

# „H<sub>2</sub>-Readiness von Gasgeräten“

## Erste Ergebnisse aus dem Projekt Roadmap Gas 2050 | Teilprojekt „Roadmap Gasanwendungen“

21.06.2021

Frank Burmeister

### FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

## Die Rolle von Gas bei der Energiewende – Vorstellung des DVGW-Leitprojektes „Roadmap Gas 2050“

Die Bedeutung des Energieträgers 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, entscheidet im 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 z. B. für die Bereitstellung von klimaneutralen Gasen und für die möglichen Anpassungen der Gasinfrastruktur und Gasanwendungen zu entwickeln. Basierend auf dieser 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-Forschungsleitprojekt „Roadmap Gas 2050“ ein, welches den optimalen Weg der Branche hin zu einer klimaneutralen Gasversorgung bis zum Jahr 2050 beschreiben soll.

von Dr. Frank Graf, Wolfgang Köppl, Katharina Bär (alle: DVGW-Forschungsbüro am Engler-Bunte-Institut, Jens Hiltnerbach (DBF Gas- und Umwelttechnik GmbH), Dr. Frank Burmeister (Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.), Dr. Stefan Schwarz & Jochen Rommelfanger (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 Erdgas zu den klimafreundlichsten Treibhausgasemissionsmöglichkeiten, wenn nicht auch die Gasebene dieser Hausanforderung stellen. Während noch vor wenigen Jahren die Volatilität der Energiepreise ein zentrales Thema der Energiepolitik war, wird sich in den kommenden Jahren zunehmend auch die Elementarität durch den gasförmigen und flüssigen Energieträger aus erneuerbaren Quellen verorten eine wichtige Rolle spielen werden und dass die Gasinfrastruktur ein wichtiges Element im zukünftigen Energiesystem darstellt. Nicht zuletzt der vom Bundeswirtschaftsministerium (BWMV) im vergangenen Jahr geführte Dialogprozess „Gas 2050“ hat in diesem Zusammenhang gezeigt, dass das politische Interesse am Erhalt der Gasversorgung besteht. Auch die beiden Wasserstoffstrategien, 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 Gasumsetzung Energieeffizienz und Nachhaltigkeit möglichen Rolle von Gas bei der Energieerzeugung (DVGW-Innovationsforschung Gasumsetzung Energieeffizienz und Nachhaltigkeit) die wissenschaftliche Grundlage für den Energie-Inhalt des DVGW, der den Pfad in eine Zwei-Energieträger-Welt – bestehend aus Erdgas und Wasserstoff – skizziert. Die Forschungsarbeiten beschäftigen sich dabei z. B. mit der Bereitstellung von erneuerbarem Gas, der Konzeptionierung von intelligenten Gasnetzen – sogenannten „Smart GasGrids“ – und dem Erhalt von effizienten Gasanwendungen in allen Sektoren. Während mit den bisherigen Ergebnissen der gesellschaftlichen und die Umsetzbarkeit von einzelnen gasbasierten Konzepten 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-Forschungsbüros am Engler-Bunte-Institut (DVGW-EBI), das DBF Gas- und Umwelttechnik Institut (DBF GI), das Gas- und Wärme-Institut in Essen e.V. (GWI) und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) gemeinsam an drei verschiedenen 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.

**Schwerpunkte der Roadmap**  
In die Gasbranche  
Das übergeordnete Ziel der Roadmap Gas 2050 ist es, bis zum Jahr 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Der Weg

# H<sub>2</sub>-Verträglichkeiten von Gasanwendungen im häuslichen und industriellen Bereich

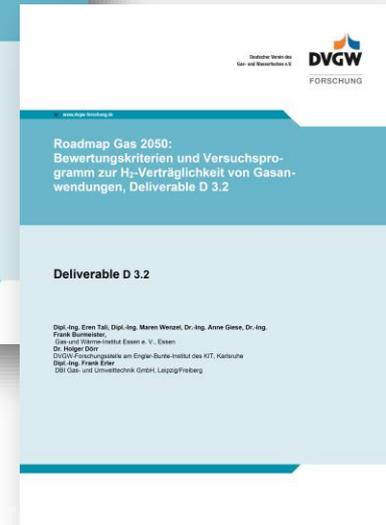
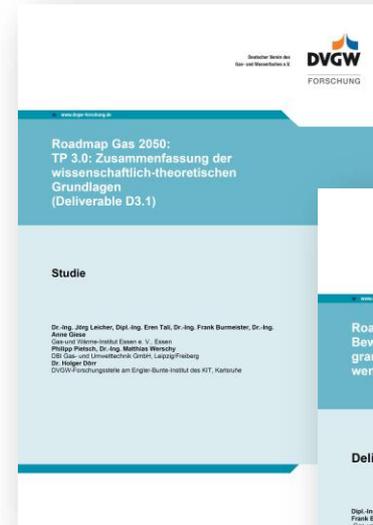
## Hintergrund:

- Klimaschutzziele erfordern schnelles Handeln und eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in allen Bereichen.
- Wasserstoff kann einen Beitrag leisten auch über die Beimischung im Erdgasnetz.

## Fragestellung:

- Wie verhalten sich Gasendgeräte bei einer Zumischung von Wasserstoff?

→ Teil der Untersuchungen im **DVGW-Projekt Roadmap Gas 2050**



1. Theoretischer Hintergrund
2. Aufbau der Testreihen: Testprogramm, Testgase und Gerätetypen
3. Ergebnisse der Tests
4. Status heute und Fazit

# Theoretischer Hintergrund

# Wie kann ein H<sub>2</sub>-Anteil im Gas die Anwendungen beeinflussen?

H<sub>2</sub>-Zumischung ↑

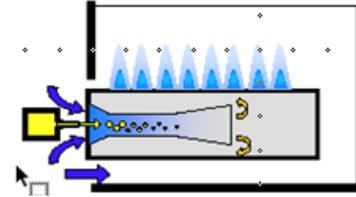
Beeinflusst werden u.a.  
 $L_{min}$ ,  $H_s$ ,  $W_s$ ,  $Q$

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

Die laminare, adiabate  
Flammgeschwindigkeit ist ein  
Stoffwert – folgt aus 1-D-  
Berechnung.

H<sub>2</sub> hat einen Wobbe-Index entsprechend der unteren  
Grenze des H-Gas-Bandes.

Warum funktioniert das trotzdem nicht?



Es sind zu unterscheiden:

- Brenner ohne und mit Ventilator,
- Voll- und teilvormischende Brenner,
- Diffusionsbrenner im Industriesektor,
- Regelungskonzepte
- 1-stufige und modulierende Brenner
- Zündeinrichtungen
- Überwachungseinrichtungen

# Wasserstoff und Methan | Wichtige Kenngrößen im Vergleich

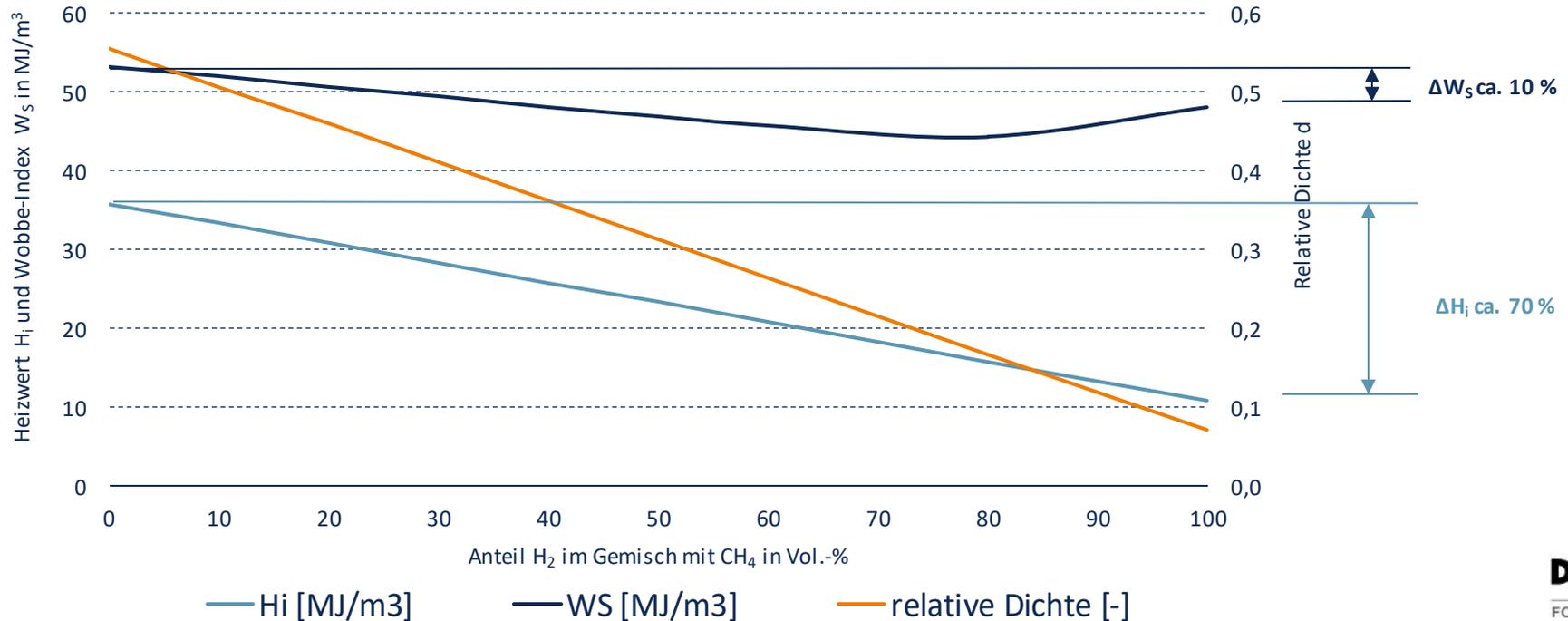
Wasserstoff ist im Vergleich zu Methan „**reaktionsfreudiger**“ (Knallgasversuch), vgl. min. Zündenergie, Zündbereich, Brenngeschwindigkeit.

Für die Gasgerätetechnik stellen sich hierdurch besondere Anforderungen: **Brennerauslegung** (Gemischbildung, Startverhalten, Flammenstabilisierung), **Flammenüberwachung** und **Akustik**.

Kenngrößen		Wasserstoff H <sub>2</sub>	Methan CH <sub>4</sub>
Heizwert massebezogen	kWh/kg	33,3	13,9
Heizwert volumetrisch	kWh/m <sup>3</sup>	3,0	10,0
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	0,09	0,72
Untere / obere Zündgrenze in Luft	Vol.-%	4 / 75	5 / 15
Minimale Zündenergie ( $\lambda = 1$ )	mWs	0,02	0,29
Brenngeschwindigkeit in Luft ( $\lambda = 1$ )	cm/s	275	43
Diffusionskoeffizient in Luft	cm <sup>2</sup> /s	0,61	0,16
Spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen	g/MJ	0	55

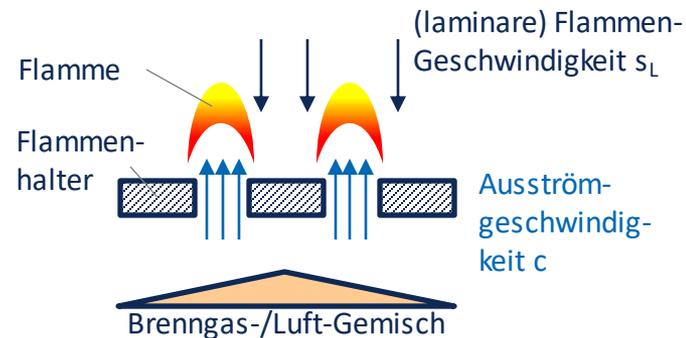
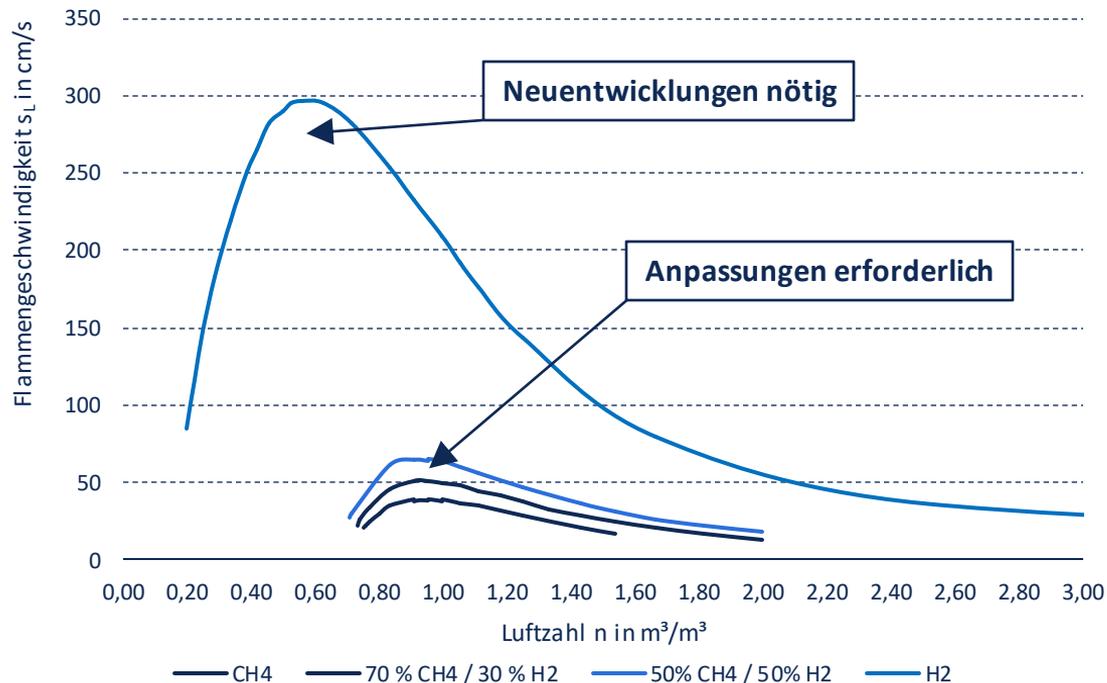
# Einfluss von Wasserstoff auf die kalorischen Kenngrößen: Wobbe-Index und Heizwert

Bei einer Grenzwertbetrachtung von 100 % CH<sub>4</sub> / 0 % H<sub>2</sub> bis 0 % CH<sub>4</sub> / 100 % H<sub>2</sub> 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).



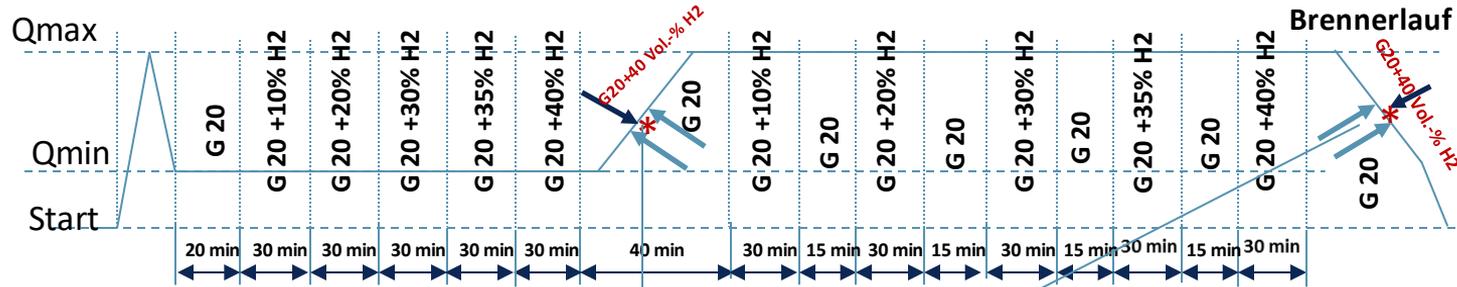
# Flammengeschwindigkeit $s_L$ für $\text{CH}_4$ , $\text{H}_2$ und $\text{CH}_4/\text{H}_2$ -Gemische

Die (laminare) Flammengeschwindigkeit im  $\text{CH}_4/\text{H}_2$ -Gemisch ändert sich wesentlich erst bei sehr großen  $\text{H}_2$ -Anteilen.



# Testprogramm, Testgase und Gerätetypen

# 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:

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

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

## Testgase:

G 20 als Referenzgas

G 20 + H<sub>2</sub> (10, 20, 30 und 40%)

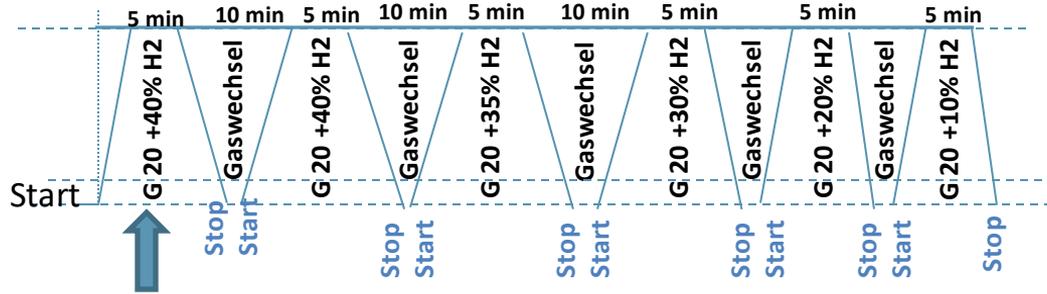
G 231 + H<sub>2</sub> (10, 20, 30 und 40%)

G 23 + H<sub>2</sub> (10, 20, 30 und 40%)

(EU-Low nur, wenn G23 Probleme zeigt)

EU-Low+H<sub>2</sub> (10, 20, 30 und 40%)

# Start- und Stop-Messung



**Kaltstart mit gekühlter  
Verbrennungsluft**

**(Kaltstart nur G 20+40% H<sub>2</sub>)**

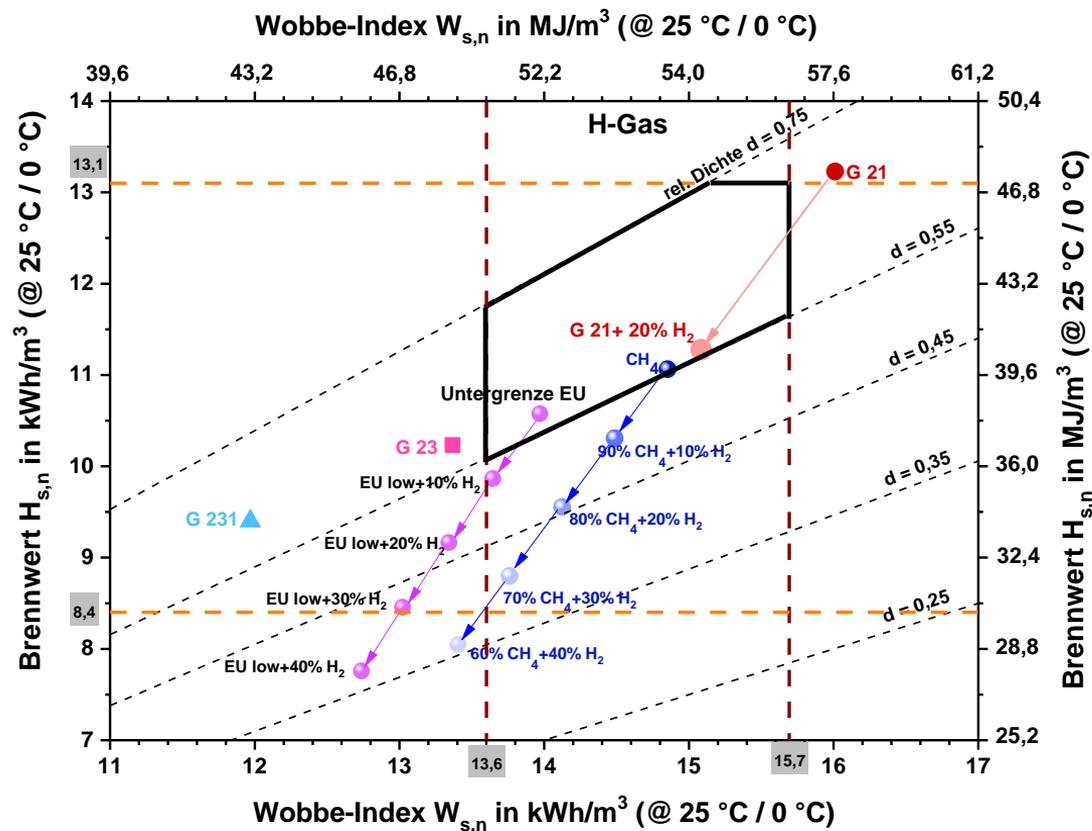
**Randbedingungen:**

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

## **Worst-case-Start-Test**

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

# Einordnung der Testgase



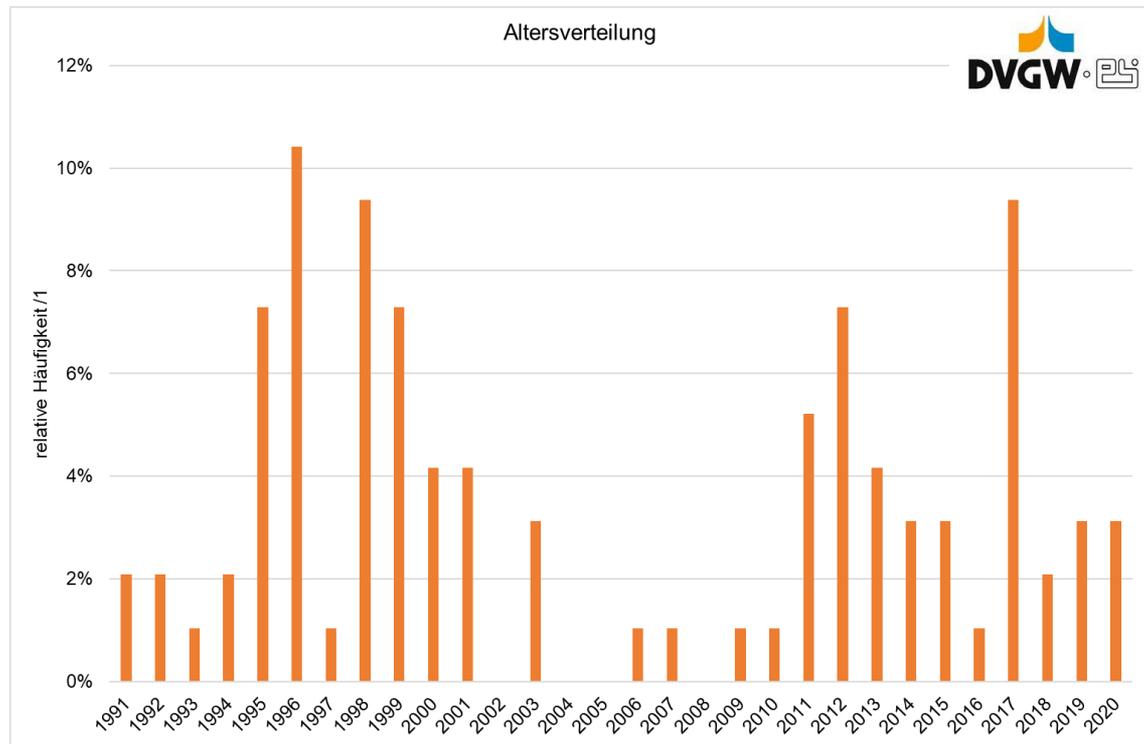
Grenzen DVGW Arbeitsblatt G 260 / März 2013

- Die Anzahl der Testgase wurde reduziert.
- Wenn das Gerät mit G 231 bzw. G 23 betrieben werden kann, muss EU-low nicht getestet werden.
- G 20 + 20 Vol.-% H<sub>2</sub> zeigt, ob eine relative Dichte von 0,45 angesetzt werden könnte.
- Zur Abklärung weiterer Effekte wurden Tests mit „Dichtetestgasen“ durchgeführt.

Es wurden/werden zunächst „sensible“ Technologien und ein Gerät nach dem Stand der Technik getestet (Neu- und Altgeräte):

- $I_{2N}$ -Brennwertgeräte
- 1-stufiger Kessel
- teilvormischender Brenner
- mehrfach-Injektorbrenner, modulierend
- 300 kW-Kessel (Gebläse-Brenner)
- BHKW
- Brennstoffzelle
- Kochgeräte

## Altersverteilung auf Basis von 96 Erhebungen



**Durchschnittsalter:**  
15 Jahre

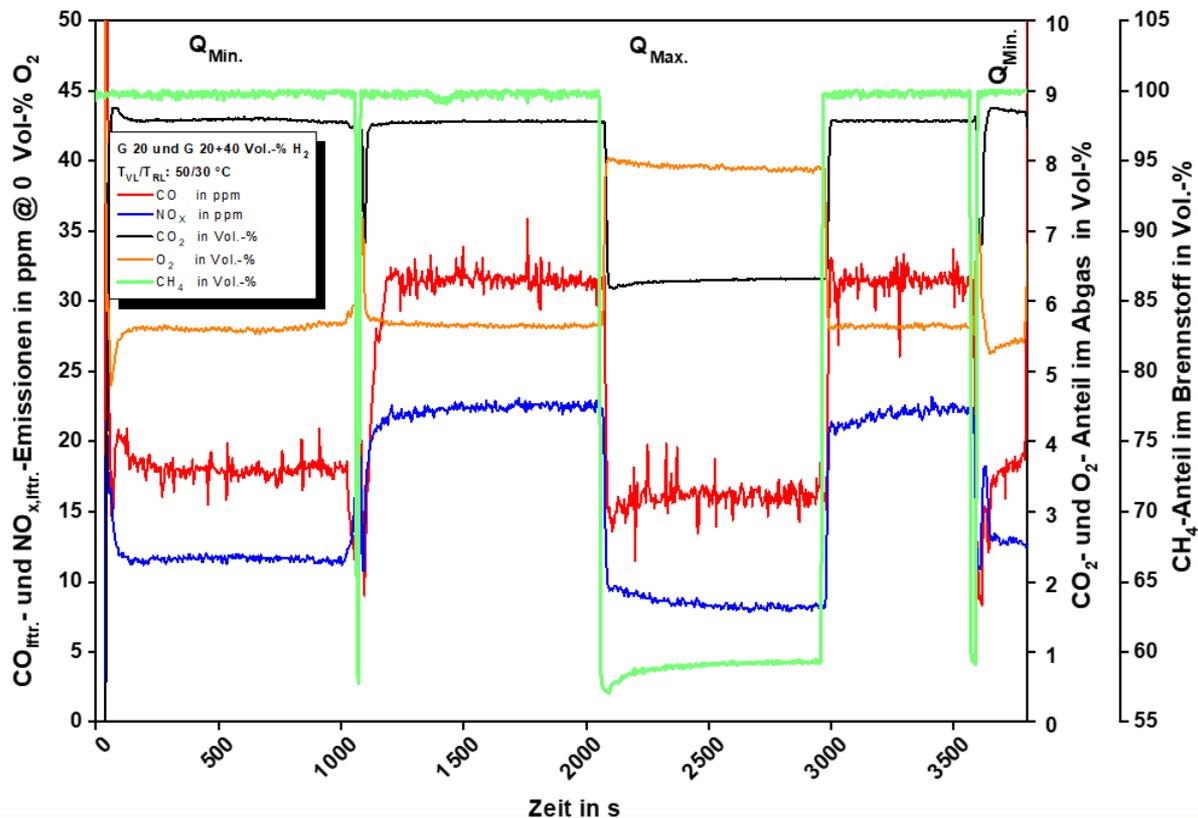
Ersterhebung im Rahmen des  
DVGW-Projekts H2-20 (gemeinsam  
mit Avacon) – Zwischenergebnisse ff.  
Stand 04. XII/2020

# Ergebnisse der Tests

(Beispiele zu Haushaltsanwendungen)

# Ergebnisse bis 40 Vol.-% H<sub>2</sub>: Brennwertgerät ohne Auffälligkeiten

## Test mit Gaswechsel, Beispiel: G 20 mit H<sub>2</sub>

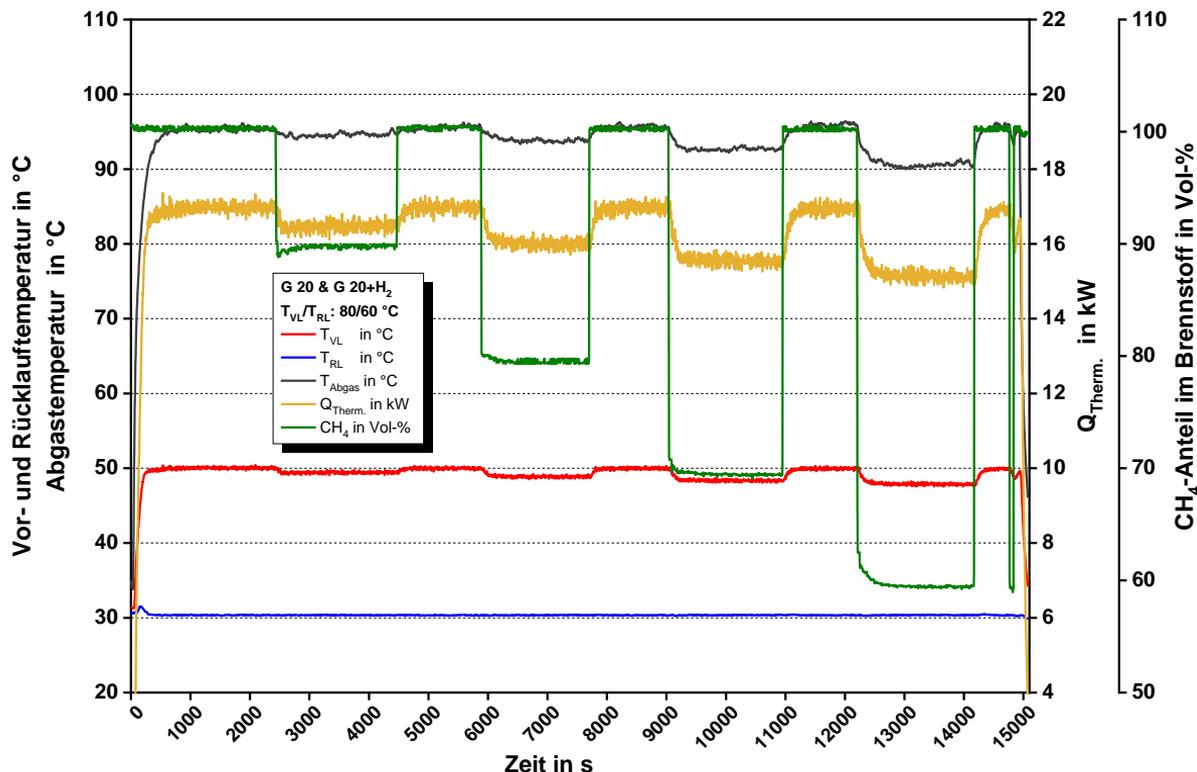


Bisher wurde ein Brennwertgerät getestet:

→ Funktionsfähig ohne Auffälligkeiten mit 40 Vol.-% H<sub>2</sub>

- bei schnellem Gaswechsel von G 20 auf das CH<sub>4</sub>-/H<sub>2</sub>-Gemisch
- bei Unterschreiten der unteren Grenze für die relative Dichte mit  $d = 0,5$  (Untergrenze zurzeit bei  $d = 0,55$ )

## Test mit Gaswechsel, Beispiel: G 20 mit H<sub>2</sub>



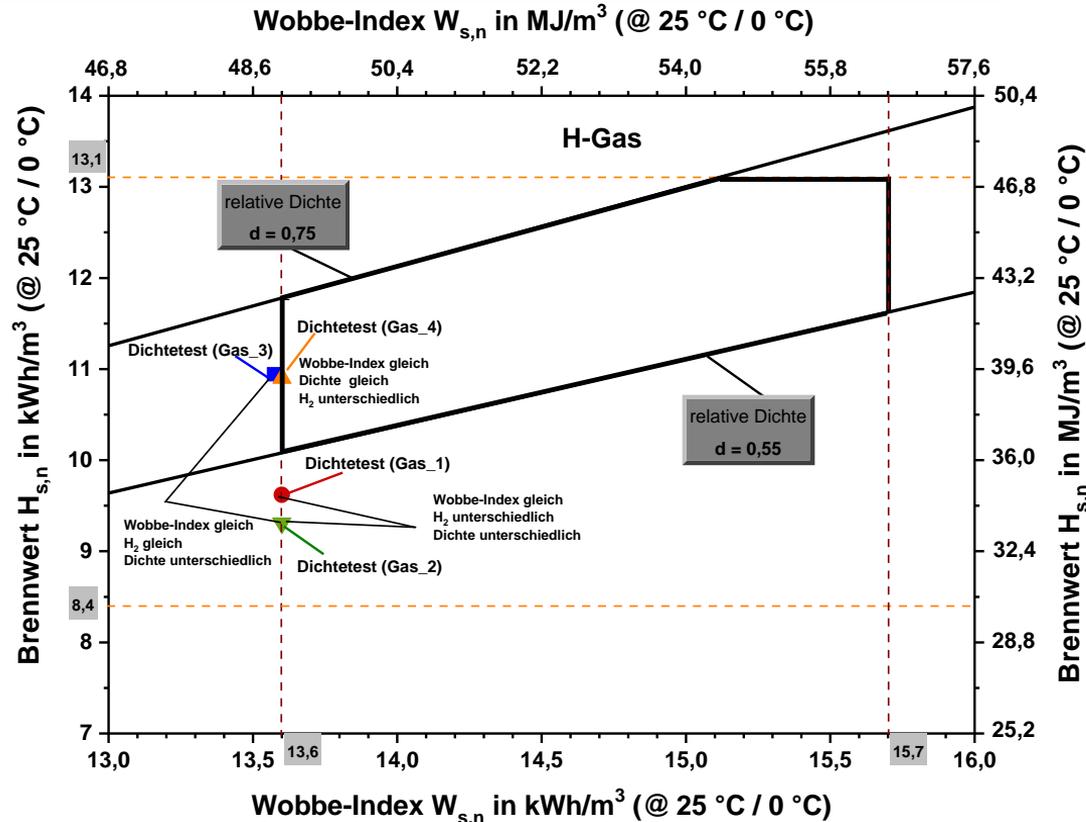
### Einstufiger Kessel:

→ Funktionsfähig bis zu 40 Vol.-% H<sub>2</sub>

- bei schnellem Gaswechsel von G 20 auf das CH<sub>4</sub>-/H<sub>2</sub>-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.

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



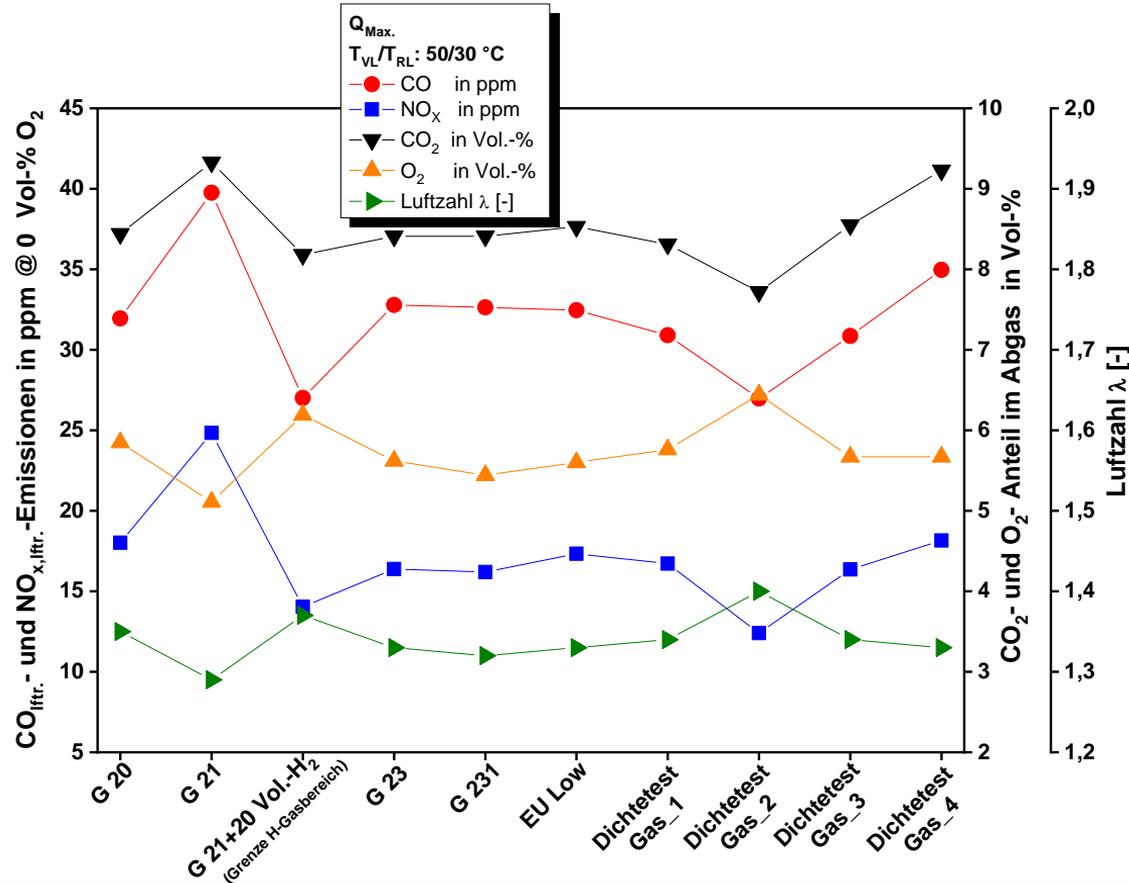
Grenzen DVGW Arbeitsblatt G 260 / März 2013

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

Gas kennwerte 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

# Brennwertgerät: Emissionen bei verschiedenen Gasen und „Dichtetestgasen“

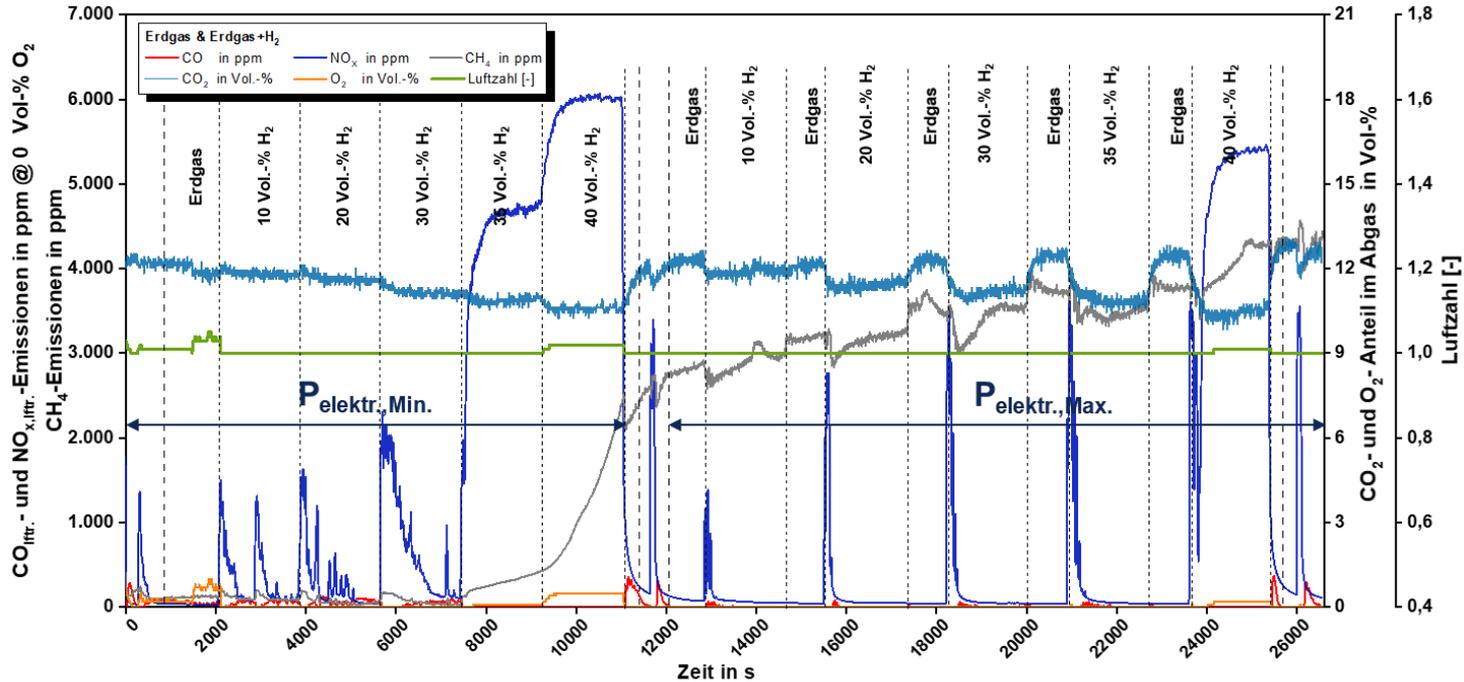


Luftzahl bei verschiedenen Brenngasen zeigt keinen signifikanten Effekt.



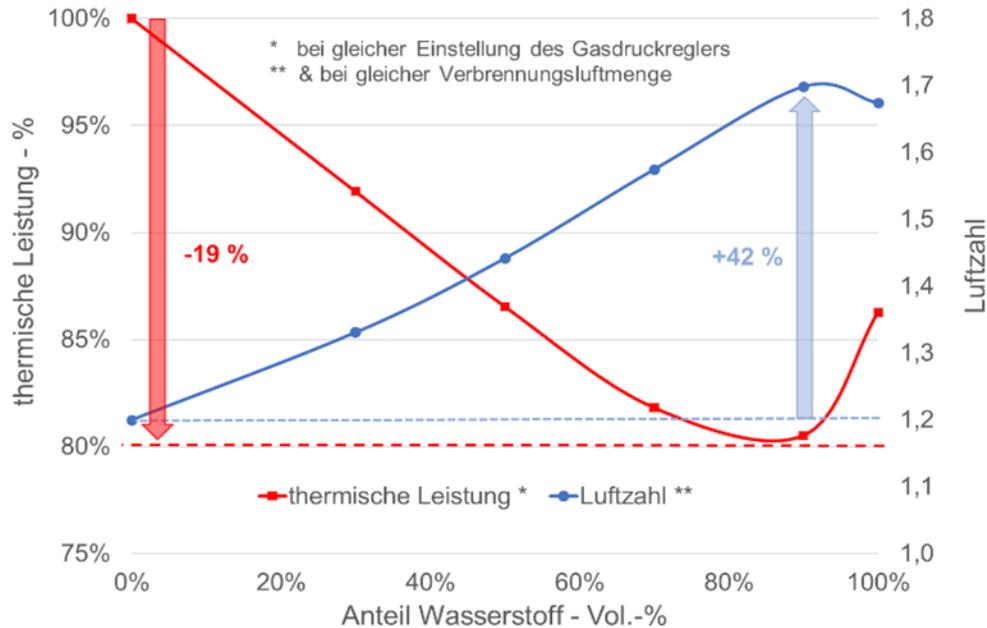
# Industrieanwendungen

# Testmessung an einem BHKW



**Erklärung des Herstellers zu den hohen NO<sub>x</sub> und C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> Werten:** Bei der Messung wird sichtbar, dass der Dreibege-Katalysator bei zu hoher H<sub>2</sub>-beimischung aus dem Gleichgewicht gebracht wird. Somit kann er NO<sub>x</sub> und Kohlenwasserstoffe (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) nicht mehr reduzieren, da ihm das notwendige CO zum Abbau fehlt.

# Herausforderung Industrieanwendung



Auswirkungen der H<sub>2</sub>-Zumischung auf die Brennerleistung und Luftzahl für gleiche Einstellung des Gasdruckreglers und gleiche Luftmenge

## Herausforderung:

- Unterschiedliche Brennertypen und Anwendungen,
- Einstellung vor Ort

## Einstellung vor Ort:

- Wir grade intensiv diskutiert

## Herausforderung:

- Einstellung auf H<sub>2</sub>-reiches Gas - Wechsel auf Erdgas

## Kompensationsmöglichkeiten:

- Konstanthalten von Leistung und Luftzahl
- Anpassung der Luftzahl

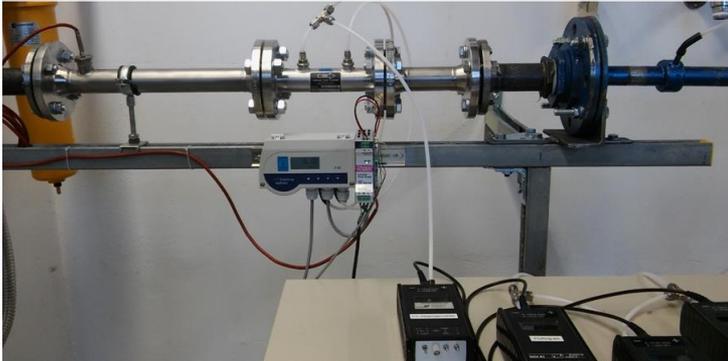
# Installationen

Beispiel Gasströmungswächter, Leitungsanlage

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



Laminar-Flow-Element am GS-Prüfstandes



## 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/H<sub>2</sub>-Gemische und H<sub>2</sub> 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 m <sup>3</sup> /h ( $p = 1013$ mbar, $T = 15$ °C)							Schließfaktoren $f_s$ im stationären Betrieb [-]						
	Luft	G 20	G 20+ 10 Vol.-% H <sub>2</sub>	G 20+ 30 Vol.-% H <sub>2</sub>	G 20+ 40 Vol.-% H <sub>2</sub>	G 20+ 50 Vol.-% H <sub>2</sub>	100% H <sub>2</sub>	Luft	G 20	G 20+ 10 Vol.-% H <sub>2</sub>	G 20+ 30 Vol.-% H <sub>2</sub>	G 20+ 40 Vol.-% H <sub>2</sub>	G 20+ 50 Vol.-% H <sub>2</sub>	100% H <sub>2</sub>
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 m<sup>3</sup>/h

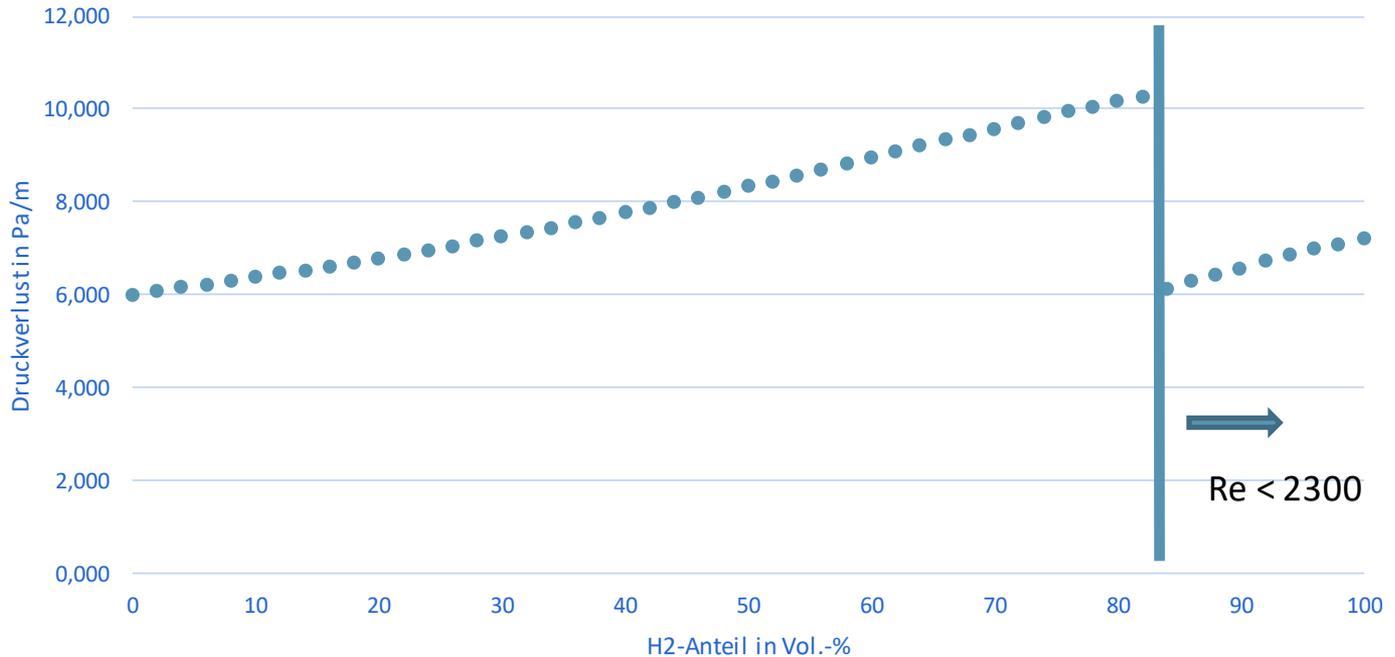
$\dot{V}_N$  = Nennvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h

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

Bis ca. 30 Vol.-% H<sub>2</sub> sind die Anforderungen für die Gasströmungswächter erfüllt.

Der Druckverlust bei 100 % H<sub>2</sub> entspricht nach den verwendeten Verfahren (TRGI) etwa dem von Gas mit eine 20 Vol.-%-Anteil.

**Verifizierung!**



# Stand heute und Fazit



- **Die Ergebnisse der durchgeführten Testreihen zeigen, dass die Geräte mit einem Anteil von 20 Vol.-% H<sub>2</sub> im Gasgemisch funktionieren.**
- **Die Grenze der relativen Dichte könnte nach derzeitigem Untersuchungsstand abgesenkt werden.**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Frank Burmeister