

Wasserstoff in der Anwendung in Haushalt und Industrie

Aktueller Stand von Untersuchungen und F&E Projekten

1. Digitales Fachforum INFRACON, 24.09.2020

Dr.-Ing. Rolf Albus

I. Das GWI im Überblick

II. Wasserstoff in der Anwendung

- Physikalische Kenngrößen und deren Einfluss auf die Anwendungstechnik
- Der erste Schritt: 10 Vol.-% im Gasgemisch
- Quo vadis Wasserstoff?
- F&E-Aktivitäten auf dem Weg zu höheren H₂-Anteilen

III. Zusammenfassung und Ausblick

Das GWI im Überblick

Das Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Das GWI ist als anwendungstechnologisches und praxisnahes Forschungsinstitut weit über die Branche hinaus etabliert – **Das Energie-Institut in Essen.**

- **Gründung 1937** durch die deutsche Gasbranche als gemeinnütziger Verein zur **Bündelung der F&E-Aktivitäten.**
- **Mitgliedsunternehmen** aus verschiedenen Bereichen der Branche: Gasversorger, Gerätehersteller, Verbände, Stadtwerke.
- **89 festangestellte Mitarbeiter** in den Bereichen (plus 10-15 Studenten):
 - Forschung & Entwicklung,
 - Prüfung,
 - Marktraumumstellung,
 - Weiterbildung und Beratung,
 - Verwaltung und Vorstand.



Unsere Vision

Das *GW* ist das führende **Energie-Institut der Branche** in der Energiehauptstadt Essen.

Unsere Mission

Wir lösen die fundamentalen Herausforderungen der Energiewende mit unseren Mitgliedern, Kunden und Partnern zur Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft.

Unser Leitbild

Wir sind das Brancheninstitut der Energiewirtschaft und arbeiten an einer **nachhaltigen Energieversorgung** sowie an einer **effizienten Energienutzung** in allen Sektoren.

Wasserstoff in der Anwendung

➤ Physikalische Kenngrößen und deren Einfluss auf die Anwendungstechnik

Wie entwickeln sich wichtige verbrennungstechnische Kenndaten und welche Auswirkungen haben diese?

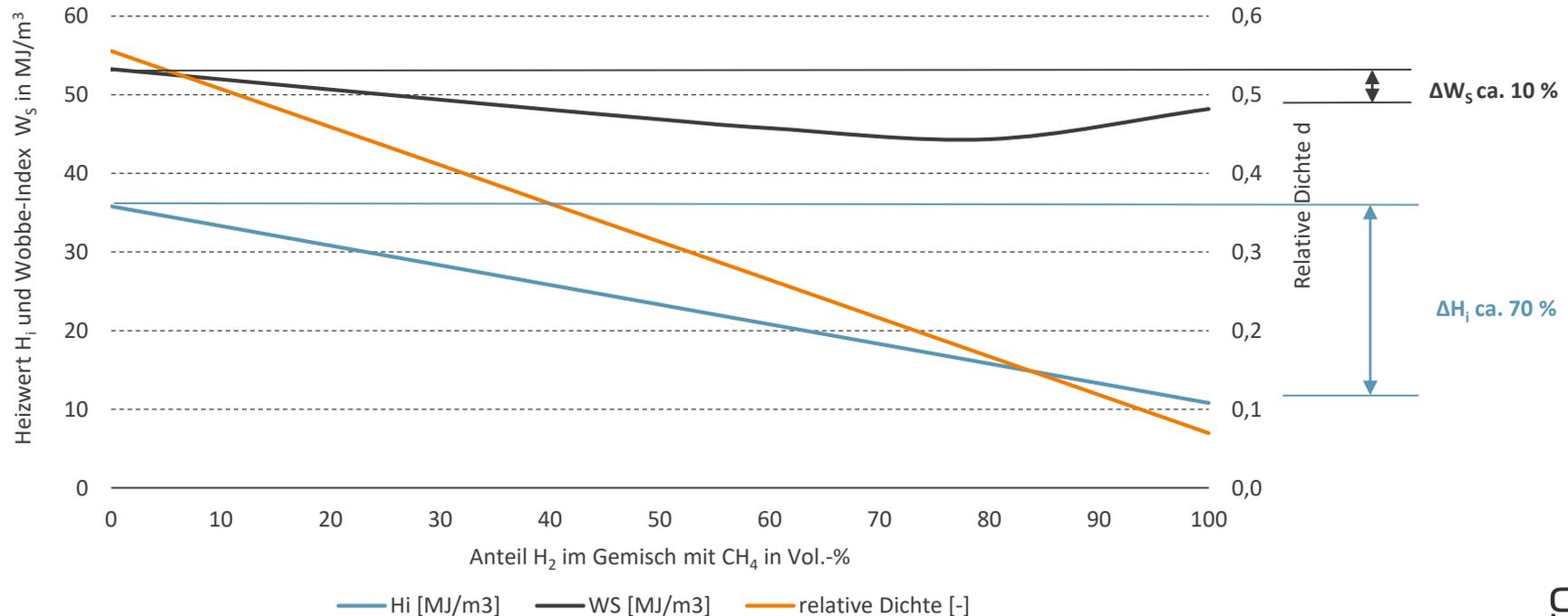
Wasserstoff und Methan | Wichtige Kenngrößen im Vergleich

- Wasserstoff ist im Vergleich zu Methan **deutlich reaktionsfreudiger** (Knallgasversuch), vgl. min. Zündenergie, Verbrennungsgeschwindigkeit.
- 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
Verbrennungsgeschwindigkeit 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

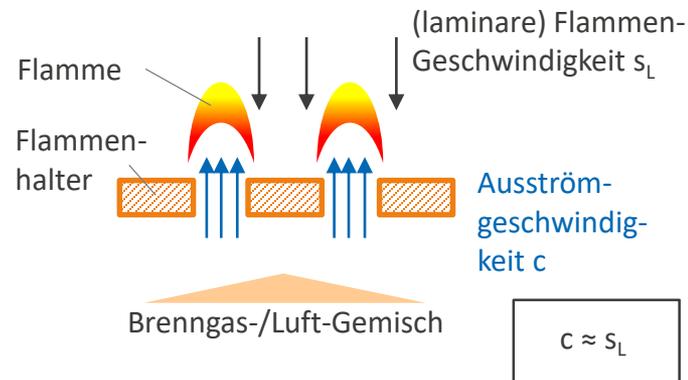
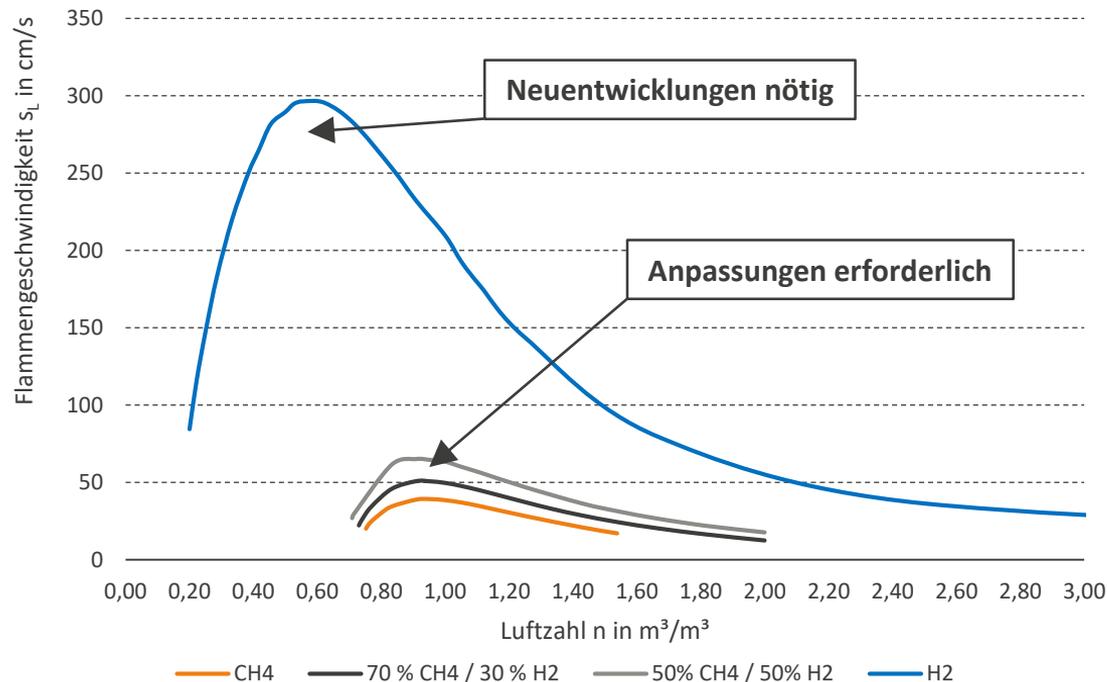
Bei einer Grenzwertbetrachtung von 100 % CH₄ / 0 % H₂ bis 0 % CH₄ / 100 % H₂ weicht der Wobbe-Index um lediglich 10 % ab (wichtiger Kennwert für Gasgeräte im Wärmemarkt), im Heizwert dagegen um ca. 70 % (wichtiger Kennwert z.B. für die Thermoprozesstechnik).



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

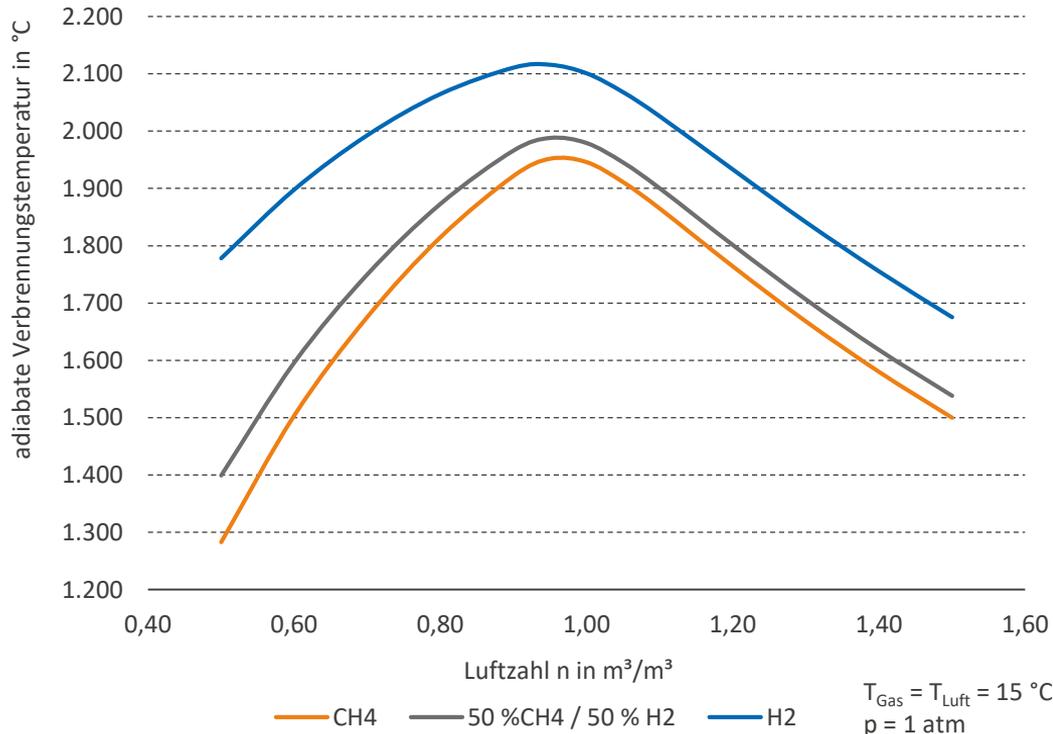
Die (laminare) Flammengeschwindigkeit im CH_4/H_2 -Gemisch ändert sich wesentlich erst bei sehr großen H_2 -Anteilen.

Aber: Die Stabilität der Verbrennung muss gesichert sein!



Adiabate Verbrennungstemperaturen für CH₄, H₂ und CH₄/H₂-Gemische

Die adiabate Verbrennungstemperatur steigt mit zunehmendem H₂-Anteil im Gasgemisch, das Maximum liegt jeweils im nahstöchiometrischen Bereich.



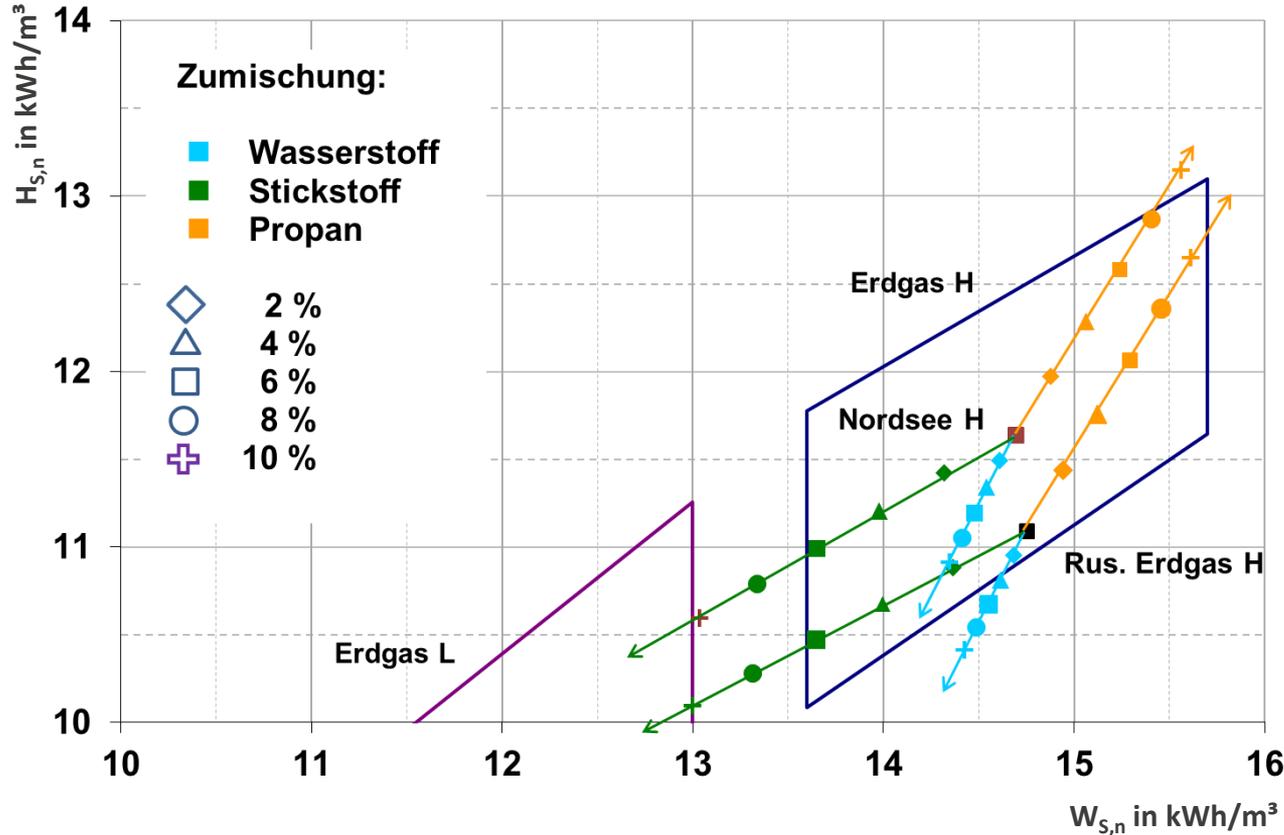
- Höhere Verbrennungstemperaturen führen auch zu höheren Temperaturen der Brenneroberfläche, in der Brennkammer, im Abgas usw., sofern nicht geregelt wird.
 - Steigende Temperaturniveaus können zu erhöhter Schadstoffbildung führen, z. B. thermisches NO.
- Ein regulierender bzw. kompensierender Eingriff ist folglich nötig!

Wasserstoff in der Anwendung

➤ **Der erste Schritt: 10 Vol.-% im Gasgemisch**

Das DVGW Arbeitsblatt G 260 erlaubt eine H₂-Einspeisung von bis zu 10 Vol.-%

Einfluss von Wasserstoff auf die 2. Gasfamilie gemäß DVGW G 260



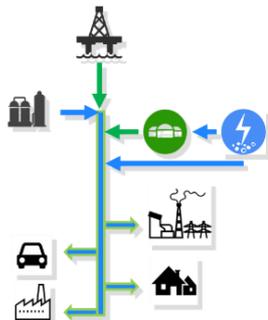
- Das DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“ (Ausgabe 2013) lässt einen H₂-Anteil von bis zu 10 Vol.-% zu.
- **Beachte:** 10 Vol.-% sind nicht immer regelkonform realisierbar.
- Die neuesten Forschungsergebnisse und ergänzenden Arbeiten werden zu einer weiteren Öffnung führen (bis 20 Vol.-%).

Das Deutsche Erdgasnetz



Aktuell:

H₂-Readiness bis
10 Vol.-% H₂-Zumischung



- Ein H₂-Anteil von bis zu 10 Vol.-% im Gasgemisch ist gemäß DVGW Arbeitsblatt G 260 heute zulässig. Zur Absicherung wurden diverse DVGW-F&E-Forschungsprojekte durchgeführt, z. B.:
 - **Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI (G 201615):**
Absicherung der Bemessung nach TRGI, des Sicherheitskonzepts sowie deren wesentliche Bauteile (Materialien)
 - **Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz | Auswirkungen auf den Betrieb von Gasanwendungstechnologien im Bestand, auf Gas-plus-Technologien und auf Verbrennungsregelungsstrategien (G 5/01/12):**
Einspeisung von bis zu 10 Vol.-% H₂ in ein Erdgasnetz mit 180 Gasgeräten, erste grundlegende Praxiserfahrungen Einspeisung und Gasgerätebetrieb, begleitende Laboruntersuchungen bis 30 Vol.-% H₂ (Betriebssicherheit)

Wasserstoff in der Anwendung

➤ Quo vadis Wasserstoff?

Noch höhere Anteile im Gasgemisch oder reine Wasserstoffwirtschaft?

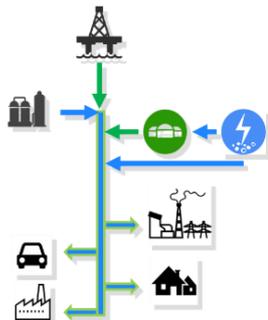
Quo vadis Wasserstoff?

Das Deutsche Erdgasnetz

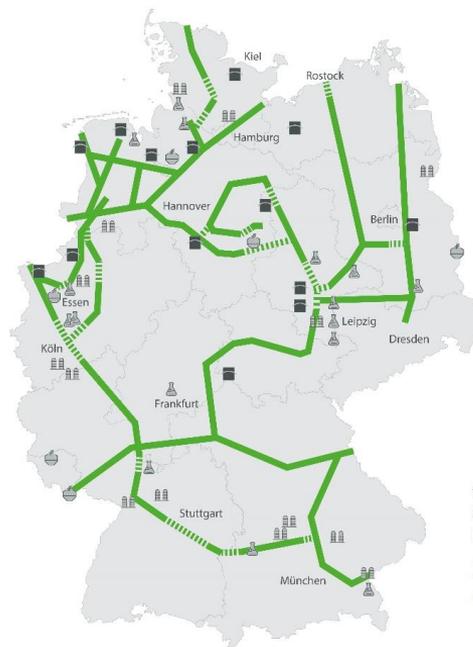


Das Ziel:

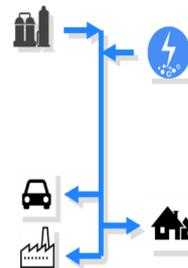
H₂-Readiness bis
20 Vol.-% H₂-Zumischung



Vision der FNB bzgl. einer (zusätzlichen) Wasserstoffinfrastruktur



- Historische Kavernenspeicher
- Raffinerie
- Stahlindustrie
- Chemie
- Mögliche Neubaugebiete für H₂-Lagerung
- H₂-Lösungen nach petroliertem Umleitung bestehender Erdgasleitungen



Das (Fern-)Ziel:
100 % H₂

Wasserstoff in der Anwendung

➤ F&E-Aktivitäten auf dem Weg zu höheren H₂-Anteilen

Das DVGW-Regelwerk wird für höhere Zumischungen geöffnet, zur Absicherung sind umfangreiche F&E-Aktivitäten erforderlich.

Eine weitere Erhöhung des Wasserstoffanteils erfordert weitreichende F&E-Aktivitäten aller Akteure (hier Fokus Anwendung)

Der DVGW arbeitet in enger Abstimmung mit den Geräteherstellern und den Instituten an den Herausforderungen. Dazu wurden diverse F&E-Projekte initiiert. Auch die Industrie (z. B. Thermoprozessindustrie) ist in Forschungsprojekten direkt eingebunden.



H₂-Substitution | Auswirkung von H₂-Zumischungen auf industrielle Feuerungsprozesse in Thermoprozessanlagen



THyGA | Testing Hydrogen Admixture for Gas Appliances



- **Roadmap Gas 2050** | Entwicklung einer Roadmap zur Umsetzung des DVGW-Energieimpulses bis zum Jahr 2050
- **H2-20** | Wasserstoff in der Gasinfrastruktur - DVGW/Avacon-Pilotvorhaben mit bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff-Einspeisung in Erdgas

H₂-Substitution

Untersuchung der Auswirkung von H₂-Zumischungen in das Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen – Auswirkungen auf die Produktqualität und die gasführende Installation (gefördert durch die AIF, Laufzeit 09/2019 – 09/2021).

Ziele

- Ermittlung von Zusammenhängen zwischen der H₂-Konzentration im Erdgas und möglicher Beeinflussungen metallischer Werkstoffe in thermischen Prozessen
- Untersuchung möglicher Effekte auf Rohr- und Ventilwerkstoffe
- Durchführung umfangreicher werkstoffwissenschaftlicher Materialanalysen
- Ofenversuche mit verschiedenen H₂/Erdgas-Gemischen zur Wärmebehandlung und zum Schmelzen

Partner



Gemischte Proben

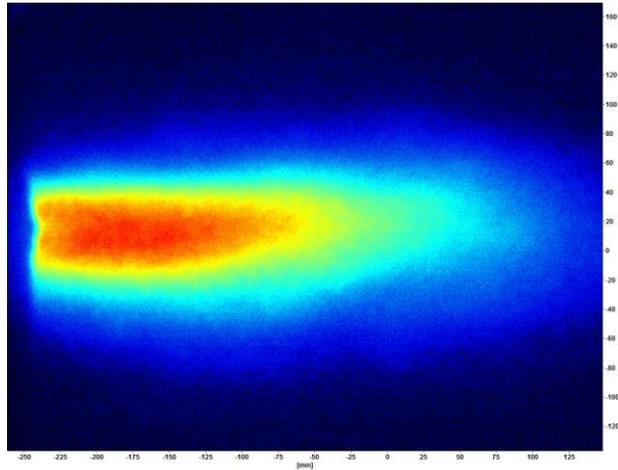


Schmelzversuche

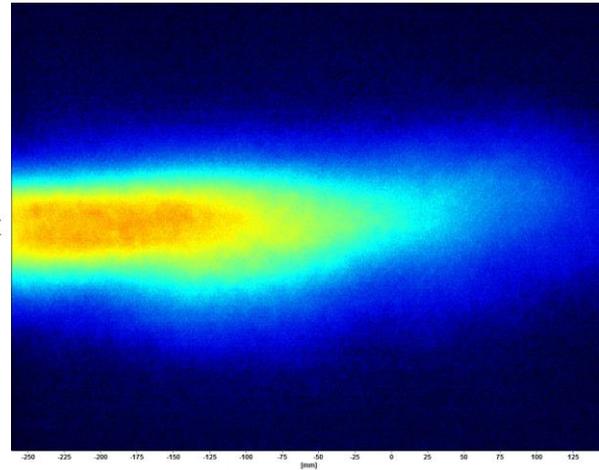


H₂-Substitution | Experimentelle Untersuchungen zur Brennerregelung unter verschieden hohen H₂-Anteilen

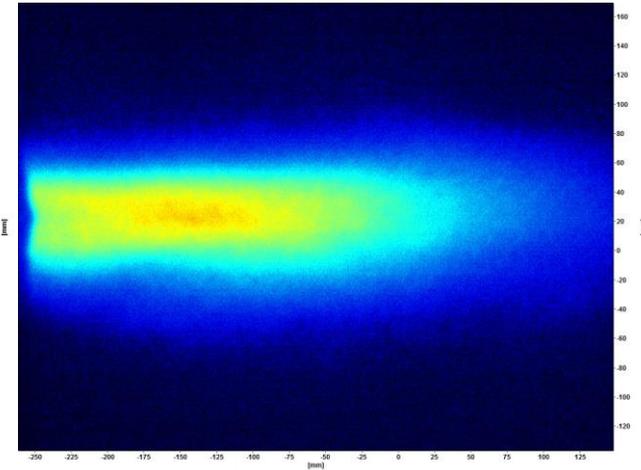
Experimentelle Untersuchungen an Brenner I, Szenario 3: Luftzahl und Leistung konstant, d. h. Volumenstrom Gas und Luft werden angepasst („best case“): Flammen-Visualisierung mittels OH-Chemoluminiszenz.



100 Vol.-% Erdgas

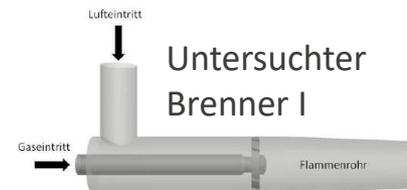


Erdgas mit 10 Vol.-% H₂



Erdgas mit 50 Vol.-% H₂

Aus Sicht eines Betreibers stellt Wasserstoff im Gasmisch grundsätzlich ein Gasbeschaffenheitsthema dar, daher sind Brenner- und Anlagensteuerung ein bedeutendes Thema.



THyGA consortium added-value



• European gas research group



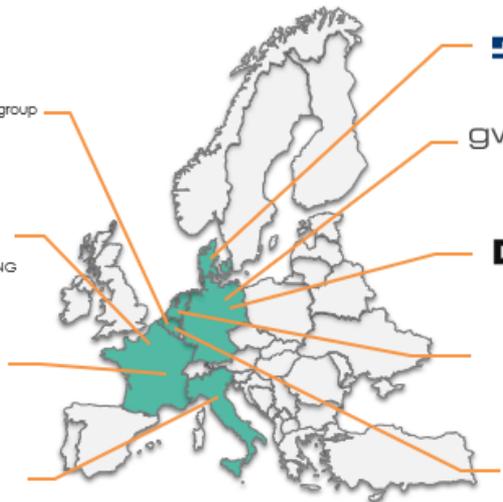
- Gas operation
- Theoretical and experimental knowledge on hydrogen utilization
- Mitigation measures for managing the effect of H₂ in NG



- Transport or storage of hydrogen gas or NG/H₂ mixtures
- Analyze the non-combustion related impacts when using NG/H₂ blend



- Manufacturer for household appliances



- Development, calculations, measurements, laboratory testing, experiments and demonstration for energy gases



- Knowledge and test for increasing the hydrogen concentration in gas system



- Testing, surveying and certifying all products for the use and distribution of gas



- Manufacturer and distributor of smart climate and sanitary hot water solutions



- Natural gas system operators

Struktur

9 Partner (ENGIE (Koord.), DGC, GWI, gas.be, CEA, DVGW-EBI, BDR Thermea, Electrolux, GERG)

5 Labore für Gerätetests bis zu 100 Vol.-% H₂ (ENGIE, DGC, GWI, EBI, gas.be)

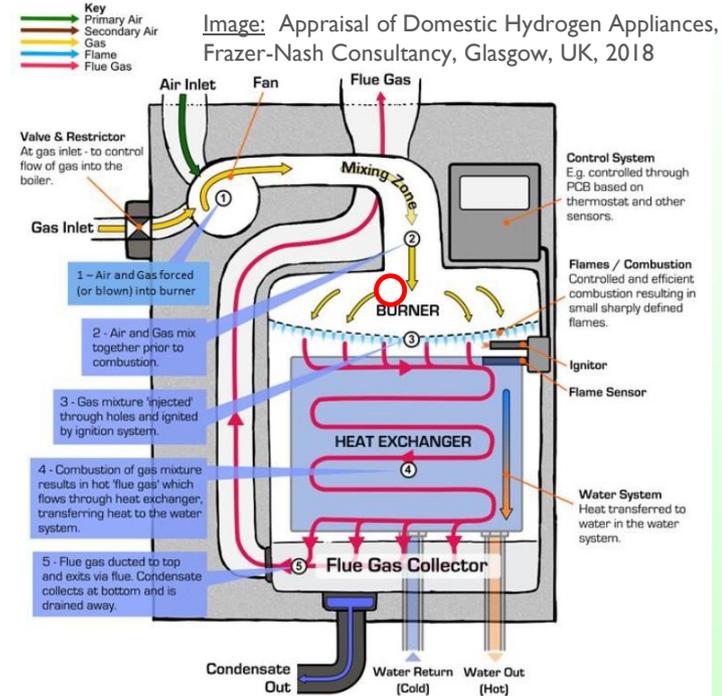
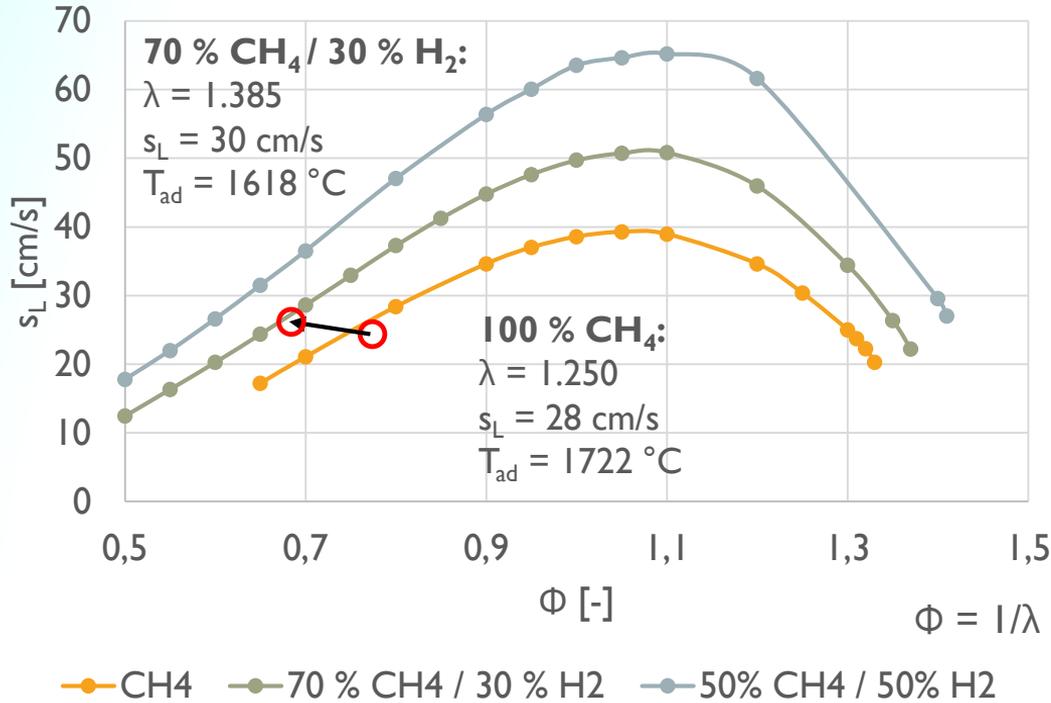
Laufzeit

01/2020 – 12/2022

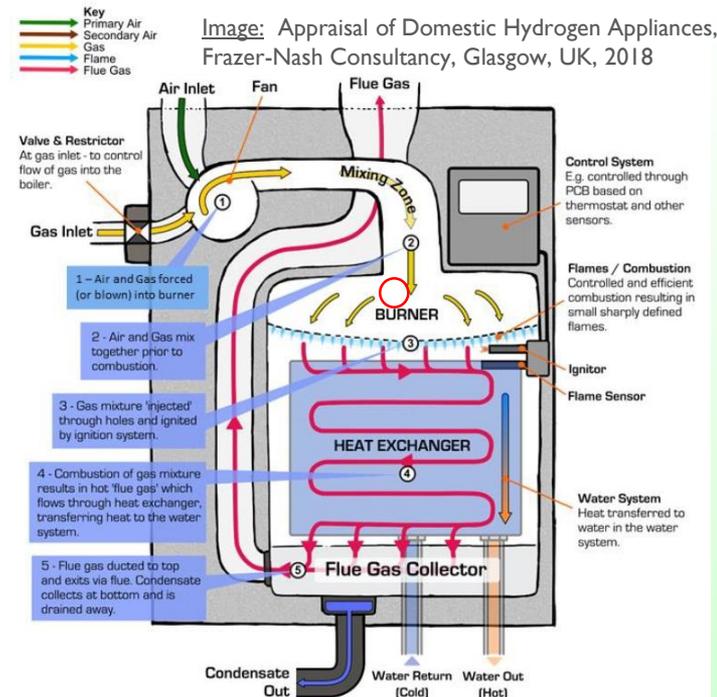
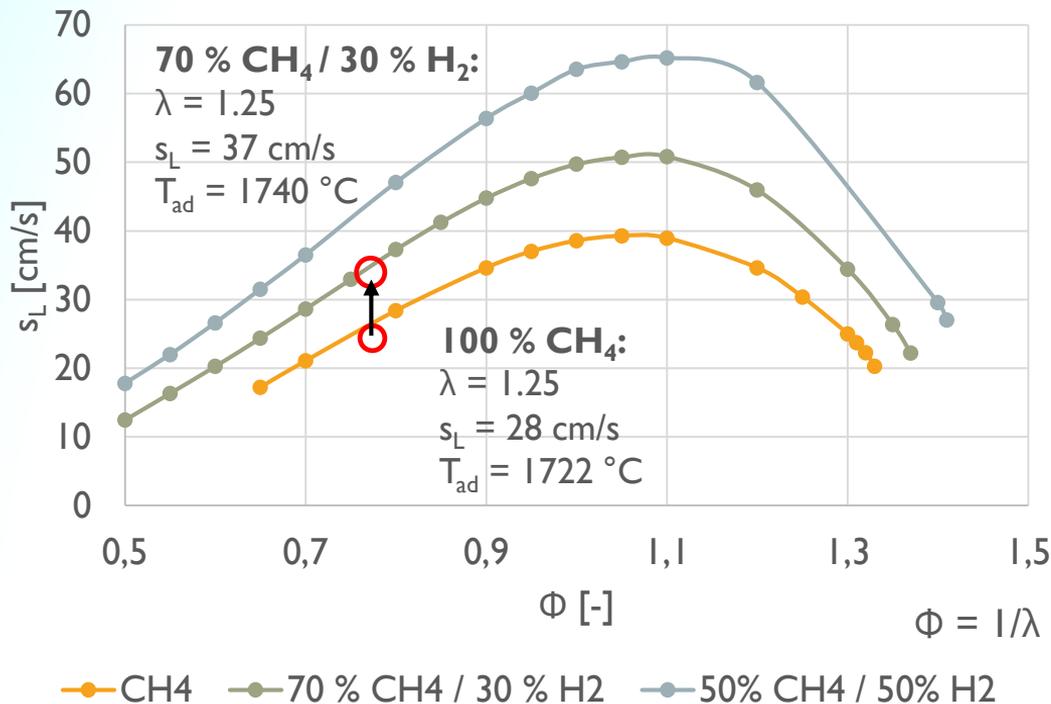
Ziele

- H₂-Konzentrationen bis über 30 Vol.-% geplant (max. 50 bis 60 Vol.-%); Tests inkl. Flash back, Dichtigkeit, Sicherheit, Emissionen, Effizienzen, Anpassung auf repräsentative Gasarten; flankierende Simulationen
- Weiterentwicklung regulatorischer Rahmen, Standards, Zertifizierung
- Einbindung der Hersteller und Verbände, z.B. EHI, Viessmann, Weishaupt, Wolf, Vaillant, usw.
- GWI baut seine Möglichkeiten der Gasmischung für dieses und weitere H₂-Projekte aus und wird über 20 Tests durchführen, darunter auch 2 Langzeittests

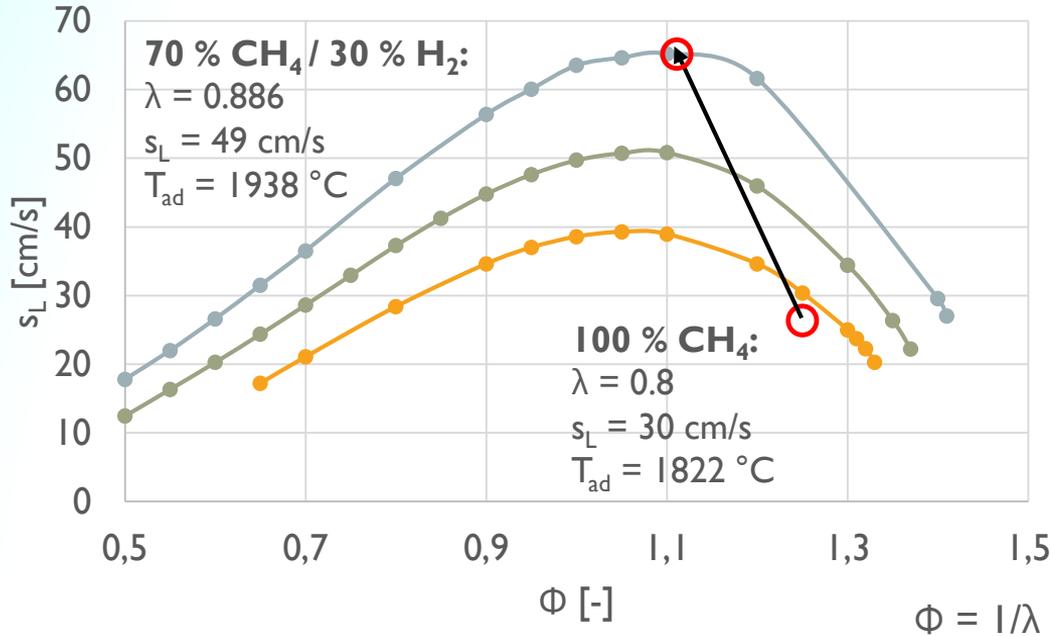
IMPACT ON A HEATING APPLIANCE (NO COMBUSTION CONTROL)



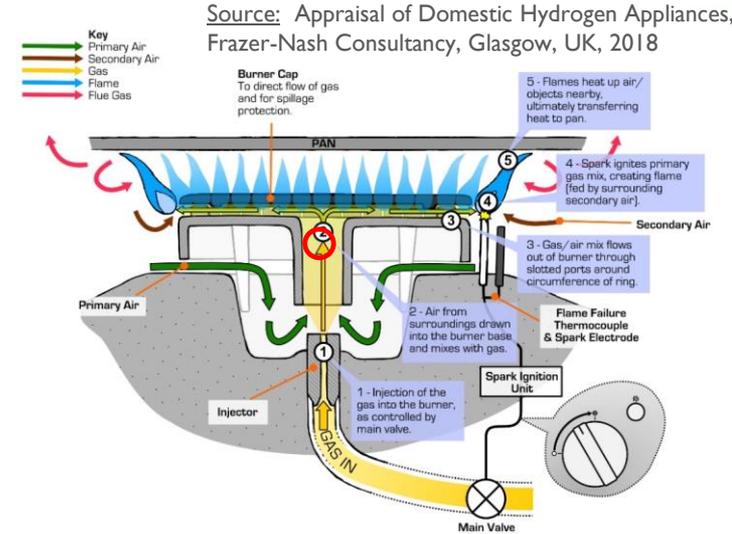
IMPACT ON A HEATING APPLIANCE (WITH COMBUSTION CONTROL)



IMPACT ON A PARTIALLY PREMIXED COOKING HOB



—●— CH₄ —●— 70 % CH₄ / 30 % H₂ —●— 50% CH₄ / 50% H₂



DVGW-Verbundforschungsvorhaben „Roadmap Gas 2050“

Projektpartner:	DVGW-EBI, DBI, GWI, Fraunhofer ISI
Dauer:	3 Jahre, in 2 Phasen à 18 Monate
Beginn:	01. Juli 2019
Budget:	2.767 T€ (Phase I: 1.694 T€, Phase II: 1.073 T€)



Zielsetzung:

- Strategie für die Bereitstellung von EE-Gasen definieren (Biogas, H₂, SNG)
- Anpassungs-/Umrüstbedarf Gasanwendungen definieren (Bestand, Neuanlagen)
- Entwicklung eines ganzheitlichen, zahlenbasierten Konzeptes zur Nutzung der Gasinfrastruktur und Gasanwendungen
- Transformationsprozesse zur Implementierung der „Gasstrategie“ definieren



Projekt mit hoher Relevanz für Strategiediskussion und Regelwerksarbeit

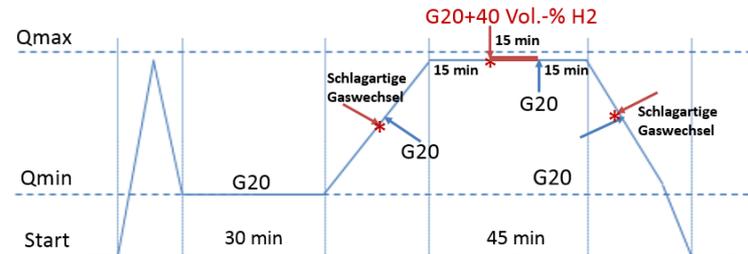
GWI Teilprojekt 3 | Roadmap „Gasanwendungen“: Beispielhaftes Ergebnis einer Messung an einem Brennwertgerät mit Verbrennungsregelung

Auswertung der Messung (G 20 und G 20+40 Vol.-% H₂, Q_{max}, T_{VL}/T_{RL}: 50/30 °C), Mittelwerte

Gasart	Messzeit	T _{VL}	T _{RL}	m _{Wasser}	T _{Abgas}	V _{n, Gas}	Q _{Wasser}	P _{Gas}	η _{Kessel}
	hh:mm	in °C	in °C	in kg/min	in °C	in m ³ /h	in kW	in kW	in %
G 20	00:10	50,12	30,30	18,40	50,20	2,50	25,39	24,89	102,0
G 20+40 Vol.-% H ₂	00:12	47,97	30,30	18,40	48,90	3,06	22,64	21,96	103,1
G 20	00:08	50,09	30,32	18,41	50,21	2,48	25,35	24,69	102,9

Gasart	CO _{lftr.}	NO _{X,lftr.}	CO _{2,Abgas}	O _{2,Abgas}	Luftzahl λ	T _{Gas}	T _{Luft}	p _{Gas}	p _{Umgebung}
	in ppm	in ppm	in Vol.-%	in Vol.-%	[-]	in °C	in °C	in mbar	in mbar
G 20	31,57	22,48	8,57	5,65	1,33	22,0	22,5	20,0	1020
G 20+40 Vol.-% H ₂	16,14	8,39	6,30	7,91	1,53	22,0	22,5	20,0	1016
G 20	31,44	22,06	8,57	5,64	1,33	22,0	22,6	20,0	1021

Gasart	CH _{4, Mischgas}	CH _{4, Abgas}	I _{Ionisation}
	in Vol.-%	in ppm	in μA
G 20	99,8	0,0	16,8
G 20+40 Vol.-% H ₂	59,1	0,0	16,7
G 20	99,8	0,0	16,8



DVGW-Verbundforschungsvorhaben „H2-20“

Projektpartner: Avacon Netz, DVGW-EBI, GWI

avacon

DVGW

gwi

Dauer: 3 Jahre

Beginn: 01. Oktober 2019

Budget: 1.720 T€

Unterstützende
Firmen:

**inter
cal**
Wärmetechnik

BOSCH
Technik fürs Leben

Vaillant

dr dreizler

remeha

SIEMENS

Buderus

VIESSMANN

viega

MEDENUS
Gas Pressure Regulation

MHG
MHG Heiztechnik

**BRÖTJE
HEIZUNG**

**MHG
MEISTERlinie**

**LPR
ENERGY**

DUNGS
Combustion Controls

Zielsetzung:

Demonstration der Beimischung von 20 Vol.-% H₂ in ein reales Versorgungsgebiet mit ca. 450 Gasgeräten, um

- Auswirkungen von höheren H₂-Beimischungen auf den Gerätebestand zu erfassen,
- Handlungsempfehlungen für Gasanwendung und Gastransport zu erarbeiten,
- die Realdaten in die Erstellung einer Normungs-Roadmap einfließen zu lassen.



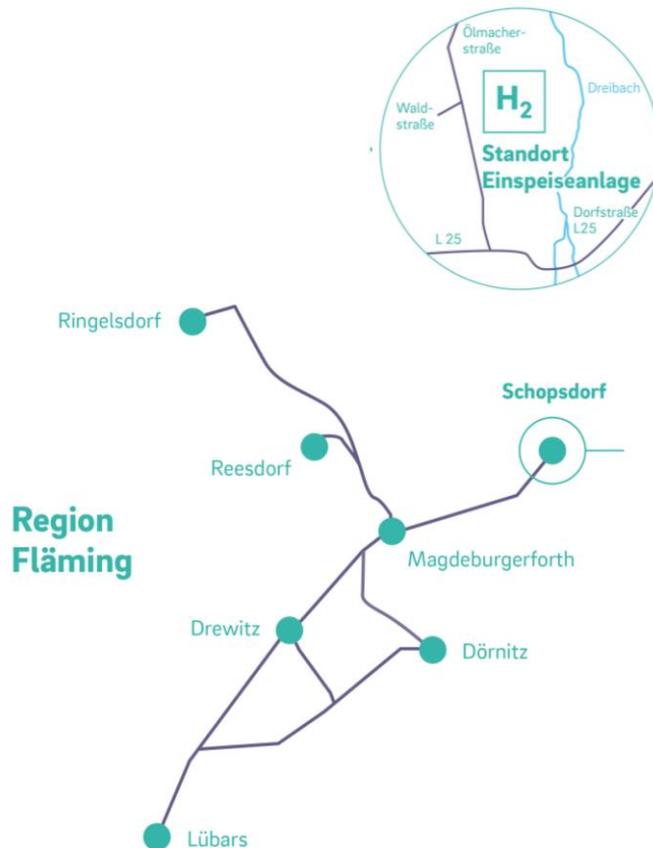
Projekt mit strategischer Relevanz zur Absicherung höherer H₂-Anteile in der Praxis!

DVGW
FORSCHUNG

Projekt-/Netzgebiet:

Das Projekt-/Netzgebiet der avacon Netz GmbH liegt in Schopisdorf im Jerichower Land, Sachsen-Anhalt:

- Typische Netzstruktur – 35 km PE-Leitung
- Baujahr 1994
- Einseitige Einspeisung
- Angemessene Größe und Kundenzahl (340)



Methodik Gasgerätetests:

Beimischung von bis zu 20 Vol.-% H₂ ins Gasnetz bis zu den Endverbrauchern nur auf Basis positiver Ergebnisse auf Prüfständen mit bis zu 30 Vol.-% H₂.

Einstufungsuntersuchung bei der Erhebung mit Prüfgas G 222 (23 Vol.-% H₂ in CH₄).

Wasserstoff in der Anwendung

➤ Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Der Dialogprozeß Gas des BMWi endete äußerst positiv für den Energieträger Gas, u.a. werden alle grünen, klimafreundlichen Gase angesprochen, zudem soll der Einsatz grüner Gase (auch H₂) in allen Sektoren vorangebracht werden!

Die Nationale Wasserstoffstrategie des BMWi sieht Wasserstoff als vielfältig einsetzbaren Energieträger zur Dekarbonisierung der Sektoren Mobilität, Industrie und Wärme!

- Die Öffnung des DVGW-Regelwerks für Wasserstoffanteile bis 20 Vol.-% ist gestartet worden, dazu wurden - nicht nur - im DVGW begleitende F&E-Aktivitäten mit allen Akteuren sowie in sämtlichen Bereichen der Kette **Erzeugung – Transport – Speicherung – Anwendung** gestartet (entsprechende F&E-Programme Bund, Länder und EU).
- **Die Industrie muss begleitet werden**, sie benötigt nachhaltige und verlässliche Rahmenbedingungen, dann werden Entwicklungen gestartet!
- Der Fokus der Gasgeräteuntersuchungen (plus KWK und Brennstoffzellen) liegt aktuell auf **Betriebsicherheit** und **Materialtauglichkeit**. **Akustikprobleme** können auftreten!
- Die zeitliche aufgelöste **Schwankungsbreite des H₂-Anteils** darf nicht beliebig (groß) sein!
- **Die technisch begründete Einspeisegrenze für H₂ wird durch den Gasgerätebestand vorgegeben!**

Die BDR Thermea Gruppe hat 2020 einen Brennwertkessel für den Betrieb mit 100 % Wasserstoff vorgestellt. Alle großen Gerätehersteller beschäftigen sich intensiv mit dem Thema, weitere Produktvorstellungen werden folgen (ISH 2021*).

- Anwendungstechnik für den Einsatz mit 100 Vol.-% Wasserstoff erfordert in der Regel Neukonstruktionen.
- Ein Mischbetrieb von 100 Vol.-% CH₄ / 0 Vol.-% H₂ bis 0 Vol.-% CH₄ / 100 Vol.-% H₂ ist nach jetzigem Diskussionsstand technisch nicht sinnvoll umsetzbar.
- Das entsprechende Zertifizierungsprogramm zur Zulassung von Gasgeräten für den reinen H₂-Einsatz ist zurzeit noch nicht finalisiert.
- Die Hersteller von Industriebrennern arbeiten an technischen Lösungen, um höhere H₂-Anteile verarbeiten zu können. Kompensationsmethoden / intelligentere Brennersteuerungen werden immer bedeutender.



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Kontakt: Dr.-Ing. Rolf Albus
Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.
Hafenstr. 101 | 45356 Essen