

# 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 H<sub>2</sub>-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?

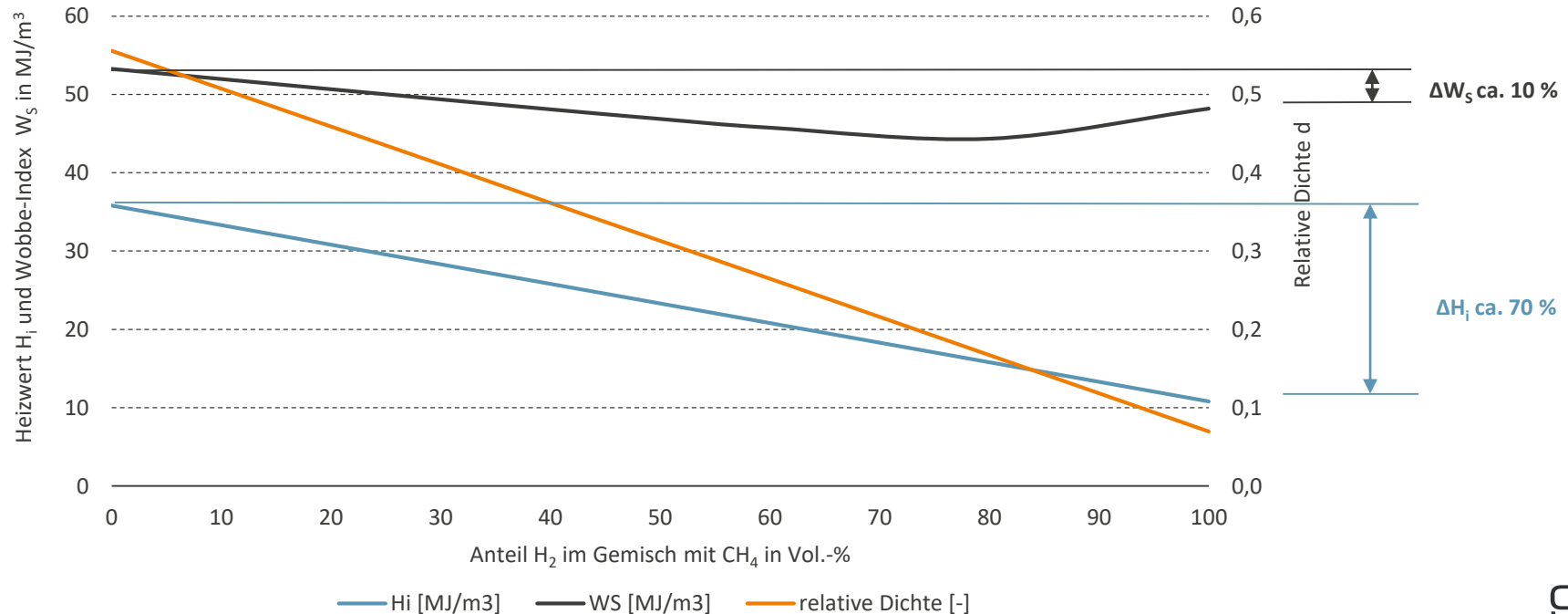
# Wasserstoff und Methan | Wichtige Kenngrößen im Vergleich

- 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 <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
Verbrennungsgeschwindigkeit 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).

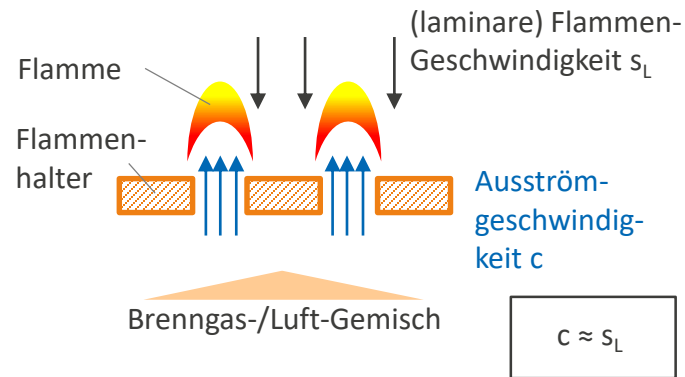
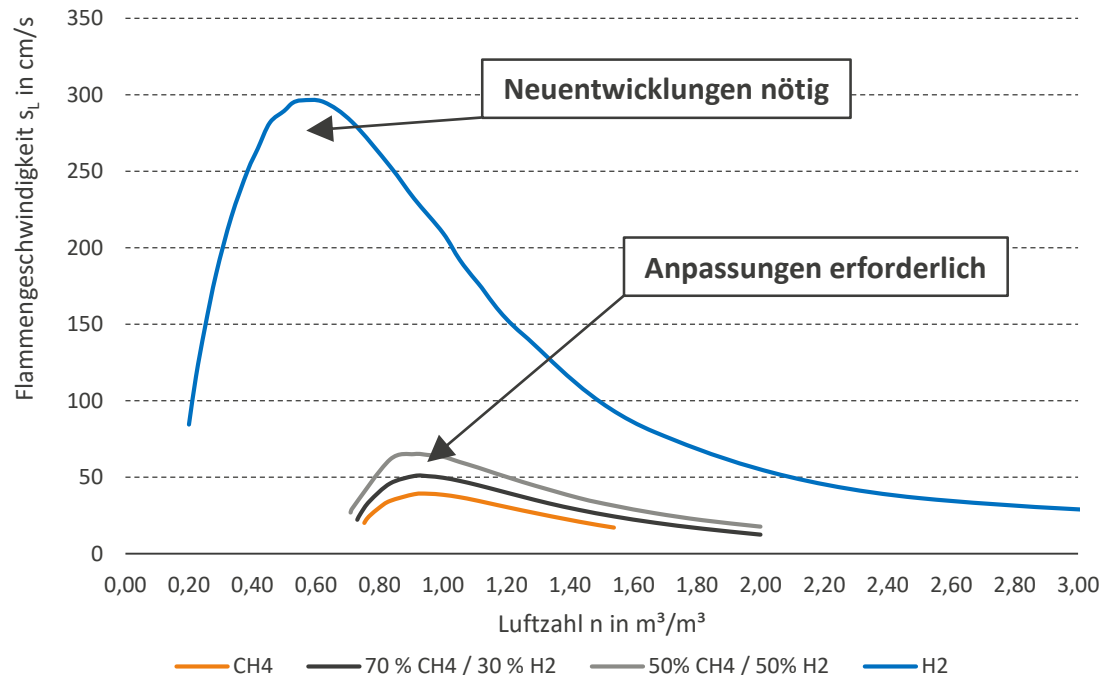




# Flammengeschwindigkeit $s_L$ für $\text{CH}_4$ , $\text{H}_2$ und $\text{CH}_4/\text{H}_2$ -Gemische

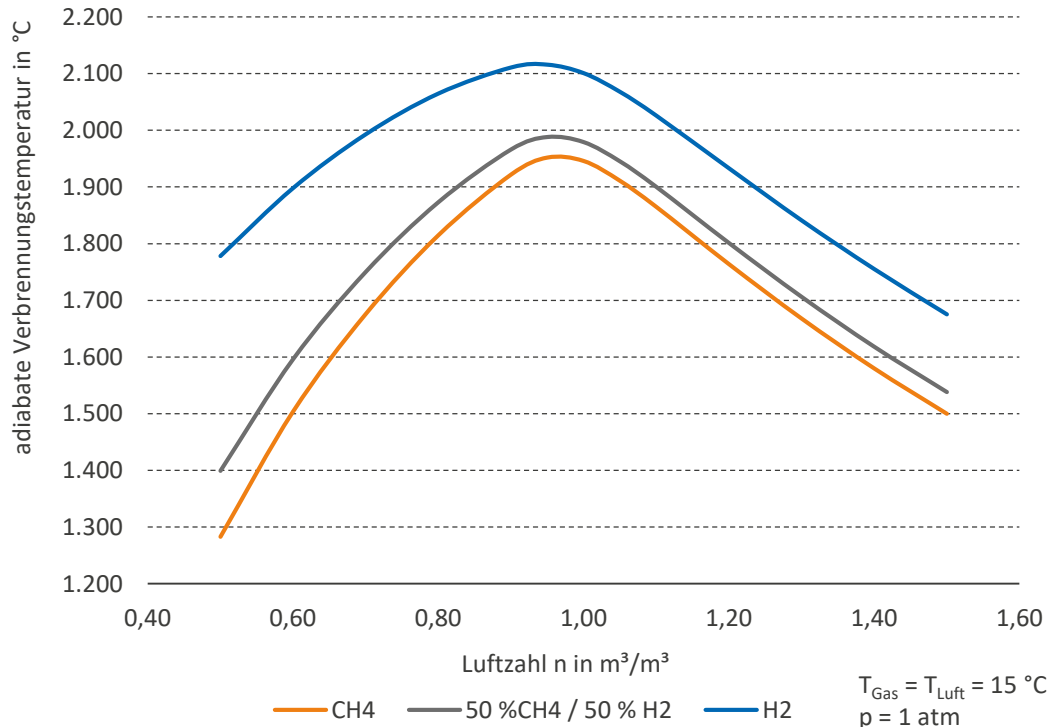
Die (laminare) Flammengeschwindigkeit im  $\text{CH}_4/\text{H}_2$ -Gemisch ändert sich wesentlich erst bei sehr großen  $\text{H}_2$ -Anteilen.

Aber: Die Stabilität der Verbrennung muss gesichert sein!



# Adiabate Verbrennungstemperaturen für CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>-Gemische

Die adiabate Verbrennungstemperatur steigt mit zunehmendem H<sub>2</sub>-Anteil im Gasgemisch, das Maximum liegt jeweils im nahstöchiometrischen Bereich.



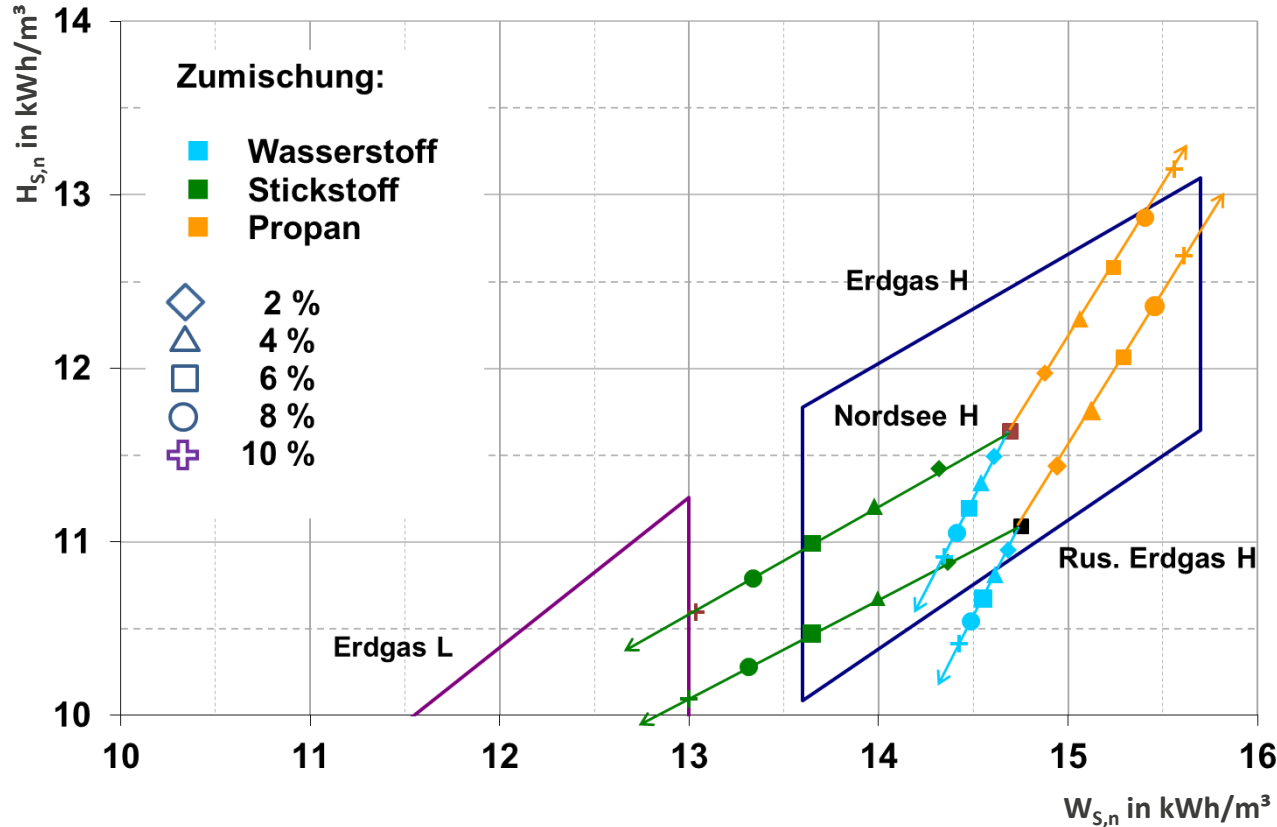
- Höhere Verbrennungstemperaturen führen auch zu höheren Temperaturen der Brenneroberfläche, in der Brennkammer, im Abgas usw., sofern nicht geregelt wird.
  - Steigende Temperaturniveaus können zu erhöhter Schadstoffbildung führen, z. B. thermisches NO.
- Ein regulierender bzw. kompensierender Eingriff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

# Wasserstoff in der Anwendung

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

Das DVGW Arbeitsblatt G 260 erlaubt eine H<sub>2</sub>-Einspeisung von bis zu 10 Vol.-%

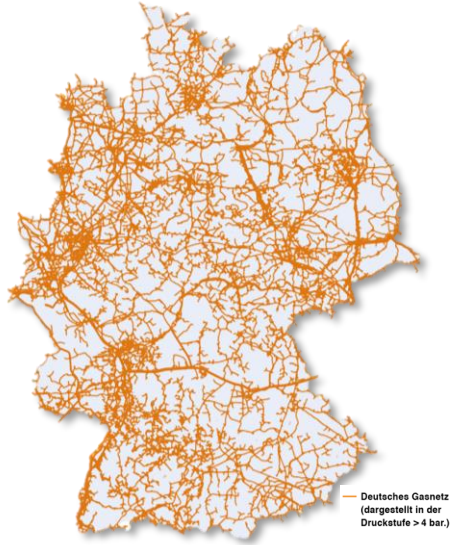
# Einfluss von Wasserstoff auf die 2. Gasfamilie gemäß DVGW G 260



- Das DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“ (Ausgabe 2013) lässt einen  $\text{H}_2$ -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.-%).

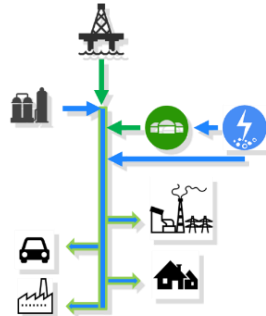
# Wasserstoff im Gasgemisch | Aktuell möglich: Einspeisung von bis zu 10 Vol.-%

## Das Deutsche Erdgasnetz



### Aktuell:

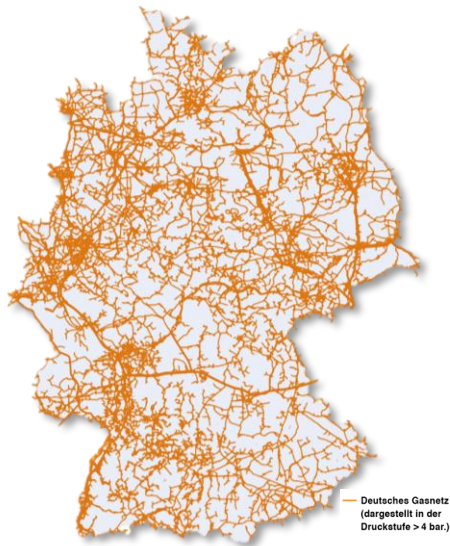
H<sub>2</sub>-Readiness bis  
10 Vol.-% H<sub>2</sub>-Zumischung



- Ein H<sub>2</sub>-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.-% H<sub>2</sub> in ein Erdgasnetz mit 180 Gasgeräten, erste grundlegende Praxiserfahrungen Einspeisung und Gasgerätebetrieb, begleitende Laboruntersuchungen bis 30 Vol.-% H<sub>2</sub> (Betriebssicherheit)

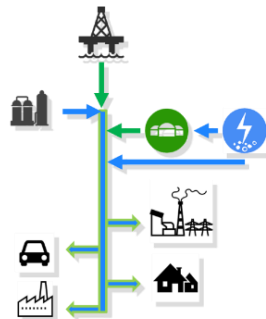
# Wasserstoff im Gasmisch | Aktuell möglich: Einspeisung von bis zu 10 Vol.-%

## Das Deutsche Erdgasnetz

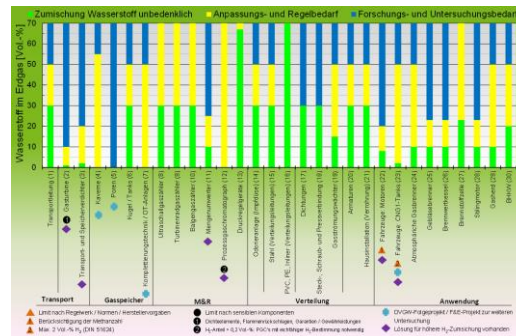


**Aktuell:**

H<sub>2</sub>-Readiness bis  
10 Vol.-% H<sub>2</sub>-Zumischung



- Ein H<sub>2</sub>-Anteil von bis zu 10 Vol.-% im Gasmisch ist gemäß DVGW Arbeitsblatt G 260 heute zulässig. Zur Absicherung wurden diverse DVGW-F&E-Forschungsprojekte durchgeführt, z. B.:
  - **Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen (G 1/02/12):** Analyse und Bewertung der Wasserstofftoleranz aller Bauteile, Anlagen und Messtechnik sowie Speicher im Bereich Transport- und Verteilnetze bis hin zur Anwendung. Aufzeigen von Handlungsbedarf in Entwicklung und Normung.



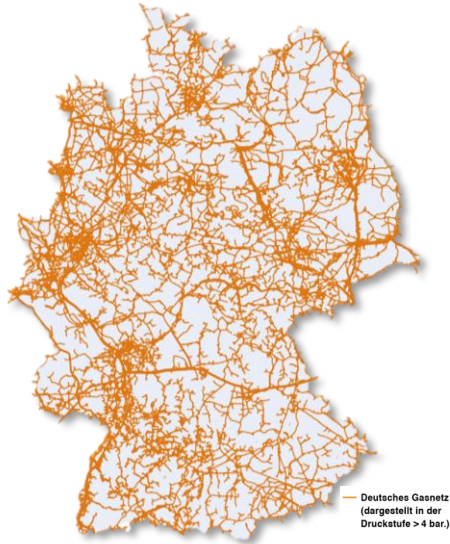
# Wasserstoff in der Anwendung

## ➤ Quo vadis Wasserstoff?

Noch höhere Anteile im Gasgemisch oder reine Wasserstoffwirtschaft?

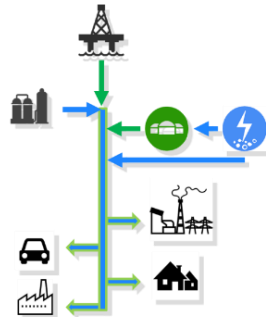
# Quo vadis Wasserstoff?

## Das Deutsche Erdgasnetz

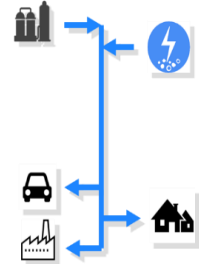
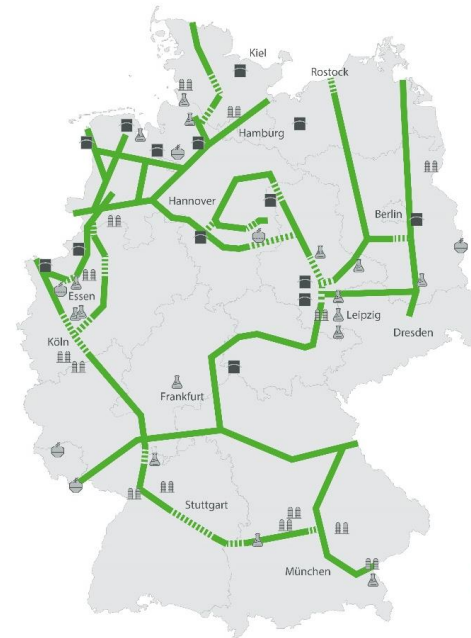


### Das Ziel:

H<sub>2</sub>-Readiness bis  
20 Vol.-% H<sub>2</sub>-Zumischung



## Vision der FNB bzgl. einer (zusätzlichen) Wasserstoffinfrastruktur



### Das (Fern-)Ziel:

100 % H<sub>2</sub>



# Wasserstoff in der Anwendung

## ➤ F&E-Aktivitäten auf dem Weg zu höheren H<sub>2</sub>-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.



**H<sub>2</sub>-Substitution** | Auswirkung von H<sub>2</sub>-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

# H<sub>2</sub>-Substitution

**Untersuchung der Auswirkung von H<sub>2</sub>-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 H<sub>2</sub>-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 H<sub>2</sub>/Erdgas-Gemischen zur Wärmebehandlung und zum Schmelzen

## Partner



Gemischte Proben

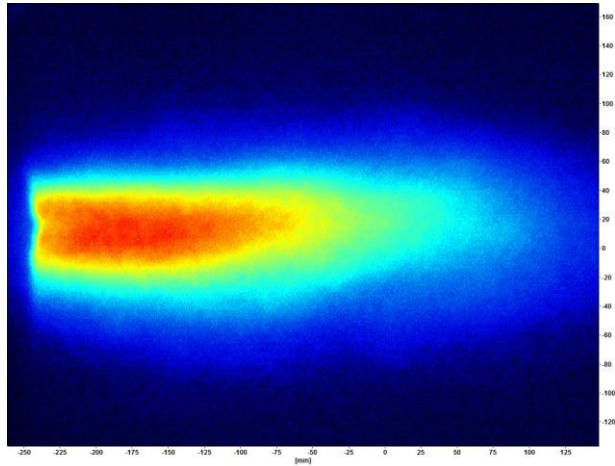


Schmelzversuche

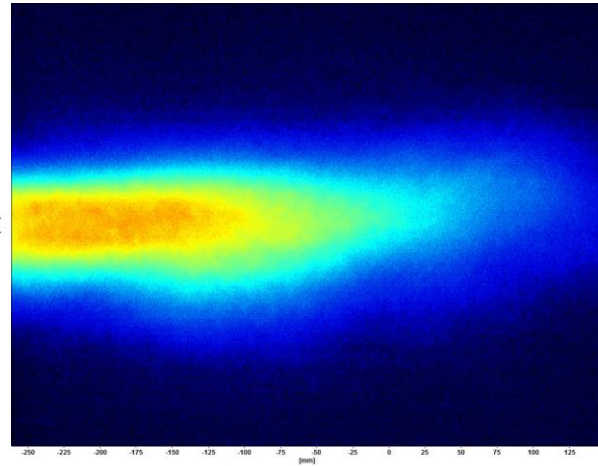


# H<sub>2</sub>-Substitution | Experimentelle Untersuchungen zur Brennerregelung unter verschieden hohen H<sub>2</sub>-Anteilen

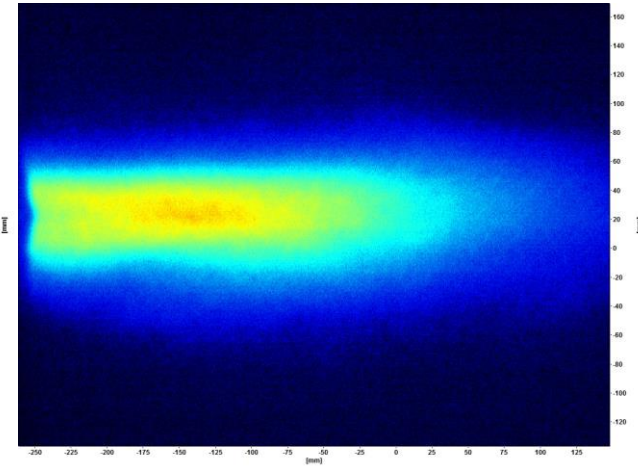
Experimentelle Untersuchungen an Brenner I, Szenario 3: Luftzahl und Leistung konstant, d. h. Volumenstrom Gas und Luft werden angepasst („best case“): Flammen-Visualisierung mittels OH-Chemoluminiszenz.



100 Vol.-% Erdgas

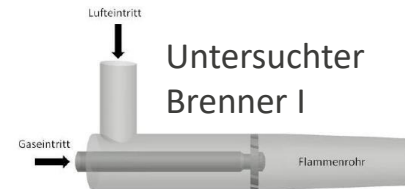


Erdgas mit 10 Vol.-% H<sub>2</sub>



Erdgas mit 50 Vol.-% H<sub>2</sub>

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



Untersuchter Brenner I

## THyGA consortium added-value



• European gas research group



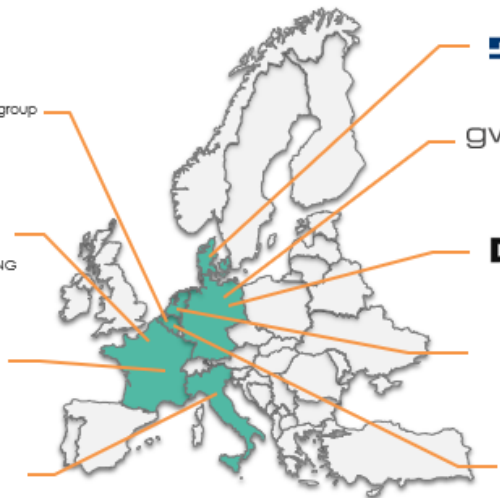
- Gas operation
- Theoretical and experimental knowledge on hydrogen utilization
- Mitigation measures for managing the effect of H<sub>2</sub> in NG



- Transport or storage of hydrogen gas or NG/H<sub>2</sub> mixtures
- Analyze the non-combustion related impacts when using NG/H<sub>2</sub> 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.-% H<sub>2</sub> (ENGIE, DGC, GWI, EBI, gas.be)

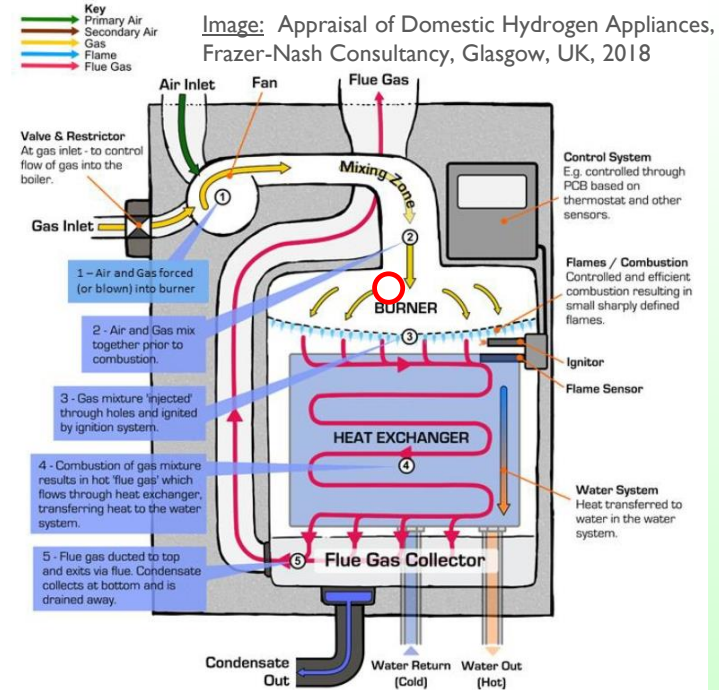
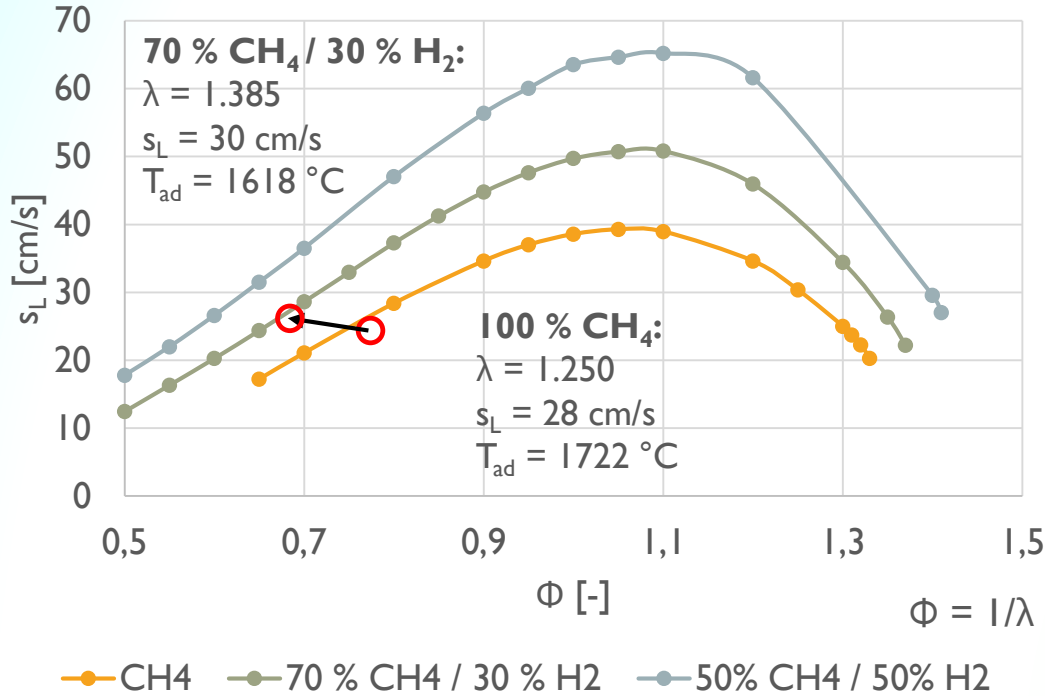
## Laufzeit

01/2020 – 12/2022

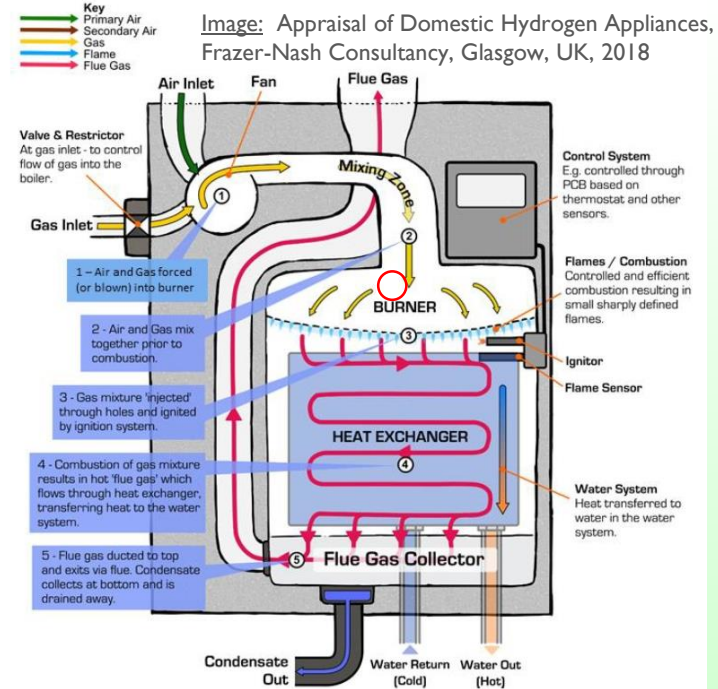
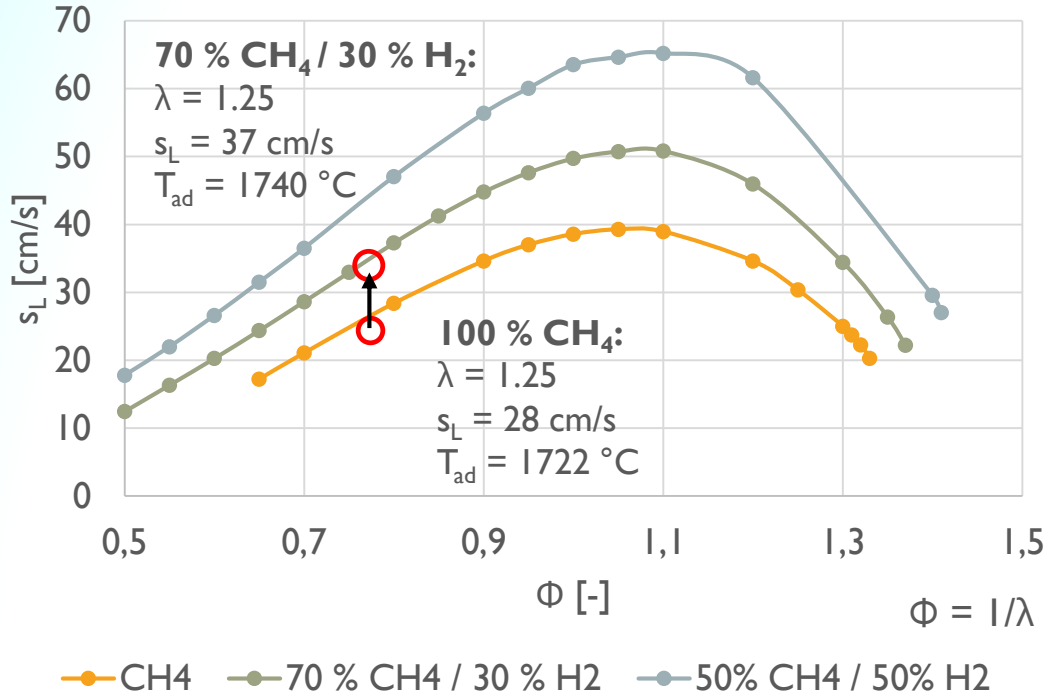
## Ziele

- H<sub>2</sub>-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 H<sub>2</sub>-Projekte aus und wird über 20 Tests durchführen, darunter auch 2 Langzeittests

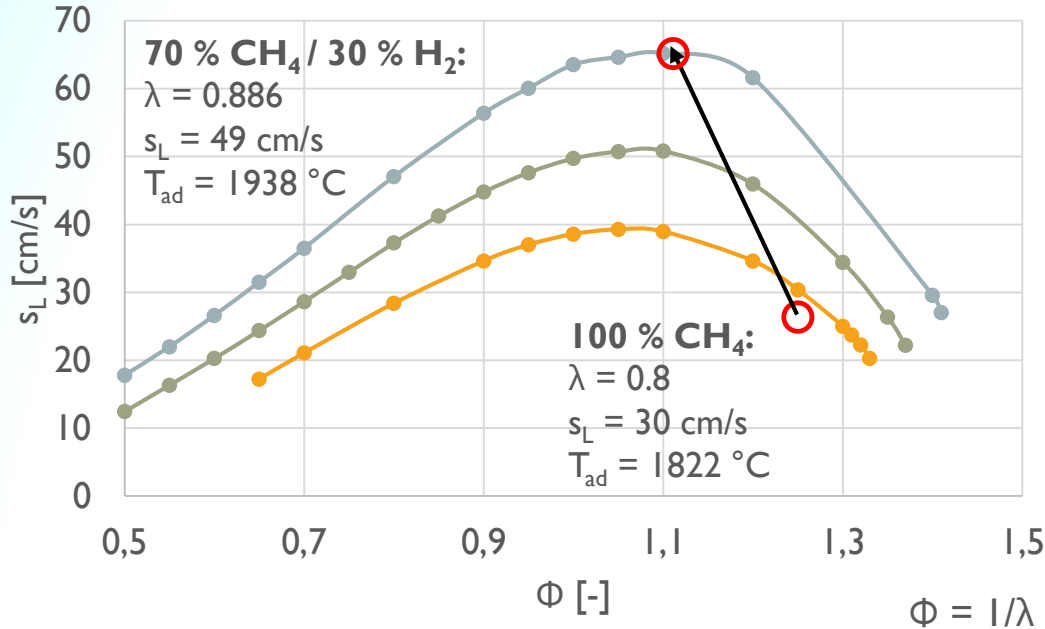
# IMPACT ON A HEATING APPLIANCE (NO COMBUSTION CONTROL)



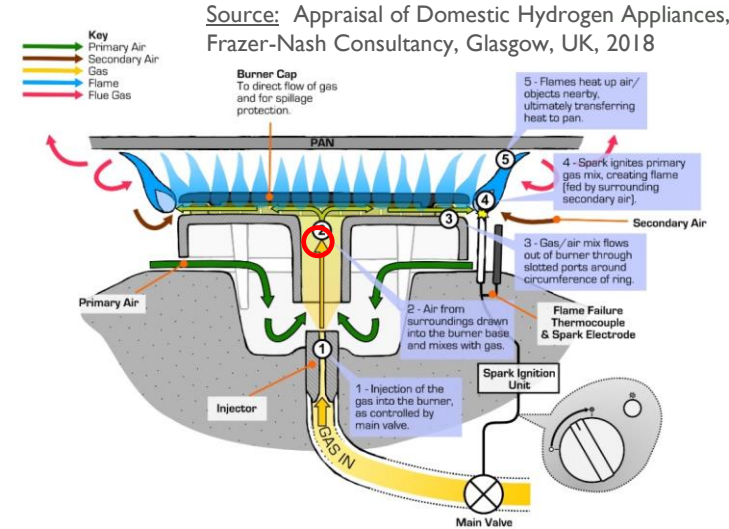
# IMPACT ON A HEATING APPLIANCE (WITH COMBUSTION CONTROL)



# IMPACT ON A PARTIALLY PREMIXED COOKING HOB



—●— CH<sub>4</sub>    —●— 70 % CH<sub>4</sub> / 30 % H<sub>2</sub>    —●— 50% CH<sub>4</sub> / 50% H<sub>2</sub>





# DVGW-Verbundforschungsvorhaben „Roadmap Gas 2050“

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



## Zielsetzung:

- Strategie für die Bereitstellung von EE-Gasen definieren (Biogas, H<sub>2</sub>, 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**

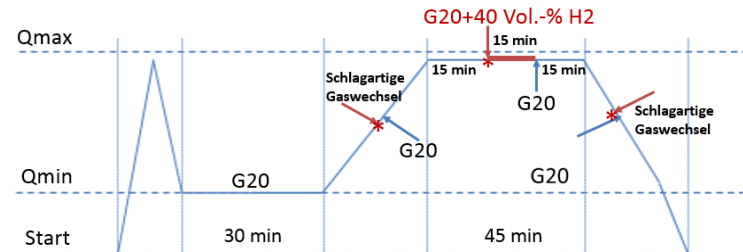
# GWI Teilprojekt 3 | Roadmap „Gasanwendungen“: Beispielhaftes Ergebnis einer Messung an einem Brennwertgerät mit Verbrennungsregelung

Auswertung der Messung (G 20 und G 20+40 Vol.-% H<sub>2</sub>, Q<sub>max</sub>, T<sub>VL</sub>/T<sub>RL</sub>: 50/30 °C), Mittelwerte

Gasart	Messzeit	T <sub>VL</sub>	T <sub>RL</sub>	m <sub>Wasser</sub>	T <sub>Abgas</sub>	V <sub>n, Gas</sub>	Q <sub>Wasser</sub>	P <sub>Gas</sub>	η <sub>Kessel</sub>
	hh:mm	in °C	in °C	in kg/min	in °C	in m <sup>3</sup> /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 <sub>2</sub>	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 <sub>lftr.</sub>	NO <sub>X,lftr.</sub>	CO <sub>2,Abgas</sub>	O <sub>2,Abgas</sub>	Luftzahl λ	T <sub>Gas</sub>	T <sub>Luft</sub>	p <sub>Gas</sub>	p <sub>Umgebung</sub>
	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 <sub>2</sub>	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 <sub>4, Mischgas</sub>	CH <sub>4, Abgas</sub>	I <sub>Ionisation</sub>
	in Vol.-%	in ppm	in μA
G 20	99,8	0,0	16,8
G 20+40 Vol.-% H <sub>2</sub>	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.-% H<sub>2</sub> in ein reales Versorgungsgebiet mit ca. 450 Gasgeräten, um

- Auswirkungen von höheren H<sub>2</sub>-Beimischungen auf den Gerätebestand zu erfassen,
- Handlungsempfehlungen für Gasanwendung und Gastransport zu erarbeiten,
- die Realdaten in die Erstellung einer Normungs-Roadmap einfließen zu lassen.



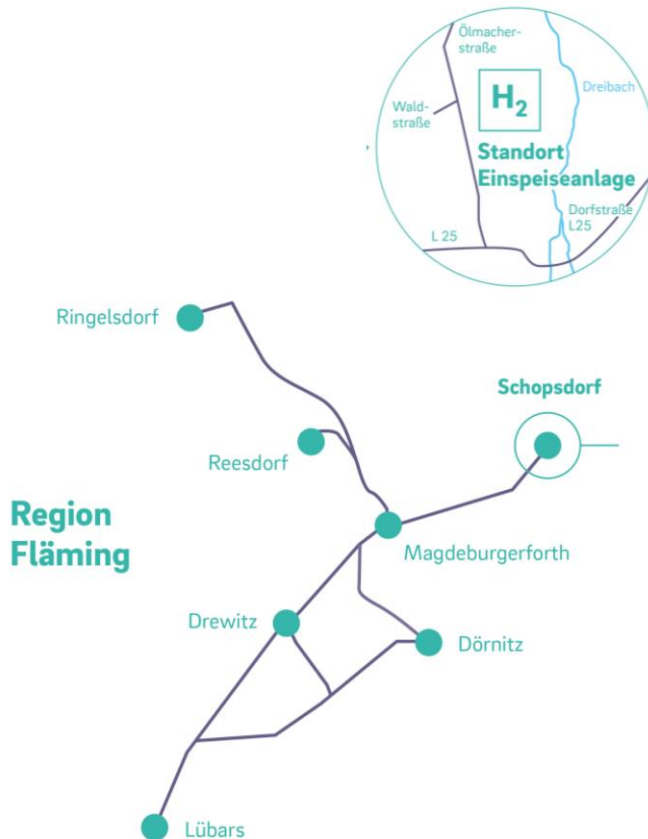
**Projekt mit strategischer Relevanz zur Absicherung höherer H<sub>2</sub>-Anteile in der Praxis!**

**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.-%  $H_2$  ins Gasnetz bis zu den Endverbrauchern nur auf Basis positiver Ergebnisse auf Prüfständen mit bis zu 30 Vol.-%  $H_2$ .

Einstufungsuntersuchung bei der Erhebung mit Prüfgas G 222 (23 Vol.-%  $H_2$  in  $CH_4$ ).

# 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 H<sub>2</sub>) 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 H<sub>2</sub>-Anteils** darf nicht beliebig (groß) sein!
- **Die technisch begründete Einspeisegrenze für H<sub>2</sub> 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.-% CH<sub>4</sub> / 0 Vol.-% H<sub>2</sub> bis 0 Vol.-% CH<sub>4</sub> / 100 Vol.-% H<sub>2</sub> ist nach jetzigem Diskussionsstand technisch nicht sinnvoll umsetzbar.
- Das entsprechende Zertifizierungsprogramm zur Zulassung von Gasgeräten für den reinen H<sub>2</sub>-Einsatz ist zurzeit noch nicht finalisiert.
- Die Hersteller von Industriebrennern arbeiten an technischen Lösungen, um höhere H<sub>2</sub>-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