

Status H₂-Readiness Gasanwendung in der Gebäudeenergieversorgung

03. Dezember 2021
Frank Burmeister, GWI

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

Die Rolle von Gas bei der Energiewende

– Vorstellung des DVGW-Leitprojektes „Roadmap Gas 2050“

Die Bedeutung des energieeffizienten Gas im klimaneutralen Energiesystem der Zukunft ist eines der zentralen Themen in der Gesellschaft – sowohl aktuell als auch perspektivisch in den kommenden Jahren und Jahrzehnten. Welche Rolle gasförmige Energieträger weiterhin spielen werden, entscheiden die wesentlichen die ökologischen, ökonomischen, technologischen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Der DVGW und seine Mitgliedsunternehmen haben in den vergangenen Jahren bereits große Anstrengungen unternommen, um praxistaugliche Lösungen e. a. für die Bereitstellung von klimaneutralen Gasen und für die möglichst Anpassungen der Gasinfrastruktur und Gasanwendungen zu entwickeln. Basierend auf seiner technisch-wissenschaftlichen Expertise konnte der DVGW den systemischen Nutzen der Gasversorgung für eine sichere und bezahlbare Energieversorgung aufzeigen und in der öffentlichen Debatte platzieren. Die Ergebnisse aus insgesamt zehn Jahren DVGW-Forschung fließen nun in das DVGW-Forschungsverhalten „Roadmap Gas 2050“ ein, welches den optimalen Weg der Branche hin zu einer klimaneutralen Gasversorgung bis zum Jahr 2050 beschreibt.

von Dr. Frank Graf, Wolfgang Kippel, Katharina Sör (alle: DVGW-Forschungsteile am Engler-Bunte-Institut, Jens Hillenbrand (DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH), Dr. Frank Burmeister (Gas- und Wärme Institut Essen e.V.), Dr. Dorethea Schwarz & Janosch Rommelinger (beide: DVGW e.V.)

Eine der gesellschaftlichen Hauptaufgaben dieses Jahrhunderts ist die Bekämpfung des Klimawandels und seiner Folgen. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Nutzung von Kohlen zu den klimaschädlichsten Treibhausgasemissionen beiträgt, muss sich auch der Gassektor dieser Herausforderung stellen. Während sich vor wenigen Jahren die Volldekarbonisierung als Alleinvertretener der Energiewende propagiert wurde, wird sich heute die Erkenntnis zunehmend auch die Kohlenstoffdioxid, das gasförmige und flüssige Energieträger aus erneuerbaren Quellen weiterhin eine wichtige Rolle spielen werden und dass die Gasinfrastruktur ein wichtiger Element der zukünftigen Energiesysteme darstellt. Nicht zuletzt der von Bundeswirtschaftsministerium (BWMV) im vergangenen Jahr geführte Dialogprozess „Gas 2030“ hat in dieser Zusammenhang gezeigt, dass das politische Interesse am Erhalt der Gasversorgung besteht. Auch die Bundeswasserstoffstrategie, die in den vergangenen Monaten von der Europäischen Kom-

mission und der Bundesregierung präsentiert wurden, spiegeln diese Entwicklung wider.

Der DVGW hat das Potenzial von klimaneutralen Gasen als Alternative schon früh erkannt und in den vergangenen zehn Jahren im Rahmen der DVGW-Innovationsforschung Gasumfassende Erkenntnisse und Vorschläge zur möglichen Rolle von Gas bei der Energiewende erarbeitet. Diese Ergebnisse wiederum bilden die wissenschaftliche Grundlage für den Energie-Impuls des DVGW, der das Ziel in einer „Zero-Energyträger-Web“-bevorzugten Auskommen und Mobilität – skizziert. Die Forschungsteile des DVGW beschäftigen sich dabei i. a. mit der Bereitstellung von erneuerbarem Gasen, der Konzeptierung von intelligenten Gasnetzen – sogenannten „Smart Gas Grids“ – und dem Einsatz von effizienten Gasanwendungen in allen Sektoren. Während mit den bisherigen Ergebnissen die grundsätzliche Natur und die Umsetzung der verschiedenen gebietsspezifischen Konzepte nach-

wiesen wurden, fehlt noch eine ganzheitliche systemische Bewertung.

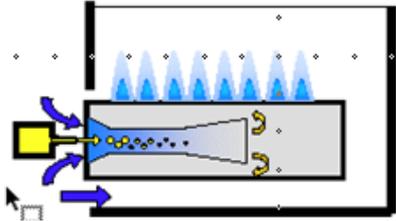
Aus diesem Grund wurde das DVGW-Leitprojekt „Roadmap Gas 2050“ ins Leben gerufen. Seit Juli 2019 arbeiten die DVGW-Forschungsteile am Engler-Bunte-Institut (DVGW-EBI), das DBI Gas- und Umwelttechnik (DBI GUT), das Gas- und Wärme-Institut in Essen e.V. (GWI) und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI gemeinsam an den diversen Aspekten einer klimaneutralen Gasversorgung bis zum Jahr 2050. Dieser Beitrag gibt einen Einblick in das Vorhaben und die Inhalte der Teilprojekte, informiert über den aktuellen Stand der Arbeiten und stellt erste Ergebnisse vor.

- Theoretischer Hintergrund
- Gasgeräteuntersuchungen
 - Messprogramm und Methodik
 - Auswahl Ergebnisse Haushaltsanwendungen
 - Ergebnis BHKW
 - Fazit zu den bisherigen Untersuchungen
- Installationen
 - Hintergrund
 - Untersuchungen zu Materialien und Dichtheit von Verbindern
 - Gasströmungswächter
 - Fazit zu den bisherigen Untersuchungen
- Gesamtfazit

Theoretischer Hintergrund

Parameteranalyse | Wie kann ein H₂-Anteil im Gas die Anwendungstechnik beeinflussen?

H₂-Zumischung



Beeinflusst werden u.a.:

- L_{min}, H_s, W_s, Q



- $s_L = f(x_i, T, p, q), \lambda$



Die laminare, adiabate Flammengeschwindigkeit ist ein Stoffwert (folgt aus 1-D-Berechnung).

- Zündeinrichtungen
- Überwachungseinrichtungen

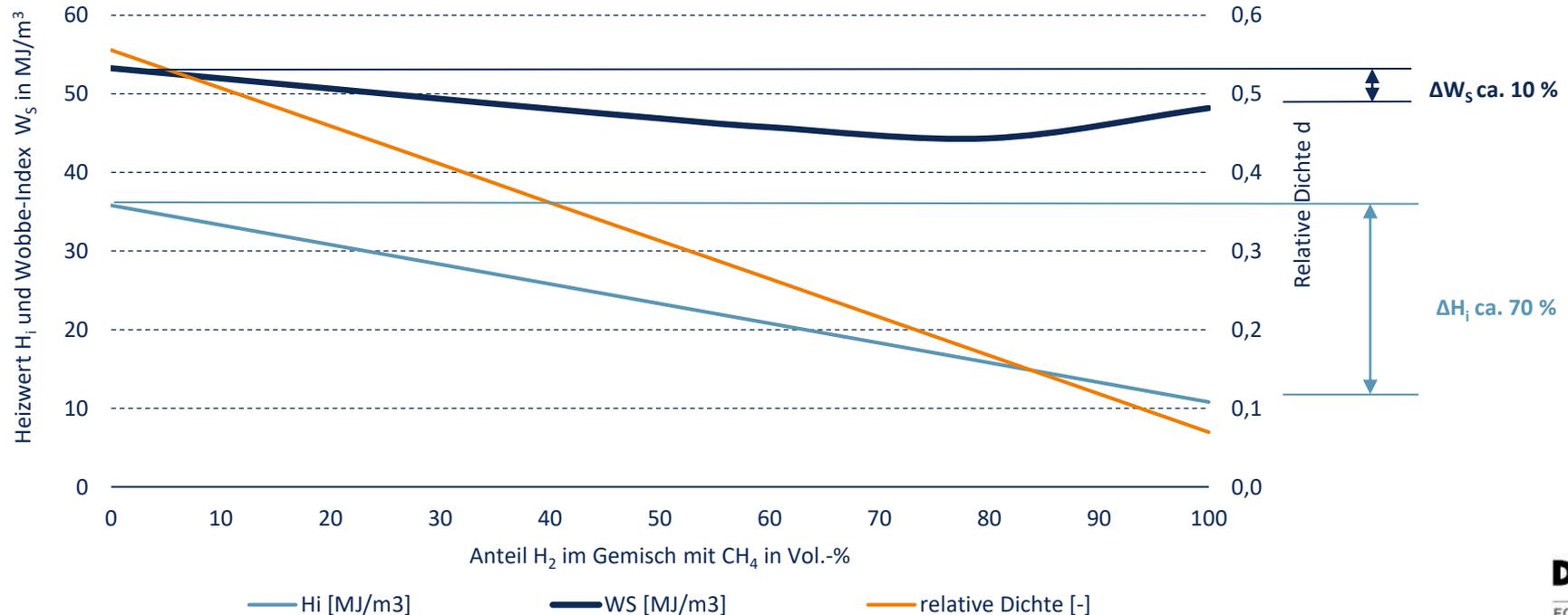
Es sind zu unterscheiden:

- Brenner ohne und mit Ventilator (Gebläseunterstützung)
- Voll- und teilvormischende Brenner
- 1-stufige und modulierende Brenner
- Regelungskonzepte

- H₂ hat einen Wobbe-Index entsprechend der **unteren Grenze** des H-Gas-Bandes.

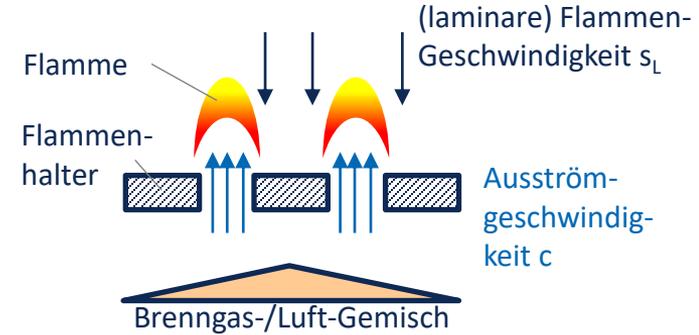
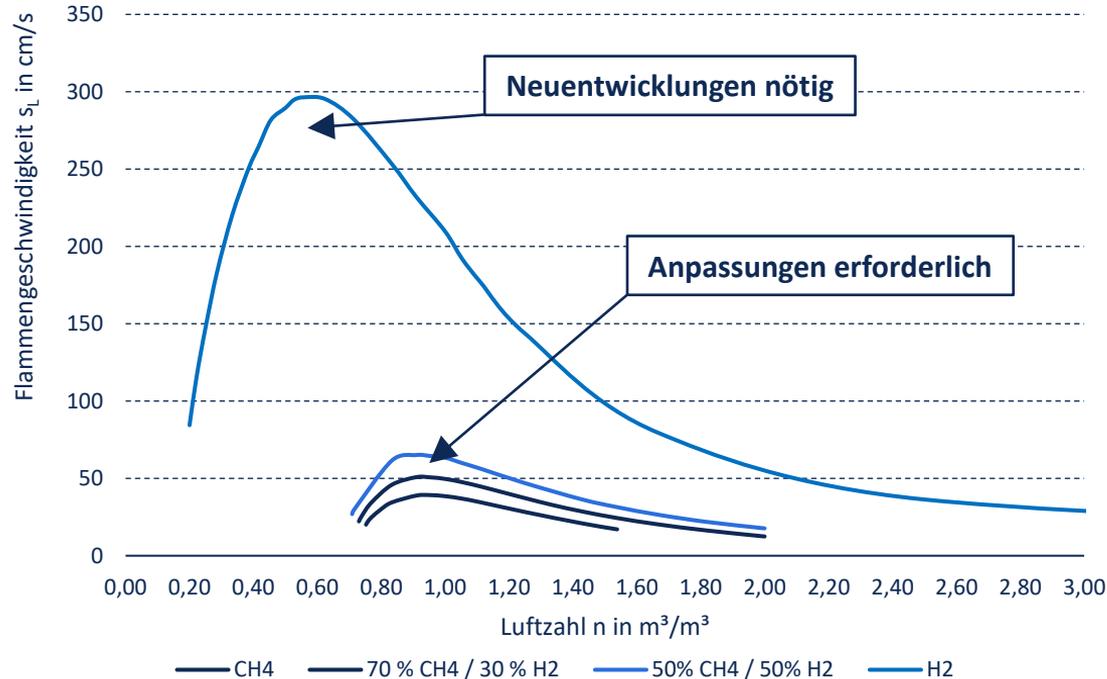
Einfluss von Wasserstoff auf die kalorischen Kenngrößen: Wobbe-Index und Heizwert

Bei einer Grenzwertbetrachtung von 100 % CH₄ / 0 % H₂ bis 0 % CH₄ / 100 % H₂ weicht der Wobbe-Index um lediglich 10 % ab (wichtiger Kennwert für Gasgeräte im Wärmemarkt), im Heizwert dagegen um ca. 70 % (wichtiger Kennwert z. B. für die Thermoprozesstechnik).



Flammengeschwindigkeit s_L für CH_4 , H_2 und CH_4/H_2 -Gemische

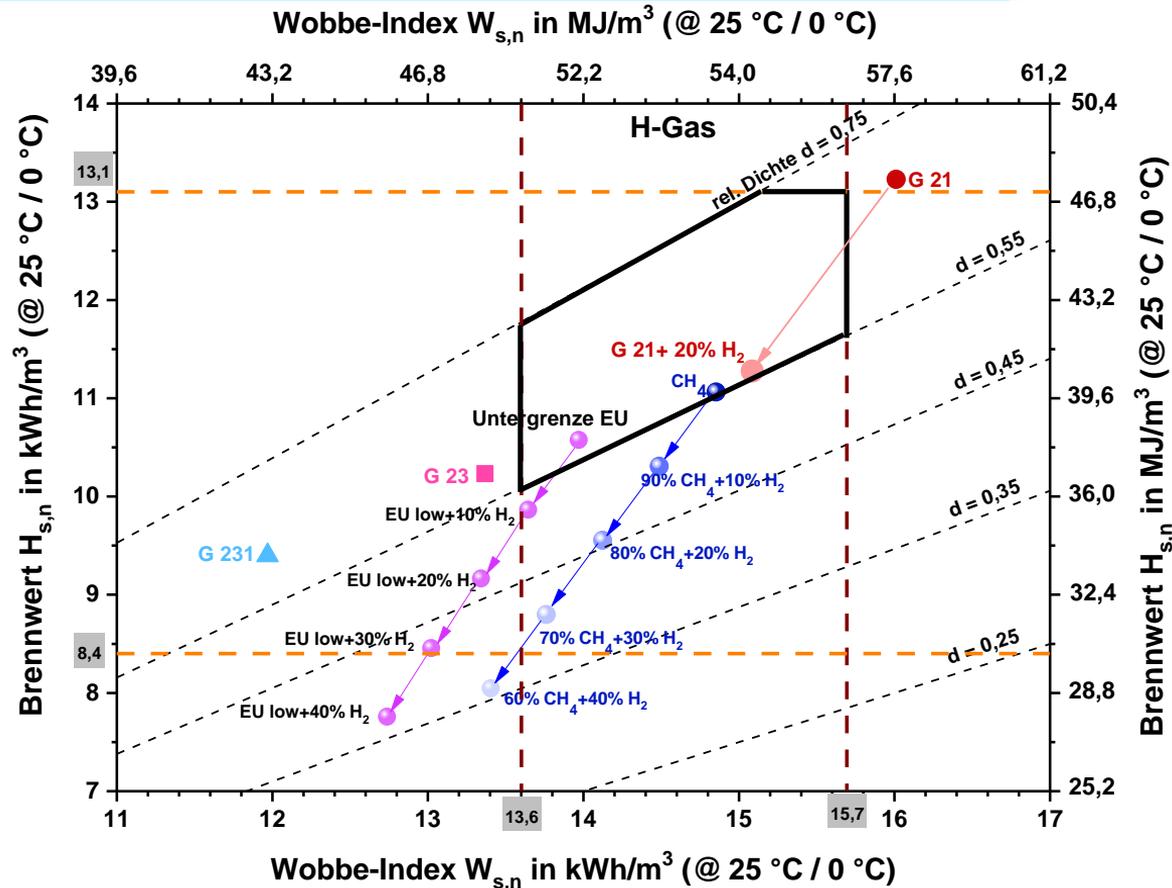
Die (laminare) Flammengeschwindigkeit im CH_4 / H_2 -Gemisch ändert sich wesentlich erst bei sehr großen H_2 -Anteilen.



Gasgeräteuntersuchungen

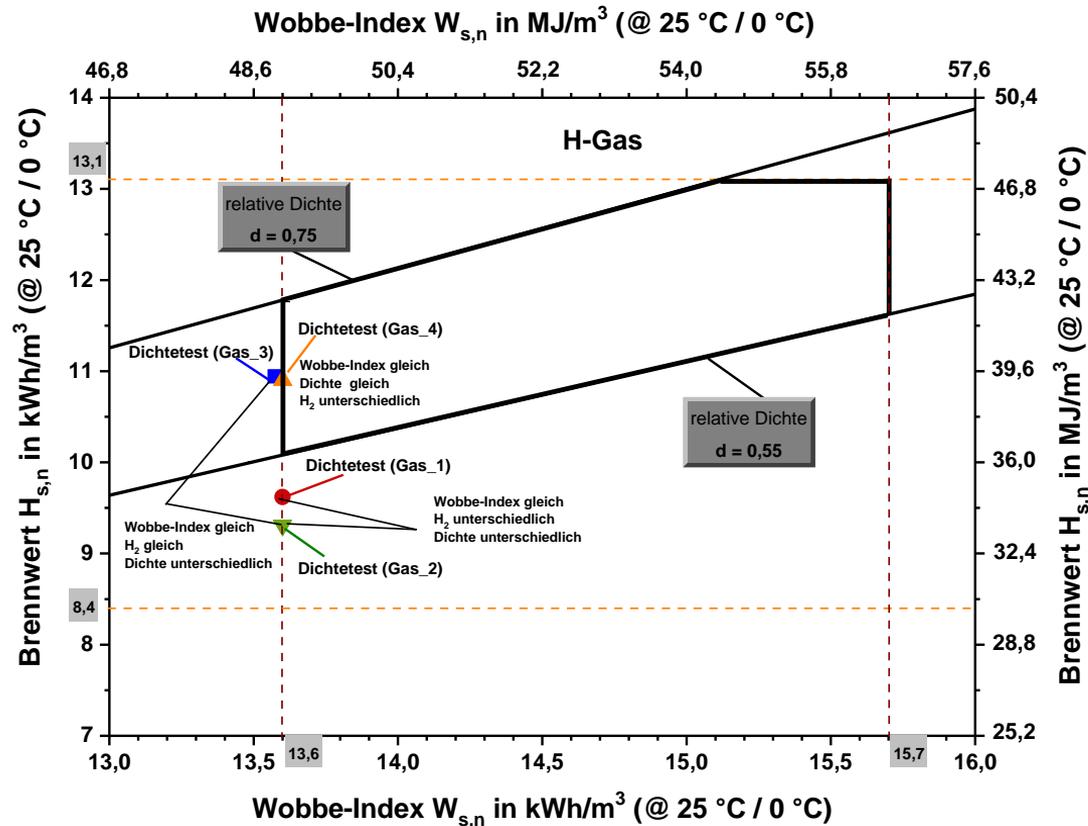
Messprogramm und Methodik

DVGW-F&E-Projekt Roadmap Gas 2050 | Einordnung der Testgase



- **Wesentliche Kennwerte** wie der Wobbe-Index $W_{s,n}$ und die relative Dichte d ändern sich (signifikant) durch die Zumischung von Wasserstoff
- Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurde **bis zu 40 Vol.-% Wasserstoff** dem Gasgemisch zugemischt

Einordnung der Gase für den „Dichtetest“ und der Einfluss der relativen Dichte



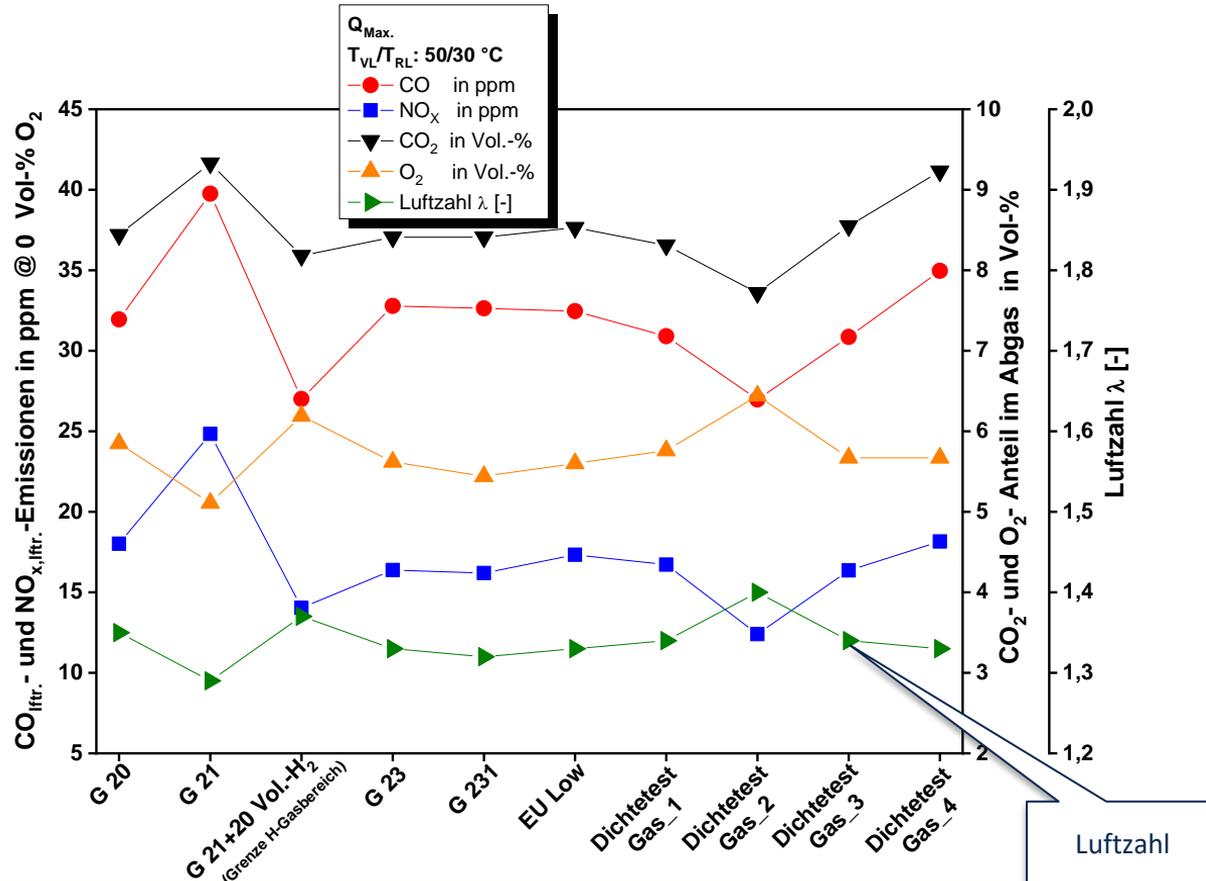
Grenzen DVGW Arbeitsblatt G 260 / März 2013

Die Testgase wurden so gemischt, dass die Effekte durch den H_2 -Anteil, den Wobbe-Index und die relative Dichte isoliert betrachtet werden können.

Gaskennwerte DIN EN ISO 6976
Referenzbedingungen:
(Verbrennung: 25°C /
Volumen: 0°C), $p = 1013,25$ mbar

	Dichtetest Gas_1	Dichtetest Gas_2	Dichtetest Gas_3	Dichtetest Gas_4
CH4	87,0	81,0	69,5	91,0
N2			10,0	
H2		10,0	10,0	
C3H8			10,5	3,0
He	13,0	9,0		
CO2				6,0

Ergebnisse Brennwertgerät: Emissionen bei verschiedenen Gasen und „Dichtetestgasen“



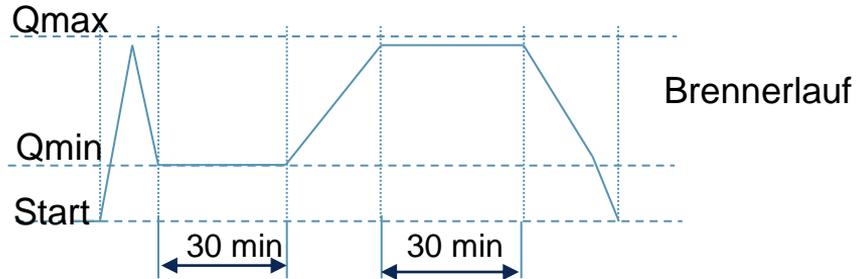
Brennwertgerät:

→ Funktionsfähig ohne Auffälligkeiten mit 40 Vol.-% H₂

- Keine signifikanten Änderungen bei den Emissionen (NO_x, CO) erkennbar.
- Luftzahl bei verschiedenen Brenngasen zeigt keinen signifikanten Effekt.

Testprogramm Roadmap Gas 2050

Referenzmessung



Dokumentation und Rücksprache mit Herstellern:

- Fotodokumentation der an der Verbrennung beteiligten Komponenten der Gebrauchtgeräte
- Rücksprache bei erneuerungsbedürftigen Komponenten; Ersatz durch Hersteller (nicht durch GWI)
- Dokumentation Betriebsstunden
- Rückmeldung über Zustand des Gerätes

Referenztest (Rahmenbedingungen):

$$T_{\text{Luft}} = T_{\text{umgebung}} \quad p_{\text{Gas}} = 20 \text{ mbar}$$

$$T_{\text{VL}}/T_{\text{RL}}: 80/60 \text{ °C und } 50/30 \text{ °C}$$

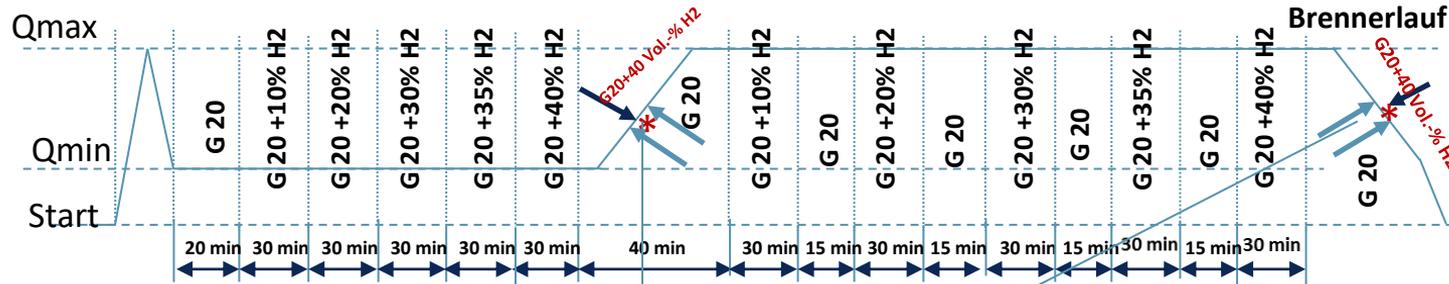
Abgasrohrlänge (**Akustik!**): 1m und 8m, 1 Gerät mit max. Länge, (L= 8 m Waagrecht: nur ein Gerät)

Prüf- und Testgase (angelehnt an EN 437):

G 20 (Methan), G 21 (13% Propan), G 231 (15% N_2), G 23 (7,5% N_2), G20+ N_2 (EU-Low)
G 21+ H_2 (**bis zur H-Gas-Grenze**)

Dichtetestgase zum Herausarbeiten des Einflusses der relativen Dichte (gemäß G 260):
Durchführung GWI mit 3 Gasgeräten (1 Brennwertgerät und 2 atmosphärische Kessel)

Brennerlauf mit Gaswechsel im stationären Betrieb und bei Leistungserhöhung/-reduktion



Zeitintervalle abhängig vom Erreichen des stationären Zustands und der Zeitdauer bis zum Vorhandensein der neuen Gasmischung (je nach Gerät und Mischanlage), ca. 2/3 Messzeit

ca. 1min

Evtl. kritisch bei Gaswechsel

Randbedingungen:

$$T_{\text{Luft}} = T_{\text{umgebung}} \quad p_{\text{Gas}} = 20 \text{ mbar}$$

$$T_{\text{VL}}/T_{\text{RL}}: 80/60 \text{ °C und } 50/30 \text{ °C}$$

Testgase:

G 20 als Referenzgas

G 20 + H₂ (10, 20, 30 und 40%)

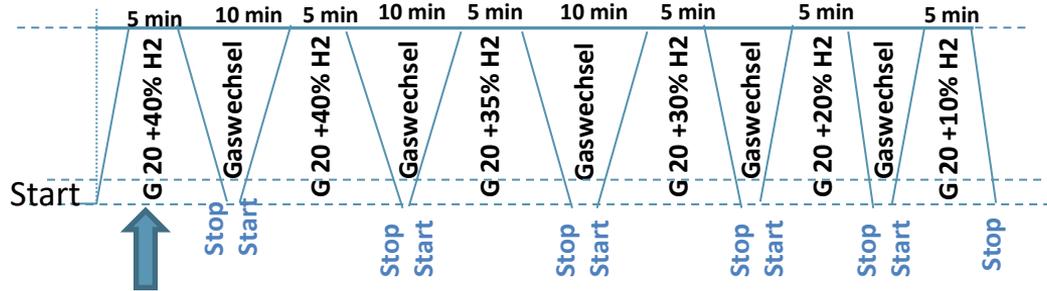
G 231 + H₂ (10, 20, 30 und 40%)

G 23 + H₂ (10, 20, 30 und 40%)

(EU-Low nur, wenn G23 Probleme zeigt)

EU-Low+H₂ (10, 20, 30 und 40%)

Start- und Stop-Messung



Kaltstart mit gekühlter
Verbrennungsluft

(Kaltstart nur G 20 + 40 Vol.-% H₂)

Randbedingungen:

$T_{\text{Luft}} = -15^{\circ}\text{C}$ $p_{\text{Gas}} = 20 \text{ mbar}$

Worst-case-Start-Test

Das Gerät muss starten
und die Flamme muss
sich am Brenner
stabilisieren.

Die ausgewählten Gasgeräte repräsentieren den Gasgerätebestand Deutschlands sehr gut, dazu wurde ein umfassender Abgleich mit Statistiken und Erkenntnissen aus laufenden Projekten (Forschung und Marktraumumstellung) vorgenommen.

- I_{2N}-Brennwertgeräte
- Brennwertgerät
- 1-stufiger Kessel
- 2 Geräte mit teilvormischenden Brennern
- mehrfach-Injektorbrenner, modulierend
- BHKW
- 300 kW-Kessel (Gebläse-Brenner)

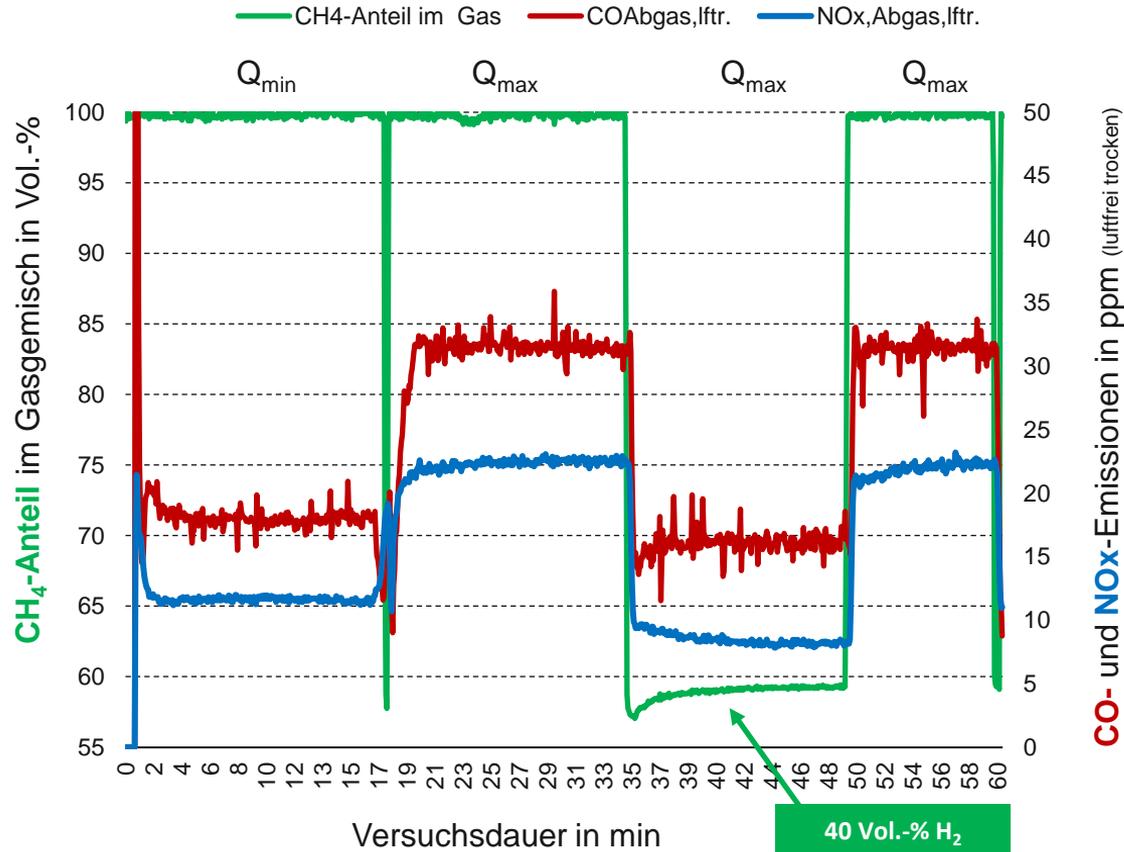


- Herd
- Gas-Grill
- Hockerkocher
- Brennstoffzelle
- Heizgerät
- Raumluftheizer

Gasgeräteuntersuchungen

Auswahl Ergebnisse Haushaltsanwendungen

DVGW-F&E-Projekt Roadmap Gas 2050 | Gasbrennwertgerät mit Verbrennungsregelung beim Gaswechsel bis zu 40 Vol.-% H₂



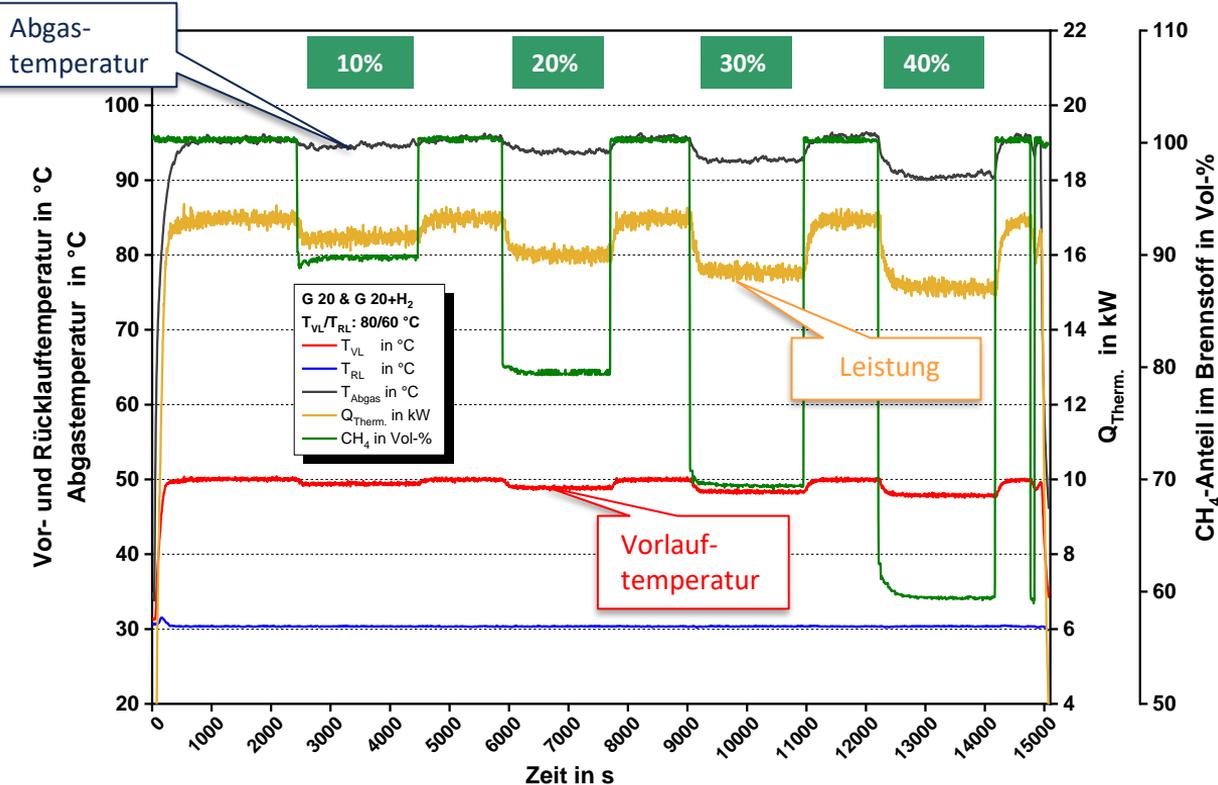
Gasbrennwertgerät mit Verbrennungsregelung:

➔ **Keine Einschränkungen bei der Betriebssicherheit mit bis zu 40 Vol.-% H₂**

- bei schnellem Gaswechsel von G 20 auf das CH₄-/H₂-Gemisch
- bei Unterschreiten der unteren Grenze für die relative Dichte mit $d = 0,5$ (Untergrenze zurzeit bei $d = 0,55$)

DVGW-F&E-Projekt Roadmap Gas 2050 | Einstufiger Kessel mit Injektorbrenner beim Gaswechsel bis zu 40 Vol.-% H₂

Test mit Gaswechsel, Beispiel: G 20 mit H₂



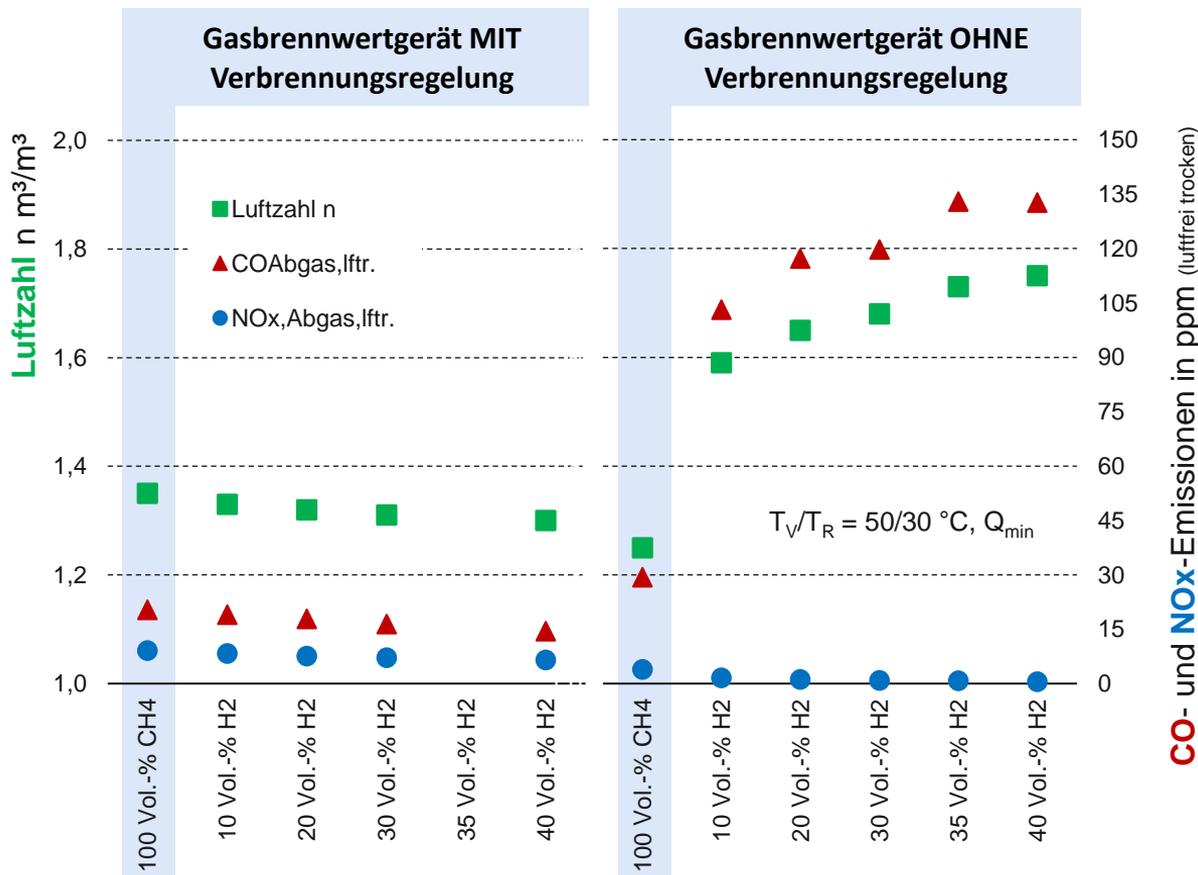
Einstufiger Kessel:

→ Keine Einschränkungen bei der Betriebssicherheit mit bis zu 40 Vol.-% H₂

- bei schnellem Gaswechsel von G 20 auf das CH₄-/H₂-Gemisch
- bei Unterschreiten der unteren Grenze für die relative Dichte mit $d = 0,5$ (Untergrenze aktuell $d=0,55$)

– Aber ab 30 Vol.-% akustische Effekte.

DVGW-F&E-Projekt Roadmap Gas 2050 | Gasbrennwertgeräte mit und ohne Verbrennungsregelung - Vergleich der Abgaskennwerte



Gasbrennwertgeräte mit und ohne Verbrennungsregelung:

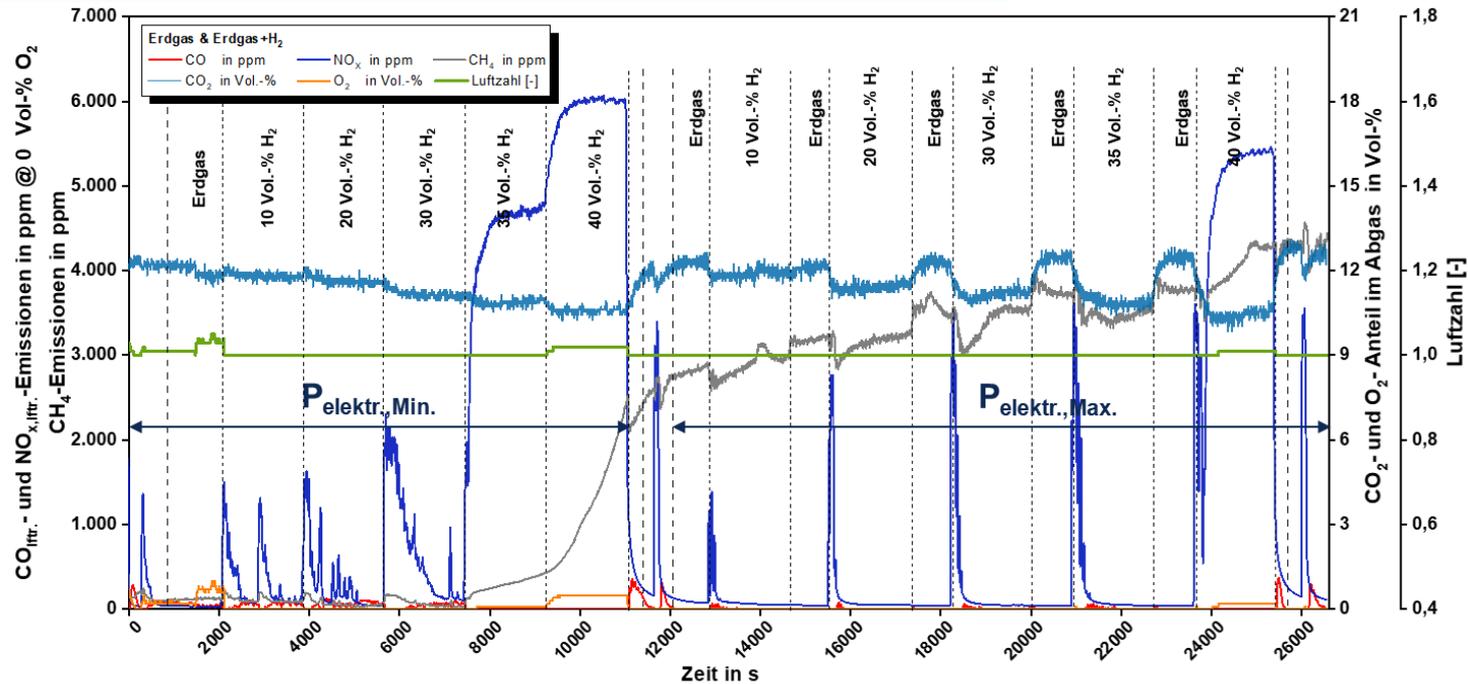
➔ **Keine Einschränkungen bei der Betriebssicherheit mit bis zu 40 Vol.-% H₂**

- I_{2N}-Geräte (mit Verbrennungsregelung): Bei steigendem H₂-Anteil wird die **Luftzahl** konstant gehalten bzw. geregelt, die Emissionen (**NOx**, **CO**) verbleiben auf niedrigem Niveau.

Gasgeräteuntersuchungen

Ergebnis BHKW

DVGW-F&E-Projekt Roadmap Gas 2050 | Testmessung an einem BHKW



Erklärung des Herstellers zu den hohen NO_x und C_xH_y Werten: Bei der Messung wird sichtbar, dass der Dreibege-Katalysator bei zu hoher H₂-beimischung aus dem Gleichgewicht gebracht wird. Somit können NO_x und Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) nicht mehr reduziert werden, da das notwendige CO zum Abbau fehlt.

Gasgeräteuntersuchungen

Fazit zu den bisherigen Untersuchungen



- Die Ergebnisse der durchgeführten Testreihen zeigen, dass die Geräte mit einem Anteil von 20 Vol.-% H₂ im Gasgemisch ohne Einschränkung der Betriebssicherheit funktionieren.
 - Die Grenze der relativen Dichte könnte nach derzeitigem Untersuchungsstand abgesenkt werden.
- Die finale Validierung erfolgt zurzeit im DVGW-F&E-Projekt H2-20 (Einspeisung von bis zu 20 Vol.-% H₂ in ein Verteilnetz)

Installationen

Hintergrund

Aufgabe dieses Forschungsvorhaben war es, die Effekte von Wasserstoffbeimischungen von bis zu 10 Vol.-% zu Erdgas auf die Gasinstallation gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 600 "Technische Regel für Gasinstallationen (DVGW-TRGI)" zu untersuchen.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die Aspekte Materialverträglichkeiten, Dichtheitsprüfungen, Explosionsschutz, Auslegung von Rohrleitungen und Gasströmungswächtern betrachtet.

Inhalt:

Wasserstoffverträglichkeit von Materialien in der Gasinstallation

Überprüfen des „passiven“ Sicherheitskonzeptes

Eignung von Standardarmaturen, Gaszählern und Armaturen mit elektrischen Bauteilen im Gasweg; Dichtheit von Verbindungen (Gewinde, Presssysteme); Prüfung von Gewinde-, Press- und Schiebbehülsenverbindern, Gassteckdosen/-Schlauchleitungen; Prüfung von Press- und Glattrohrverbindern

Überprüfung des „aktiven“ Sicherheitskonzeptes, insbesondere Funktionalität der Gasströmungswächter

Wirkungsgradbetrachtung

Leitungsdimensionierung gemäß „TRGI“

Untersuchung des Sicherheitskonzeptes bei höherer thermischer Beständigkeit

Untersuchung der Anreicherung von Wasserstoff um Rohrleitungen und Armaturen insbesondere in kleinen Räumen (Permeation)

➤ Weiterführung für höhere H₂-Anteile bis hin zur 100 %-Anwendung

G 201615 TRGI Wasserstoffeinspeisung:

Absicherung eines 10 Vol.-% H₂-Anteils im Gasgemisch, dazu Versuche mit bis zu 30 Vol.-% H₂



Roadmap Gas 2050:

Absicherung eines 20 Vol.-% H₂-Anteils im Gasgemisch, dazu Versuche mit bis zu 50 Vol.-% H₂ und Betrachtungen zu 100 Vol.-% H₂

Installationen

Untersuchungen zu Materialien und Dichtheit von Verbindern

Unter Berücksichtigung umfangreicher Datenwerke gab es für den Druck- und Temperaturbereich aus der TRGI keine Kontraindikation bezüglich der H₂-Reaktivitäten von metallischen Werkstoffen, Elastomeren oder Kunststoffen.

Eine Degradation von Kunststoffen oder Elastomeren durch Kontakt zu H₂ kann ebenfalls für die Druck- und Temperaturbereiche der TRGI ausgeschlossen werden. Es gibt aber durchaus einschränkende Verwendungsempfehlungen für manche Werkstoffe, die aber im Wesentlichen durch die Permeationseigenschaften von H₂ in den betreffenden Werkstoffen gegeben sind.

„Haupteinsatzgebiete von Elastomeren sind Dichtungen, wie z. B. O-Ringe oder Flachdichtungen, und Druckregelmembranen. Um ein Gefühl für die relativen Gasaustritte von H₂ bzw. CH₄ aufgrund von Permeation zu erhalten, sei eine beispielhafte Rechnung für einen O-Ring aus NBR mit der Shore-Härte 70 bei 293 K gemäß der Tabelle 2-3 gegeben, der vereinfacht angenommen quadratisch verpresst in seiner O-Ringnut sitzt. Die Stärke betrage 0,2 cm, die Dichtfläche sei mit 1 cm² und die Partialdruckdifferenz mit 1038,15 hPa (1013,25 hPa + 25 hPa Gasdruck, Annahme jeweils 100 % H₂ bzw. CH₄) angesetzt, dann würden pro Tag an dieser Dichtfläche **ca. $7 \cdot 10^{-4}$ cm³ H₂ statt ungefähr ca. $1,1 \cdot 10^{-4}$ cm³ CH₄** aufgrund von Permeation austreten. Bei 10 Vol.-% H₂ in CH₄ wären es eine Permeationsrate von $1,7 \cdot 10^{-4}$ cm³ pro Tag.“

Prüfung von Gewinde-, Press- und Schiebehülsenverbindern, Gassteckdosen/-Schlauchleitungen

- Die Leckageraten fallen wie bei den gezielt undichten Verbindungen für das Prüfgas H_2 erkennbar ca. 2- bis 3-fach höher aus als bei Stickstoff.
- Technisch dichte Systeme für Prüfluft bleiben auch bei der technisch dichten Einstufung, wenn eine Wasserstoffzumischung bis 10 Vol.-% bzw. sogar 100 % erfolgt.

Dementsprechend kann zusammenfassend die Aussage getroffen werden, dass alle geprüften Verbinder für die Nutzung mit beliebigen Wasserstoffanteilen im Erdgas geeignet sind.

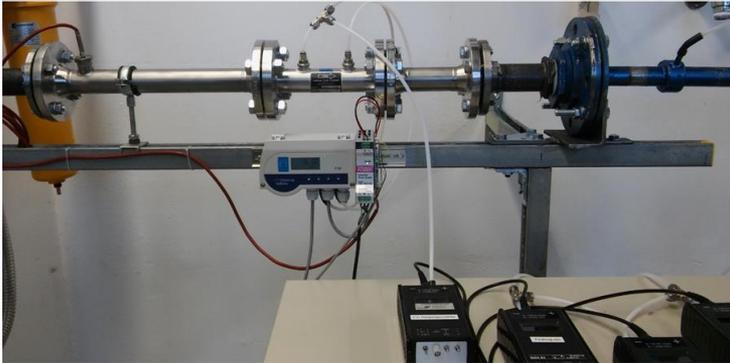
Installationen

Gasströmungswächter

Auszug: Installationen, Gasströmungswächter (GS)-Prüfstand am Gas- und Wärme-Institut



Laminar-Flow-Element am GS-Prüfstand



Die Komponenten des GS-Prüfstandes:

Gasseitig

- Festanschluss: Druckluft aus der hauseigene Versorgung. Hiermit kann nach DIN 30652-1 (bzw. „ehemals“ DVGW VP 305-1) geprüft werden.
- Flaschenanschluss: G20, G20/H₂-Gemische und H₂ als Testgase
- Flaschenanschluss: Stickstoff zum Spülen der Leitung aus Sicherheitsgründen.

Messtechnik

- Zur Volumenstrommessung dient ein Laminar-Flow-Element (LFE) vom Typ Meriam Process Technologies 50MH10-01.25
- In Kombination mit dem LFE wird ein Differenzdruck-Manometer Halstrup Walcher P26 genutzt.
- Zur Temperaturmessung wird ein Messgerät mit Pt100 Temperatursensor verwendet.

Schließvolumenströme und Schließfaktoren im stationären Betrieb (Mittelwerte) (Betriebsdruck $p_{\min} = 15$ mbar)

	Schließvolumenstrom im stationären Betrieb in m³/h ($p = 1013$ mbar, $T = 15$ °C)							Schließfaktoren f_s im stationären Betrieb [-]						
	Luft	G 20	G 20+ 10 Vol.-% H ₂	G 20+ 30 Vol.-% H ₂	G 20+ 40 Vol.-% H ₂	G 20+ 50 Vol.-% H ₂	100% H ₂	Luft	G 20	G 20+ 10 Vol.-% H ₂	G 20+ 30 Vol.-% H ₂	G 20+ 40 Vol.-% H ₂	G 20+ 50 Vol.-% H ₂	100% H ₂
DN20 2,5	2,66	3,51	3,93	4,19	3,96	4,31		1,40	1,40	1,57	1,67	1,58	1,72	
DN20 4,0	4,13	5,57	5,79	6,20	6,77	7,31		1,33	1,39	1,45	1,55	1,69	1,83	
DN25 2,5	2,87	3,79	3,92	4,41	4,76	5,10	9,38	1,51	1,52	1,57	1,76	1,91	2,04	3,75
DN25 4,0	4,62	6,11	6,35	6,72	7,35	7,83	14,67	1,49	1,53	1,59	1,68	1,84	1,96	3,67
DN25 6,0	6,67	8,75	9,52	10,26	11,26	12,26	22,29*	1,42	1,46	1,59	1,71	1,88	2,04	3,72*
DN32 6,0	6,62	8,68	9,40	10,45	10,72	11,68		1,41	1,45	1,57	1,74	1,79	1,95	
DN40 10,0	10,75	14,20	15,37	16,39	18,21	19,51		1,38	1,42	1,54	1,64	1,82	1,95	
DN40 16,0	17,66	23,85	25,75	25,90	29,53	33,34			1,49	1,61	1,62	1,85	2,08	
DN50 10,0	11,04	14,62	16,13	17,47	18,62	19,86		1,42	1,46	1,61	1,75	1,86	1,99	

Bei dem Prüfling „DN25 6,0“ mit reinem Wasserstoff musste der Betriebsdruck (p_{\min}) auf 20 mbar erhöht werden, da bei $p_{\min} = 15$ mbar der Schließvolumenstrom nicht erreichen werden konnte.

* $p_{\min} = 20$ mbar

$$f_s = \frac{\dot{V}_s}{\dot{V}_N}$$

\dot{V}_s = Schließvolumenstrom in m³/h

\dot{V}_N = Nennvolumenstrom in m³/h

Normanforderung für Schließfaktor f_s : $1,3 < f_s < 1,8$ erfüllt / nicht erfüllt

Bis ca. 30 Vol.-% H₂ sind die Anforderungen für die Gasströmungswächter erfüllt.

Dichtheit von Bauteilen, Komponenten

Strömungsformen bei Leckagen:

laminar-viskose Strömung: $q_L \sim 1/\eta$, $Kn < 10$ η dyn. Viskosität, M Molekülmasse

molekulare Strömung: $q_L \sim M^{1/2}$, $Kn \geq 10$ Kn: Knudsen-Zahl

Datenbeispiel:

Mit einer charakteristischen Länge von ca. 1mm => laminar-viskose Strömung

Mit einer charakteristischen Länge von ca. 1 μ m => molekulare Strömung

Datenbeispiel:

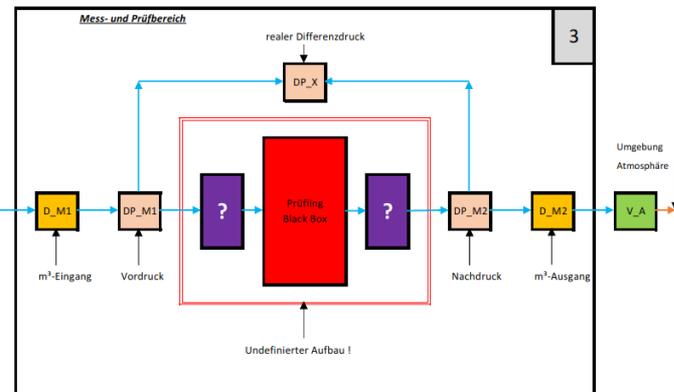
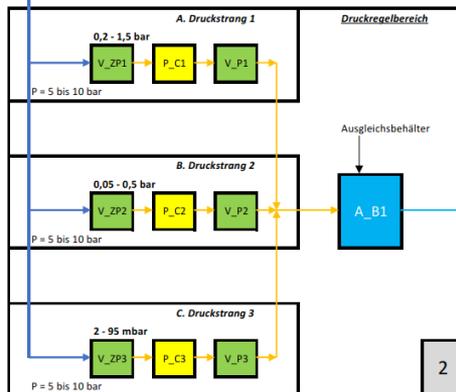
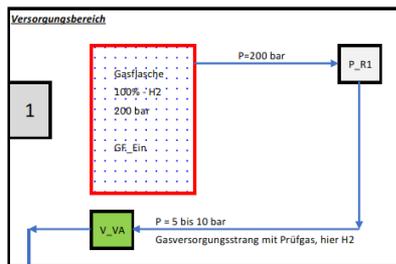
Bei molekularer Strömung ist der H₂-Leckage-Volumenstrom ca. 3,8 mal so groß wie bei Luft

Bei laminar Strömung ist der H₂-Leckage-Volumenstrom ca. 2 mal so groß wie bei Luft

Dichtigkeits-Teststand für Luft, G 20, Gemische und reinen H₂-Betrieb

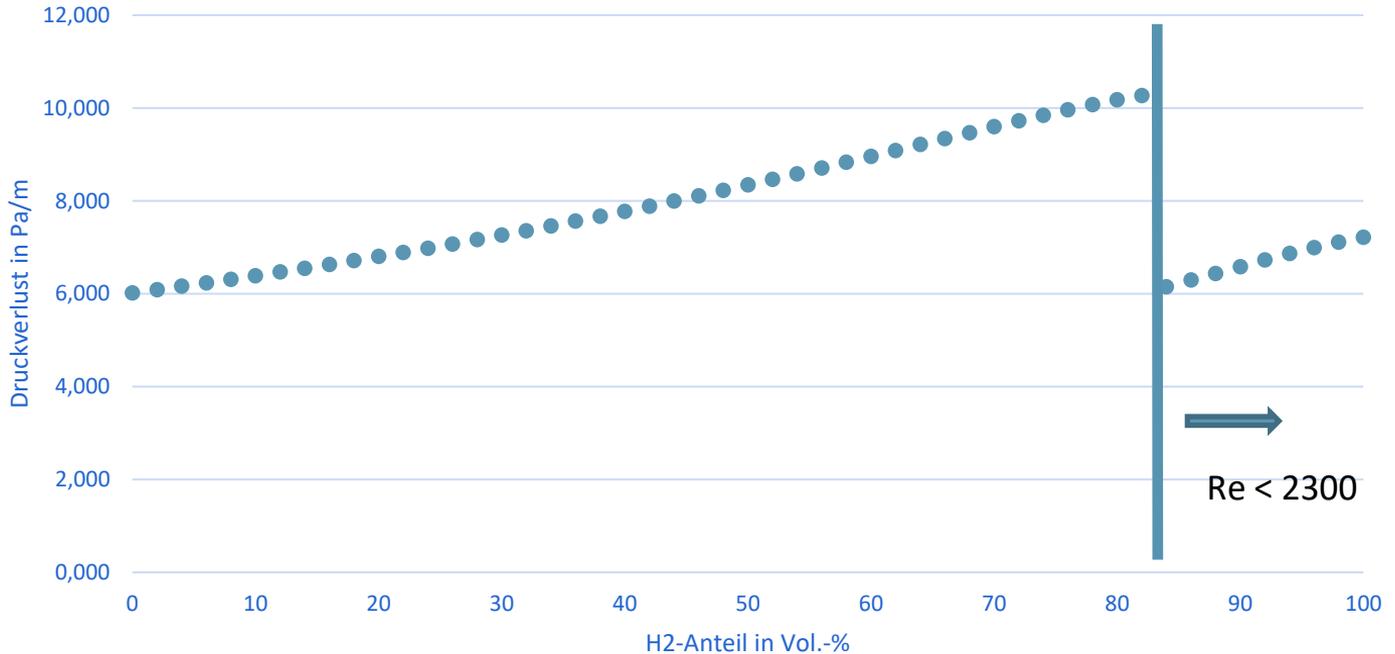
Ziel der Untersuchungen:

Durch die Messung mit Wasserstoff könnten die Umrechnungen von Luft als Prüfgas entfallen bzw. die Faktoren verifiziert werden.



Der Druckverlust bei 100 % H₂ entspricht nach den verwendeten Verfahren etwa dem von Gas mit eine 20 Vol.-%-Anteil.

Verifizierung!



Installationen

Fazit zu den bisherigen Untersuchungen

Die Ergebnisse zeigen: Die Installationen im TRGI-Bereich tolerieren eine Beimischung von 20 Vol.-% H₂



- Die Ergebnisse der durchgeführten Testreihen zeigen, dass die Bauteile im Bereich der TRGI mit einem Anteil von 20 Vol.-% H₂ im Gasgemisch funktionieren.
- Das aktive Sicherheitskonzept mit dem Gasströmungswächter funktioniert ohne Einschränkungen bis zu einem Anteil von mindestens 20 Vol.-% H₂ im Gasgemisch.

Gesamtfazit



- **Alle Ergebnisse der bisher durchgeführten Testreihen bestätigen, dass der Gerätebestand und Neugeräte sowie Bauteile im Bereich der TRGI mit einem Anteil von 20 Vol.-% H₂ im Gasgemisch funktionieren.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Frank Burmeister

Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Hafenstrasse 101 | 45356 Essen

frank.burmeister@gwi-essen.de