

H₂-Verträglichkeiten von Gasanwendungen im häuslichen und industriellen Bereich

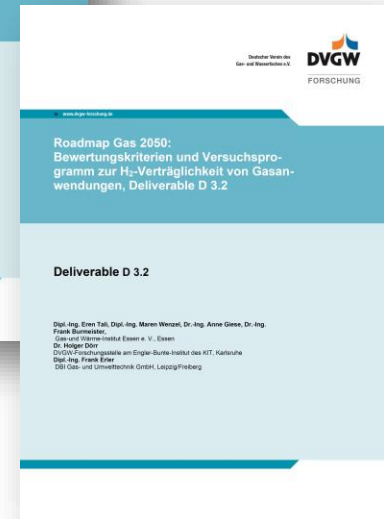
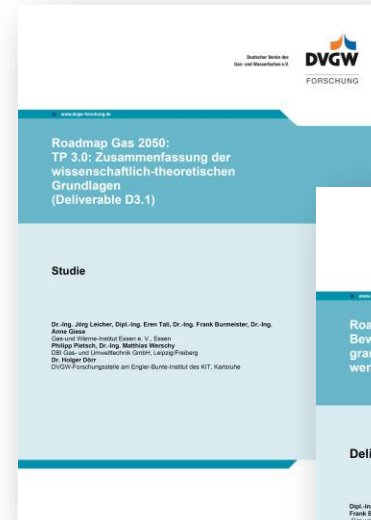
Hintergrund:

- Klimaschutzziele erfordern schnelles Handeln und eine Reduktion der CO₂-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 H₂-Anteil im Gas die Anwendungen beeinflussen?

H₂-Zumischung ↑

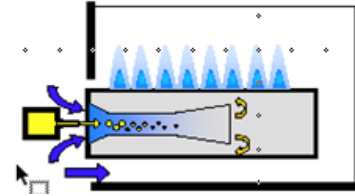
Beeinflusst werden u.a.
 L_{min} , H_s , W_s , Q

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

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

H₂ 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

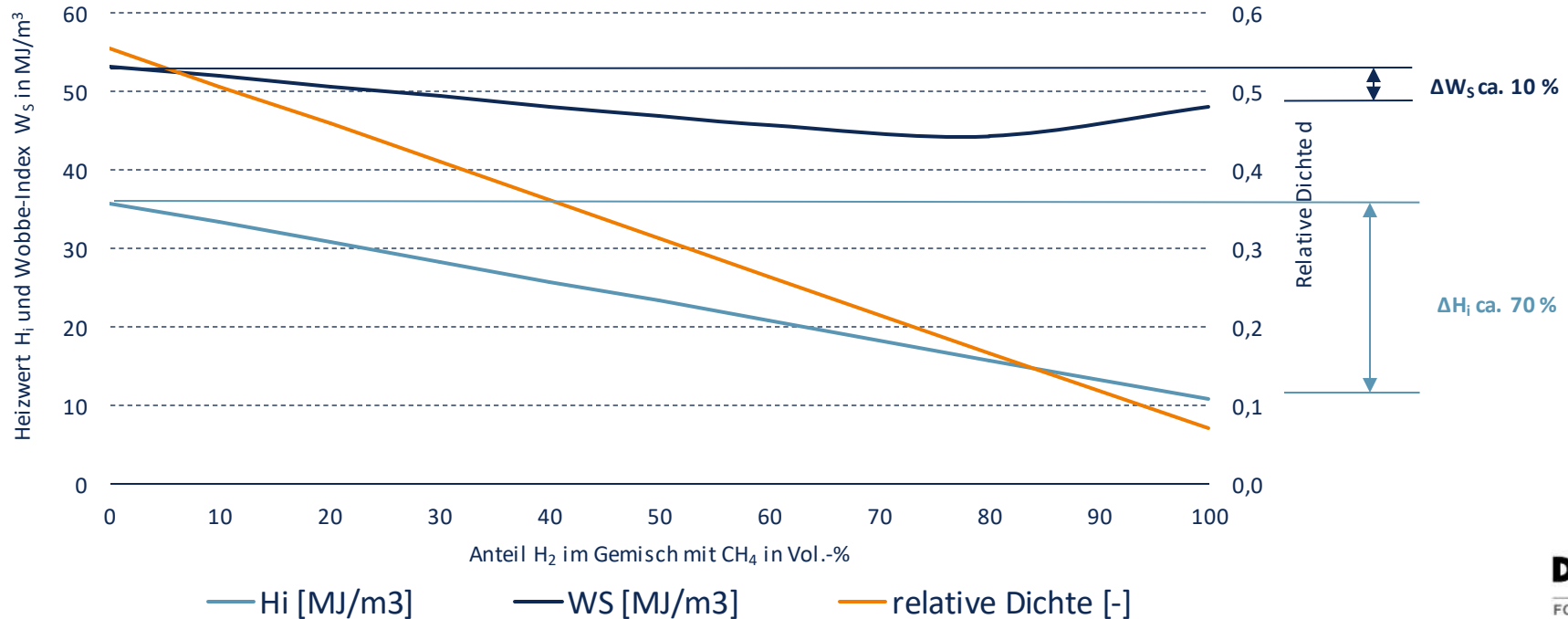
Wasserstoff ist im Vergleich zu Methan „**reaktionsfreudiger**“ (Knallgasversuch), vgl. min. Zündenergie, Zündbereich, Brenngeschwindigkeit.

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

Kenngrößen		Wasserstoff H ₂	Methan CH ₄
Heizwert massebezogen	kWh/kg	33,3	13,9
Heizwert volumetrisch	kWh/m ³	3,0	10,0
Dichte	kg/m ³	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 ² /s	0,61	0,16
Spez. CO ₂ -Emissionen	g/MJ	0	55

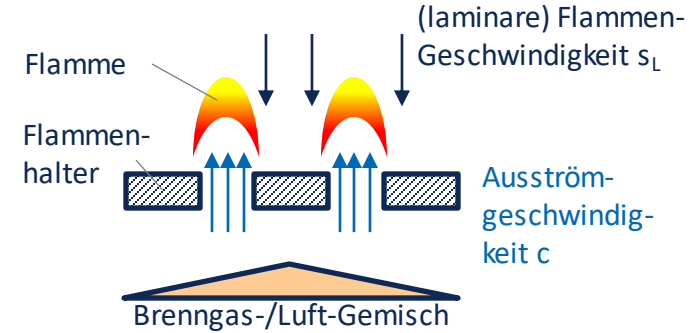
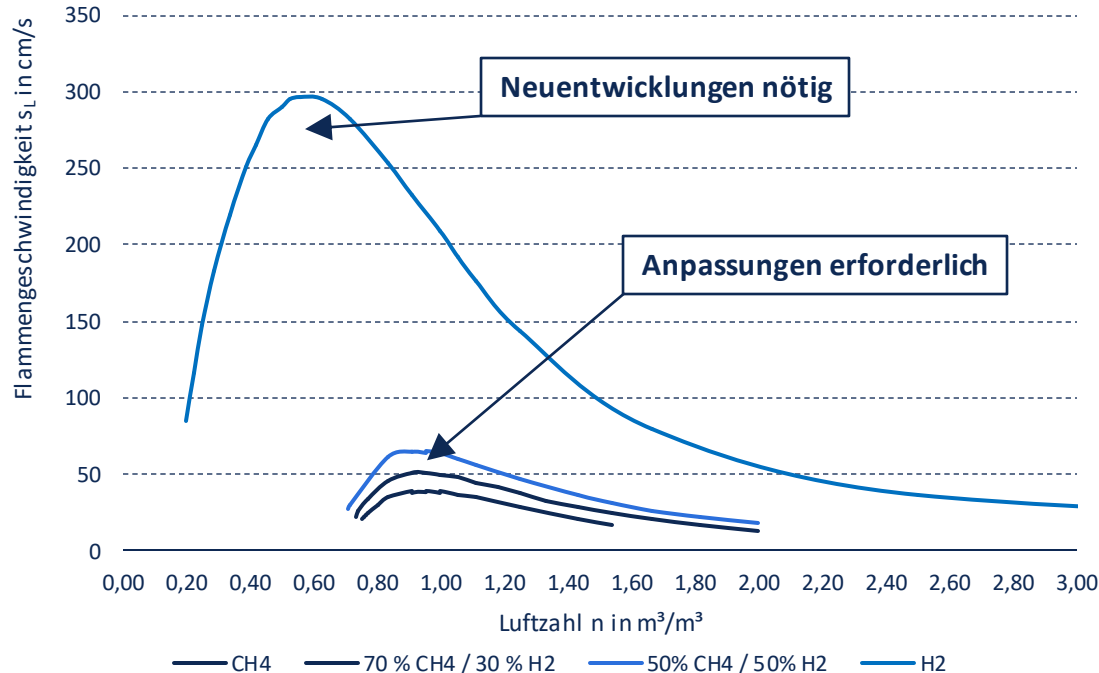
Einfluss von Wasserstoff auf die kalorischen Kenngrößen: Wobbe-Index und Heizwert

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).



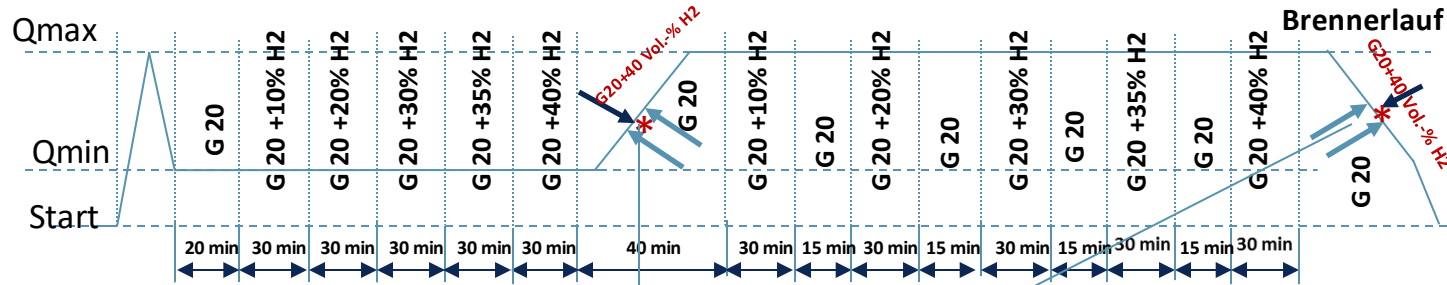
Flammengeschwindigkeit s_L für CH_4 , H_2 und CH_4/H_2 -Gemische

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



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:

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

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

Testgase:

G 20 als Referenzgas

G 20 + H₂ (10, 20, 30 und 40%)

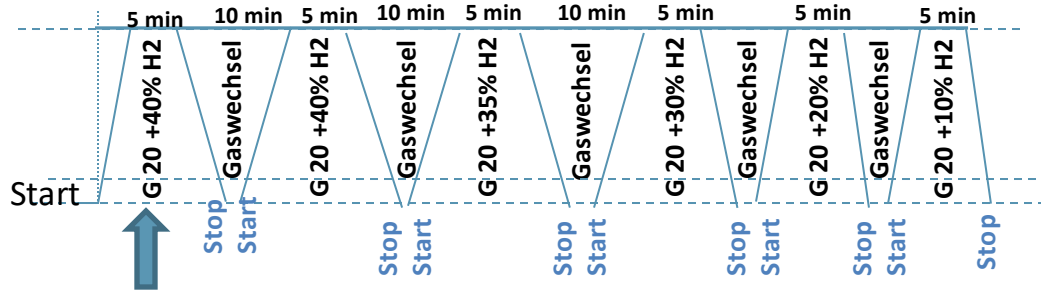
G 231 + H₂ (10, 20, 30 und 40%)

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



Worst-case-Start-Test

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

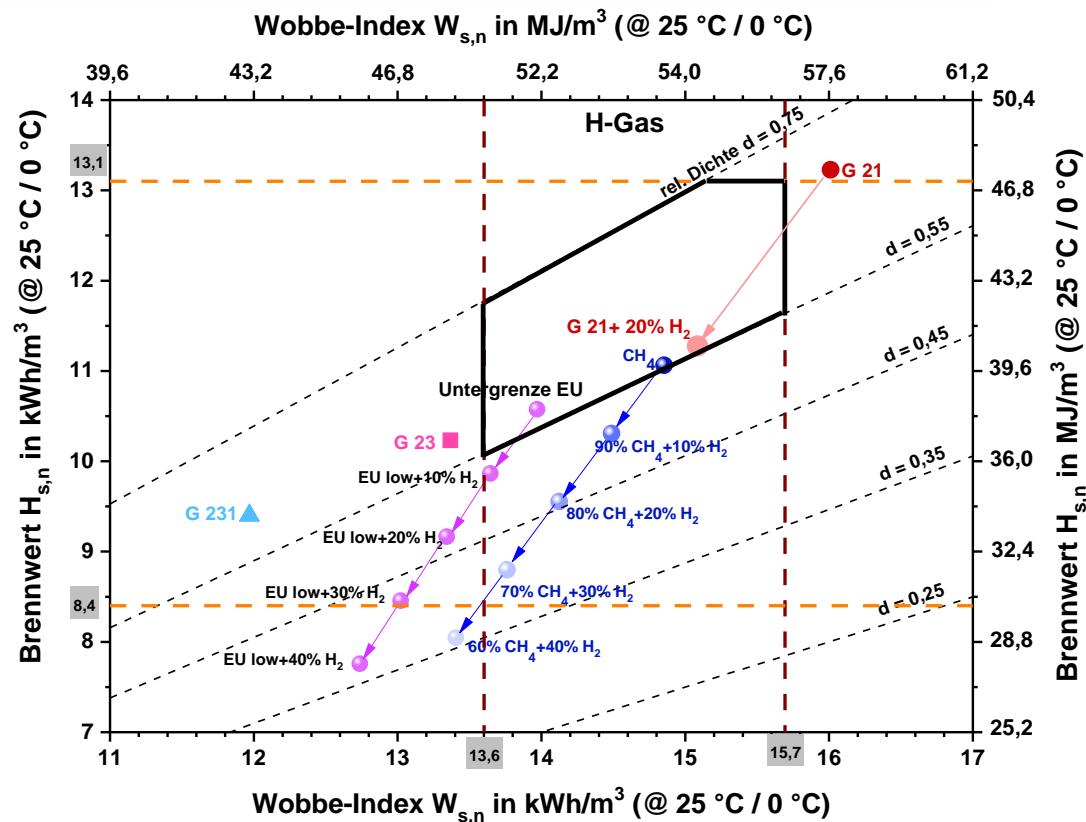
**Kaltstart mit gekühlter
Verbrennungsluft**

(Kaltstart nur G 20+40% H₂)

Randbedingungen:

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

Einordnung der Testgase



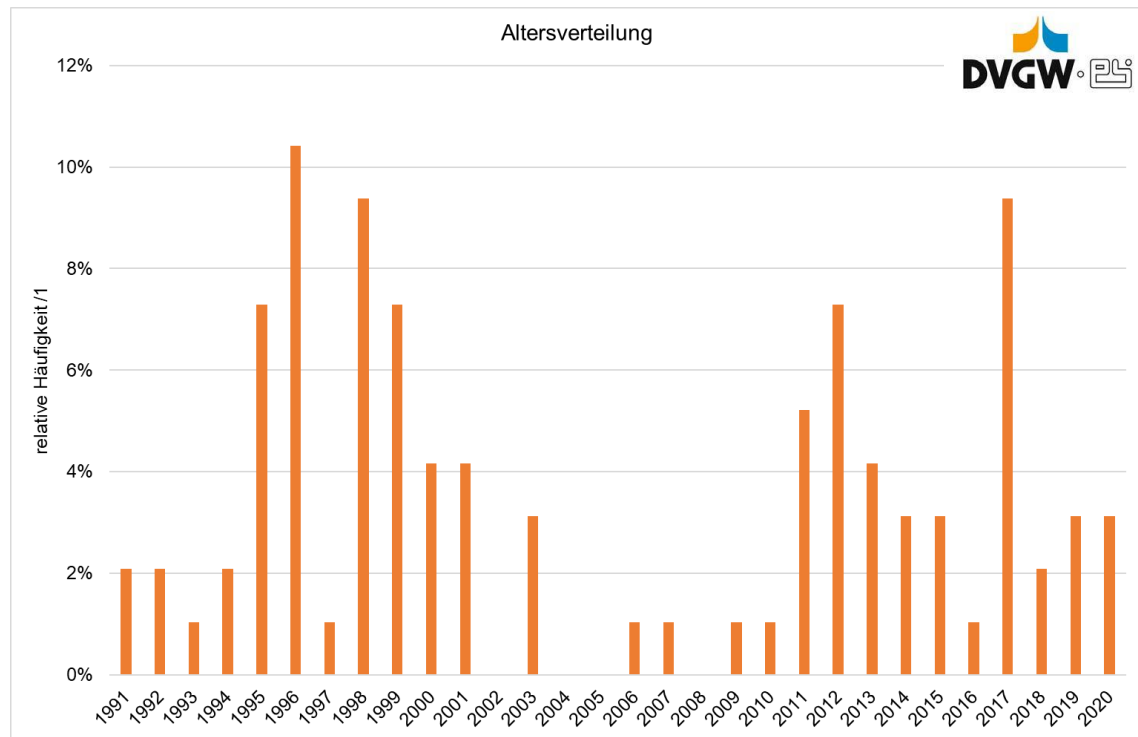
Grenzen DVGW Arbeitsblatt G 260 / März 2013

- 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.-% H₂ 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

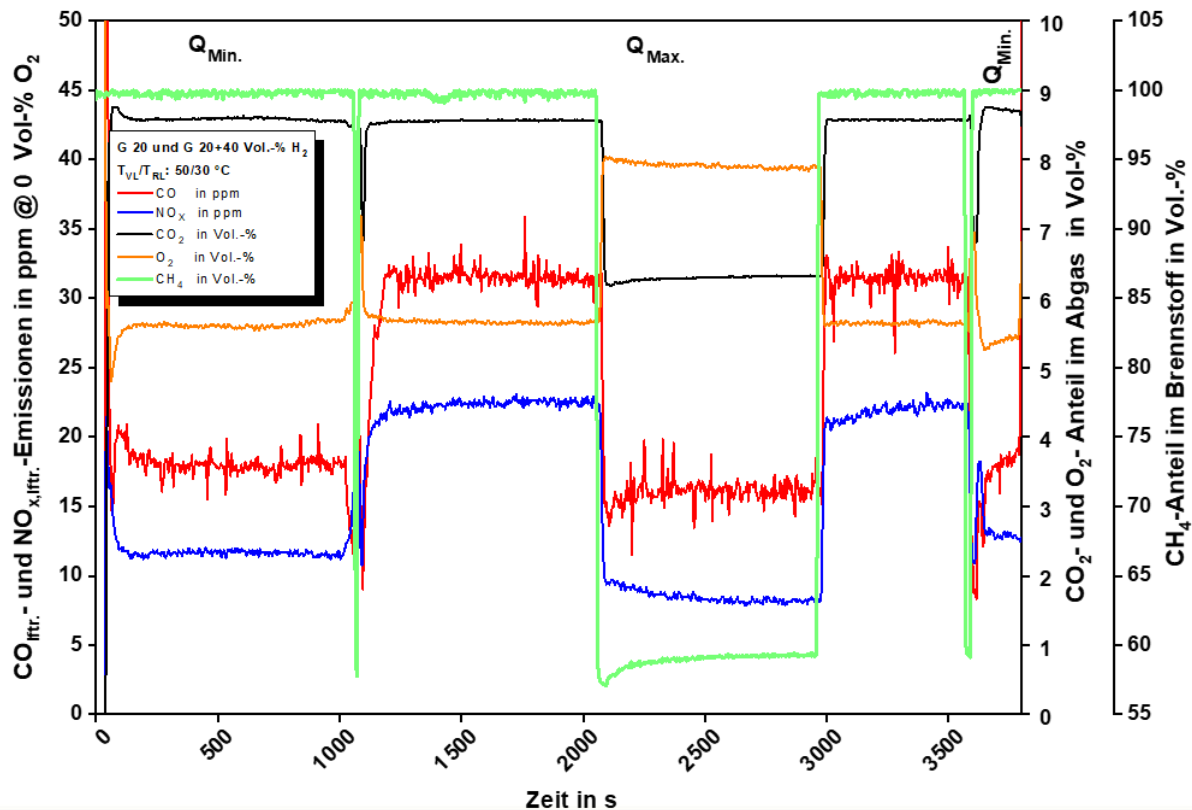
Ersterhebung im Rahmen des
DVGW-Projekts H2-20 (gemeinsam
mit Avacon) – Zwischenergebnisse ff.
Stand 04. XII/2020

Ergebnisse der Tests

(Beispiele zu Haushaltsanwendungen)

Ergebnisse bis 40 Vol.-% H₂: Brennwertgerät ohne Auffälligkeiten

Test mit Gaswechsel, Beispiel: G 20 mit H₂

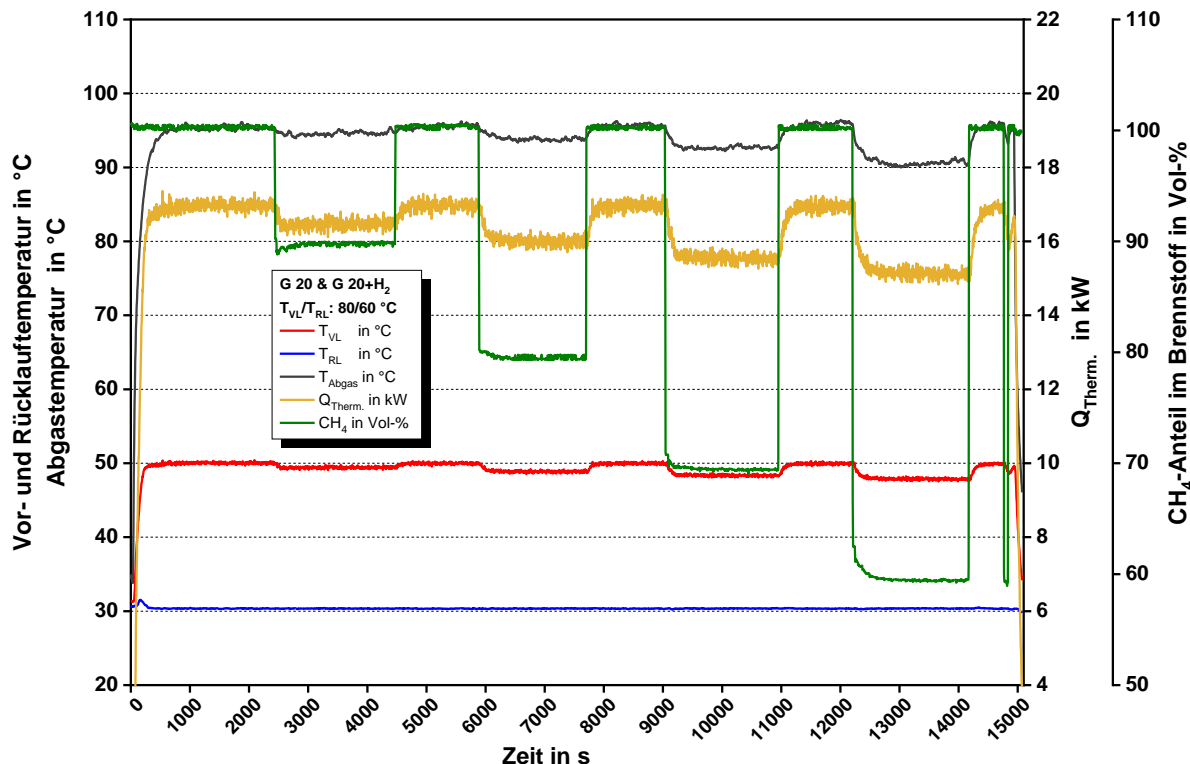


Bisher wurde ein Brennwertgerät getestet:

→ Funktionsfähig ohne Auffälligkeiten mit 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 $d = 0,55$)

Test mit Gaswechsel, Beispiel: G 20 mit H₂



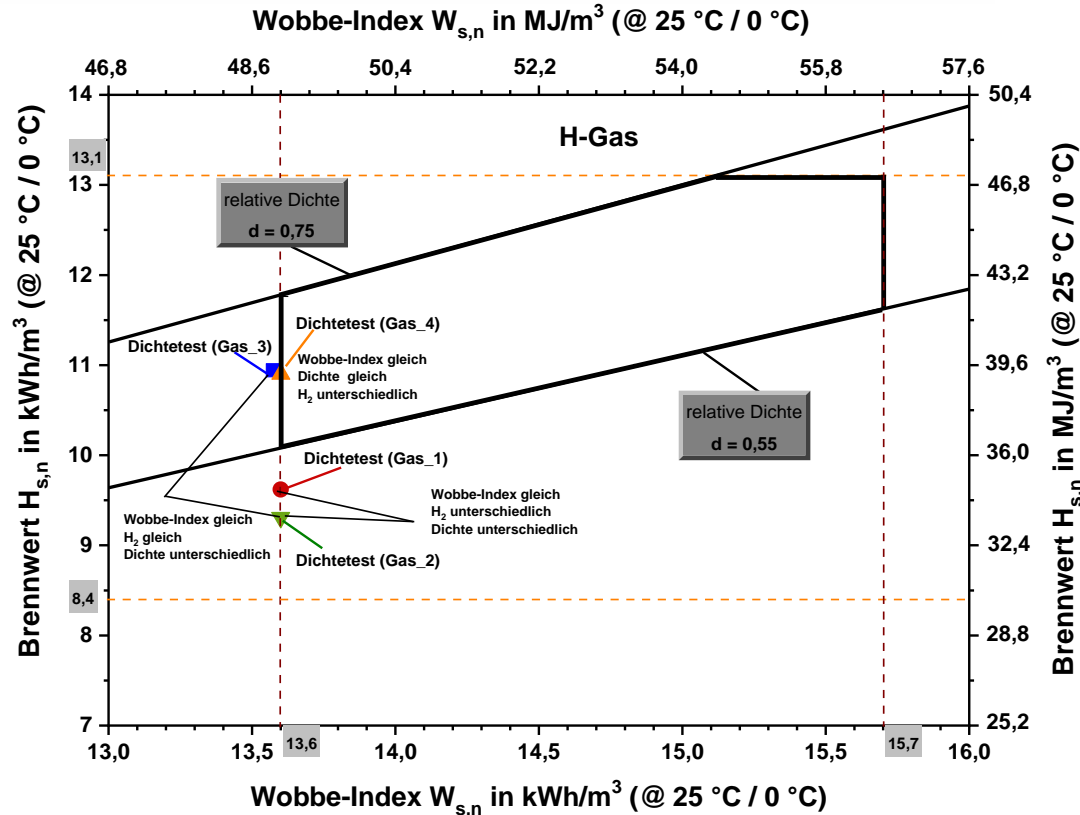
Einstufiger Kessel:

→ Funktionsfähig 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.**

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



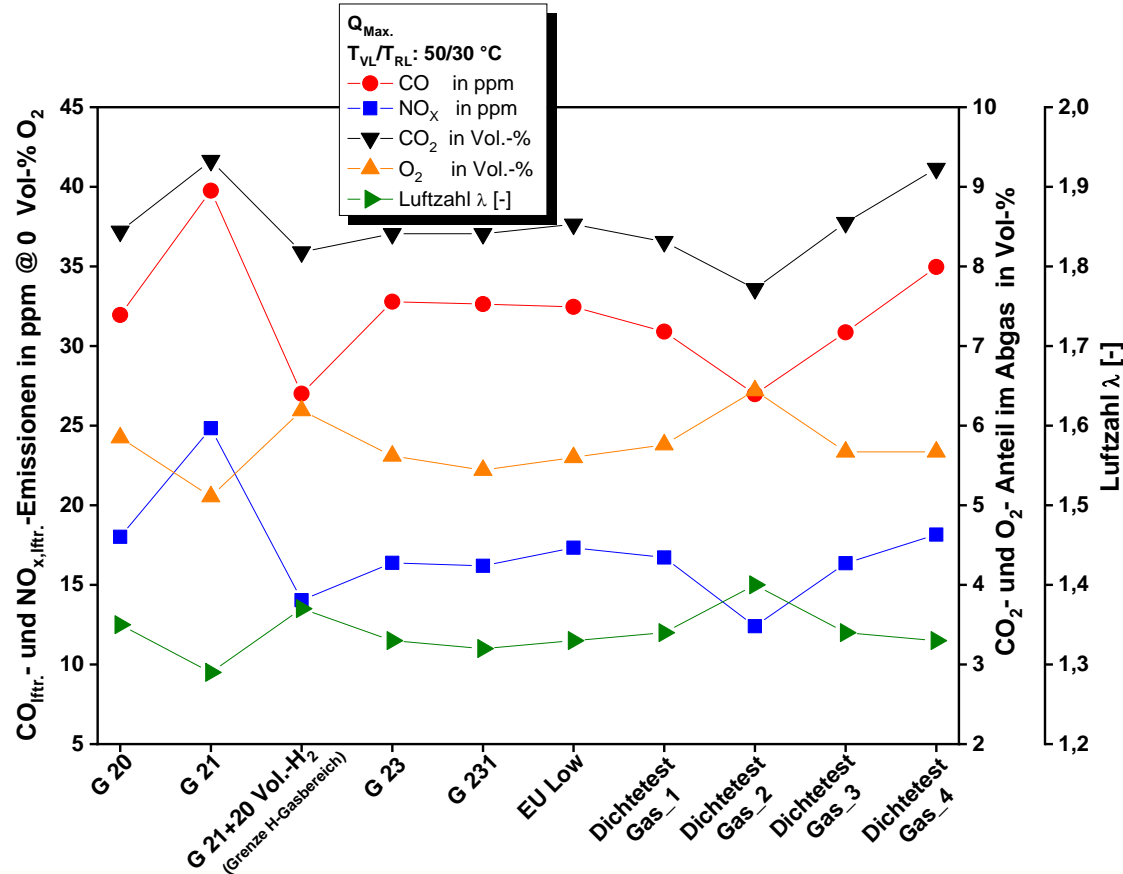
Grenzen DVGW Arbeitsblatt G 260 / März 2013

Die Testgase wurden so gemischt, dass die Effekte durch den H₂-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
CH ₄	87,0	81,0	69,5	91,0
N ₂			10,0	
H ₂		10,0	10,0	
C ₃ H ₈			10,5	3,0
He	13,0	9,0		
CO ₂				6,0

Brennwertgerät: Emissionen bei verschiedenen Gasen und „Dichtetestgasen“

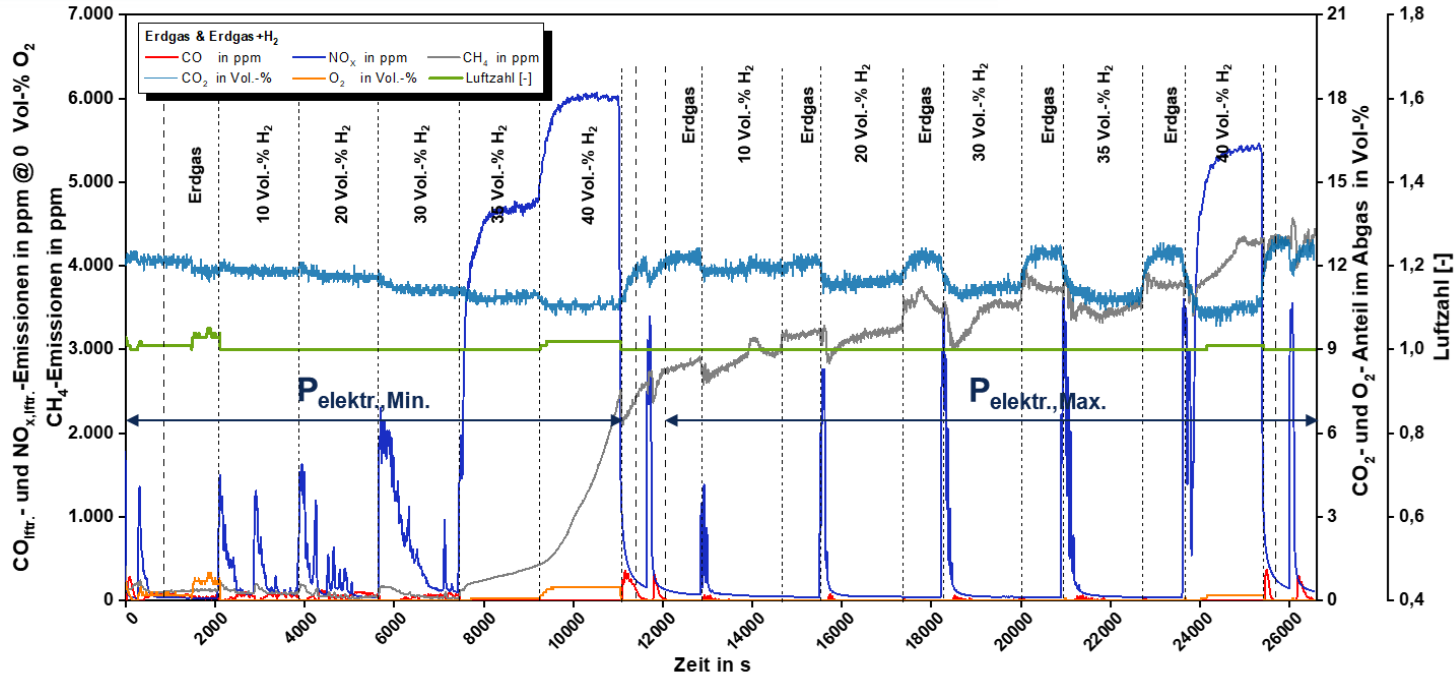


Luftzahl bei verschiedenen Brenngasen zeigt keinen signifikanten Effekt.



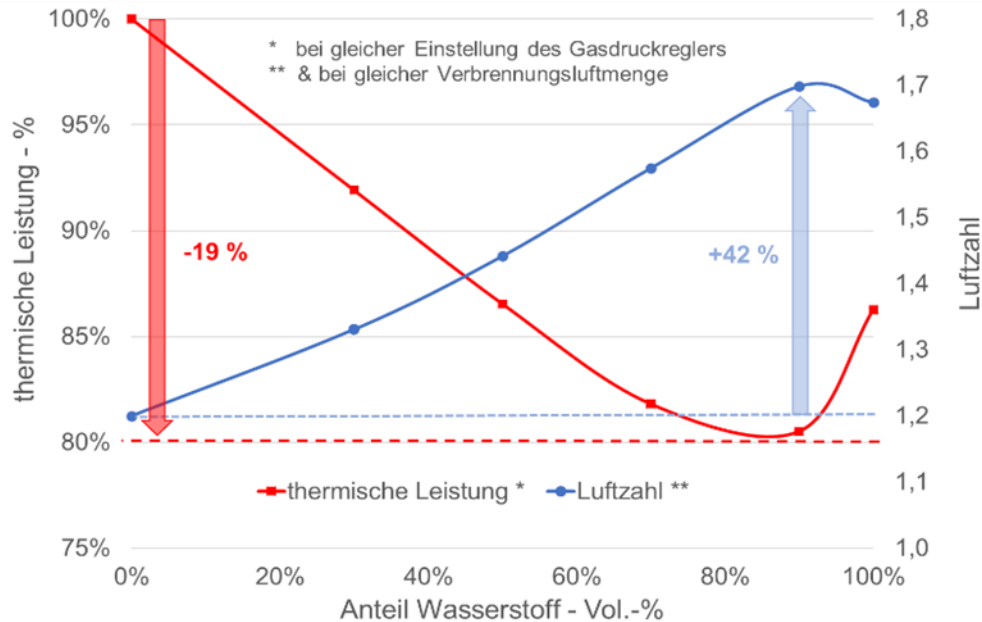
Industrieanwendungen

Testmessung an einem BHKW



Erklärung des Herstellers zu den hohen NO_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 kann er NO_x und Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) nicht mehr reduzieren, da ihm das notwendige CO zum Abbau fehlt.

Herausforderung Industrieanwendung



Auswirkungen der H₂-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 H₂-reiches Gas - Wechsel auf Erdgas

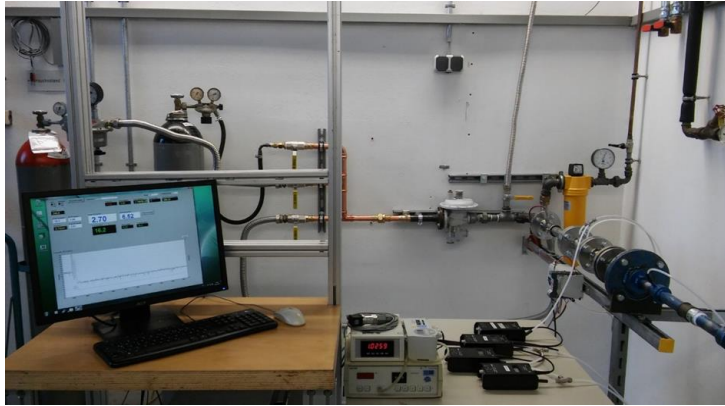
Kompensationsmöglichkeiten:

- 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/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 $p_{\min} = 15 \text{ mbar}$)

	Schließvolumenstrom im stationären Betrieb in m^3/h ($p = 1013 \text{ mbar}$, $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$)							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 $p_{\min} = 15 \text{ mbar}$ der Schließvolumenstrom nicht erreichen werden konnte.

* $p_{\min} = 20 \text{ mbar}$

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

\dot{V}_s = Schließvolumenstrom in m^3/h

\dot{V}_N = Nennvolumenstrom in m^3/h

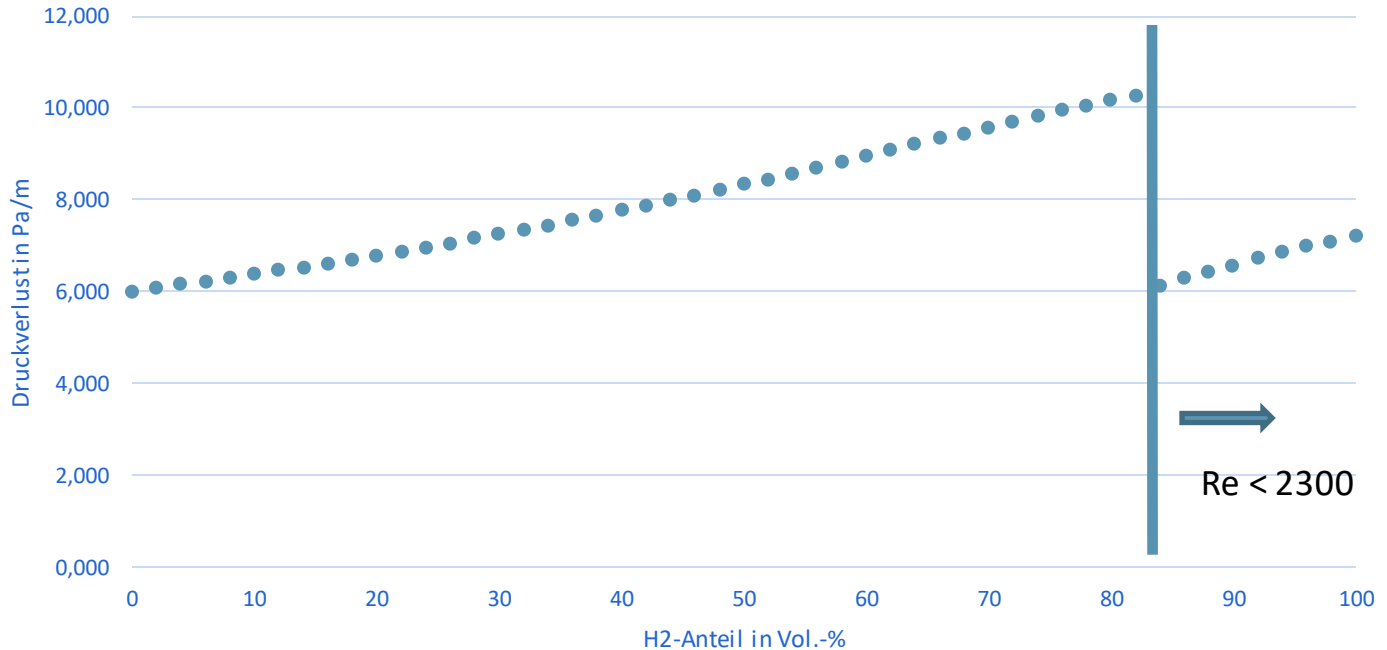
Normanforderung für Schließfaktor f_s : $1,3 < f_s < 1,8$ erfüllt /
nicht erfüllt

Bis ca. 30 Vol.-% H_2 sind die Anforderungen für die Gasströmungswächter erfüllt.

Leitungsanlage

Der Druckverlust bei 100 % H₂ 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.-% H₂ im Gasgemisch funktionieren.
- Die Grenze der relativen Dichte könnte nach derzeitigem Untersuchungsstand abgesenkt werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Frank Burmeister