

# Entwicklung eines integrierten Sensorsystems zur Bestimmung des Brennwertes von Brenngasen mit variabler Zusammensetzung

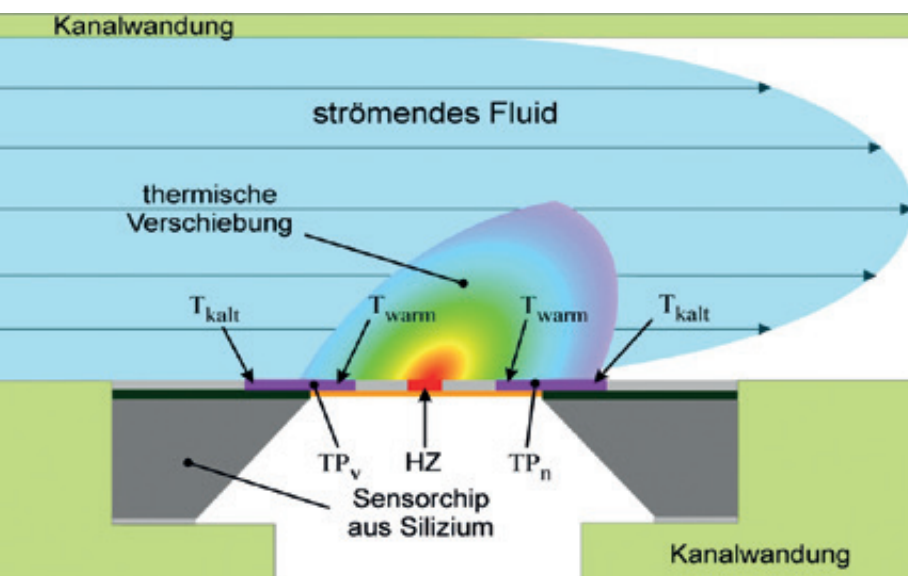
Veränderungen im europäischen Erdgasmarkt und die Tatsache, dass in Zukunft größere Gasanteile aus regenerativen Quellen (wie z. B. Power-to-Gas) in das bestehende Erdgasnetz eingebunden werden, sorgen dafür, dass die Erdgasbeschaffenheit zukünftig stärker schwanken wird. Entsprechend wächst der Bedarf an einer massentauglichen Technik zur Gasanalyse, die die Gasbeschaffenheit zur Regelung des Verbrennungsprozesses erfasst. Im Projekt „Fuel Power Sens“ wird vor diesem Hintergrund eine solche Technologie in Form eines integrierten Sensorsystems entwickelt und umfangreich getestet. Das Projekt wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert (IGF 18002N) und im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung vom Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT), der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. (HS-VS) und dem Gas- und Wärme-Institut Essen e. V. (GWI) durchgeführt.

von: Sabine Feldpausch-Jägers, Eren Tali, Dr.-Ing. Frank Burmeister (alle: Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.), Dr. Sophie Billat, Frank Hedrich (beide: Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V.) & Georg Dura (Zentrum für Brennstoffzellentechnik)

Abb. 1: Funktionsprinzip eines Sensors zur thermischen Gasanalyse

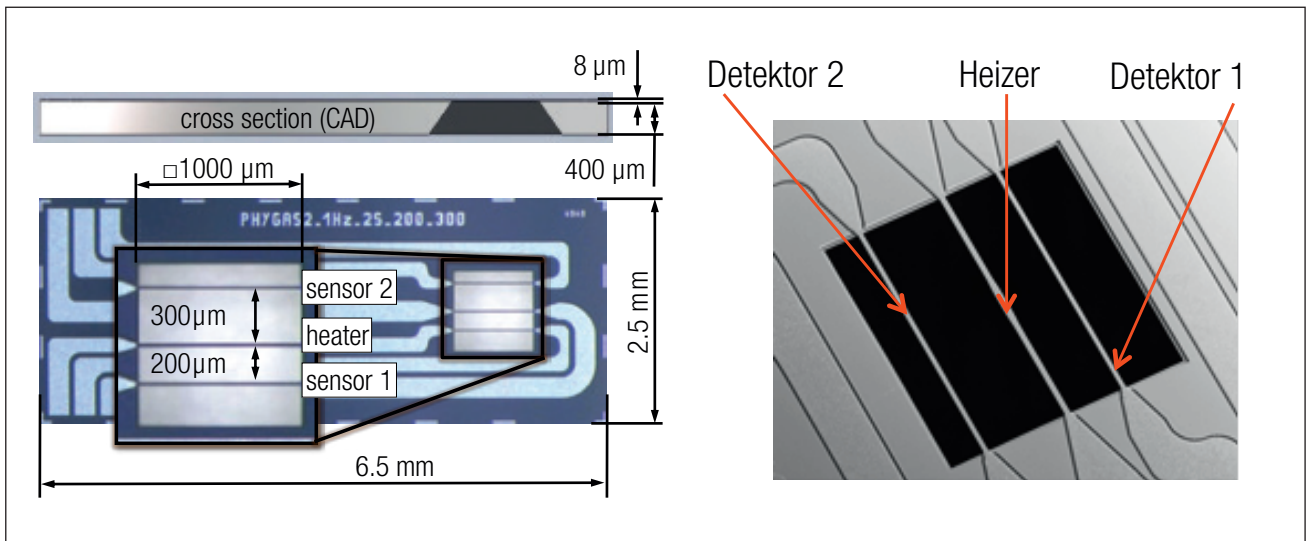
Ziel des Forschungsvorhabens war es, ein integriertes Sensorsystem zu entwickeln, das bei variablen Zusammensetzungen von Brenngasen mittels thermischer Messprinzipien Aussagen über die Gasbeschaffenheit macht und daraus den Brennwert bestimmt. Motivation für das Projekt ist die zukünftig zu erwartende (weitere) Diversifizierung des Gasbezugs: Die Gasversorgung in Deutschland wird durch Erd-

gase aus verschiedenen Herkunftsländern (z. B. Dänemark, Großbritannien, Russland, den Niederlanden und Norwegen) und eigenen Quellen sichergestellt; neue Großpipelineprojekte und LNG-Terminals (z. B. Niederlande) erlauben darüber hinaus den Zugriff auf weitere Quellen. Für die Zukunft ist ferner europaweit die Nutzung von Schiefergasvorräten im Gespräch. Daher kommen schon heute und in Zukunft verstärkt Gase unterschiedlicher Beschaffenheit zur Verteilung. Durch die zusätzliche Nutzung von Brenngasen aus regenerativen Quellen wie aufbereitetes Biogas (Biomethan) und „Windgas“ (Power-to-Gas) kommt es zu einer weiteren Diversifizierung von Brenngasen. Einige der genannten Gase, insbesondere aufbereitete Biogase, sind zur Netzkonformität mit LPG oder Luft zu konditionieren. Die Liberalisierung des Erdgasmarktes führt dazu, dass es zukünftig zu sehr unterschiedlichen Gasbeschaffenheiten kommt bzw. diese bereits heute schon auftreten [1].



Quelle: HS-VS

Für beschaffenheitssensible industrielle Verbrennungsprozesse, private Erdgasanwendungen wie auch perspektivisch für die Abrechnung des Energiegehalts über den Brennwert



gibt es einen – durch die oben beschriebene Diversifizierung verstärkten – Bedarf an kostengünstiger und intelligenter Sensorik, die alternativ zu den etablierten chromatografischen und korrelativen Messverfahren für Großanlagen verwendet werden kann. Für eine Vielzahl von industriell betriebenen Systemen ist es aus Funktions- und Effektivitätsgründen notwendig, dass die Beschaffenheit des Brenngases na-

hezu konstant ist bzw. deren Varianzen bereits vor der Anwendung ausregelbar sind. Dies zeigt den großen Bedarf nach einer entsprechenden kostengünstigen Online-Analytik.

Die breite Anwendung von entsprechenden Gasbeschaffenheitsregelanlagen scheidet aber bislang am Mangel an preiswerten und schnelleren Sensorsystemen. Mit einem solchen Modul

Abb. 2: Mikroskop-Aufnahme des realisierten Mikrodraht-Chips (links), REM-Bild der Strukturen (rechts)

# GMS 4000 GPS Live Dokumentation!

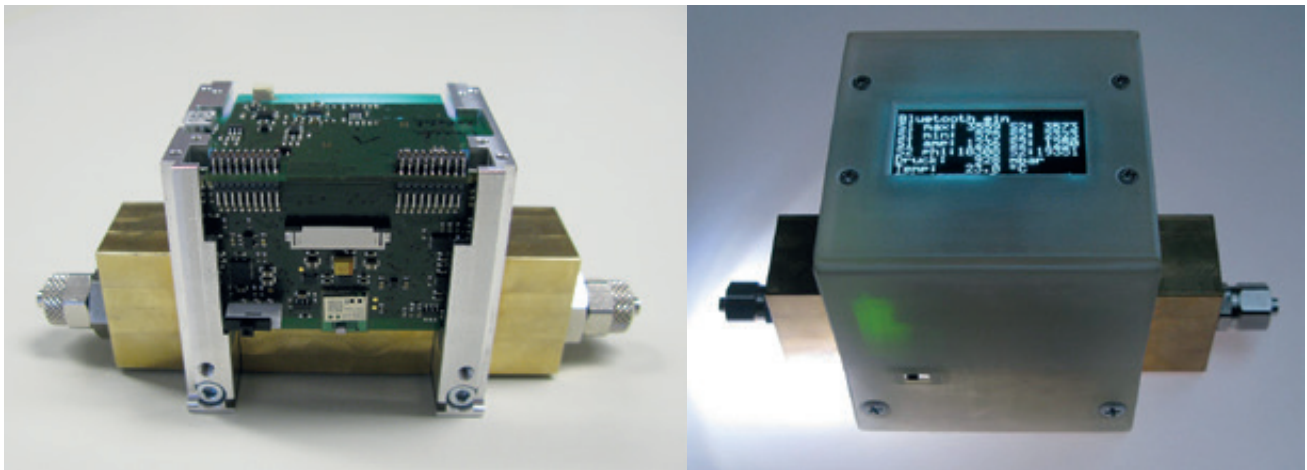


Bluetooth Integration sowie der patentierten **GPS Doku-KLICK®** und **Direct-LOG** Funktion!



[www.schuetz-messtechnik.de](http://www.schuetz-messtechnik.de)

Jetzt informieren: [www.schuetz-messtechnik.de/gms4000](http://www.schuetz-messtechnik.de/gms4000)  
oder telefonisch unter +49 (0) 7821 – 32 80 100



Quelle: HS-VS

Abb. 3: Darstellung des Gesamtsystems ohne Gehäusedeckel und Display (links) und Gesamtsystem (rechts)

könnten sowohl Gerätehersteller als auch die Betreiber von Thermoprozessanlagen den Betrieb und die verbrennungstechnische Effizienz ihrer Anlagen sicherstellen. Zudem würde ein eichfähiges System den Vorteil der Gasabrechnung nach dem Brennwert ermöglichen und auch Marktpotenzial im Hinblick auf „Smart-Grids“-Anwendungen sowie Brennwert-Rekonstruktionssysteme erschließen. Zur Verwirklichung dieses Ziels hat das Institut für Mikro- und Informationstechnik der Hahn-Schickard-Gesellschaft e. V. im baden-württembergischen Villingen-Schwenningen im Rahmen des Forschungsprojektes ein integriertes Sensorsystem entwickelt, das in der Lage ist, mittels thermischer Messprinzipien die Gasbeschaffenheit zu bestimmen. Das Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH hat versucht,

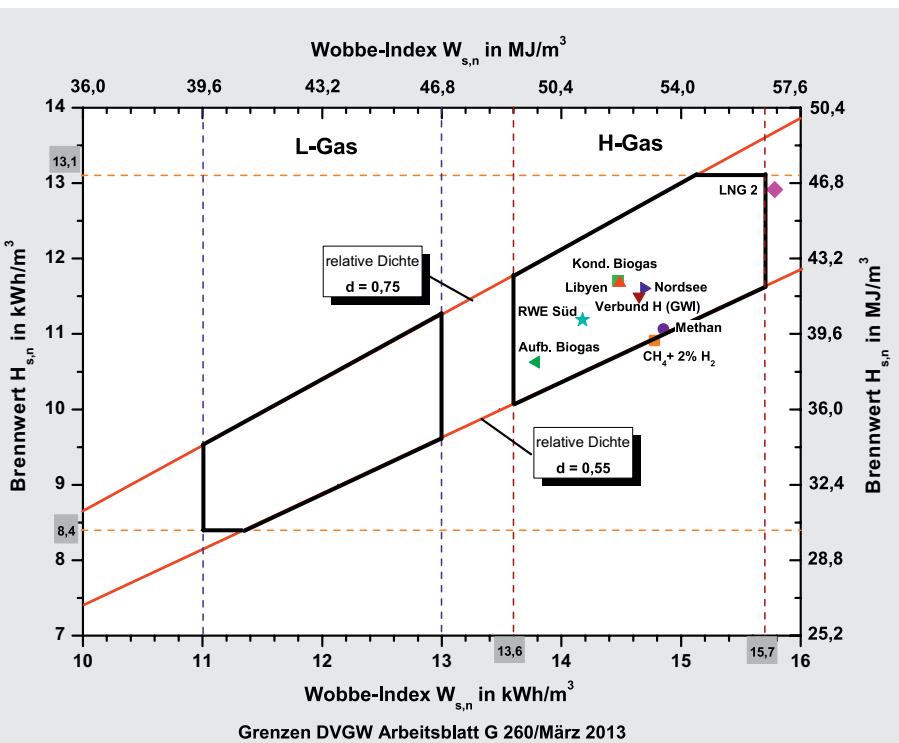
das Sensorsignal vom Zeitbereich in den Spektralbereich zu transformieren, um zur Konzentrations- und bestandteilgenauen Erkennung von Brenngasen beizutragen. Das Gas- und Wärme-Institut in Essen wiederum hat den Sensorprototypen mit Brenngasen unterschiedlicher Zusammensetzungen umfangreich getestet, die druck- und temperaturabhängigen Stoffwerte der Gase berechnet und Korrelationsfunktionen für den Brennwert, die Temperatur- und die Wärmeleitfähigkeit entwickelt.

Abb. 4: Test-Gase

Das Grundprinzip von Sensoren zur thermischen Gasanalyse ist, dass über einen Heizer ein Wärmeeintrag in das Medium stattfindet und an anderer Stelle über einen Temperatursensor die eingebrachte Wärme indirekt gemessen wird (Abb. 1). Bei den nach heutigem Stand der Technik in Mikrosystemtechniken hergestellten Sensoren (MEMS) sind Heizer und ein temperaturempfindlicher Widerstand, der die Temperatur des ihn umgebenden Gasgemisches misst, auf einer thermisch isolierenden Membran integriert [2–4].

Der Wärmetransport erfolgt dabei vom Heizer und der ihn tragenden Membran an das Gasgemisch. Die vom Heizer erzeugte Wärme fließt dabei, je nach Wärmeleitfähigkeit des Gasgemisches, über diesen und die ihn tragende Membran ab. Eine die Heizvorrichtung auf eine konstante Temperatur regelnde Vorrichtung muss dementsprechend mehr oder weniger Heizleistung (Heizstrom) liefern, sodass die Heizleistung (Heizstrom) ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit des Gases ist.

Im Rahmen des Projektes wurde auf Grundlage dieses Wirkprinzips und eines entkoppelten Sensorprinzips von HS-VS ein Prototyp entwi-



Quelle: GWI

**Tabelle 1: Zusammensetzungen und brenntechnische Daten der Test-Gase**

		Methan	Erdgas H Nordsee	Erdgas H RWE Süd	Verbund H (GWI)	Libyen	LNG 2	Biogas aufbereitet	Biogas konditioniert	CH <sub>4</sub> +H <sub>2</sub>
<b>Komponente</b>	<b>Phys. Einheit</b>									
Helium	Mol.-%		0,0078							
Kohlenstoffdioxid	Mol.-%		1,8200	1,4677	1,6942	1,4000		4,0200	3,7900	
Stickstoff	Mol.-%		0,7412	3,4727	0,7760	3,4000	0,6000			
Sauerstoff+Argon	Mol.-%		< 0,0100							
Wasserstoff	Mol.-%		<0,0015							2,0000
Methan	Mol.-%	100,0000	89,8194	88,9704	90,8751	85,5000	81,6000	95,9800	89,9780	98,0000
Ethan	Mol.-%		5,9727	4,7460	5,3333	6,7000	13,4000			
Propan	Mol.-%		1,1987	0,9083	0,9673	2,0000	3,7000		5,9900	
n-Butan	Mol.-%		0,1784	0,1612	0,1328	1,0000	0,7000		0,2420	
i-Butan	Mol.-%		0,1551	0,1512	0,1318					
n-Pentan	Mol.-%		0,0294	0,0398	0,0261					
i-Pentan	Mol.-%		0,0397	0,0430	0,0337					
neo-Pentan	Mol.-%		0,0016							
Hexane	Mol.-%		0,0235	0,0397	0,0297					
Heptane	Mol.-%		0,0096							
Oktane	Mol.-%		0,0011							
Nonane	Mol.-%		0,0001							
C10 und höhere KW	Mol.-%		< 0,0001							
Benzol	Mol.-%		0,0011							
Toluol	Mol.-%		0,0005							
Xylol	Mol.-%		0,0001							
<b>Brenntechnische Daten für: T (Verbrennung) = 25 °C / T (Volumen) = 0 °C / p = 1,01325 bar (ISO 6976/DIN 51857)</b>										
Molare Masse	M [kg/kmol]	16,043	18,021	17,995	17,795	18,763	19,327	17,167	18,885	15,762
Realgasfaktor	Z <sub>n</sub> [-]	0,99760	0,99704	0,99723	0,99712	0,99692	0,99636	0,99747	0,99682	0,99770
Normdichte	r <sub>n</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	0,71748	0,80638	0,80509	0,79621	0,83970	0,86542	0,76786	0,84525	0,70486
Relative Dichte	d [-]	0,55493	0,62369	0,62269	0,61582	0,64946	0,66935	0,59389	0,65375	0,54517
Brennwert (molar)	H <sub>sm</sub> [kJ/mol]	890,630	933,433	900,189	925,023	939,212	1038,138	854,827	941,263	878,534
Brennwert (Masse)	H <sub>s</sub> [MJ/kg]	55,515	51,798	50,023	51,982	50,056	53,714	49,794	49,841	55,736
Brennwert (Volumen)	H <sub>sv</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ]	39,831	41,768	40,273	41,389	42,032	46,486	38,235	42,128	39,286
Brennwert (Volumen)	H <sub>sv</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ]	11,064	11,602	11,187	11,497	11,676	12,913	10,621	11,702	10,913
Heizwert (molar)	H <sub>im</sub> [kJ/mol]	802,600	843,333	812,974	835,448	849,377	940,556	770,335	850,976	791,384
Heizwert (Masse)	H <sub>i</sub> [MJ/kg]	50,028	46,798	45,177	46,949	45,268	48,665	44,872	45,060	50,207
Heizwert (Volumen)	H <sub>iv</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ]	35,894	37,737	36,371	37,381	38,012	42,116	34,456	38,087	35,389
Heizwert (Volumen)	H <sub>iv</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ]	9,971	10,482	10,103	10,384	10,559	11,699	9,571	10,580	9,830
Wobbeindex	W <sub>s</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ]	53,469	52,889	51,036	52,742	52,156	56,819	49,614	52,104	53,207
Wobbeindex	W <sub>s</sub> [kWh/m <sup>3</sup> ]	14,853	14,691	14,177	14,651	14,488	15,783	13,782	14,473	14,780

Quelle: GWI

ckelt, der einen auf Brenngasanalyse optimierten Sensorchip und eine Auswertelektronik beinhaltet (Abb. 3). Zur Messung wurde ein Mikrochip mit freitragenden filigranen Brückenstrukturen aus Silizium entwickelt, die als

Mikrodrähte im zu analysierenden Gasraum aufgespannt sind. Ein mittlerer Draht ist als Heizer ausgelegt, zwei Detektor-Drähte in unterschiedlichen Abständen davon als Temperatursensoren (Abb. 2).

Es wurden mehrere Mustersensoren aus vorhandenen Sensor-Chips aufgebaut und am physikalischen Gas-Messplatz bei verschiedenen Drücken zwischen 900 und 1.200 mbar und Temperaturen von 16 bis 28 °C sowie in

reinen Gasen (Luft, N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>) mit einem Echtzeitsystem charakterisiert.

Um die Präzision und Auflösung der Messungen zu erhöhen, wurde dieser Gas-Messplatz ständig erweitert und optimiert. Dieser Aufwand war insbesondere notwendig, um das Konzept und die Elektronik zu erarbeiten, da der MEMS-Sensor selbst ohne Datenakquisitionssystem (Echtzeit) oder eigene Auswertelektronik nicht sinnvoll zu betreiben ist.

Diese Messungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem ZBT definiert, um die notwendigen Sensor-Rohdaten für die mathematische Analyse zu liefern. Weiterhin wurden zeitaufwendige Messungen in unterschiedlichen Gaszusammensetzungen zur Daten-Akquisition und deren Vorbereitung, Auswertung und Analyse für die Entwicklung der notwendigen Algorithmen durchgeführt.

Hahn-Schickard hat den Forschungsstellen ZBT und GWI je ein Mess-System (Abb. 3) und – zugehörig zum Mustergerät – ein mit LabView erstelltes Programm zur Verfügung gestellt, welches das Mess-System steuert, dessen Daten aufnimmt und in Dateien gemeinsam mit den manuell einzutragenden Informationen über das Messgas abspeichert.

Das Mess-System nimmt folgende Signale auf: gasabhängige Phasenverschiebung und Amplitude sowie die Umgebungssignale Gastempera-

tur und Druck. Da am HS-VS-Messplatz nur ungiftige sowie nicht brennbare Gase gemessen werden durften, wurde die Versuchsmatrix der bislang untersuchten Gase Luft (R-729), Stickstoff (R-728, N<sub>2</sub>) und Kohlendioxid (R-744, CO<sub>2</sub>) um die schweren Gase Schwefelhexafluorid (R-846, SF<sub>6</sub>), Tetrafluormethan (R-14, CF<sub>4</sub>) und Octafluorocyclobutan (R-C318, C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>) erweitert. Zusätzlich standen als Referenzen noch Helium (R-704, He) und Argon (R-740, Ar) zur Verfügung. Ziel dieser Untersuchungen war es, den allgemeinen Zusammenhang der Druck- und Temperatur-Abhängigkeit des Mess-Signals für Gase und deren Gemische zu finden, sodass sich ein beliebiges Sensor-Signal auf normierte Standardbedingungen zurückführen lässt, um unbekannte Gemische vergleichbar zu machen.

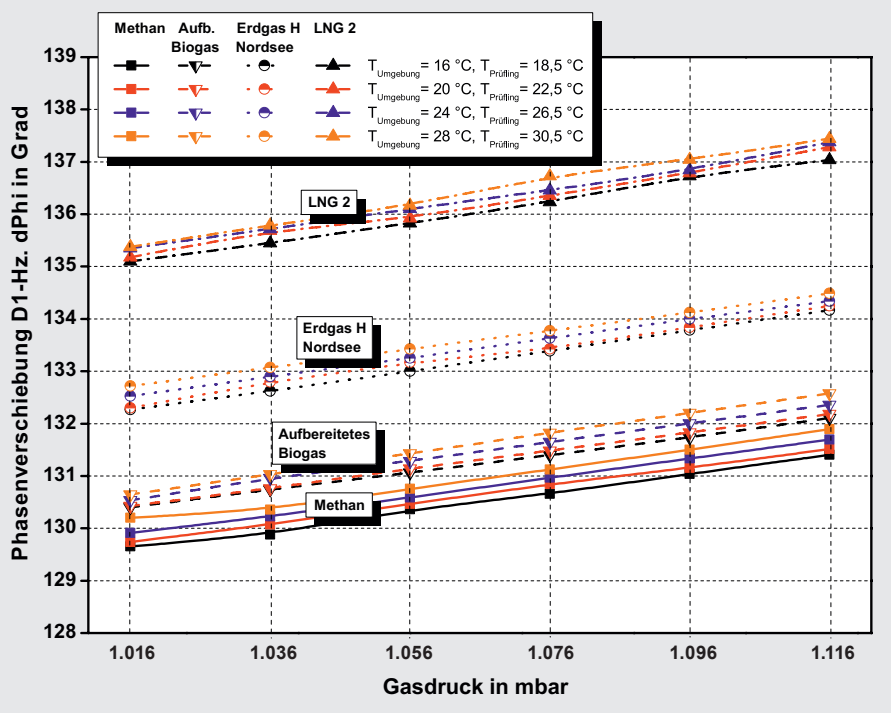
Von der Zusammensetzung der Brenngase hängen der Verbrennungsprozess, der Wirkungsgrad, die Produktqualität und die Emissionen ab. Gase im deutschen Erdgasnetz müssen deshalb in ihren verbrennungstechnischen Daten immer den Anforderungen der DVGW-Arbeitsblätter G 260 [5] und G 262 [6] genügen. Zur effizienten Regelung von Gasanwendungen und der Abrechnung der Brenngase wird insbesondere vor dem Hintergrund zukünftiger Smart-Metering-Anwendungen in Privat- und Industrieanwendungen eine Gasanalyse mit dem Potenzial zur eichfähigen und massentauglichen Technik benötigt.

Aufgabe des GWI in diesem Projekt war es, den Sensorprototyp mit brennbaren Gasen, die innerhalb des Anforderungsrahmens der oben genannten DVGW-Arbeitsblätter liegen, zu untersuchen. Die umfangreichen Messungen fanden unter Berücksichtigung verschiedener Drücke und Temperaturen mit den in **Abbildung 4** aufgeführten Gasen statt.

Die in **Tabelle 1** zusammengestellten Gase wurden als Flaschenabfüllung inklusive einer C6- oder C10-Analytik der Gaszusammensetzung am GWI eingesetzt. Die druck- und temperaturabhängigen Stoffwerte Dichte, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und dynamische Viskosität sowie die thermischen Eigenschaften Temperaturleitfähigkeit und Prandl-Zahl wurden berechnet und für einen Vergleich der Messwerte als Funktion von Druck und Temperatur aufbereitet.

Der Sensor liefert Phasenverschiebungen und Amplituden der Detektoren 1 und 2 sowie die Summe und die Differenz aus diesen Signalen,

Abb. 5: Phasenverschiebung D1 von vier Test-Gasen in Abhängigkeit vom Druck bei verschiedenen Temperaturen



Quelle: GWI

die bei jeder Messung mit der von HS-VS entwickelten LabView-Software erfasst wurden. Nachfolgend werden jeweils nur die Phasenverschiebungen des D1-Detektors verschiedener Untersuchungen vorgestellt. In **Abbildung 5** sind die D1-Signale von vier Gasen (Methan, aufbereitetes Biogas, Erdgas H Nordsee und LNG 2) in Abhängigkeit des Gasdrucks bei verschiedenen Temperaturen dargestellt. Die einzelnen Gase grenzen sich deutlich voneinander ab: Je mehr C-Atome im Brenngas enthalten sind, desto höher sind die D1-Signale. Auch wird die Abhängigkeit von Druck und Temperatur deutlich; die Sensorsignale steigen mit zunehmendem Druck sowie auch bei steigender Temperatur an. Diese Abhängigkeiten verdeutlicht ebenso **Abbildung 6**, in der die Phasenverschiebungen D1 der sieben Test-Gase, von Methan und einem Gemisch aus acht Prozent CO<sub>2</sub> und 92 Prozent Methan aufgeführt sind (Umgebungstemperaturen von 16 °C in **Abbildung 6** oben und von 28 °C unten).

Die Signalstärke des Sensors hängt bei den verschiedenen Gasen neben der Temperatur- und Druckabhängigkeit auch wesentlich von der Zusammensetzung des jeweiligen Brenngases ab. Die Gaszusammensetzung beeinflusst die Stoffwerte Dichte, Viskosität, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Temperaturleitfähigkeit. Die in **Abbildung 7** aufgezeigte Temperaturleitfähigkeit der Brenngase, oben bei 16 °C und unten bei 28 °C, nimmt mit zunehmendem Druck linear ab und steigt bei ansteigender Temperatur an.

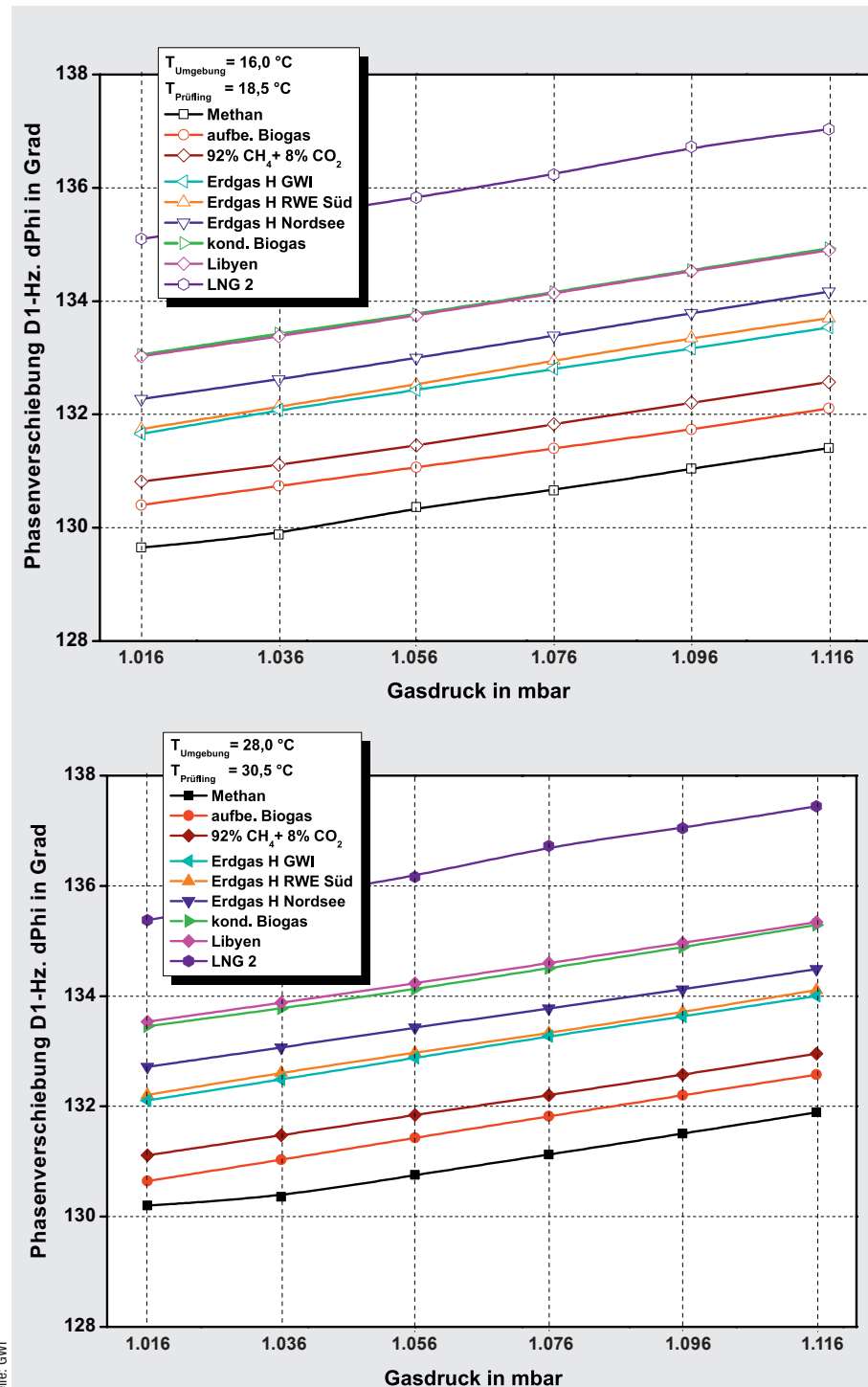
In **Abbildung 8** sind die Phasenverschiebung D1, die Temperaturleitfähigkeit und die Brennwerte der verschiedenen Gase dargestellt. Je höher die Phasenverschiebung des Sensors, desto niedriger die Temperaturleitfähigkeit des Gases. Mit steigenden Brennwerten steigen auch die D1-Werte. Das D1-Signal ist eine Funktion der Kohlenwasserstoff-Anteile im Brenngas, daher steigt es mit zunehmendem Brennwert an. Als Ausnahme fällt das aus 96 Prozent Methan und vier Prozent CO<sub>2</sub> bestehende aufbereitete Biogas auf, dessen D1-Signal höher als das von Methan ist, obwohl der Brennwert niedriger liegt. Der Anteil des inerten Gases CO<sub>2</sub> im Brenngas bewirkt einen Anstieg des D1-Signals und reduziert gleichzeitig den Brennwert. Dieser Effekt muss bei der Bestimmung des Brennwertes berücksichtigt werden.

Ergänzend zu der Vielzahl der Messungen der Sensorsignale mit den verschiedenen Test-Gasen bei unterschiedlichen Drücken und Tem-

peraturen hat das GWI mit dem Programm GasCalc [7] die ebenfalls druck- und temperaturabhängigen Kenngrößen der thermischen Eigenschaften der Gase berechnet. Anhand dieser Datenmengen konnte das GWI Korrelationsfunktionen für die Bestimmung des Brennwertes, der Wärmeleitfähigkeit sowie der Temperaturleitfähigkeit entwickeln.

Für die Herleitung der Korrelation zur Brennwertbestimmung bilden die D1- und D2-Phasenverschiebungen des Sensors die Grundlage.

**Abb. 6:** Phasenverschiebung D1 verschiedener Brenngase in Abhängigkeit vom Druck bei 16 °C (oben) und 28 °C (unten)



Quelle: GWI

Die Korrelationsentwicklung erfolgt unter der Voraussetzung der Kenntnis der inerten Anteile von  $N_2$  und  $CO_2$  im Brenngas. Weiterhin ist es notwendig, ein Referenzgas zugrunde zu legen; in diesem Fall wird Methan verwendet, da sämtliche Stoffeigenschaften bekannt sind. Es kann eine Korrelation unter Verwendung der gemittelten Messwerte der Phasenverschiebung D1 oder D2 berechnet werden. Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit werden die Amplitudensignale der Detektoren D1 und D2 angewendet. Beispielhaft ist in **Abbildung 9** die Korrelationsfunktion für den Brennwert dargestellt.

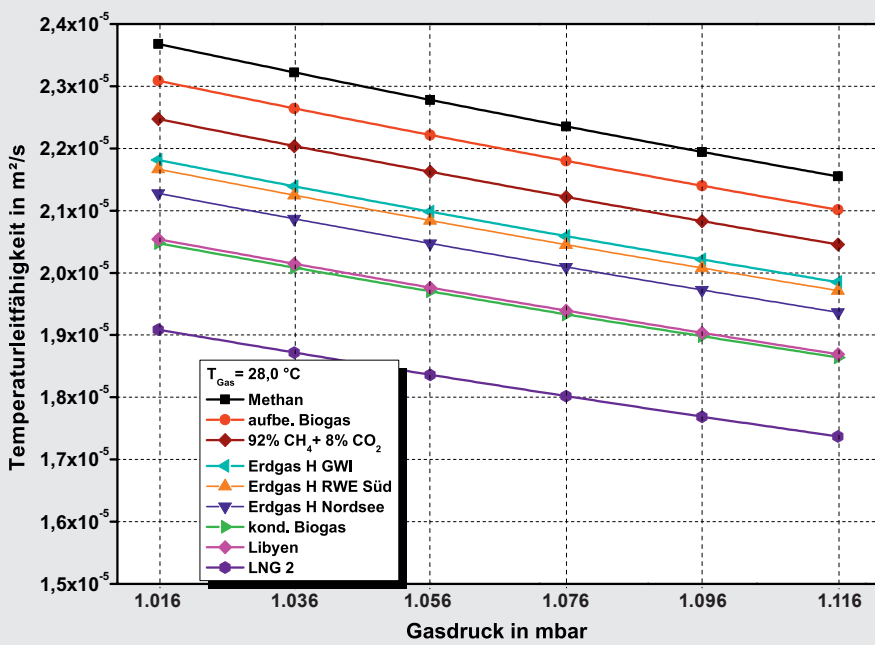
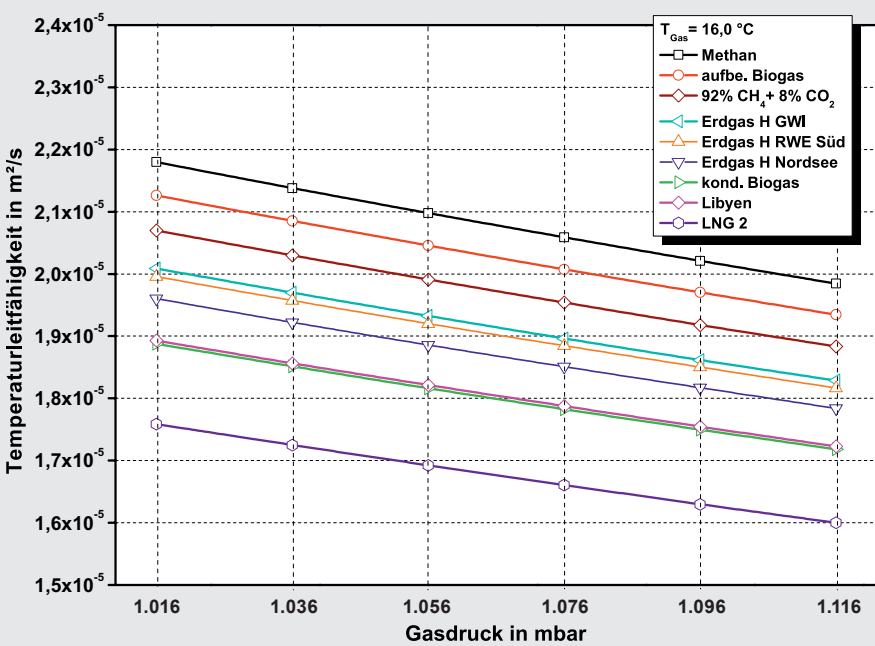
**Abb. 7:** Temperaturleitfähigkeit verschiedener Brenngase in Abhängigkeit vom Druck bei 16 °C (oben) und 28 °C (unten)

Zur Überprüfung des Verfahrens mit den Ergebnissen der umfangreich durchgeführten Messungen der Test-Gase werden die bei diesen Versuchseinstellungen gemessenen D1- und D2-Sensorsignale jeweils auf den definierten Standard-Zustand berechnet. Anschließend werden die Brennwerte der Test-Gase mit der jeweiligen Korrelationsfunktion berechnet und eine Abweichung zu den mit GasCalc ermittelten Brennwerten für jedes Gas ermittelt. In **Abbildung 10** sind die Abweichungen der mit den D1-Werten entwickelten Korrelationsfunktion und berechneten Abweichungen aufgetragen. Der farblich markierte Bereich von  $\pm 1$  Prozent wird nicht überschritten.

**Zusammenfassung**

Die tiefgreifenden Veränderungen der europäischen Erdgasmärkte sowie die zukünftige Einbindung von Gasanteilen aus regenerativen Quellen (z. B. Power-to-Gas) in unsere bestehenden Erdgasnetze führen dazu, dass sich sowohl die Betreiber sensibler industrieller Feuerungsprozesse als auch private Erdgasanwendungen in Zukunft mit deutlich stärkeren Schwankungen der Erdgasbeschaffenheit konfrontiert sehen werden. Von der Zusammensetzung der Brenngase hängen im Wesentlichen der Verbrennungsprozess, der Wirkungsgrad, die Produktqualität und die Emissionen ab. Zur Erfassung der Gasbeschaffenheit und zur Regelung der Verbrennungsprozesse wird eine Gasanalyse mit massentauglicher Technik benötigt.

Im Rahmen des Projektes „Fuel Power Sens“ hat das Institut für Mikro- und Informationstechnik der Hahn-Schickard-Gesellschaft e. V. (HS-VS) in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT) ein integriertes Sensorsystem entwickelt, das mittels thermischer Messprinzipien bei variablen Zusammensetzungen von Brenngasen die Gasbeschaffenheit wie beispielsweise den Brennwert bestimmt. Der thermische Gassensor besteht aus drei zwischen einem Rahmen freitragend gespannten kristallinen Silizium-Drähten, die vom zu analysierenden Gas umgeben sind. Der mittlere Draht wird mit einem periodischen Heizsignal beaufschlagt, die beiden zum Heizer links und rechts unsymmetrisch angeordneten Silizium-Drähte arbeiten als Temperatur-Sensoren. Der Wärmeübertrag erfolgt über die unbekanntenen Wärmeübergänge vom Heizer in das zu analysierende Gas und vom Gas in den Sensor-Draht. Durch die Messung der Temperatur-Antwort mit zwei identischen Sensoren in unterschiedlichen



Quelle: GWI

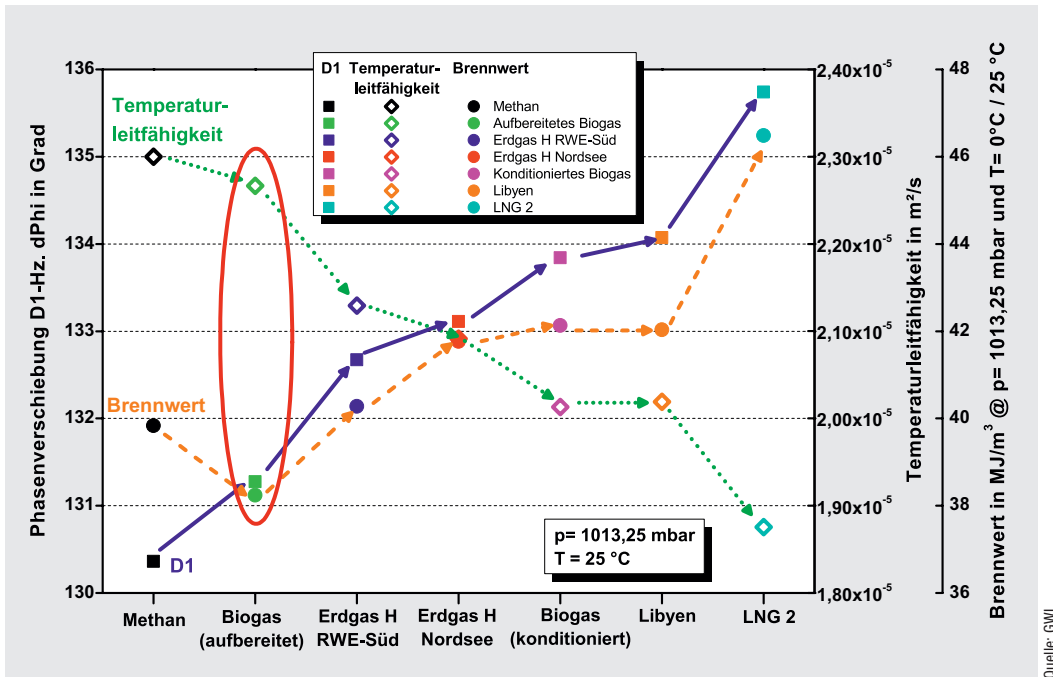


Abb. 8: Darstellung der mit dem Hahn-Schickard-System gemessenen Mittelwerte für Detektor 1 (D1) gegenüber der berechneten Temperaturleitfähigkeit und der Brennwerte der GWI-Test-Gase

Abständen zum Heizer lassen sich die unbekannten Wärmeübergänge in der Messanordnung eliminieren. Phase und Amplitude der beiden Sensorsignale sind im Wesentlichen von der Wärmeübertragung durch das Gas abhängig.

Das GWI hat den Sensor-Prototypen mit brennbaren Gasen umfangreich getestet. Als Testgase kamen Methan, sieben Erdgase der Gruppe H mit zertifizierten Zusammensetzungen in Anlehnung an den Gültigkeitsbereich des DVGW-Ar-

# „Energiesystem in zehn Jahren? Keine Chance für die Dinos.“

**Frank Thelen,**  
Digitalpionier und Start-up-Investor

25. Handelsblatt Jahrestagung

# ENERGIE WIRTSCHAFT 2018

**Jetzt online anmelden**

Die Leader der Branche diskutieren kontrovers über die neue und alte Energiewelt. Seien Sie im Januar live in Berlin dabei.

23. bis 25. Januar 2018, InterContinental, Berlin

handelsblatt-energie.de

# HBEnergie

0211.96 86 - 33 48

Konzeption und Organisation:

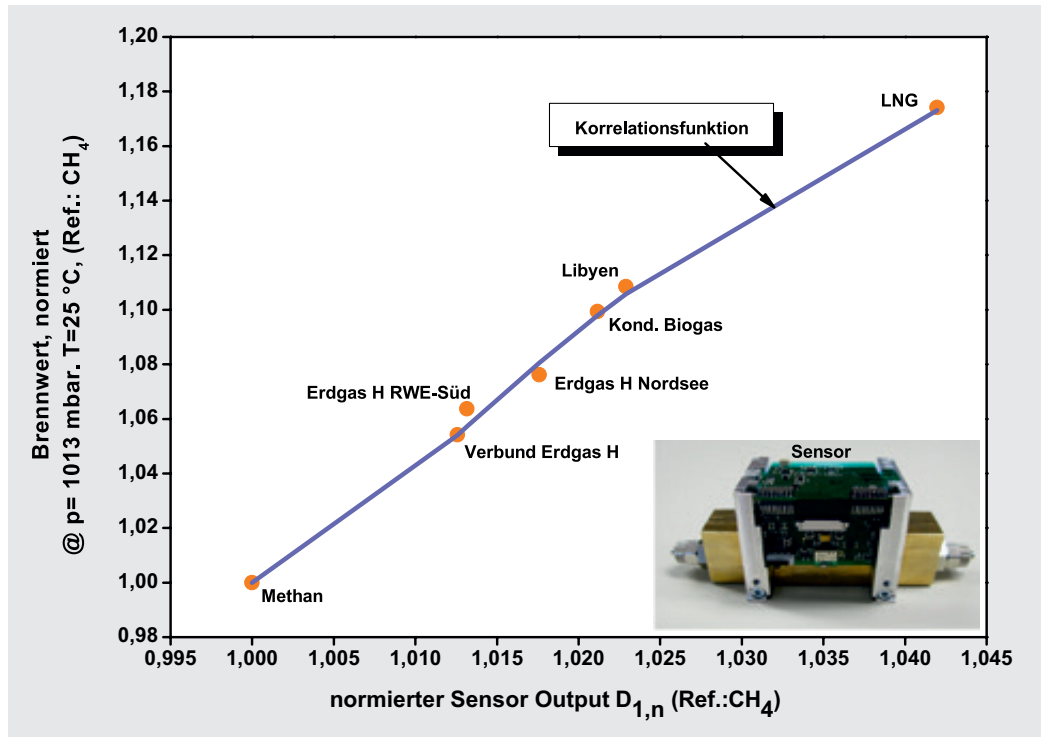
## EUROFORUM

## Handelsblatt

Substanz entscheidet.



Abb. 9: Korrelationsfunktion zwischen den normierten Sensorsignalen D1 und dem normierten Brennwert

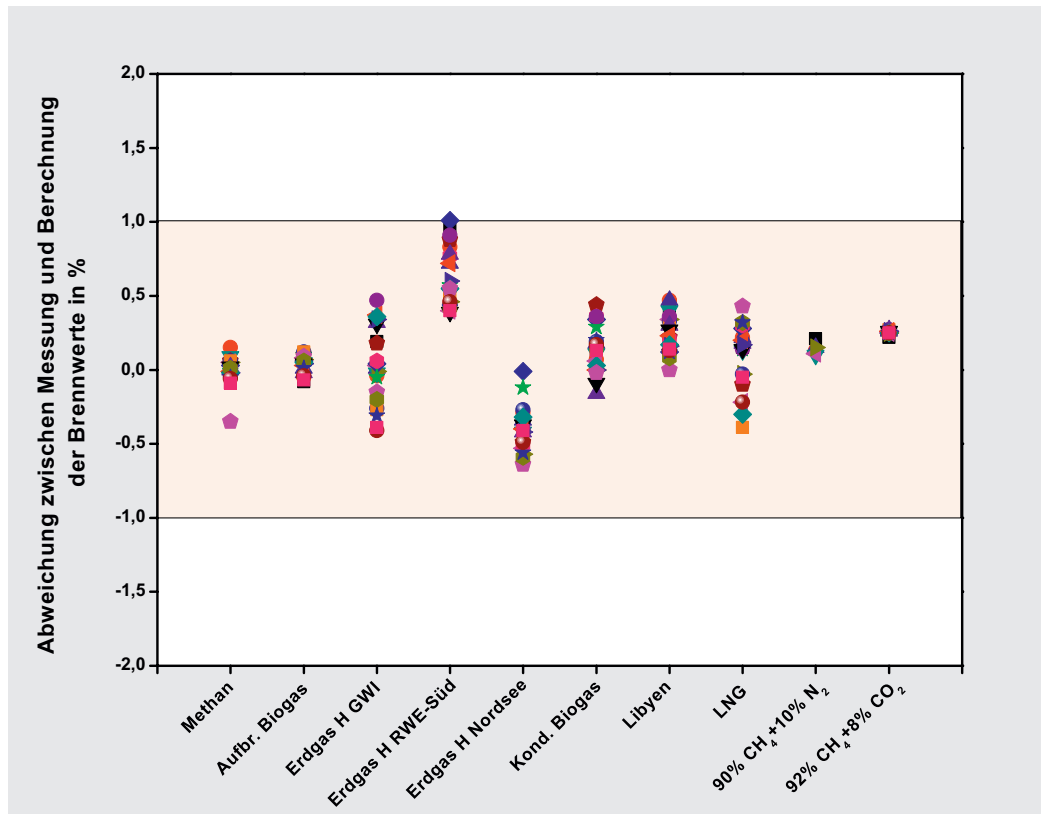


Quelle: GWI

beitsblattes G 260 sowie Gemische aus CO<sub>2</sub> und Methan zur Anwendung. Die Funktionstüchtigkeit des Sensorprototyps konnte dabei nachgewiesen werden, es zeigten sich deutliche Unterschiede in den Signalen bei den unterschiedlichen Zusammensetzungen der Gase. Diese Funktionsuntersuchungen legten eine starke Temperatur- und Druck-Drift der Sensorsignale

dar, sodass umfangreiche Untersuchungen mit den verschiedenen Test-Gasen bei konstanten Drücken und Temperaturen durchgeführt werden mussten. Ergänzend zu diesen Messungen hat das GWI mit dem Programm GasCalc die ebenfalls druck- und temperaturabhängigen Kenngrößen der thermischen Eigenschaften der Gase berechnet. Anhand dieser Datenmenge

Abb. 10: Darstellung der Abweichung zwischen Messung und Berechnung der Brennwerte mit D1-Sensorsignalen



Quelle: GWI

konnte das GWI eine Druck- und Temperaturkompensation der Messwerte entwickeln und eine Korrelationsfunktion ableiten, mit der bei Kenntnis der inerten Bestandteile  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2$  des Probegases der Brennwert des untersuchten Gasgemisches ermittelt werden kann. Weiterhin konnten anhand der thermischen Eigenschaften des Referenzgases Methan sowie der Testgase und den jeweils gemessenen Sensorsignalen Korrelationsfunktionen für die Wärmeleitfähigkeit sowie für die Temperaturleitfähigkeit entwickelt werden. Die Entwicklung des Sensorprototyps wird mit den gleichen Projektpartnern im Rahmen eines neuen Projektes fortgeführt.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich an dieser Stelle bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) für die finanzielle Unterstützung durch Haushaltsmittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). ■

#### Literatur

- [1] Burmeister, F.: HVG-Fortbildungskurs, Gasbeschaffenheitsschwankungen im Erdgasnetz. Technical Report, 2011.
- [2] Patent: Verfahren zur Bestimmung der Gaskonzentrationen in einem Gasgemisch und Sensor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit Nr. DE3711511-C1.
- [3] Pollak-Diener, G.: Mikrowärmeleitfähigkeitssensor in Siliziumtechnologie für Analyse von zwei- und dreikomponentigen Gasgemischen, Dissertation, Technische Universität Berlin, Prof. Dr. D. Filbert, Prof. Dr. E. Obermeier, Prof. Dr. H. Reichl, 03. Dezember 1990.
- [4] Simon, I.: Wärmeleitfähigkeits- und Metalloxid-Gassensoren: Mikromechanik als Chance zur Verbesserung der Sensoreigenschaften., Dissertation; Fakultät für Chemie und Pharmazie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Pr. Dr. H. Probst, Dr. U. Weimar, Pr. Dr. G. Gaubitz, s.n., 27. November 2003.
- [5] DVGW-Arbeitsblatt G 260: „Gasbeschaffenheit“, Technische Regel, 03/2013.
- [6] DVGW-Arbeitsblatt G 262: „Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung“, Technische Regel, 11/2011.
- [7] GasCalc 2.3.: von E.ON New Build & Technology lizenzierte Software zur Errechnung von Erdgaskennwerten.

### Die Autoren

**Dipl.-Ing. Eren Tali** ist Projektleiter CFD in der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik am Gas- und Wärme-Institut e. V. in Essen.

**Dipl.-Ing. Sabine Feldpausch-Jägers** ist Projektleiterin in der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik am Gas- und Wärme-Institut e. V. in Essen.

**Dr.-Ing. Frank Burmeister** ist Leiter der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik am Gas- und Wärme-Institut e. V. in Essen.

**Dr. Sophie Billat** ist Leiterin des Bereichs Thermische Sensoren bei der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. in Villingen-Schwenningen.

**Dipl.-Ing. Frank Hedrich** ist Projektleiter im Bereich Thermische Sensoren bei der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V. in Villingen-Schwenningen.

**Dipl.-Ing. Georg Dura** ist stellvertretender Abteilungsleiter für Mikrosysteme & Strömungsmechanik am Zentrum für Brennstoffzellentechnik in Duisburg.

#### Kontakt:

Eren Tali

Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Hafenstr. 101

45356 Essen

Tel.: 0201 3618-241

E-Mail: tali@gwi-essen.de

Internet: gwi-essen.de

Dr. Sophie Billat

Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V.

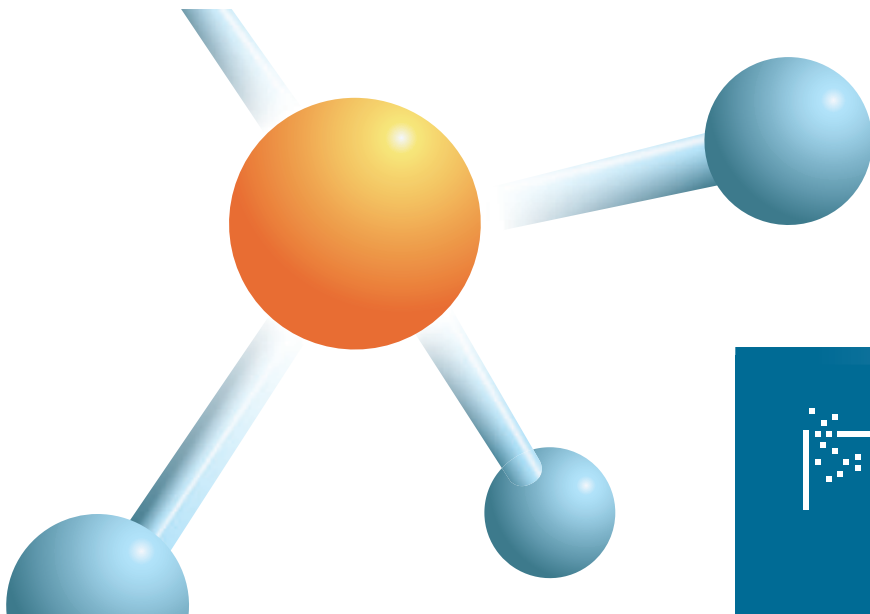
Wilhelm-Schickard-Str. 10

78052 Villingen-Schwenningen

Tel.: 07721 943-242

E-Mail: sophie.billat@hahn-schickard.de

Internet: www.hahn-schickard.de



**biogas**  
expo & congress

 Messe  
Offenburg -  
Ortenau

31. Jan. + 1. Feb. 2018  
Messe Offenburg

[www.biogas-offenburg.de](http://www.biogas-offenburg.de)