

MESSUNG DER GASBESCHAFFENHEIT BEI REGELSYSTEMEN

Mit der Gasqualitätsmessung auf Basis der gasQS™-Technologie werden relevante Prozessparameter fortlaufend vor Ort gemessen. Die Instrumente können für alle mit brennbaren Gasen betriebenen Geräte eingesetzt werden, bei denen das Wissen über die Qualität des Gases wichtig ist – sei es, um die Effizienz zu steigern, die Emissionen zu reduzieren oder die Sicherheit sowie die Lebensdauer zu erhöhen. Die Funktionsweise der Instrumente wird anhand vier unterschiedlicher Einsatzgebiete erläutert.

Florian Krischker; Philippe Prêtre; Beat Probst; Daniel Matter, Mems AG*

In der heutigen Zeit werden brennbare Gase an diversen Orten gefördert und mit unterschiedlichsten Technologien hergestellt und transportiert. Die Anforderungen an die Gasqualität sind zwar definiert, jedoch schwankt sie innerhalb der ihr

vorgegebenen Grenzen. Dies hat Einfluss auf die Lebensdauer und Effizienz von mit Gas betriebenen Anlagen und Geräten [1].

GASBESCHAFFENHEIT

Für moderne Prozesse, die mit brennbaren Gasen arbeiten, ist das Wissen um dessen Qualität eminent. Das Bestimmen der Gasqualität kann die Effizienz von Prozessen substanziell erhöhen [2]. Allerdings können viele Regelungen mit Totzeiten, die Prozessgas-Chromatografen einbringen, nicht sauber arbeiten. Anwendungen wie Gasturbinen fordern Reaktionszeiten von weniger als einer halben Minute und Aktualisierungszyklen im Bereich von wenigen Sekunden. Da bisher meist ohne Wissen über die Schwankungen der Gasqualität gearbeitet wurde, ist eine Messgenauigkeit von ein bis zwei Prozent ein grosser Fortschritt und für die meisten Prozesse völlig ausreichend.

Gestiegene Anforderungen an die Emissionswerte zwingen Anwender, die sich bisher nicht um die Gasbeschaffenheit kümmern mussten, umzudenken. Der Einsatz von Erd- und Biogasen zeigt sich bei Fahrzeugen (NGV), Industriebrennern und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) als interessant. Anforderungen an Preis, Robustheit und Grösse verhinderten bisher aber den Masseneinsatz von Instrumenten zur Bestimmung der Gasqualität in diesen Gebieten. Die Einführung von kompakten, korrelativen Messsystemen kann diese Lücke nun schliessen.

gasQS™-TECHNOLOGIE

Mems AG nutzt für ihre Instrumente zur Bestimmung der Gasqualität mikrothermische Kalorimeter. Chipbasierte, integrierte, mikroelektromechanische (MEMS) Sensoren erfüllen die Anforderungen bezüglich Geschwindigkeit, Robustheit, Grösse und Preis, welche bei statischen (Industriebrenner, WKK, Brennstoffzellen) und mobilen (NGV) Regelsystemen gefordert sind. Die mikrothermischen Sensoren erlauben das Messen der Wärmeleitfähigkeit als auch der Wärmekapazität und – mittels einer zusätzlichen Durchflussmessung durch eine kritische Düse – der Dichte. Diese physikalischen Summenparameter werden benutzt, um auf Gasqualitätsfaktoren wie das Luft/Gas-Verhältnis, die Methanzahl, den Wobbe-Index oder den Brennwert zu

RÉSUMÉ

MESURE DE LA QUALITÉ DU GAZ DANS LES SYSTÈMES DE RÉGULATION

Les exigences qui touchent à l'efficacité et aux niveaux d'émission d'installations alimentées au gaz augmentent et nécessitent des moyens de mesure à des endroits inhabituels. Des chromatographes en phase gazeuse de haute précision mais coûteux n'ont pas été développés pour ces applications. Les systèmes de régulation modernes ont besoin de systèmes de mesure rapides, compacts et robustes. La technologie gasQS™ de Mems AG utilise des calorimètres microthermiques. Les capteurs à base de puces permettent de mesurer la conductibilité et la capacité thermiques, ainsi que – par la mesure du débit à travers une buse critique – la densité. Ces paramètres physiques cumulatifs sont utilisés pour conclure à des facteurs de qualité du gaz, tels que le rapport air/gaz, l'indice de méthane, l'indice de Wobbe ou le pouvoir calorifique. Les deux produits OEM vendus par l'entreprise ont déjà été utilisés dans différents projets: Dans les projets Power-to-Gas HEPP (*High Efficiency Power-to-Gas Pilot*) de la Haute école technique de Rapperswil et Cosyma d'Énergie 360° et de l'Institut Paul Scherrer (PSI), les appareils de mesure surveillent des processus partiels dans l'installation. Le système à pile à combustible Galileo de la société Hexis AG travaille également avec la technologie gasQS. La détermination intégrée du rapport optimal entre combustible et air est utilisée pour la transformation du gaz naturel en hydrogène. Lors de la production de biogaz, le rapport entre méthane et dioxyde de carbone doit être surveillé à divers endroits. Il sert d'indicateur de l'activité du bioréacteur et de garantie de la teneur minimale de 96% de méthane lors de l'injection. L'utilisation du GNL comme carburant pour les navires et les camions est en constante augmentation. Le gaz d'évaporation (*boil off gas*) produit lors du transport du GNL peut directement être utilisé pour les moteurs. Comme sa composition change au fil du temps, l'efficacité des moteurs à gaz peut être augmentée substantiellement en déterminant la qualité du gaz.

* Kontakt: florian.krischker@mems.ch

schliessen (Fig. 1). Es braucht dabei keinerlei Wissen über die Gaszusammensetzung. Für beide, die kritische Düse als auch den mikrothermischen Sensor, wurde von der Mems AG ein physikalisches Modell entwickelt. Es basiert auf denselben physikalischen Parametern, die zur Korrelation des gewünschten Gasqualitätsfaktors benutzt werden. Das Modell erlaubt die Voraussage der Resultate sogar ohne die gegebene Gasmischung zu messen; ein grosser Vorteil gegenüber bereits existierenden, korrelativen Messsystemen. Es ist somit bestens dazu geeignet, auf anwendungsspezifische Kundenbedürfnisse einzugehen und diese zu erfüllen.

gasQS™-INSTRUMENTE

Mems AG bietet, basierend auf der im vorhergehenden Abschnitt erläuterten *gasQS*-Technologie, zwei OEM-Produkte an:

gasQS™ flonic

Der *gasQS™ flonic* (Fig. 2) eignet sich für die Analyse aller üblichen H-, L- und Rohbiogasmischungen. Die Technologie erlaubt sogar Gasmischungen mit Wasserstoffanteilen von bis zu 20%. Durch die Messung der drei Parameter Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Dichte werden diverse Gasqualitätsfaktoren korreliert. Dazu gehören derzeit der Brennwert, der Heizwert, der *Wobbe*-Index, die Methanzahl AVL und die Gaszusammensetzung (s. Kap. *Power-to-Gas*). Über *Modbus RTU* können neben den Korre-

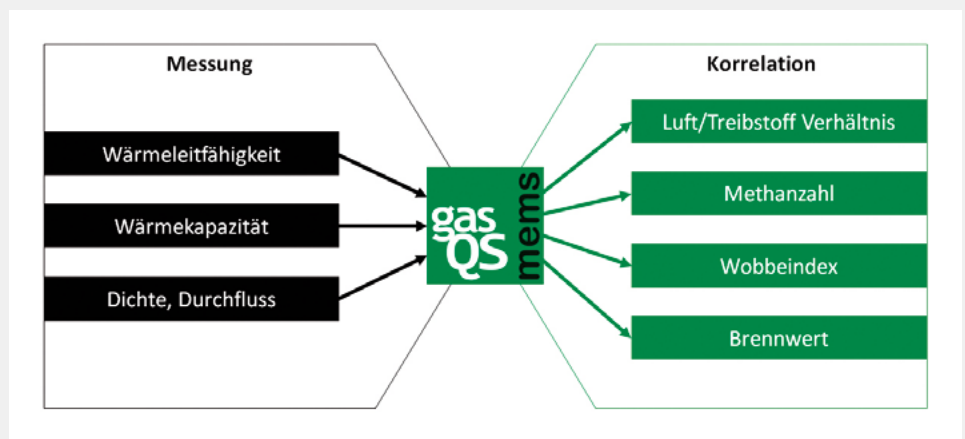


Fig. 1 Mess- und Korrelationsgrössen *gasQS™*-Technologie

lationen diverse Zusatzinformationen wie die Temperatur des Messgases, die Dichte und der Betriebsdruck ausgelesen werden. Anpassungen am Messintervall, den Referenzwerten, den Masseinheiten sowie der Korrelation können direkt im Feld vorgenommen werden. Das Instrument ist für Anwendungen in explosionsgefährdeten Zonen (ATEX-Zone 0) zertifiziert.

gasQS™ static

Der Sensor *gasQS™ static* (Fig. 3) ist ideal, wenn binäre Gasmischungen analysiert oder spezifische physikalische Eigenschaften von Gasen gemessen werden sollen. Er bietet Online-Messresultate bei einer sehr kompakten Grösse (d × h, 51 × 54 mm). Das Instrument bestimmt mithilfe des mikrothermischen Sensors

die Wärmeleitfähigkeit. Für binäre Gasmischungen (z. B. Biogas) können daraus das Mischungsverhältnis oder verschiedene Gaseigenschaften wie Brennwert oder Dichte mit hoher Genauigkeit abgeleitet werden. Der Sensor ist auch für Mehrkomponentengemische innerhalb der gleichen Gasfamilie (z. B. H-Gase) geeignet. Das Instrument ist für Anwendungen in explosionsgefährdeten Zonen (ATEX-Zone 0) zugelassen. Zur Datenübertragung wird der in der Industrie verbreitete 4-20-mA-Stromausgang genutzt.

PROJEKTE

Power-to-Gas

Erneuerbare Energiequellen sind nicht jederzeit vollumfänglich verfügbar – oder aber zu Zeiten, in denen das Angebot



Fig. 2 *gasQS™ flonic*



Fig. 3 *gasQS™ static*

viel grösser ist als die Nachfrage. Energiespeicherung ist somit das Schlüsselwort. Elektrische Energie – Solar bzw. Windenergie – ist nur begrenzt speicherbar. Aus diesem Grund wurde das Power-to-Gas(P2G)-Konzept entwickelt. In einer ersten Stufe wird dabei Wasserstoff elektrolytisch hergestellt.

Der Wasserstoff kann separat gespeichert und später z.B. mittels Brennstoffzellen wieder in Strom umgewandelt werden. Die Speicherung grosser Mengen Wasserstoff unter Zuhilfenahme des Erdgasnetzes oder unterirdischer Lager ist aktuell Thema vieler Diskussionen und ohne eindeutigen Ausgang.

Ziel mehrerer Forschungsvorhaben ist es deshalb, der Elektrolyse eine Methanisierungsstufe folgen zu lassen, wo der gewonnene Wasserstoff (H_2) zusammen mit Kohlendioxid (CO_2) katalytisch zu Methan (CH_4) und Wasser weiter synthetisiert wird (Fig. 4). Pilotanlagen im Rahmen des Projekts HEPP (*High Efficiency Power-to-Gas Pilot*) am Institut für Energietechnik der Hochschule für Technik in Rapperswil (HSR) [3] als auch die Versuchsanlage *Cosyma* von *Energie 360°* und des *Paul-Scherrer-Instituts* (PSI) [4] sind Beispiele dieser aktuellen Bemühungen. Vorzugsweise stammt das CO_2 aus Prozessen erneuerbarer Energie, sprich aus Rohbiogas von Biogasanlagen, wo das CO_2 meist ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Mittels Methanisierung lässt sich so die Produktion von erneuerbarem Gas um bis zu 60% steigern.

Zur Steuerung der gesamten Prozesskette vom Wasserstoff und Rohbiogas bis zum Endprodukt mit nahezu 100% Methan ist die Kenntnis der Gaszusammensetzung an mehreren Stellen von übergeordneter Bedeutung. Sollte das einzuspeisende Gas vorwiegend aus CH_4 und einem Rest von

CO_2 und H_2 bestehen, kann die Überwachung dieser Vorgabe vom *gasQS™ static* übernommen werden, der für die Messung solcher quasi binären Gasgemische entwickelt wurde. Die Kontrolle der Effizienz der Methankatalyse wird am besten zwischen dem Reaktor und der nachgeschalteten Abtrenn- bzw. Recyclingstufe von CO_2 und H_2 vorzugsweise mit einem *gasQS™ flonic* vorgenommen. Speziell zur Analyse solcher ternären Gasgemische (CH_4 , CO_2 , H_2) hat die *Mems AG* das Spektrum möglicher Ausgabewerte (Fig. 1) um die Gaszusammensetzungsanalyse erweitert, sodass diese Werte direkt zur Anlagensteuerung vorhanden sind.

Brennstoffzellen

Dank Strom direkt aus Wasserstoff sind Brennstoffzellen sowohl in stationären als auch mobilen Anwendungen gefragt. Wird dabei entstehende Prozesswärme bei dezentraler Stromerzeugung gleichzeitig z.B. zum Heizen benutzt, können sehr hohe Wirkungsgrade erreicht werden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf einer hohen Stromausbeute wie sie z.B. in mobilen Elektroantrieben gefragt ist. Wasserstoff ist jedoch selten der zugeführte Energieträger bei Brennstoffzellen, sondern Erdgas oder andere kohlenwasserstoffhaltige Verbindungen wie z.B. Methanol. Diese müssen zuerst zum von der Zelle benötigten Wasserstoff reformiert werden, wofür eine je nach Erdgasqualität unterschiedliche Menge Luft notwendig ist. Dabei hat die genaue Menge einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz der Zelle als auch auf deren Langlebigkeit: Jedes Prozent zu viel Luft verringert die Effizienz um ein Prozent in der Stromproduktion, jedes Prozent zu wenig kann zu starker Russbildung und Zerstörung einer Hochtemperaturbrenn-



Fig. 5 Brennstoffzelle Galileo von Hexis AG [5]

stoffzelle führen. *Mems AG* implementiert die *gasQS™*-Technologie auch kundenspezifisch, wie im Fall der integrierten Bestimmung des optimalen Verhältnisses für die Brennstoff-/Luftzufuhrregelung der Brennstoffzellen (Fig. 5) der Firma *Hexis*.

Biogas

Das bei der Biogasproduktion erzeugte Rohbiogas ist primär ein Gemisch aus CH_4 , CO_2 und Wasser. Letzteres wird im Normalfall abgetrennt, bevor das Gas entweder direkt verstromt oder für die Netzeinspeisung aufbereitet wird. Im Fall der Netzeinspeisung muss auch CO_2 abgetrennt werden, sodass nur noch möglichst reines Biomethan als Edukt zur Verfügung steht. Bei all diesen Prozessschritten kann – oder muss sogar –, eine Überwachung des CH_4/CO_2 -Verhältnisses mit *gasQS™ static*-Sensoren stattfinden. So dient diese Information beim Rohbiogas als Indikator der Fermenteraktivität oder zur allfälligen Steuerung eines Gasmotors bzw. einer Gasturbine, während beim einzuspeisenden Gas damit der Mindestgehalt von 96% garantiert werden kann. Beim im letzteren Fall abgetrennten CO_2 (*Off-Gas*) muss sichergestellt sein, dass weniger als 2% Methanschlupf in die Umwelt entweicht. Die Figuren 6 bis 8 zeigen die jeweilige Messung des Rohbiogases, des Produkt- und des *Off-Gases* im Vergleich zu einem Referenzgerät auf der Testanlage *BlueFEED* mit Gasnetzeinspeisung in Bachenbülach ZH im Jahr 2015 [6].

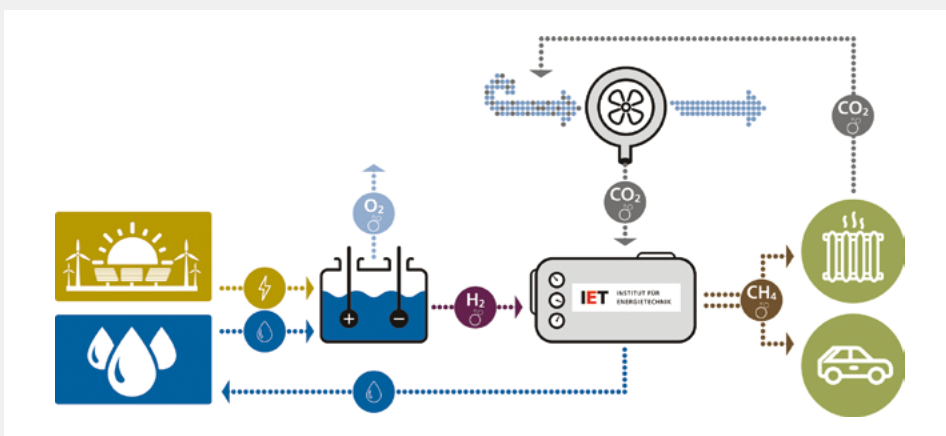


Fig. 4 Power-to-Methane-Kreislauf

(Quelle: HSR)

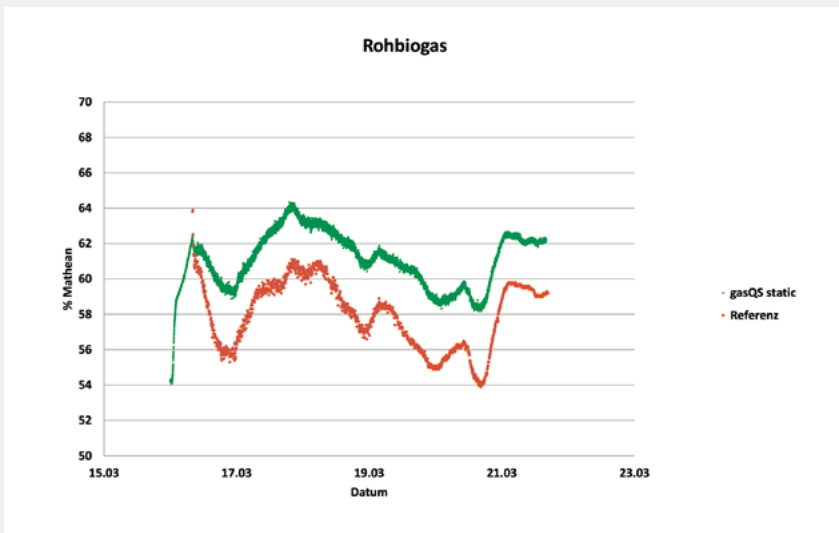


Fig. 6 Vergleichsmessung Rohbiogas gasQS static/Prosonic Flow B 200

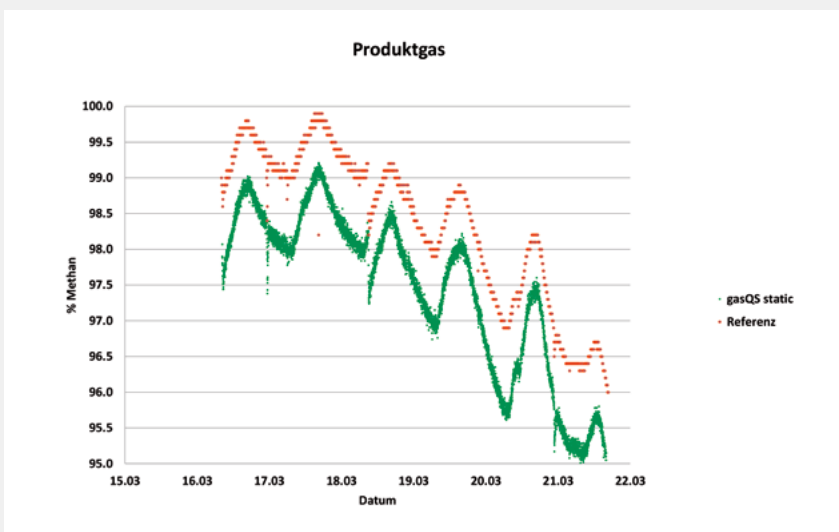


Fig. 7 Vergleichsmessung Produktgas gasQS static/Prosonic Flow B 200

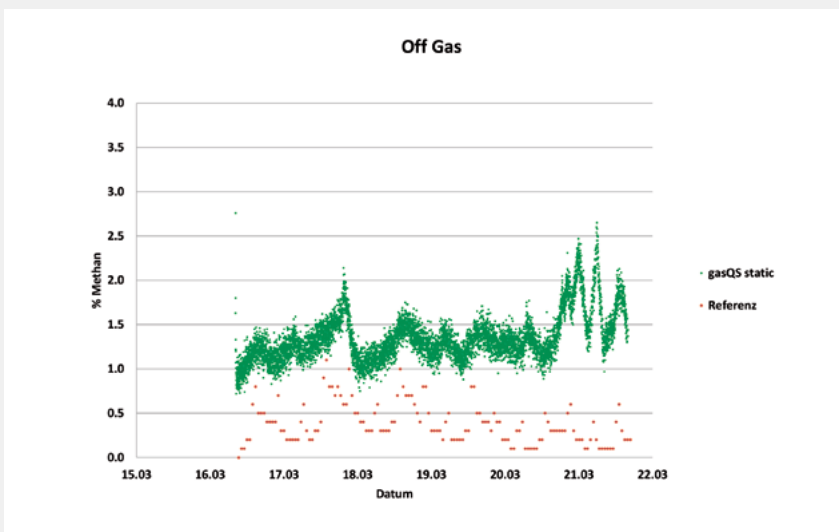


Fig. 8 Vergleichsmessung Rohbiogas gasQS static/Sewerin

Der Vergleich mit der Referenzmessung (Prosonic Flow B 200) bei den Rohbio- und Produktgasen zeigt, dass der gasQSTMstatic

sämtliche Schwankungen in der Gaszusammensetzung mitverfolgen kann. Die Unterschiede in den Absolutwerten für

die Methankonzentration liegen innerhalb der Resultattoleranz beider Geräte ($\pm 2\%$ Referenz, $\pm 1\%$ gasQS static). Beim Off-Gas erfolgte die Referenzmessung mittels optischer Infrarotabsorption (Sewerin). Der Unterschied kann mit Spuren weiterer Gase (z.B. Stickstoff, Wasserstoff) erklärt werden, da der gasQS static dann mehr CH₄ anzeigt, als effektiv vorhanden ist. Auf diese Weise überschreitet der effektive CH₄-Gehalt nie den zugelassenen Grenzwert.

Liquefied Natural Gas

Liquefied natural gas (LNG) ist eine der Quellen, die künftig eine wichtige Rolle für die weltweite Gasversorgung spielen werden [1]. Da der Transport auf Schiffen und nicht über Pipelines geschieht, ist sowohl der Ursprungs- als auch der Zielort a priori unbestimmt. Dies führt zu stärker schwankenden Gaszusammensetzungen beim Endverbraucher. Gewisse Prozesse in der Industrie, v. a. bei der Glasverarbeitung, reagieren jedoch sehr empfindlich auf solche Gasqualitätsschwankungen [7].

Die Zahl von LNG-Motoren sowohl auf Schiffen als auch im Bereich der Lkw (Stichwort: LNG Blue Corridors) wächst stetig. Auch wenn Gasmotoren nicht sehr sensibel auf Gasqualitätsschwankungen reagieren, kann ihre Effizienz optimiert werden, wenn die Gasqualität bekannt ist. Messungen im Rahmen des FOGA-Projekts gasQSens, zusammen mit der Abteilung Automotive Powertrain Technologies der Empa [2], haben gezeigt, dass Wirkungsgradsteigerungen von mehr als 1% absolut möglich sind. Mit dem gasQSTMflonic stellt MemS AG das entsprechende Messgerät zur Verfügung: nebst der sonst im Motorenbereich üblichen Gasqualität «Methanzahl» (Fig. 1) können auch motortypspezifische Größen wie optimaler Zündwinkel oder maximal zulässige Abgasrückführaten ausgegeben werden.

LNG als Treibstoff eignet sich besonders für Transporte, die LNG in flüssiger Form bereits als Fracht an Bord haben. Auf LNG-Tankern kann zusätzlich das in geringem Mass austretende «Boil-off»-Gas für die Motoren verwendet werden, anstatt es unter hohem Aufwand wieder zu verflüssigen (Fig. 9). Allerdings gilt es zu beachten, dass das Gasgemisch zum Betreiben von Motoren erst ab einem bestimmten Zeitpunkt geeignet ist, da zu Beginn

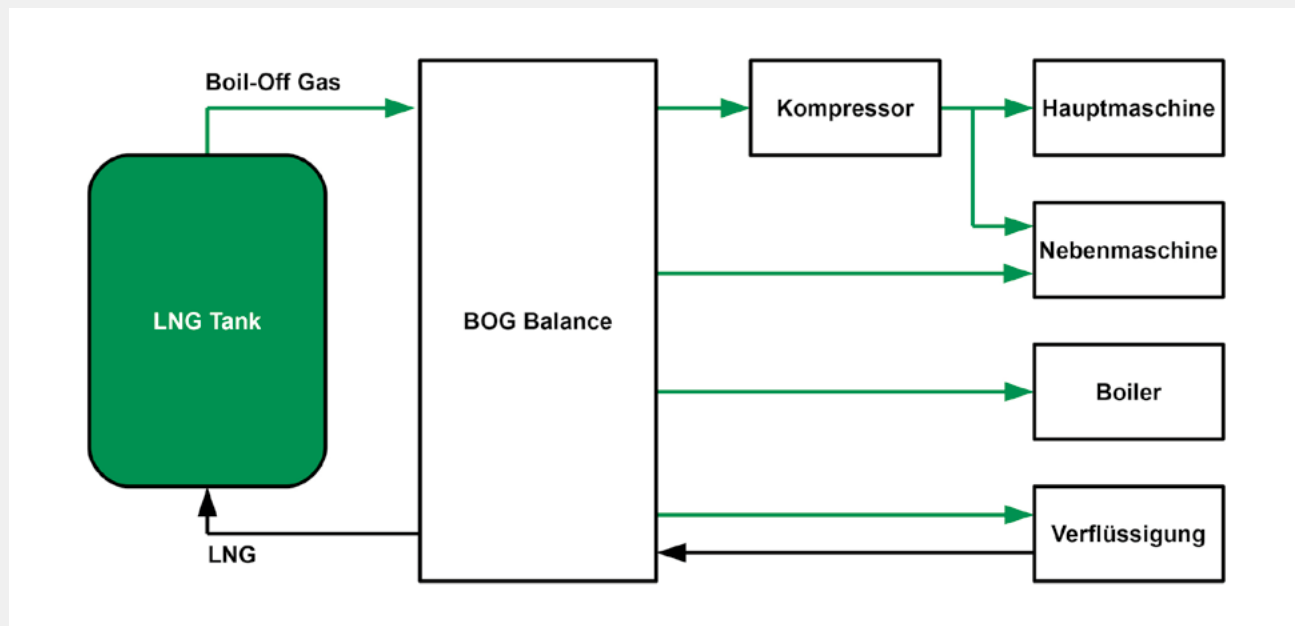


Fig. 9 Boil-off-Handhabung auf LNG-Schiffen [8]

v. a. der sich im verflüssigten Erdgas befindenden Stickstoff abdampft (Boil-off bei 196 °C). Erst mit der Zeit verdampfen auch brennbare Bestandteile, CH₄, Ethan usw., sodass die Motoren auf «Boil-off»-Gas umgeschaltet werden können. Zur Bestimmung des genauen Umschaltzeitpunkts kann ein *gasQS™ static* eingesetzt werden, um über eine Wärmeleitfähigkeitsmessung das Verhältnis von brennbaren und nicht brennbaren Anteilen zu messen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Arlt, S.-A.; Hofmann, J.; Nachtmann, K. (2017): *Der Markt für Liquefied Natural Gas (LNG) bis 2030*, Essen: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH
- [2] Soltic, P. et al. (2016): *Micro-thermal CMOS-based gas quality sensing for control*

of spark ignition engines, Measurement, Bd. 91, Nr. 91, pp. 661–679

- [3] HSR: *High Efficiency Power-to-Methane Pilot – HEPP*. Available: <https://www.iet.hsr.ch/index.php?id=16924>
- [4] Kunz, A. (2017): *Direkte Biogas-Methanisierung*, Aqua & Gas Nr. 9, pp. 68–73
- [5] Hexis AG (2018): http://hexis.com/sites/default/files/galileo_v3_300dpi.JPG
- [6] Apex: <http://www.apex.eu.com/>
- [7] Werschy, D. M. et al. (2014): *Untersuchungen der Auswirkungen von Gasbeschaffungsänderungen auf industrielle und gewerbliche Anwendungen*, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [8] Nygard, B. (2016): *Boil-Off Gas handling onboard LNG fuelled ships*. Available: https://www.wartsila.com/images/default-source/twentyfour7/in-detail/gas/2016_1-boil-off-gas-handling-onboard-Ing-fuelled-ships-2.tmb-thumb425.jpg?sfvrsn=cc76a245_2 (Zugriff am 23. Oktober 2018)

pr | award | 2017/18

Machen Sie mit! – Participez! – Partecipate!

www.svgw.ch/praward
www.ssige.ch/praward-fr
www.ssiga.ch/praward-it



pr | award | Wasser

Landiert im Jahr 2012 vom
 Schweizer Verein des Gas- und Wasserfaches
 Distributeurs d'eau romands
 Associazione A...