ISO 12213-2/ISO 20765-1)</b>										
Dichte	ρ	kg/m <sup>3</sup>	%	0,004	0,001	0,003	0,003	0,003	0,001	0,000
Isobare Wärmekapazität	cp	kJ/(kg·K)	%	0,036	0,017	0,036	0,012	0,065	0,015	0,008
Schallgeschwindigkeit	w	m/s	%	0,000	-0,002	0,000	-0,011	-0,002	-0,001	-0,002
Isentropenexponent	κ	-	%	0,005	-0,003	0,006	-0,020	-0,005	0,001	0,000
<b>Gaskennwerte ISO 6976/DIN51857</b>										
Molare Masse	M	kg/kmol	%	0,003	0,004	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003
Normdichte	ρn	kg/m <sup>3</sup>	%	0,026	0,005	0,024	0,008	0,006	0,002	0,003
Brennwert (Masse)	Hs	MJ/kg	%	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,001	0,000
Brennwert (Volumen)	Hsv	MJ/m <sup>3</sup>	%	0,026	0,004	0,022	0,006	0,006	0,000	0,004
Heizwert (Masse)	Hi	MJ/kg	%	-0,030	-0,032	-0,033	-0,034	-0,021	-0,031	-0,031
Heizwert (Volumen)	Hiv	MJ/m <sup>3</sup>	%	-0,003	-0,027	-0,006	-0,026	-0,015	-0,031	-0,028
<b>GERG 2004 Referenzgleichung: physikalische Eigenschaften</b>										
Dichte	ρ	kg/m <sup>3</sup>	%	0,006	-0,002	0,007	-0,001	-0,001	-0,002	-0,001
Isobare Wärmekapazität	cp	kJ/(kg·K)	%	0,006	0,012	-0,001	0,012	0,075	0,004	0,008
Schallgeschwindigkeit	w	m/s	%	-0,003	0,000	-0,004	-0,009	-0,001	0,000	0,000
Isentropenexponent	κ	-	%	0,013	0,027	-0,025	-0,020	-0,020	-0,029	-0,023
<b>Transportgrössen: berechnet aus p und T</b>										
Dynamische Viskosität	η	µPa·s	%	0,03	-0,22	0,12	-0,75	15,40	1,27	0,14
Kinematische Viskosität	ν	m <sup>2</sup> ·s	%	-0,12	-0,64	0,17	-0,71	-20,65	1,28	0,11
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)	%	0,02	-1,02	0,11	-0,25	-40,44	-0,75	-0,45

Farbskala    x > 0,1    x > 1    x > 20

Tab. 3 Abweichungen der GasCalc zur Refprop-Datenbank

**INTERPRETATION DER MESSWERTE**

Der µGC gibt die molare Zusammensetzung des Gases aus. Die Ausgabewerte vom gasQS flonic sind der Brennwert, der

Wobbe-Index, die Methanzahl sowie die Luftzahl des gemessenen Gasgemisches. MemS verwendet für die Bestimmung der physikalischen Gaseigenschaften

die Datenbank Refprop (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database) von NIST (National Institute of Standards) [3], der SVGW verwendet

Bezeichnung	Symbol	Einheit	ISO-H1	ISO-H2	ISO-H3	ISO-L1	ISO-L3	RUS	STE	HOL
Methan	CH <sub>4</sub>	Mol %	-0,2202	-0,4134	-1,1085	-0,4572	0,4626	-0,0609	0,2729	0,5429
Stickstoff	N <sub>2</sub>	Mol %	-0,0109	-0,2337	-0,0436	-0,6401	-0,9130	-0,0367	-0,5942	-0,9158
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	Mol %	0,0579	0,0531	0,1534	0,1195	0,0876	0,0141	0,2539	0,0850
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Mol %	0,1781	0,6013	1,0113	0,3319	0,3493	0,0708	0,0674	0,2971
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Mol %	-0,0040	-0,0091	-0,0039	-0,0051	-0,0033	0,0009	0,0000	-0,0067
n-Butan	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	-0,0015	0,0013	-0,0086	0,0099	0,0050	0,0015	0,0000	-0,0030
2-Methylpropan	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Pentan	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2-Methylbutan	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
n-Hexan	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Helium	He	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,4569	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0114	0,0098	0,0000	0,0000
Kohlenstoffmonoxid	C <sub>o</sub>	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,1842	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ethylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Mol %	0,0006	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0005	0,0000	0,0005
Wasser	H <sub>2</sub> O	Mol %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Farbskala Mol % ■ x > 1 ■ x > 10 ■ x > 50 Molarer Inhalt

Tab. 2 Mélange gazeux: écart (absolu) en % entre le µGC mesuré et le contenu spécifié par le fabricant. Code couleur supplémentaire conformément au niveau de l'erreur relative.

Bezeichnung	Symbol	Basis Einheit	Einheit	ISO-H1	ISO-H2	ISO-H3	ISO-L1	ISO-L3	RUS	STE	HOL
<b>AGA8 (ISO 12213-2/ISO 20765-1)</b>											
Dichte	ρ	kg/m <sup>3</sup>	%	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002
Isobare Wärmekapazität	cp	kJ/(kg·K)	%	0,017	0,015	0,020	0,028	0,026	0,020	0,015	0,010
Schallgeschwindigkeit	w	m/s	%	-0,002	-0,003	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002
Isentropenexponent	κ	-	%	-0,003	-0,001	-0,006	-0,004	-0,002	-0,002	-0,004	-0,002
<b>Gaskennwerte ISO 6976/DIN51857</b>											
Molare Masse	M	kg/kmol	%	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,004	-0,001
Normdichte	ρn	kg/m <sup>3</sup>	%	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,003	0,006	0,003
Brennwert (Masse)	Hs	MJ/kg	%	0,000	0,000	-0,001	-0,002	0,000	-0,001	-0,002	-0,001
Brennwert (Volumen)	Hsv	MJ/m <sup>3</sup>	%	0,004	0,003	0,007	0,006	0,005	0,002	0,005	0,003
Heizwert (Masse)	Hi	MJ/kg	%	-0,032	-0,031	-0,034	-0,026	-0,033	-0,032	-0,031	-0,031
Heizwert (Volumen)	Hiv	MJ/m <sup>3</sup>	%	-0,028	-0,028	-0,023	-0,021	-0,028	-0,028	-0,027	-0,027
<b>GERG 2004 Referenzgleichung: physikalische Eigenschaften</b>											
Dichte	ρ	kg/m <sup>3</sup>	%	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001
Isobare Wärmekapazität	cp	kJ/(kg·K)	%	0,013	0,009	0,015	0,018	0,011	0,009	0,011	0,010
Schallgeschwindigkeit	w	m/s	%	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000
Isentropenexponent	κ	-	%	0,005	0,007	0,002	-0,012	-0,040	-0,025	0,011	-0,025
<b>Transportgrößen: berechnet aus p und T</b>											
Dynamische Viskosität	η	µPa·s	%	0,06	0,39	-0,05	6,40	1,09	0,23	0,87	1,39
Kinematische Viskosität	ν	m <sup>2</sup> ·s	%	0,05	0,40	-0,04	-8,43	1,06	0,22	0,85	1,35
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)	%	-0,30	-0,26	0,06	-22,39	-0,64	-0,39	-0,62	-0,80

Farbskala ■ x > 0,1 ■ x > 1 ■ x > 20

Tab. 3 Ecart de GasCalc par rapport à la base de données Refprop

als Referenz die Datenbank *GasCalc* von E.ON [4]. Abhängig von den Rechenmodellen der Datenbanken, z.B. Gleichungen von AGA8 [5] oder GERG [6], können

die physikalischen Gaseigenschaften variieren. Die absolute Differenz der Werte zwischen den Datenbanken *GasCalc* und *Refprop* wird in *Tabelle 3* für einige, in der

Gasqualitätsmessung massgebende, physikalische Gaseigenschaften aufgezeigt. Sie entsprechen Δ2 in *Figur 3*. Für einen aussagekräftigen Vergleich der physika-

Gas	Berechnungsmethode				Mittelwert	Δ max. zum Mittelwert
	AVL-Methode	aus Gaszusammensetzung	aus Hs, ρn, xCO <sub>2</sub>	Cummins Westport - FQC		
GG1	121	123	75	133	113	38
GG2	91	94	93	92	92,5	1,5
GG4	133	134	114	134	128,75	14,75
G21	63	61	72	63	64,75	7,25
G222	78	79	184	81	105,5	78,5
G23	102	100	100	88	97,5	9,5
CH4-N45	100	100	98	100	99,5	1,5
ISO-H1	90	88	89	88	88,75	1,25
ISO-H2	82	82	81	80	81,25	1,25
ISO-H3	73	72	111	73	82,25	28,75
ISO-L1	69	79	111	76	83,75	27,25
ISO-L3	87	86	86	80	84,75	4,75
RUS	95	93	95	91	93,5	2,5
STE	103	105	101	93	100,5	7,5
HOL	90	90	101	81	90,5	10,5

Tab. 4 Unterschiede in der Methanzahl abhängig von der jeweiligen Berechnungsmethode  
 Les différences constatées dans l'indice de méthane dépendent de la méthode de calcul utilisée

lischen Eigenschaften wurde als Basis für die Berechnung bei beiden Datenbanken die vom μGC gemessenen molaren (Ist) Inhalte der Mischgase eingegeben.

Die Sensorik im *gasQS flonic* reagiert auf spezifische physikalische Eigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Dichte. Diese Werte sind von speziellem Interesse für die Messung der Gasqualität und in *Tabelle 3 grün* markiert.

Betrachtet man die Differenzen bei den Werten der Wärmekapazität und der

Dichte in der Tabelle, dann wird sichtbar, dass die Werte alle weniger als 0,1% betragen und somit bei der Auswahl der Datenbanken zur Analyse der Daten vernachlässigbar sind. Bei Gasen mit hohem Wasserstoffanteil (G222, ISO-L1) erkennt man auffällig höhere Abweichungen (>20%) in den zum Vergleich herbeigezogenen Datenbanken für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit. *Mems* verwendet für den *gasQS flonic* hier die *Refprop*-Datenbank, da diese Werte gemäss Erfahrung am besten mit dem physikalischen

Sensormodell des Geräts zusammenpassen und so zu besseren Ergebnissen führen.

In *Tabelle 4* ist sichtbar, dass die Methanzahl je nach Berechnungsmethode deutliche Unterschiede aufweist. Die Methanzahl ist ein wichtiger Wert für kolbengetriebene Gasmotoren. Sie wird für den *gasQS flonic* empirisch – basierend auf experimentell ermittelten Daten – für spezifische Anwendungen definiert. Die Methanzahl ist somit im Testaufbau kein geeigneter Parameter, um Aussagen über

Beschreibung	Parameter	Symbol	Einheit	GG2	GG4	G21	G222	G23	CH4-N45	ISO-H1
flonic 05	Lambda ratio	λ	-	0,9952	0,8021	0,9036	1,5666	0,9801	0,9987	0,9784
flonic 06			-	0,9951	0,8010	0,9032	1,5555	0,9799	0,9985	0,9783
REFPROP (NIST)			-	0,9971	0,8042	0,9018	1,5661	0,9859	1,0000	0,9779
Δrel 05/NIST-1			%	-0,19%	-0,27%	0,20%	0,03%	-0,59%	-0,13%	0,05%
Δrel 06/NIST-1			%	-0,21%	-0,40%	0,17%	-0,68%	-0,61%	-0,15%	0,04%
flonic 05	Nozzle ratio	Γ	-	0,9908	0,7879	0,8937	1,1236	0,9791	1,0034	0,9778
flonic 06			-	0,9859	0,7851	0,8911	1,1174	0,9737	0,9987	0,9737
REFPROP (NIST)			-	0,9901	0,7874	0,8915	1,1216	0,9759	0,9999	0,9751
Δrel 05/NIST-1			%	0,07%	0,06%	0,25%	0,18%	0,32%	0,34%	0,27%
Δrel 06/NIST-1			%	-0,42%	-0,30%	-0,04%	-0,37%	-0,23%	-0,13%	-0,14%
flonic 05	Flow ratio	Φ	-	1,0065	0,9977	1,1367	0,6718	0,9794	1,0040	1,0192
flonic 06			-	1,0085	1,0045	1,1389	0,6811	0,9840	1,0045	1,0188
REFPROP (NIST)			-	1,0051	0,9916	1,1255	0,6845	0,9765	1,0000	1,0170
Δrel 05/NIST-1			%	0,14%	0,62%	1,00%	-1,86%	0,30%	0,41%	0,22%
Δrel 06/NIST-1			%	0,34%	1,31%	1,19%	-0,49%	0,76%	0,46%	0,17%

Farbskala: ■ x > 0,5% ■ x > 1% ■ x > 1,5%

Tab. 5 Zwischenresultate von zwei *gasQS flonic* und deren relative Abweichung [%] im Vergleich zur *Refprop*-Datenbank

die Qualität des Gases oder der damit verbundenen Referenzmessung mit einem PGC machen zu können [7].

### ZWISCHENRESULTATE

Der *gasQS flonic* kann verschiedenste Parameter der Gasbeschaffenheit bestimmen. Das Gerät wird mithilfe der *Refprop*-Datenbank vor den Messungen explizit auf die physikalischen Eigenschaften Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Dichte kalibriert. Für die Messung ist im Vergleich zu einem PGC kein Trägergas notwendig.

Mit dem *gasQS flonic* können folgende Zwischenresultate gemessen werden, jeweils dargestellt im Verhältnis zu den entsprechenden Werten von Methan:

- Wärmeleitfähigkeitsverhältnis  $\lambda$  (*Lambda ratio*)
- Düsenkennzahl  $\Gamma$  (*Nozzle ratio*)
- Flussverhältnis  $\Phi$  (*Flow ratio*)

Diese werden wiederum verglichen mit den Werten aus der *Refprop*-Datenbank. Gemäss *Figur 3* handelt es sich somit um die Differenz  $\Delta 3$ . *Tabelle 5* zeigt die entsprechenden Resultate.

Im Gegensatz zu den vorherigen Tabellen ist GG1 nicht mehr in *Tabelle 5* zu finden, da die Gasflasche zu wenig Restdruck für die Messung mit den beiden *gasQS flonic* aufwies. Die Tabelle zeigt, dass der grösste Teil der Messungen einen relativen Fehler von kleiner 0,5% aufweist. Bei Betrachtung des Wärmeleitfähigkeitsverhältnisses  $\lambda$  (*Lambda ratio*) fällt auf, dass das Gas ISO-L1 eine verhältnismässig

hohe relative Abweichung von über 1,5% hat. Das Gas zeichnet sich im Vergleich zu den anderen Gasen durch seine gleichzeitig hohen Anteile an Wasserstoff und Stickstoff aus. Das Flussverhältnis  $\Phi$  (*Flow ratio*) weist einen etwas höheren relativen Fehler auf, da dieser Messwert auch von den Parametern  $\lambda$  und  $\Gamma$  abhängig ist.

### DIREKTER VERGLEICH DER GASQUALITÄT

*Tabelle 6* zeigt die Messwerte von zwei *gasQS flonic* sowie deren gegenseitige, absolute Abweichung. In den *Figuren 4 bis 7* wird die Differenz zwischen den von den beiden *gasQS flonic* gemessenen Werten und den Werten, die aus den molaren Inhalten vom  $\mu$ GC mithilfe der Datenbank *GasCalc* ermittelt wurden, aufgezeigt ( $\Delta 4$  gemäss *Fig. 3*).

Betrachtet man die Werte für den Isentropen-Koeffizient (*Fig. 5*) und die Dichte (*Fig. 7*), dann liegen alle Werte dieser Messserie verglichen mit dem  $\mu$ GC innerhalb einer Toleranz von  $\pm 1\%$ . Für den unteren Brennwert (*Fig. 4*) und unteren *Wobbe*-Index (*Fig. 6*) liegen die Werte innerhalb von  $\pm 2\%$ , wobei jedoch die Gasgemische GG4, G222 und das Gas ISO-L1 aus der Reihe fallen.

### ANWENDUNGSSPEZIFISCHE OPTIMIERUNG DER KORRELATIONSFUNKTION

GG4 ist ein Gasgemisch, das hohe molare Anteile an  $\text{CO}_2$  aufweist, auch Biogas genannt. G222 und ISO-L1 fallen durch ihren verhältnismässig hohen Anteil an  $\text{H}_2$  auf, sogenannte Hythane. Die beiden

*gasQS flonic* wurden hier für die Messung mit natürlich vorkommenden Gasen mit deutlich geringeren Anteilen von  $\text{CO}_2$  beziehungsweise  $\text{H}_2$  optimiert. Dies führt dazu, dass für Biogase und Hythane grössere Messabweichungen zu erwarten sind. So sind allein 8,75% des Fehlers für den unteren Brennwert beim GG4 auf die Korrelationsfunktion zurückzuführen. Eine kleinere Messabweichung für diese Gase kann erreicht werden, indem die Korrelationsfunktion entsprechend angepasst wird.

Der *gasQS flonic* kann für spezifische Gasgemische, je nach Anwendungsfall, optimiert werden. Für konkrete Anwendungen ist es im Allgemeinen nicht notwendig, alle möglichen Gasgemische in einer allumfassenden Korrelationsfunktion einzuschliessen. Eine Optimierung der Korrelationsfunktion auf letzteren Fall wird einige Messwerte deutlich verbessern, führt aber typischerweise zu einem vergrösserten Fehlertoleranzband für Messwerte generell.

### DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Der direkte Vergleich eines Laborgaschromatographen ( $\mu$ GC) mit zwei Gasqualitätsmessgeräten vom Typ *gasQS flonic* an der SVGW-Prüfstelle für Gasanalytik gab Aufschluss über die erreichbare Genauigkeit sowie den Einsatz und die Handhabung der beiden Messgeräte mit unterschiedlichem Messverfahren zur Bestimmung der Gasbeschaffenheit. Ein

Beschreibung	Parameter	Symbol	Einheit	ISO-H2	ISO-H3	ISO-L1	ISO-L3	RUS	STE	HOL
flonic 05	Lambda ratio	$\lambda$	-	0,9555	0,9223	1,1400	0,9375	0,9914	0,9484	0,9374
flonic 06			-	0,9555	0,9214	1,1409	0,9367	0,9911	0,9486	0,9375
REFPROP (NIST)			-	0,9550	0,9173	1,1596	0,9423	0,9919	0,9526	0,9448
$\Delta$ rel 05/NIST-1			%	0,05%	0,55%	-1,69%	-0,51%	-0,05%	-0,44%	-0,78%
$\Delta$ rel 06/NIST-1			%	0,06%	0,45%	-1,62%	-0,60%	-0,08%	-0,42%	-0,77%
flonic 05	Nozzle ratio	$\Gamma$	-	0,9528	0,9198	0,9683	0,9313	0,9918	0,9370	0,9293
flonic 06			-	0,9513	0,9169	0,9614	0,9262	0,9876	0,9331	0,9261
REFPROP (NIST)			-	0,9504	0,9135	0,9653	0,9284	0,9905	0,9345	0,9289
$\Delta$ rel 05/NIST-1			%	0,25%	0,70%	0,32%	0,31%	0,14%	0,27%	0,05%
$\Delta$ rel 06/NIST-1			%	0,09%	0,38%	-0,40%	-0,24%	-0,29%	-0,15%	-0,30%
flonic 05	Flow ratio	$\Phi$	-	1,0314	1,0813	0,8420	1,0014	1,0037	0,9761	0,9852
flonic 06			-	1,0305	1,0826	0,8485	1,0002	1,0069	0,9792	0,9875
REFPROP (NIST)			-	1,0293	1,0782	0,8265	0,9979	1,0038	0,9720	0,9830
$\Delta$ rel 05/NIST-1			%	0,21%	0,29%	1,88%	0,35%	-0,01%	0,42%	0,23%
$\Delta$ rel 06/NIST-1			%	0,12%	0,41%	2,66%	0,24%	0,31%	0,74%	0,46%

Farbskala ■  $x > 0,5\%$  ■  $x > 1\%$  ■  $x > 1,5\%$

Tab. 5 Résultats intermédiaires de deux *gasQS flonic* et de leur écart relatif [%] par rapport à la base de données *Refprop*



Beschreibung	Parameter	Symbol	Einheit	GG2	GG4	G21	G222	G23	CH4-N45	ISO-H1
flonic 05	Unterer Brennwert	Hiv	MJ/m³	36,6	25,4	43,7	28,6	33,2	36,3	36,8
flonic 06				36,9	26,0	44,0	29,6	33,7	36,4	36,9
Δabs 05-06				-0,3	-0,6	-0,2	-1,0	-0,6	-0,2	-0,1
flonic 05	Unterer Wobbeindex	Hiv	MJ/m³	48,7	25,5	52,9	43,4	43,6	48,8	48,4
flonic 06				48,9	26,1	53,1	44,5	44,1	48,8	48,3
Δabs 05-06				-0,2	-0,6	-0,2	-1,0	-0,5	0,0	0,1
flonic 05	Isentropen- koeffizient	κ	-	1,309	1,307	1,267	1,338	1,320	1,314	1,306
flonic 06				1,307	1,304	1,266	1,333	1,317	1,312	1,305
Δabs 05-06				0,0023	0,0031	0,0014	0,0047	0,0035	0,0018	0,0012
flonic 05	Dichte	ρ	kg/m³	0,567	0,895	0,680	0,448	0,584	0,554	0,581
flonic 06				0,569	0,897	0,681	0,449	0,586	0,556	0,583
Δabs 05-06				-0,0018	-0,0021	-0,0005	-0,0010	-0,0023	-0,0017	-0,0014

Farbskala: ■ x < 0,5 ■ x > 0,5 ■ x > 1

Tab. 6 Messungen mit zwei gasQS flonic und deren Differenz

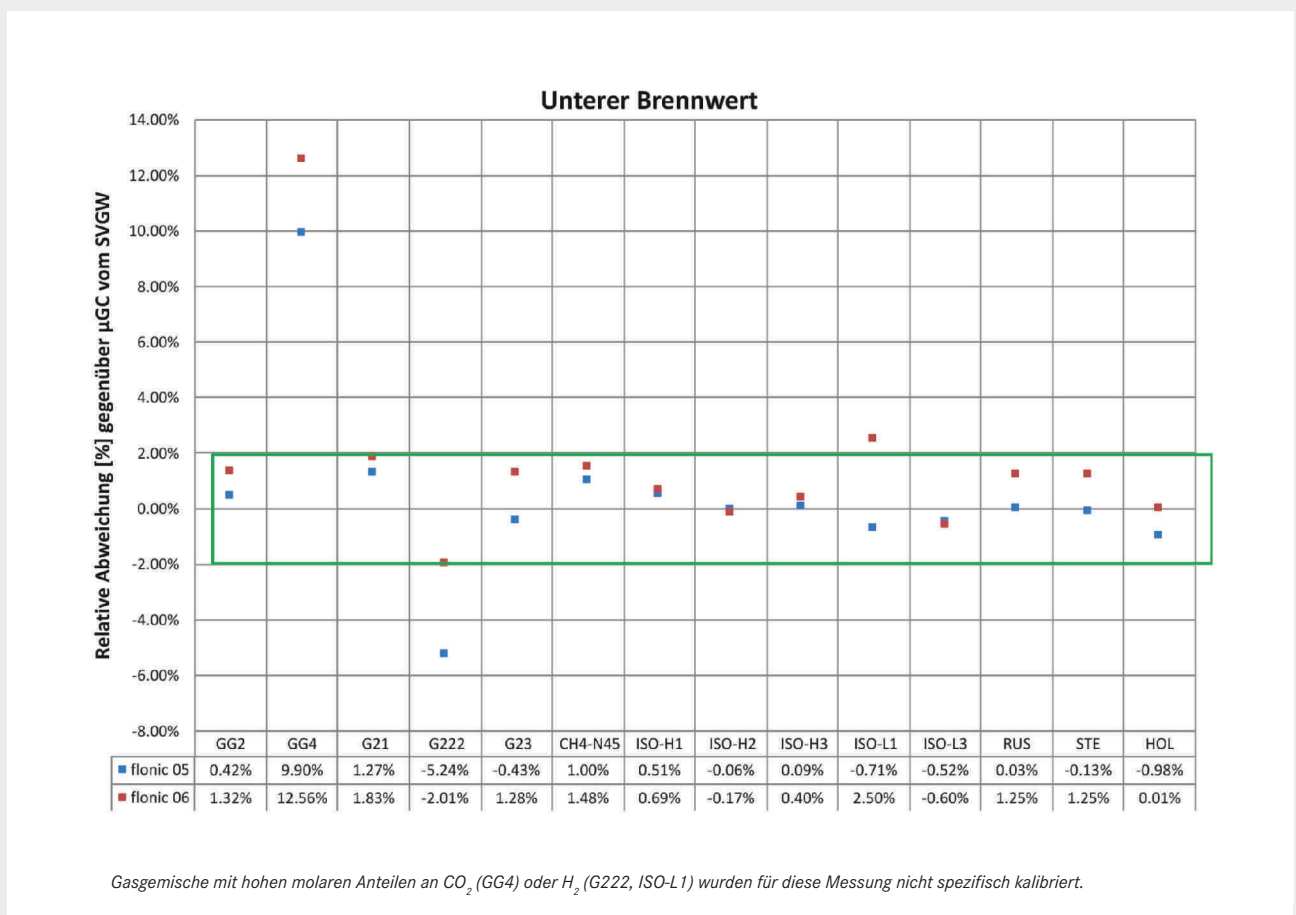


Fig. 4 Messvergleich zwischen μGC und den beiden gasQS flonic: unterer Brennwert  
 Comparaison de mesures entre μGC et les deux gasQS flonic: pouvoir calorifique inférieur

Vergleich der Datenbanken *Refprop* und *GasCalc* hat ergeben, dass die meisten Parameter übereinstimmen. Ausgenommen ist hierbei jedoch die Wärmeleitfähigkeit, die für Gase mit hohem Wasserstoffanteil größere Abweichungen vorweist. Da sich je nach Berechnungsmethode bereits deutliche Unterschiede bei der Methanzahl ergeben, macht ein Vergleich für

diesen Wert ohne eine spezifische Anwendung keinen Sinn. Die beiden *gasQS flonic* waren für die Messung von natürlich vorkommenden Gasen kalibriert. Gasgemische mit hohen molaren Anteilen an CO<sub>2</sub> (Biogase) oder H<sub>2</sub> (Erdgase mit Wasserstoff) wurden für diese Messung nicht spezifisch kalibriert. Die Messresultate zeigen,

dass für diese Gase eine spezifische Kalibrierung zu empfehlen ist. Eine kleinere Messabweichung für diese Gase kann zudem erreicht werden, indem die Korrelationsfunktion entsprechend angepasst wird. Vergleicht man neben den Messabweichungen die Schnelligkeit und die Komplexität des *gasQS flonic* gegenüber einem PGC, so hat Ersterer den Vorteil der

Beschreibung	Parameter	Symbol	Einheit	ISO-H2	ISO-H3	ISO-L1	ISO-L3	RUS	STE	HOL
flonic 05	Unterer Brennwert	Hiv	MJ/m <sup>3</sup>	36,9	39,6	30,6	33,2	35,9	31,5	31,8
flonic 06				36,8	39,8	31,6	33,2	36,4	32,0	32,1
$\Delta$ abs 05-06				0,0	-0,1	-1,0	0,0	-0,4	-0,4	-0,3
flonic 05	Unterer Wobbeindex	Hiv	MJ/m <sup>3</sup>	47,3	49,3	39,9	41,6	47,9	39,7	39,6
flonic 06				47,2	49,3	40,9	41,3	48,2	40,1	39,9
$\Delta$ abs 05-06				0,1	0,0	-1,0	0,3	-0,3	-0,4	-0,3
flonic 05	Isentropen-koeffizient	$\kappa$	-	1,302	1,286	1,316	1,310	1,312	1,317	1,315
flonic 06				1,301	1,285	1,311	1,309	1,310	1,315	1,313
$\Delta$ abs 05-06				0,0003	0,0011	0,0055	0,0012	0,0025	0,0027	0,0020
flonic 05	Dichte	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	0,610	0,649	0,596	0,642	0,567	0,636	0,646
flonic 06				0,609	0,650	0,600	0,645	0,568	0,638	0,647
$\Delta$ abs 05-06				0,0011	-0,0007	-0,0038	-0,0036	-0,0011	-0,0015	-0,0007

Farbskala ■ x < 0,5 ■ x > 0,5 ■ x > 1

Tab. 6 Mesures avec deux gasQS flonic et leur différence

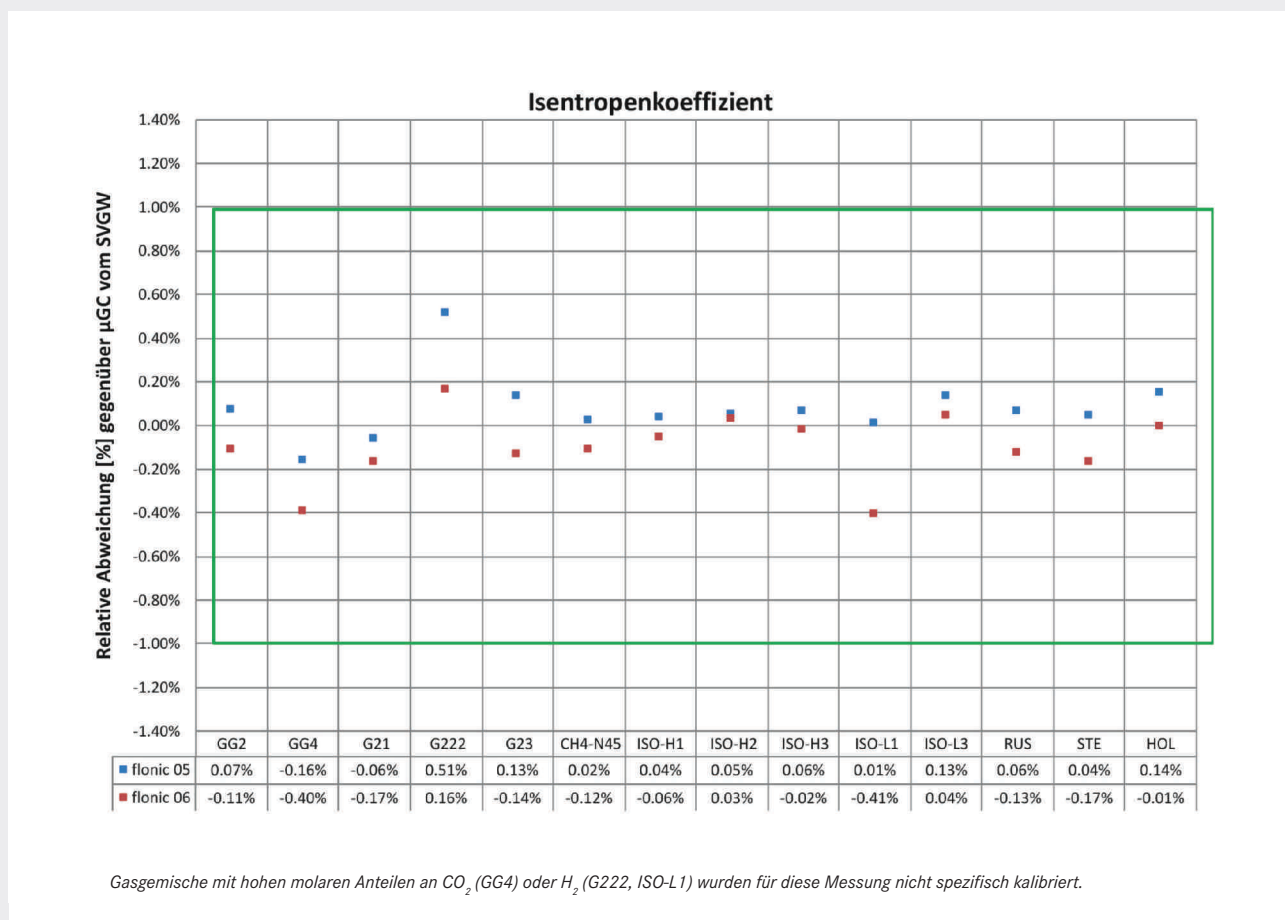
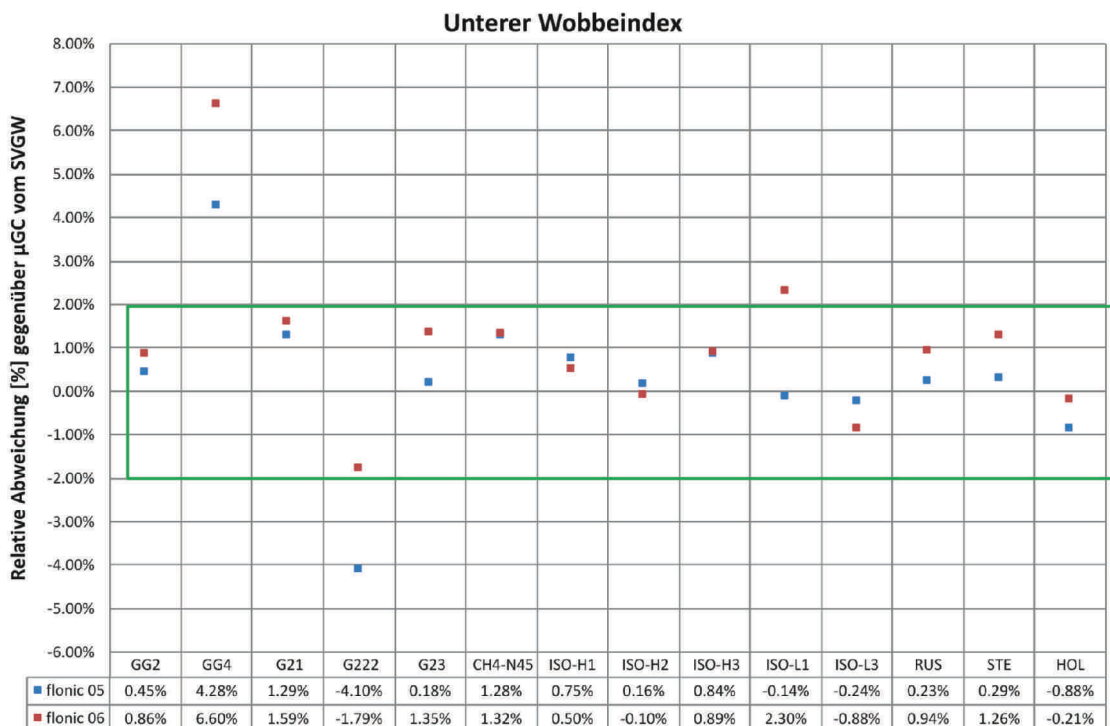


Fig. 5 Messvergleich zwischen µGC und den beiden gasQS flonic: Isentropen-Koeffizient  
 Comparaison de mesures entre µGC et les deux gasQS flonic: Coefficient isentropique

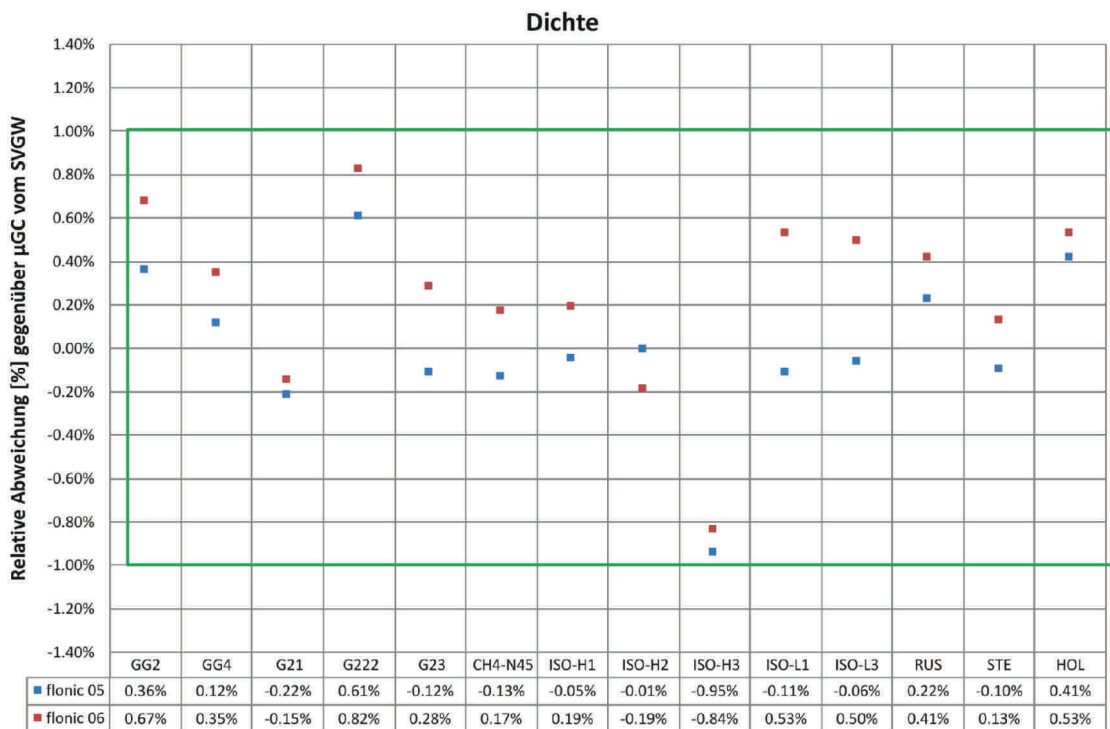
Wartungsfreiheit, da weder Kalibrier- noch Trägergas für die Messung notwendig sind. Dieser Vorteil wird noch deutlicher, wenn man die Investitionskosten vergleicht. Mit dem erklärten Ziel, kostengünstige Gasqualitätsmessgeräte wie den gasQS flonic für weite Anwendungsgebiete anzubieten, sollte die erreichbare Messgenauigkeit eigentlich nicht mit derjenigen von eichrechtlich zugelassenen Messinstrumenten wie einem PGC verglichen werden. Nichtsdestotrotz haben die Messungen gezeigt, dass die Messgenauigkeit des gasQS flonic

für die meisten Anwendungen völlig ausreichend ist und auch Potenzial für eine eichamtliche Zulassung hat. Generell kann daraus geschlossen werden, dass das Gasqualitätsmessgerät gasQS flonic bei Steuerungsprozessen mit nicht eichamtlicher Messung zur Überwachung von prozessrelevanten Gasqualitäten kostengünstig und sinnvoll eingesetzt werden kann. Der gasQS flonic kann auch ergänzend zu einem PGC eingesetzt werden, da der gasQS flonic korrelierte Gasbeschaffenheiten schnell und direkt ausgibt.



Gasgemische mit hohen molaren Anteilen an CO<sub>2</sub> (GG4) oder H<sub>2</sub> (G222, ISO-L1) wurden für diese Messung nicht spezifisch kalibriert.

Fig. 6 Messvergleich zwischen μGC und den beiden gasQS flonic: unterer Wobbe-Index  
 Comparaison de mesures entre μGC et les deux gasQS flonic: Indice inférieur de Wobbe



Gasgemische mit hohen molaren Anteilen an CO<sub>2</sub> (GG4) oder H<sub>2</sub> (G222, ISO-L1) wurden für diese Messung nicht spezifisch kalibriert.

Fig. 7 Messvergleich zwischen μGC und den beiden gasQS flonic: Dichte  
 Comparaison de mesures entre μGC et les deux gasQS flonic: Densité

**DANKSAGUNGEN**

Die Mems AG dankt der Prüfstelle des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) für Gasanalytik, insbesondere *Martin Seifert* und *Nesimi Öner*, sowie dem ganzen *gasQS*-Team bei Mems.

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Prêtre, Ph. et al. (2014): Messung der Gasbeschaffenheit. *Aqua & Gas* 12/14: 30-36
- [2] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2012): Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW G 488(A), April 2012, Anlagen für die Gasbeschaffenheitsmessung, Kapitel 4.3 Messverfahren zur Bestimmung der Gasbeschaffenheit, [www.dvgw-regelwerk.de/plus/#technische-regel/dvgw-arbeitsblatt-g-488/7e45d5](http://www.dvgw-regelwerk.de/plus/#technische-regel/dvgw-arbeitsblatt-g-488/7e45d5)
- [3] NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-Refprop, Version 9.1
- [4] E.ON SE (2017): GasCalc, 04/17, [www.eon.com/de/geschaeftsfelder/technik-service/gascal-software.html](http://www.eon.com/de/geschaeftsfelder/technik-service/gascal-software.html)
- [5] ISO 20765-1:2005(en) Natural gas – Calculation of thermodynamic properties – Part 1: Gas phase properties for transmission and distribution applications

[6] Kunz, O. et al. (2007): The GERG-4 Wide-Range Equation of State for Natural Gases and Other Mixtures, GERG TM15 2007

[7] Soltic, P. et al. (2016): Micro-thermal CMOS-based gas quality sensing for control of spark ignition engines, *Measurement* 91 661–675

**> SUITE DU RÉSUMÉ**

«gasQS», en revanche, mesure les caractéristiques physiques, telles que la conductivité thermique du mélange. Vient ensuite la recherche d'un rapport fonctionnel entre les caractéristiques physiques et la qualité de gaz souhaitée. Si ce rapport se retrouve dans de nombreux mélanges gazeux avec une certaine certitude statistique, il est probable que cette qualité de gaz puisse également être corrélée pour un mélange de gaz inconnu avec une exactitude similaire. Pour atteindre un degré de précision élevé, il convient de déterminer très précisément les caractéristiques physiques d'un grand nombre de mélanges gazeux, ou de pouvoir les calculer à partir d'équations d'état, car celles-ci servent de valeurs de référence pour le calibrage et pour la détermination du rapport fonctionnel. Si les différences entre les dispositifs réglementaires ne varient guère pour les caractéristiques telles que le pouvoir calorifique ou la densité, les caractéristiques physiques de type conductivité thermique ou capacité thermique, qui ne servent que de références pour la technique de mesure corrélative, peuvent varier considérablement selon les sources. Néanmoins, la technologie gasQS met à disposition une nouvelle génération d'appareils de mesure de la qualité du gaz offrant un degré de précision suffisant dans de nombreux domaines, ce qu'a démontré la comparaison directe avec un chromatographe en phase gazeuse de laboratoire ( $\mu$ GC) du Laboratoire d'essais Gaz de la Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SSIGE).

**Coups de bélier  
Druckschlagdämpfung**

**[www.olaer.ch](http://www.olaer.ch)**

**OLAER (Schweiz) AG, Bonnstrasse 3, CH – 3186 Düdingen**