

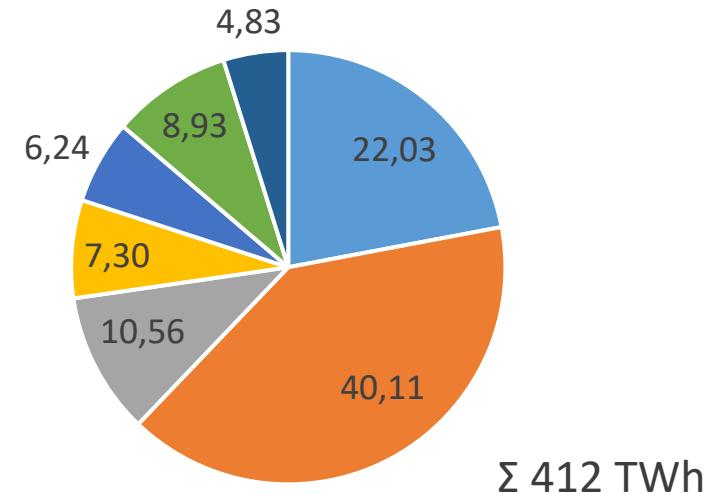
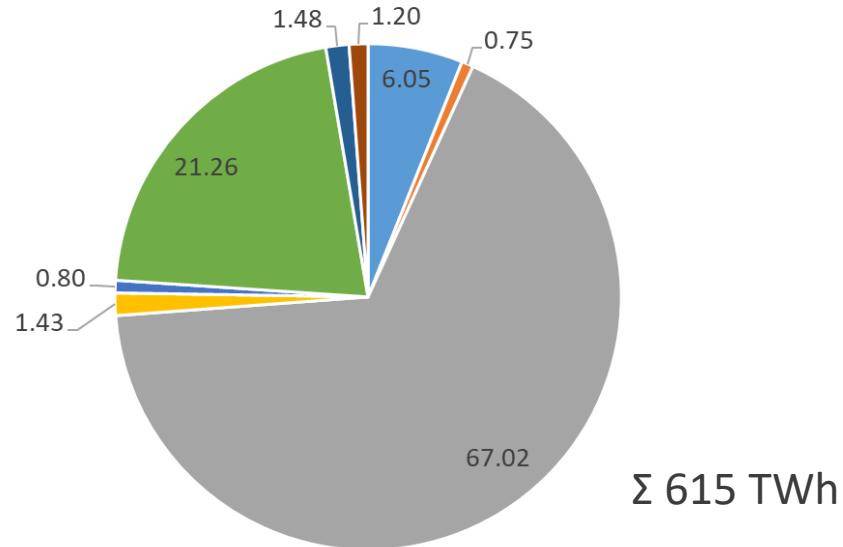
Erkenntnisse aus der Forschung und Entwicklung von Brenner-Technologien

Online-Austausch „H₂ in Industrie und Gewerbe“

Dr.-Ing. Jörg Leicher

Energiebedarf und Energieträger in der Industrie (2023)

Energiebedarf in der Industrie nach Anwendung in % Energieträger für Prozesswärme in %

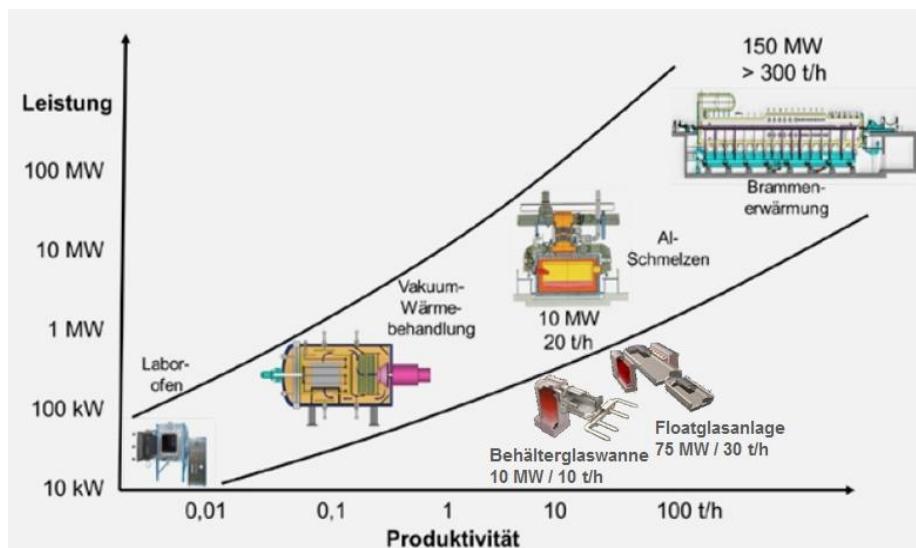
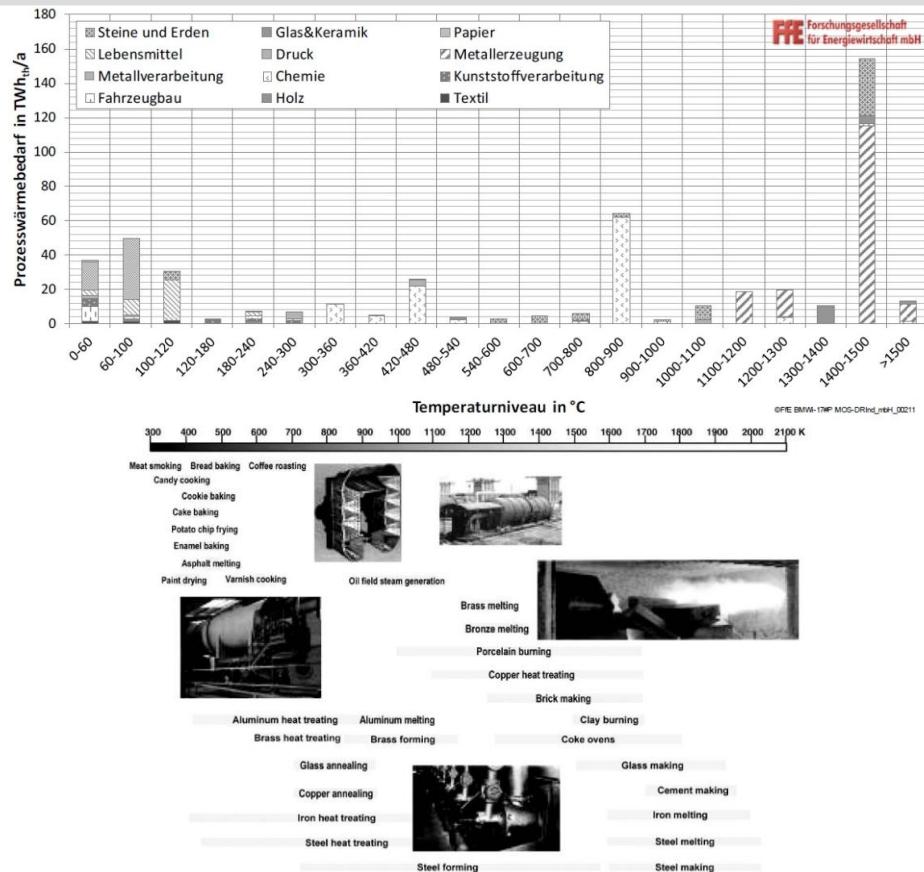


- Raumwärme
- Prozesswärme
- Klimakälte
- Beleuchtung
- Warmwasser
- Prozesskälte
- Mechanische Energie
- Information & Kommunikation

- Kohlen
- Fossile Gase
- Mineralöle
- Strom
- Biomasse
- Fernwärme
- Sonstige

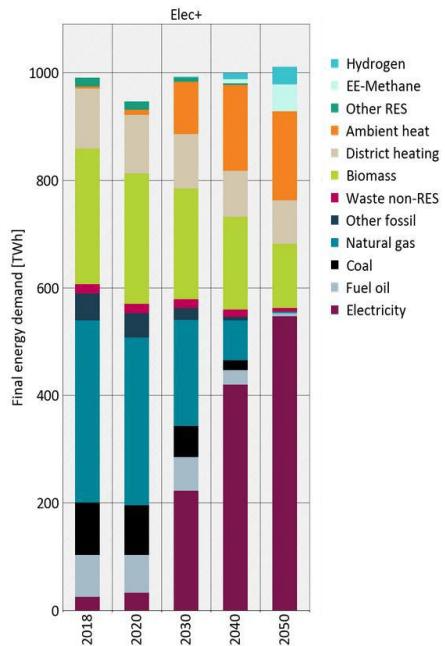
Daten: BDEW 2025

Prozesswärmeverbrauch und Anlagengrößen: there is no one-size-fits-all!

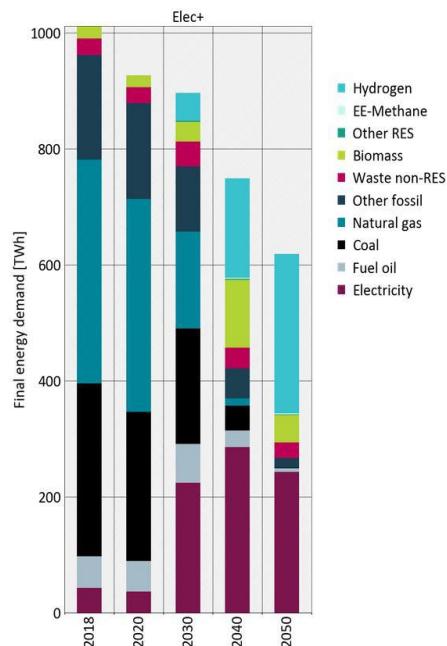


Prozesswärmebedarf und Energieträger für NT- und HT-Prozesswärme in der EU27+UK, 2019 – 2050 (Elec+-Szenario)

T < 300 °C



T > 300 °C



Quelle: Fleiter, T., al-Dabbas, K, Clement, A., Rehfeldt, M., METIS 3 - Study S5: The impact of industry transition on a CO₂-neutral European energy system, Fraunhofer ISI, 2023

Erdgas und Wasserstoff: unterschiedliche Brennstoffe

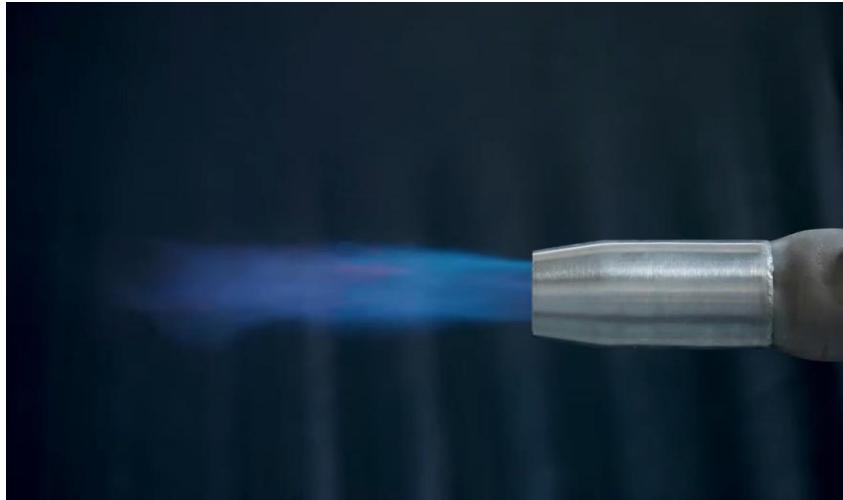
	Einheit	100 % CH ₄	80 % CH ₄ / 20 % H ₂ *	100 % H ₂
W _s	MJ/m ³	53,37	50,76	48,24
H _{i,Vol}	MJ/m ³	35,89	30,87	10,79
H _{i,m}	MJ/kg	50,03	58,13	120,01
d	-	0,5571	0,4596	0,0698
L _{min}	m ³ /m ³	9,524	8,095	2,381
T _{ad} ($\lambda = 1$)	°C	1.951	1.960	2.106
s _L ($\lambda = 1$)	cm/s	38,57	45,22	209
V _{Abg,feucht} ($\lambda = 1$)	m ³ /MWh	1.055	1.049	961
Spez. CO ₂ -Emission**	g CO ₂ /MJ	55	51	0

*: in Vol.-% **: verbrennungsbedingte CO₂-Emissionen

Bezugssystem: 25 °C / 0 °C

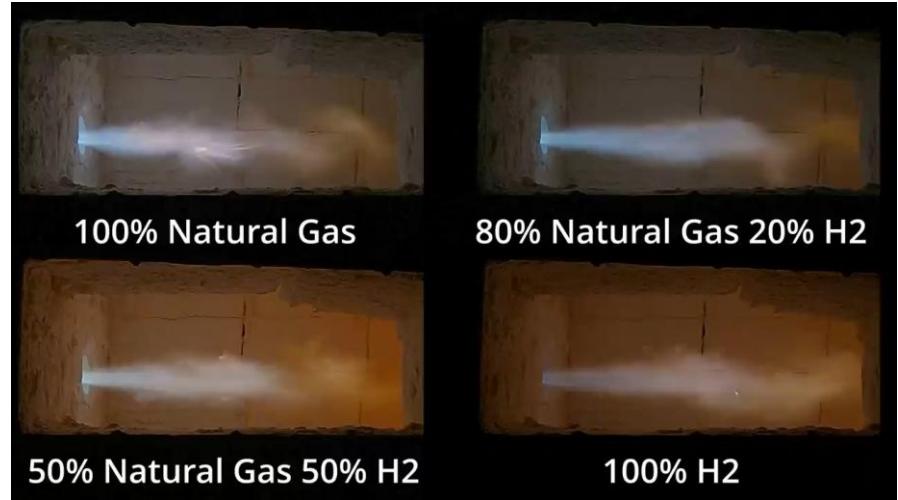
Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoff-Gemische: eine Option

Verbrennung mit Luft:



Quelle: KuepperSolutions

Verbrennung mit Sauerstoff:

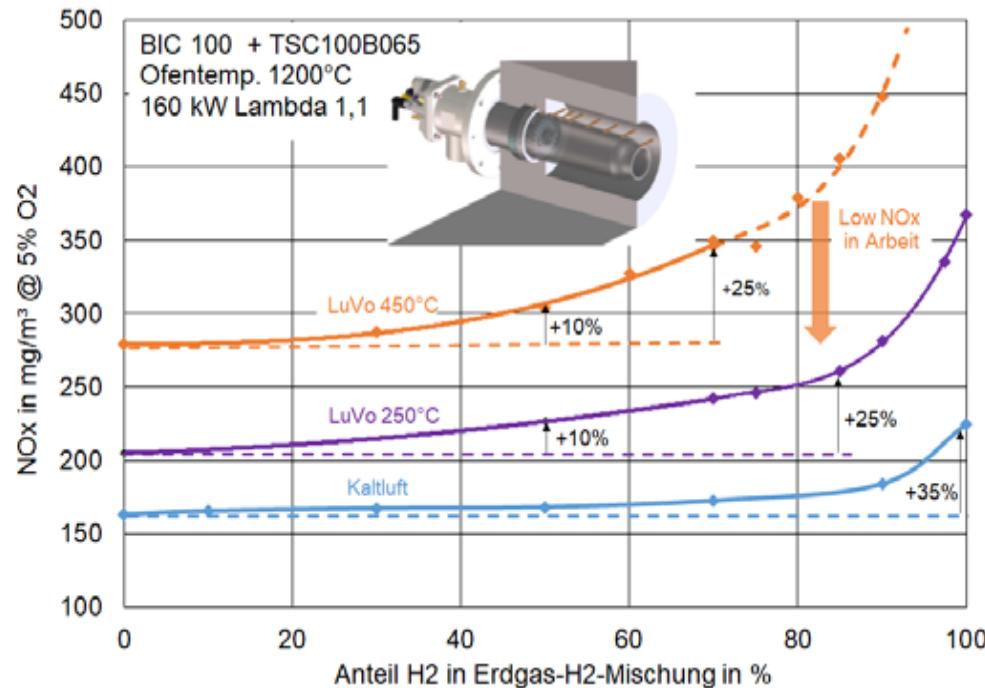
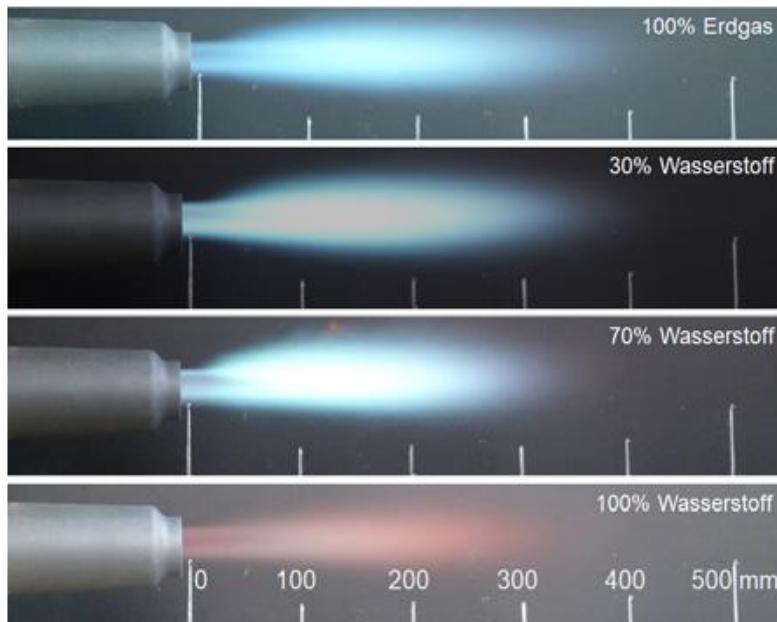


Quelle: TU Graz / Messer Group

Wasserstoff ist **nicht** Erdgas 2.0! Aber: viele der technischen Herausforderungen der Wasserstoffverbrennung, gerade im Kontext der Prozesswärmebereitstellung, sind bereits gelöst.

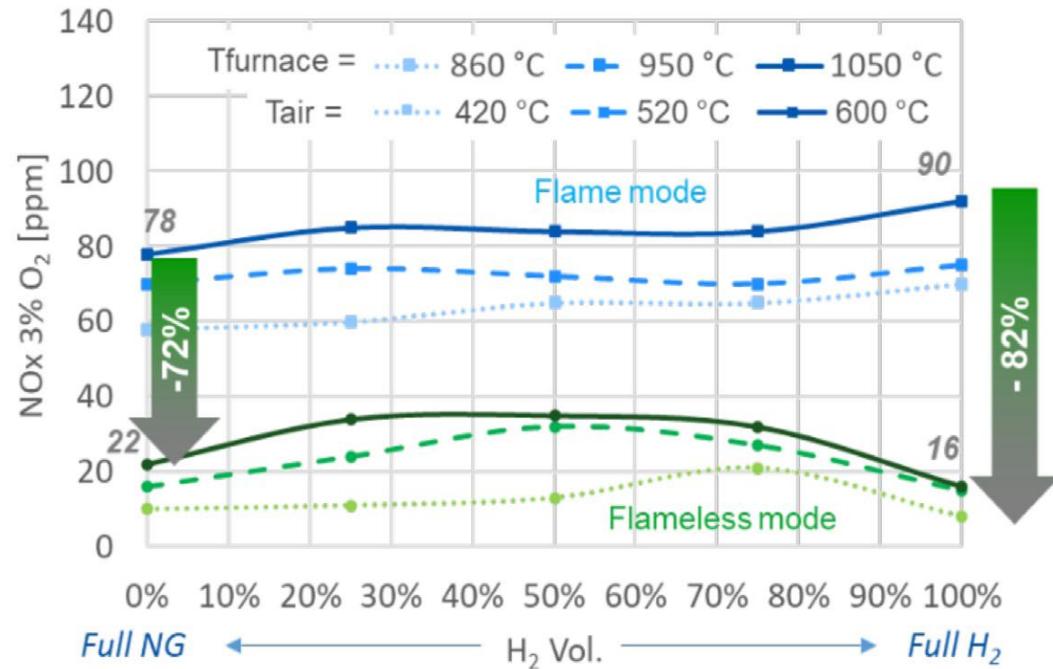
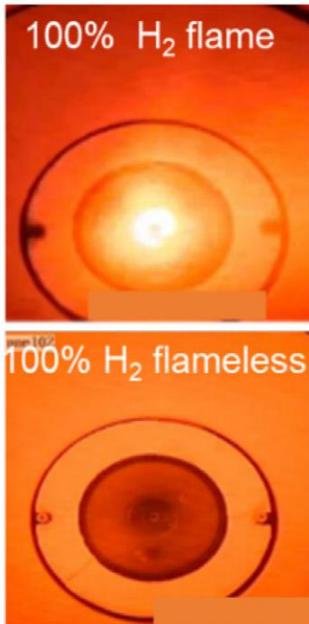
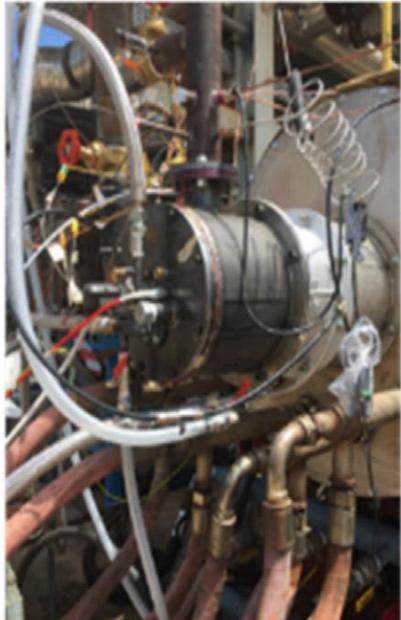
Flammenbilder und NO_x-Emissionen bei Impulsbrennern

P = 90 kW, $\lambda = 1,05$ (konstant)



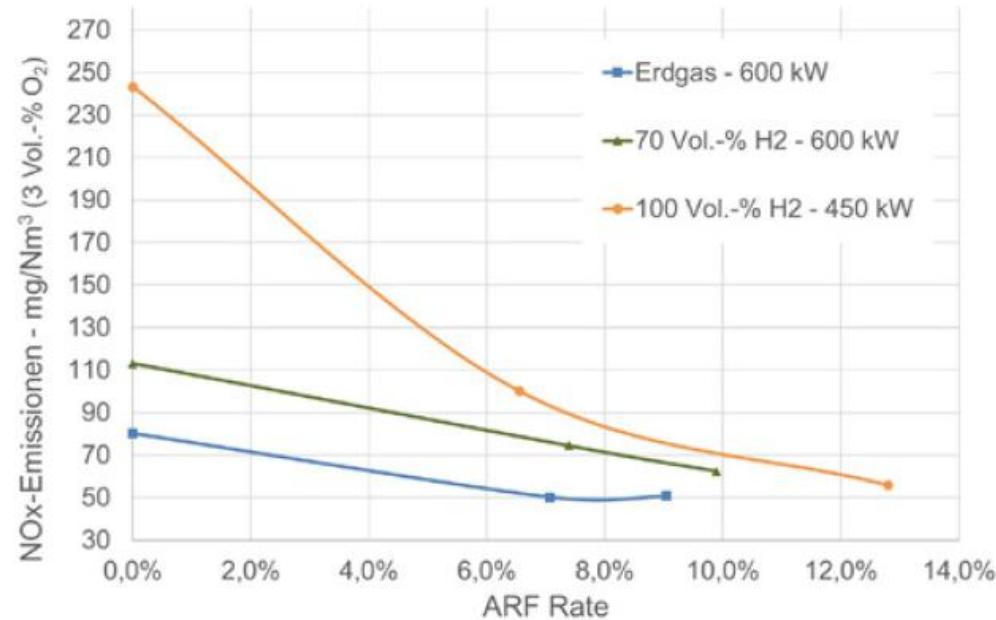
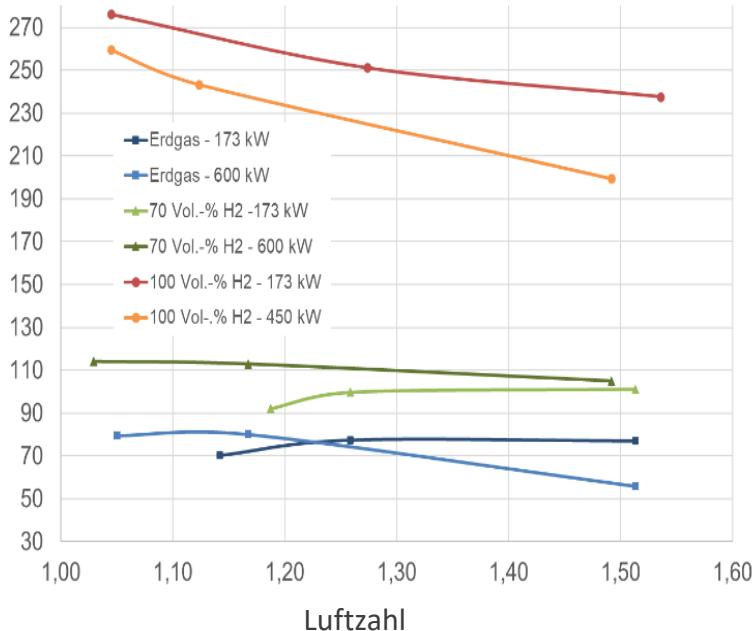
Quelle: Gitzinger, H.-P. Schröder, L., Rieken, M., Veränderungen durch Wasserstoff beim Betrieb von Rekuperator-, Impuls- und Flachflammenbrennern, Prozesswärme, Ausgabe 1, S. 40 - 45, 2022

H_2 -Verbrennung in einem Aufheizofen in der Stahlindustrie



Quelle: Astesiano, D., Bissoli, M., Della Rocca, A., Malfa, E., Wuppermann, C., Flexible hydrogen heating technologies, with low environmental impact, Matériaux & Techniques, Vol. 111, 2023, doi: 10.1051/matech/2023018

NO_x und NO_x-Minderung bei Gebläsebrennern für Kesselanwendungen

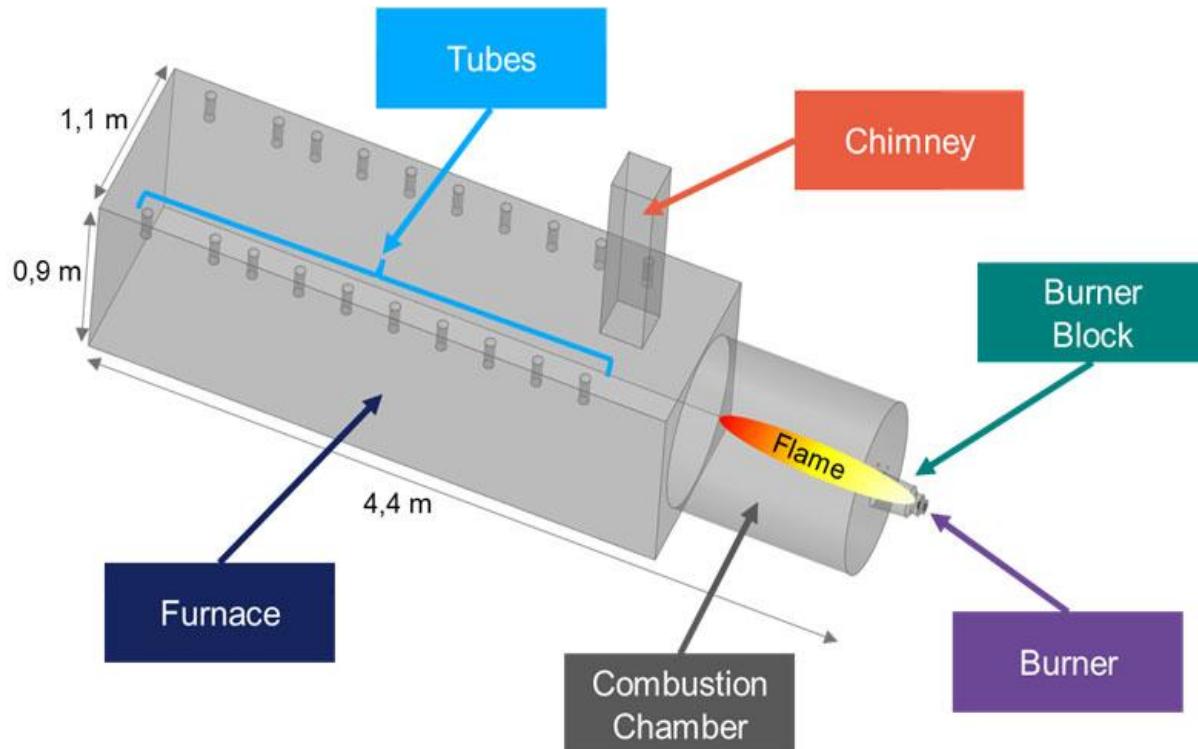


ARF: externe Abgasrückführung

$$ARF\ Rate = \frac{\dot{V}_{recirculated}}{\dot{V}_{flue}} \cdot 100\%$$

Source: Huber, A.: Auswirkungen von Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoff-gemischen auf Gasgebläsebrenner, prozesswärme Heft 04/2020

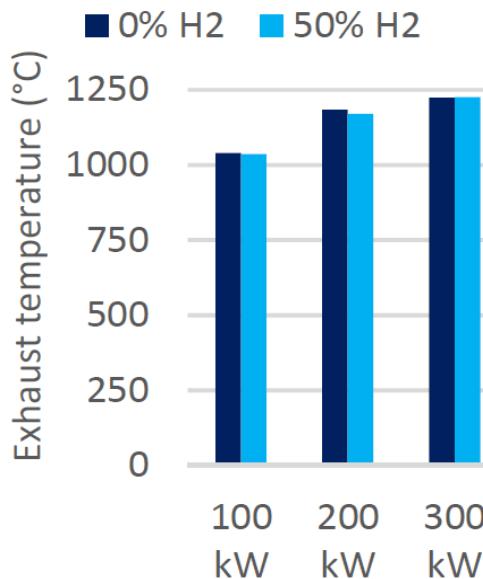
Experimentelle Untersuchungen ($P = 100 – 300 \text{ kW}$, $\lambda = 1,1$)



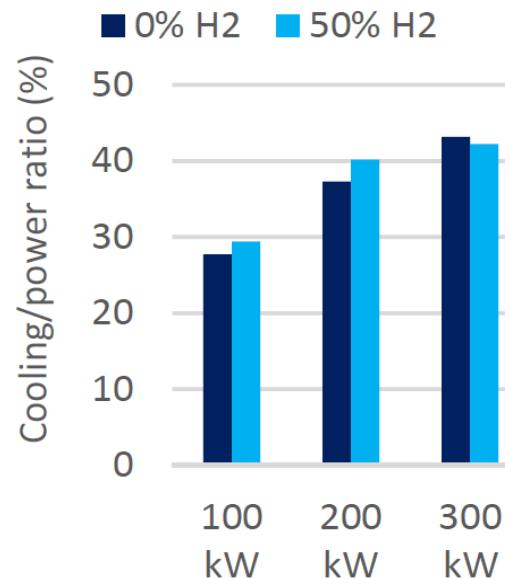
Quelle: Meynet, N., Grandin, G.-A., Gobin, C., Lefebvre, F., Honoré, D., Experimental characterization of hydrogen impact on the flame structure and NOx emissions inside a semi-industrial furnace,
11th European Combustion Meeting, Rouen, Frankreich, 2023

Experimentelle Untersuchungen ($P = 100 - 300 \text{ kW}$, $\lambda = 1,1$)

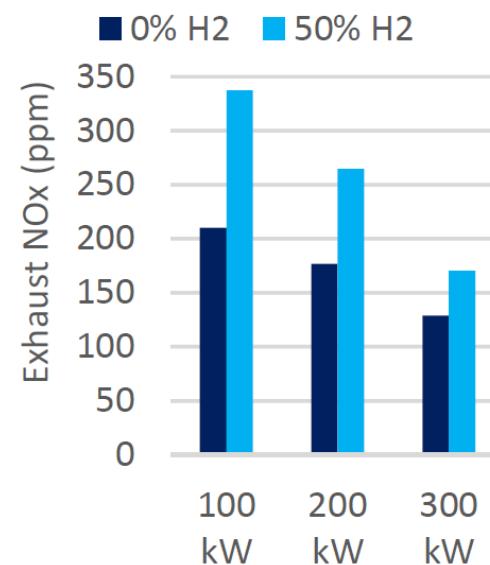
Abgastemperatur in °C



Kühl- zu Brennerleistung in %



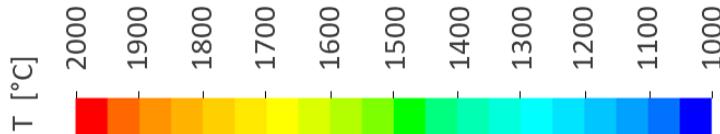
NO_x-Konzentrationen in ppm



Quelle: Meynet, N., Grandin, G.-A., Gobin, C., Lefebvre, F., Honoré, D., Experimental characterization of hydrogen impact on the flame structure and NO_x emissions inside a semi-industrial furnace, 11th European Combustion Meeting, Rouen, Frankreich, 2023

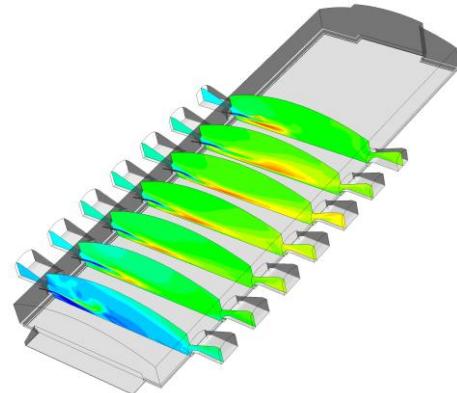
CFD-Simulation: Brennstoffwechsel bei einer regenerativen Glasschmelzwanne (P, λ und T_{Luft} konstant)

Temperatur



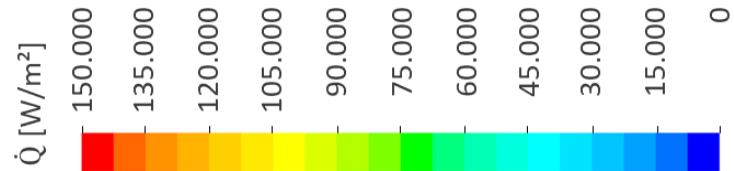
Erdgas

H_2



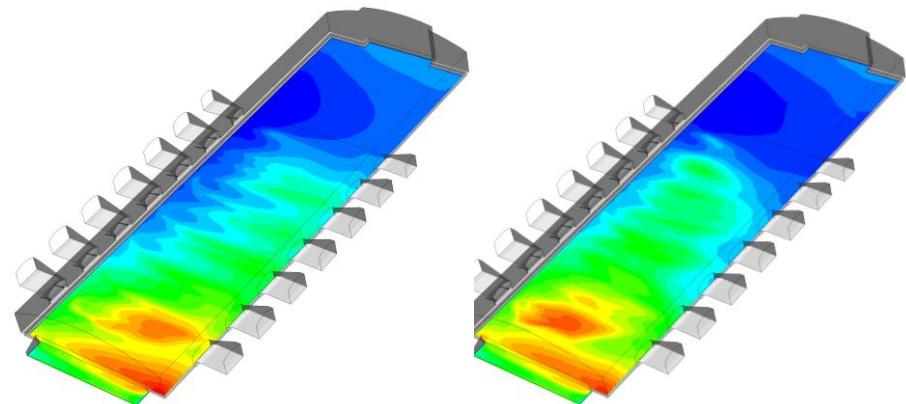
P: 30 MW; λ : 1,1; T_{Luft} : 1.300 °C

Wärmeflussdichte



Erdgas

H_2



$\dot{Q} = 19,5 \text{ MW}$

$\dot{Q} = 20,1 \text{ MW}$

Denkanstöße zur Dekarbonisierung

1. Bestandsaufnahme:

- welche Produkte (Interaktion Wärmegut / Ofenatmosphäre, Prozessemissionen, ...)
- welche Prozesse (Energiemengen, Temperaturniveaus, Flexibilität, ...)
- weitere Prozessanforderungen (Konvektion, ...), Einbindung in andere Prozesse, z. B. Abwärmenutzung

2. Welche Dekarbonisierungsoptionen gibt es und was ist für den eigenen Prozess am besten geeignet?

- Elektrifizierung?
- Wasserstoff?
- Hybride Systeme?
- Biomasse/-gas?
- „Exoten“: Solarthermie, CCUS, NH₃, ...

3. Woher bekommt man Informationen und Unterstützung?

- Ofen- bzw. Anlagenbauer, Komponentenhersteller, Branchenverbände, Ingenieursbüros oder unabhängige Institute,
- Energieversorger (Strom und/oder Erdgas/H₂)

4. Mit wem sollte man sonst noch reden?

- Energieversorger (Anschlussleistungen bzw. Liefermengen, Nähe zu H₂-Netzen, ...)
- Aufsichtsbehörden (Stichwort NO_x)
- Nachgeschaltete Verbraucher (z. B. Fernwärme)

Zusammenfassung

- Die Dekarbonisierung von industrieller Prozesswärme ist komplex und aufwendig, aber unverzichtbar, wenn die globalen Klimaziele erreicht werden sollen.
Auch in Zukunft werden Materialien wie Stahl, Zement, Glas oder Aluminium benötigt werden. Viele etablierte Prozesse müssen überdacht und ggfs. angepasst werden.
- Es gibt keine „Lösung von der Stange“. Lösungen müssen für das konkrete Produkt, den Prozess, die Anlage und den Standort entwickelt werden.
- Die benötigten Energiemengen sind erheblich, eine Eigenversorgung ist in den seltensten Fällen möglich. Gespräche mit den zuständigen Energieversorgern bzw. Netzbetreibern über deren Zukunftspläne sind wichtig!
- Es muss nicht immer Wasserstoff oder Strom sein. Gerade im ländlichen Raum können Biomasse oder Biogas eine interessante Alternative sein.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Jörg Leicher

Gas- und Wärme-Institut Essen e. V.

Hafenstrasse 101

45356 Essen

Tel.: +49 (0) 201 36 18 278

Mail: joerg.leicher@gwi-essen.de

