



Entwicklung eines emissionsarmen Verbrennungskonzeptes für Wasserstoff in Mehrstoffbrennern

M. Philipp, N. Schmitz, H. Pfeifer, A. Kowert

4. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess Kolloquium
18.10.2023

combutec
combustion technologies

IOB Institut für
Industriefenbau
und Wärmetechnik

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

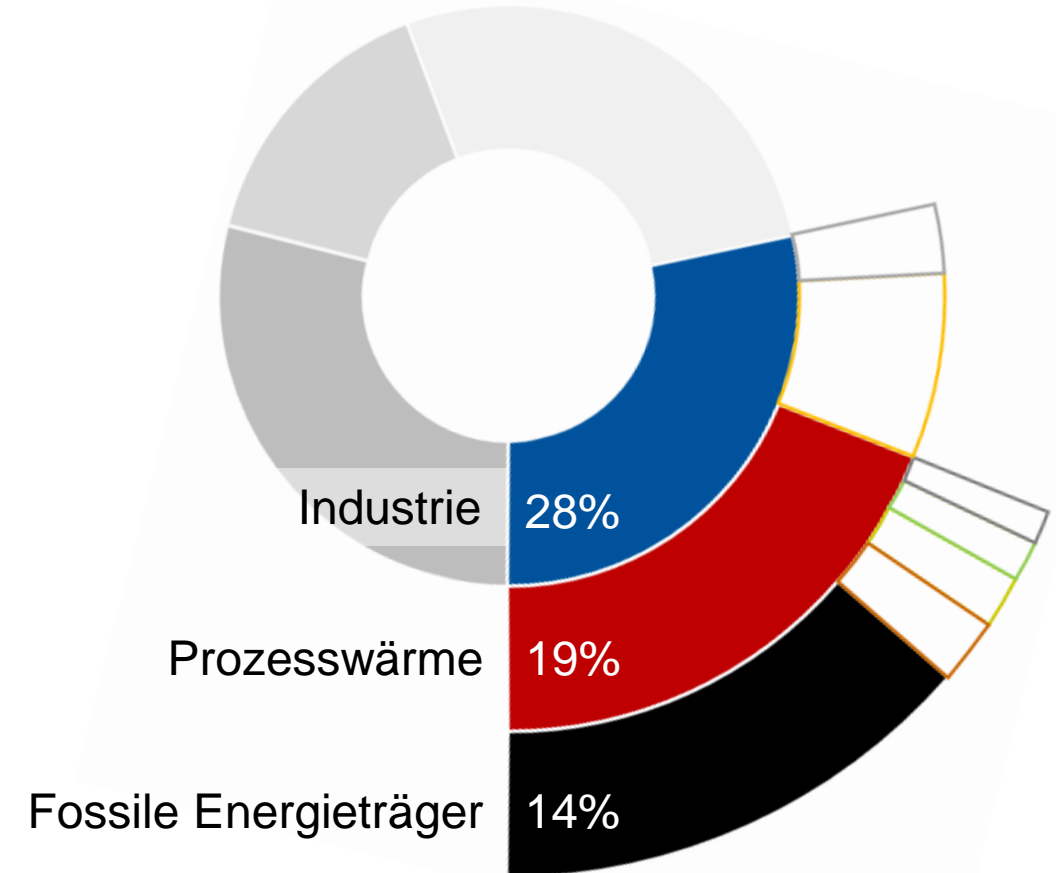
Agenda

- Einleitung
- Prüfstand und experimenteller Aufbau
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Klimapolitische Ziele

- 2015 - Klimakonferenz von Paris: Begrenzung der Globalen Erwärmung auf 2 °C
- 2016 - Klimaschutzplan 2050 der deutschen Bundesregierung
- 2019 - European Green Deal: keine Netto-Treibhausgase bis 2050
- Wasserstoff als alternativer Brennstoff zur Reduktion des Einsatzes fossiler Energieträger

Deutscher Energiebedarf nach Sektoren (2020)



[Quelle: IN4climate.NRW]

Vergleich Erdgas - Wasserstoff

Der Einsatz von Wasserstoff führt bei gleicher Leistung zu:

- einem erhöhten Gasvolumenstrom
- einem verringerten Luftvolumenstrom
- einer Verschiebung der Flammenfront in Richtung des Brenners
- Einer erhöhten Flammentemperatur

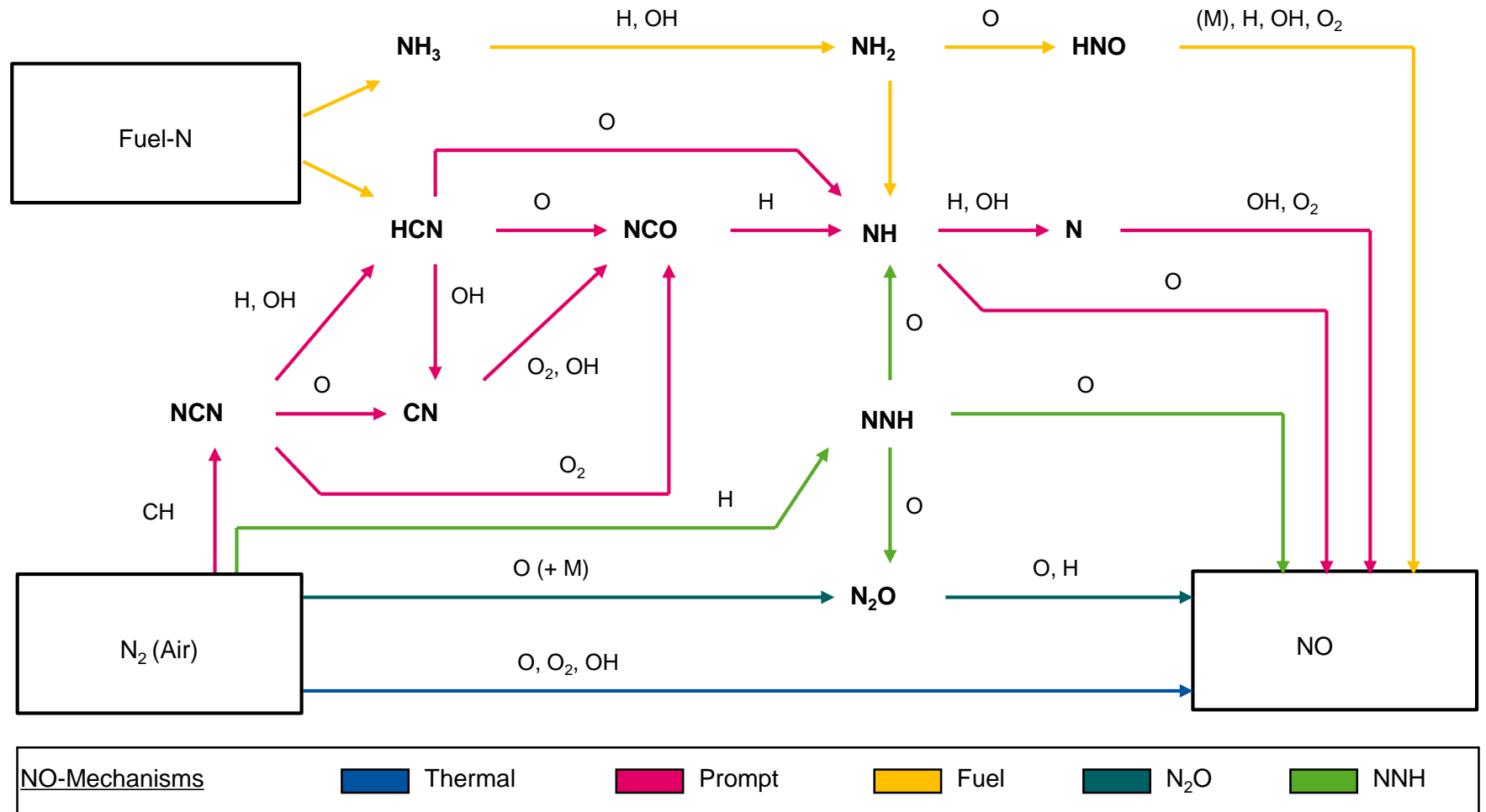
Eigenschaft	Einheit	Methan CH ₄	Wasserstoff H ₂
Heizwert	[kWh/m ³]	9.971	2.995
Dichte	[kg/m ³]	0.718	0.090
Unterer Wobbe Index	[kWh/m ³]	13.385	11.367
Mindestluftbedarf	[m ³ _L /m ³ _B]	9.565	2.384
Zündgrenzen (in Luft)	[vol.-%]	5.0 – 15.0	4.0 – 74.2
Ad. Flammentemperatur (in Luft, $\lambda = 1$)	[K]	2210	2400
Laminare Flammgeschwindigkeit ($\lambda = 1$)	[m/s]	0.434	1.70

Einleitung

Stickoxidemissionen

Bildungsmechanismen:

- Thermisches NO
- Fuel NO
- Promptes NO
- Lachgas (N₂O) Route
- NNH Route

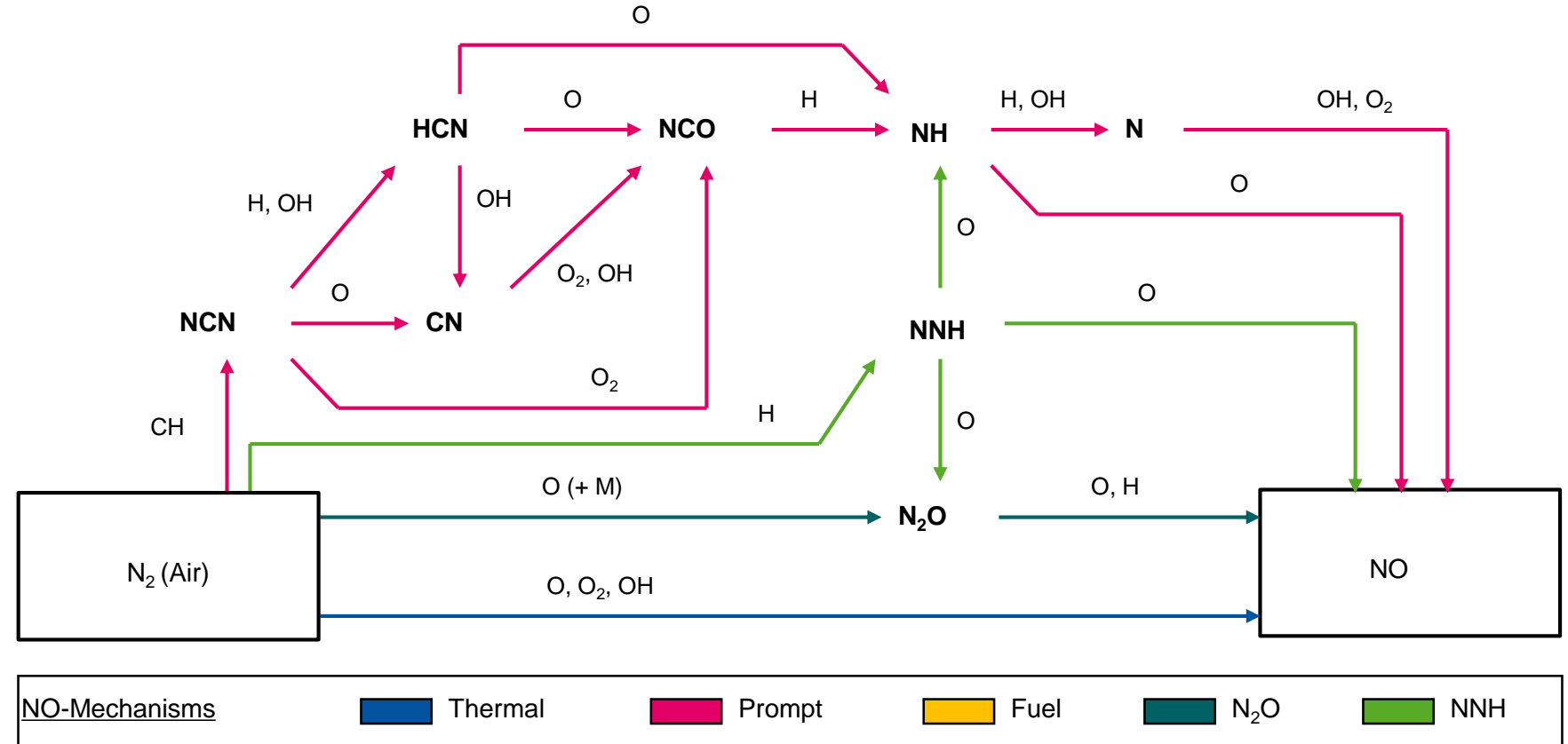


Quelle: Mendiara and Glarborg (2009), Iavarone et al. (2019), Kobayashi et al. (2019)

Stickoxidemissionen

Bildungsmechanismen:

- Thermisches NO
- ~~Fuel NO~~
- Promptes NO
- Lachgas (N₂O) Route
- NNH Route



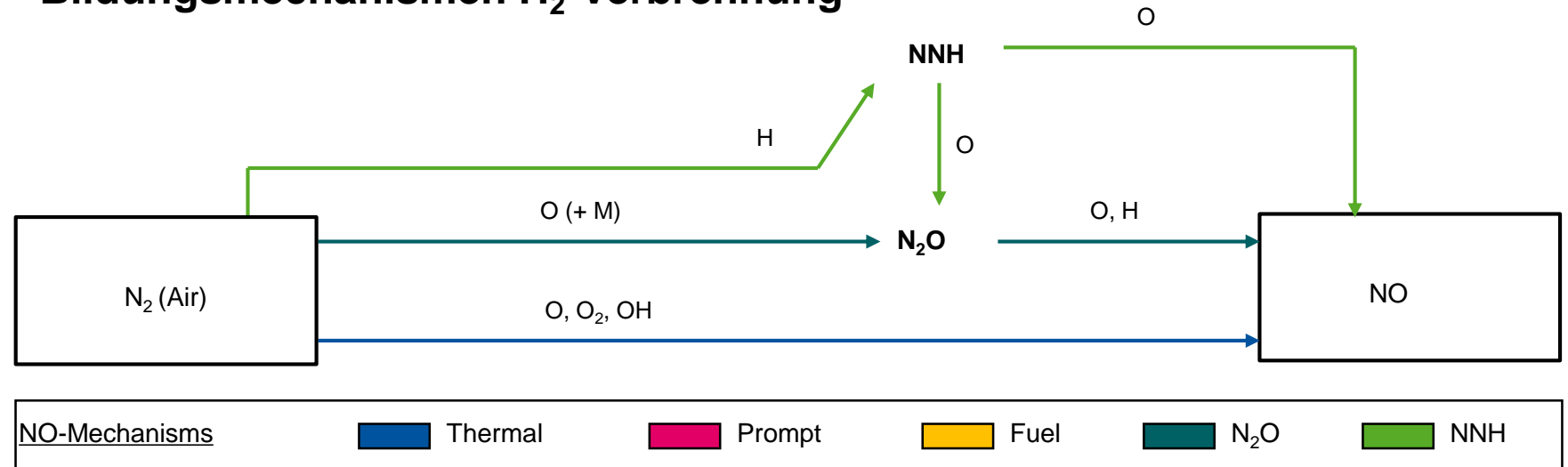
Quelle: Mendiara and Glarborg (2009), Iavarone et al. (2019), Kobayashi et al. (2019)

Stickoxidemissionen

Bildungsmechanismen:

- Thermisches NO
- ~~Fuel NO~~
- ~~Promptes NO~~
- Lachgas (N_2O) Route
- NNH Route

Bildungsmechanismen H_2 -Verbrennung



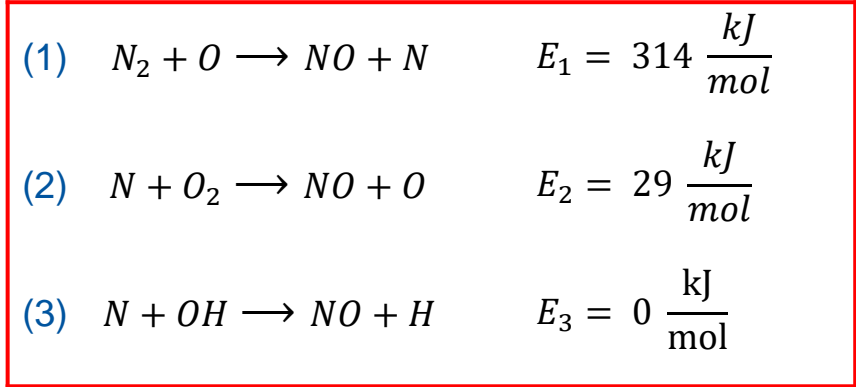
Quelle: Mendiara and Glarborg (2009), Iavarone et al. (2019), Kobayashi et al. (2019)

Einleitung

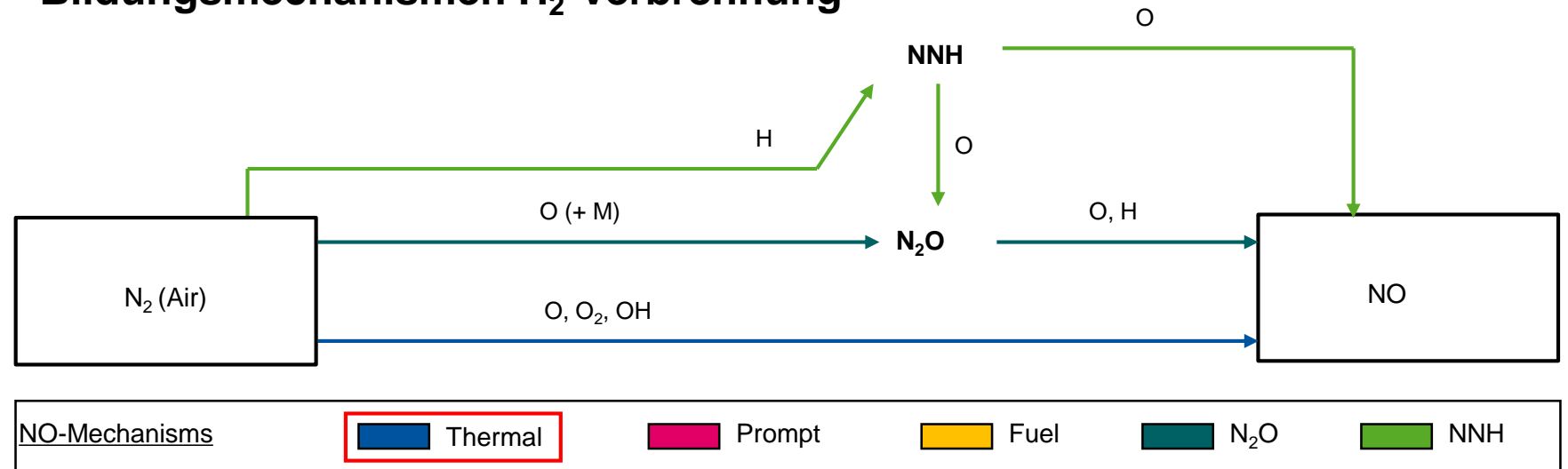
Stickoxidemissionen

Bildungsmechanismen:

- Thermisches NO
- ~~Fuel NO~~
- ~~Promptes NO~~
- Lachgas (N₂O) Route
- NNH Route



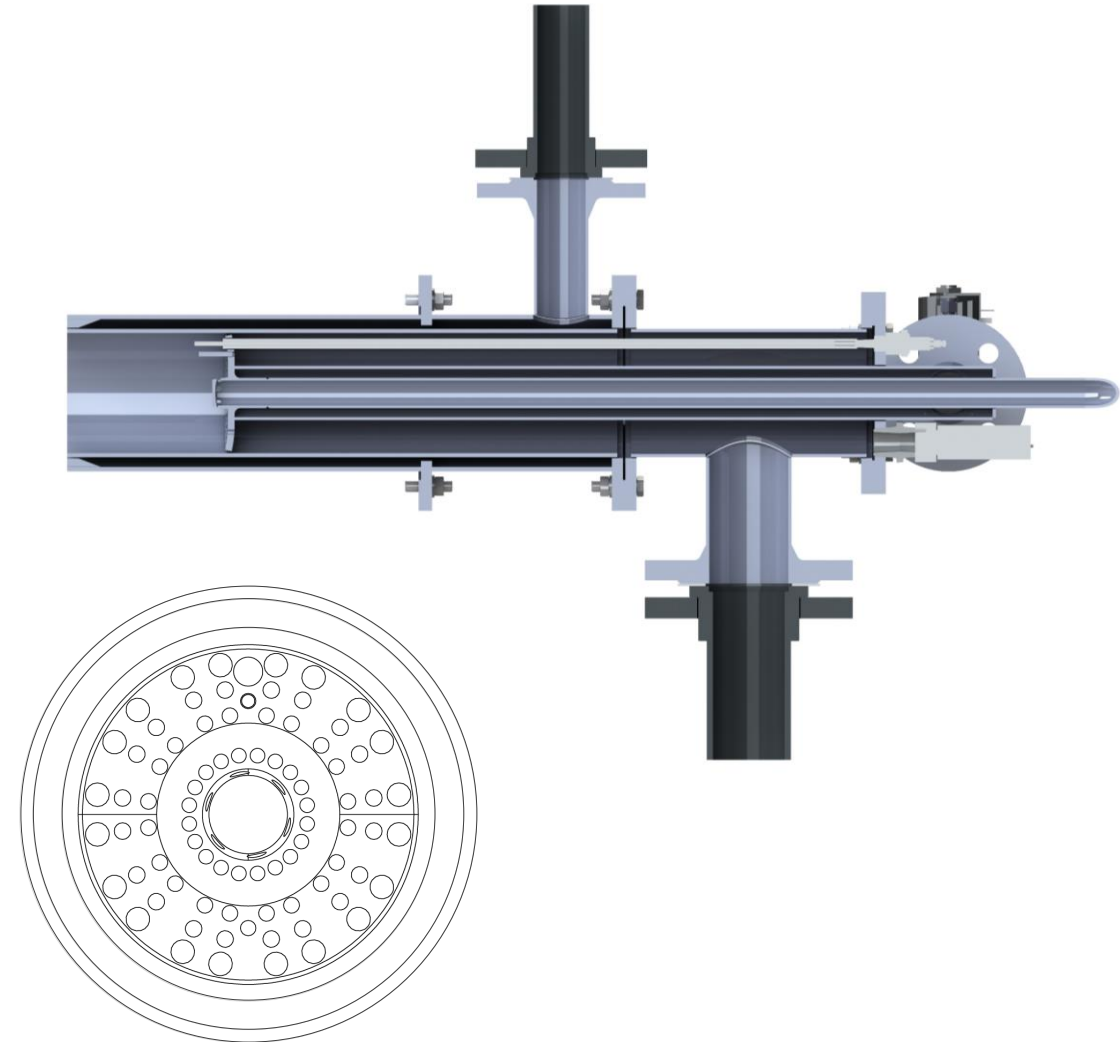
Bildungsmechanismen H₂-Verbrennung



Quelle: Mendiara and Glarborg (2009), Iavarone et al. (2019), Kobayashi et al. (2019)

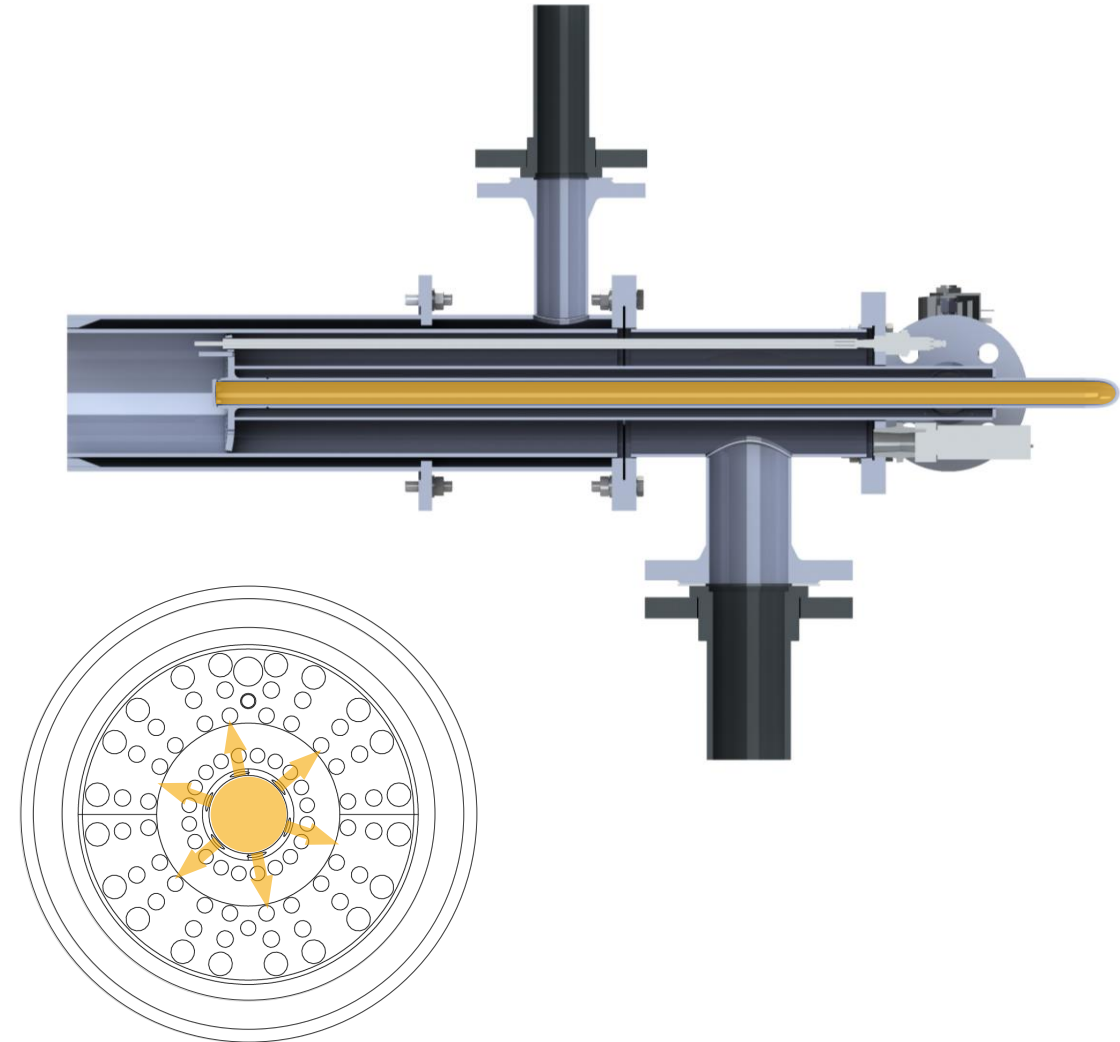
Prototyp Mehrstoffbrenner

- Getrennte Brennstoffzufuhr von Erdgas und Wasserstoff
 - Erdgas: radial
 - Wasserstoff: axial
- Gestufte Verbrennung: Separate Anschlüsse für Primär- und Sekundärluft
 - Primärluft: Stauscheibe
 - Sekundärluft: Ringspalt
- Thermische Leistung: 200 kW
- Flammenüberwachung: UV-Sensor (Siemens QRA4.U)



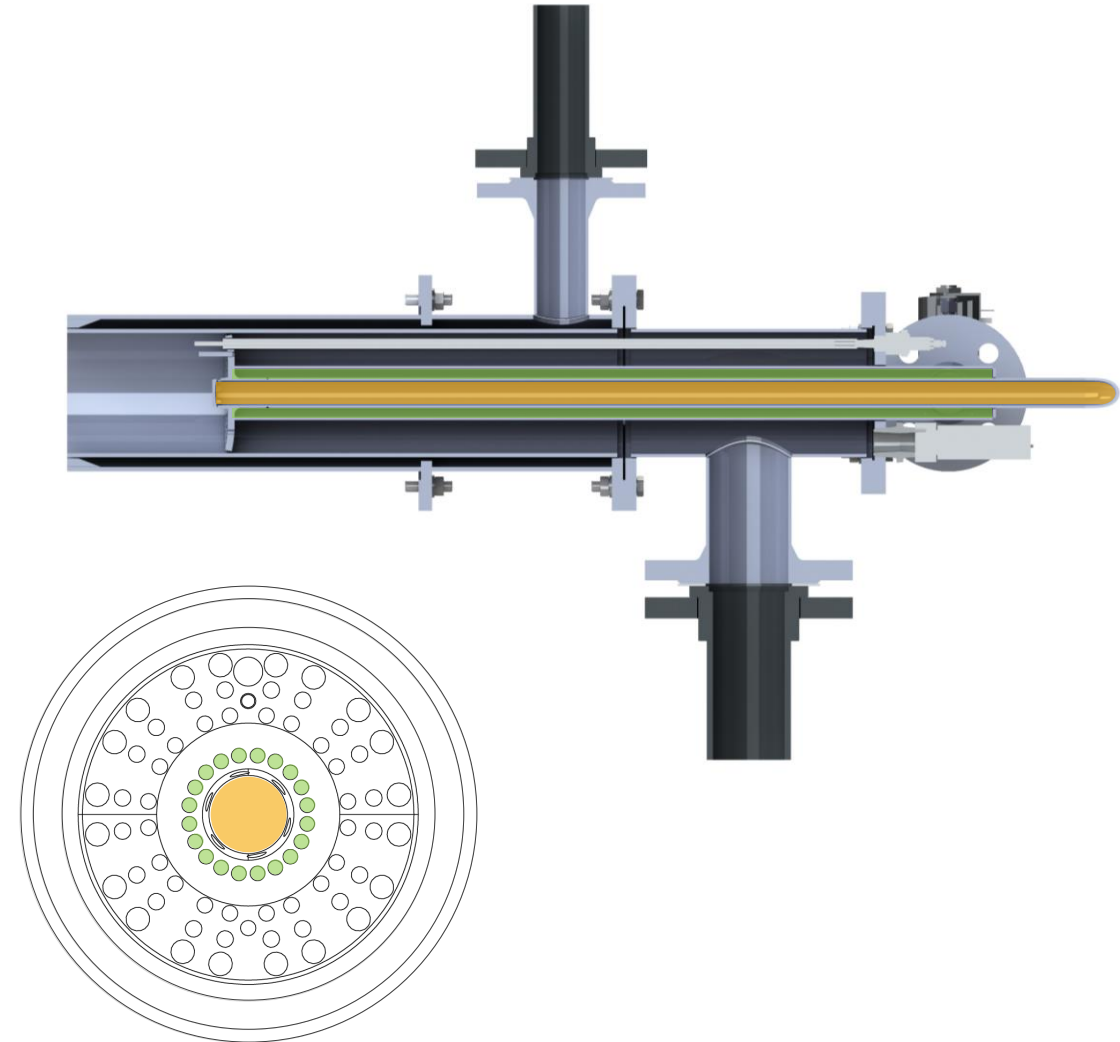
Prototyp Mehrstoffbrenner

- Getrennte Brennstoffzufuhr von Erdgas und Wasserstoff
 - Erdgas: radial
 - Wasserstoff: axial
- Gestufte Verbrennung: Separate Anschlüsse für Primär- und Sekundärluft
 - Primärluft: Stauscheibe
 - Sekundärluft: Ringspalt
- Thermische Leistung: 200 kW
- Flammenüberwachung: UV-Sensor (Siemens QRA4.U)



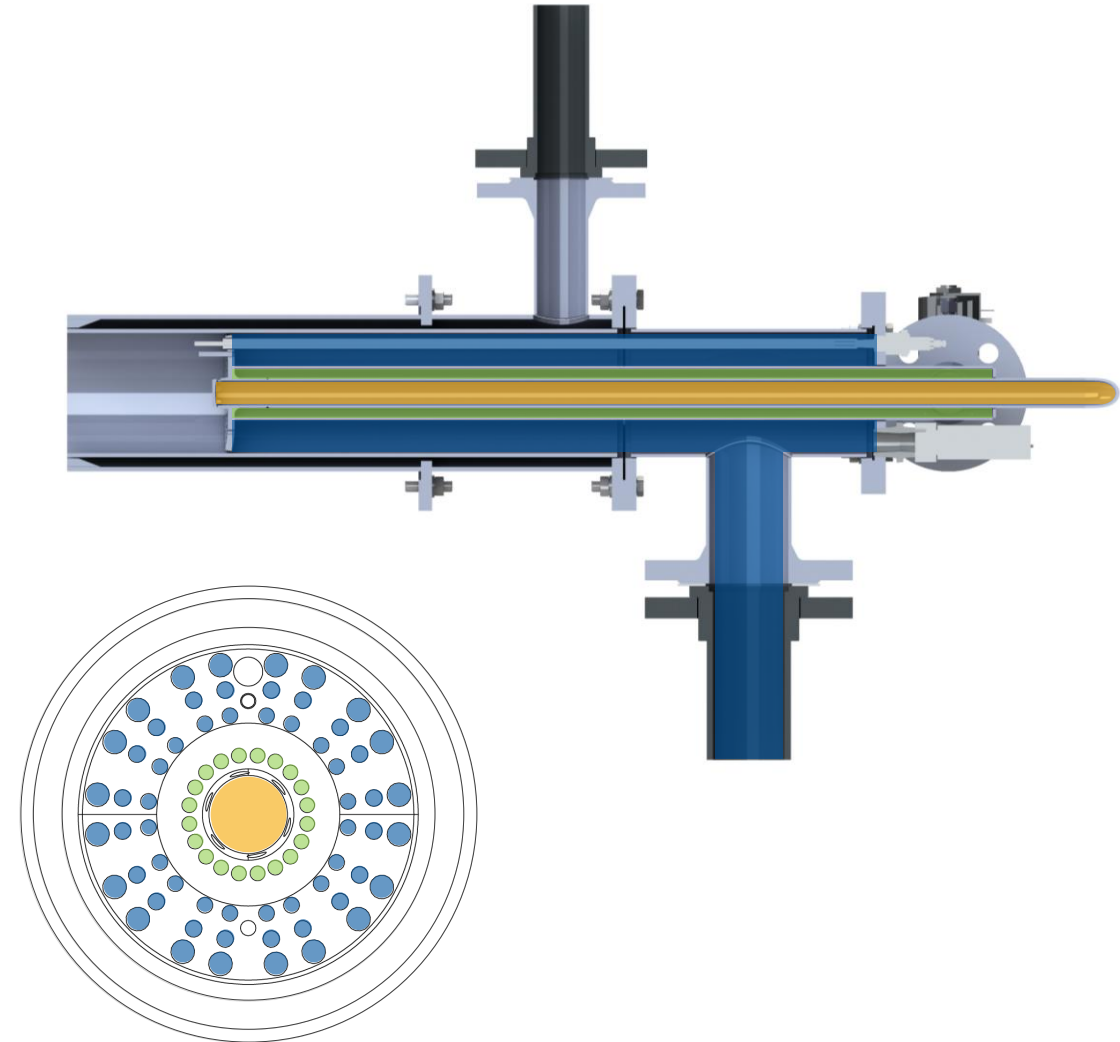
Prototyp Mehrstoffbrenner

- Getrennte Brennstoffzufuhr von Erdgas und Wasserstoff
 - Erdgas: radial
 - Wasserstoff: axial
- Gestufte Verbrennung: Separate Anschlüsse für Primär- und Sekundärluft
 - Primärluft: Stauscheibe
 - Sekundärluft: Ringspalt
- Thermische Leistung: 200 kW
- Flammenüberwachung: UV-Sensor (Siemens QRA4.U)



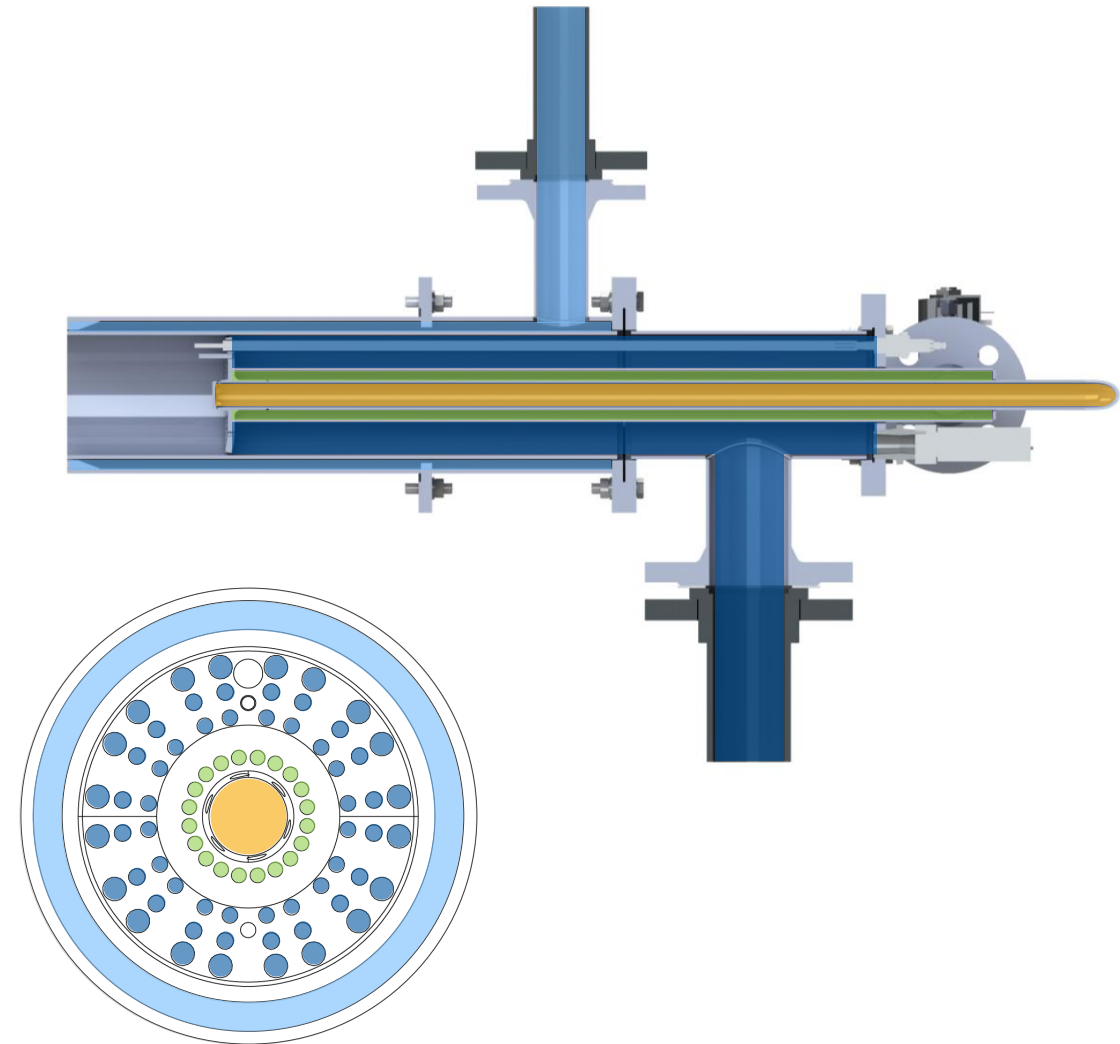
Prototyp Mehrstoffbrenner

- Getrennte Brennstoffzufuhr von Erdgas und Wasserstoff
 - Erdgas: radial
 - Wasserstoff: axial
- Gestufte Verbrennung: Separate Anschlüsse für Primär- und Sekundärluft
 - Primärluft: Stauscheibe
 - Sekundärluft: Ringspalt
- Thermische Leistung: 200 kW
- Flammenüberwachung: UV-Sensor (Siemens QRA4.U)



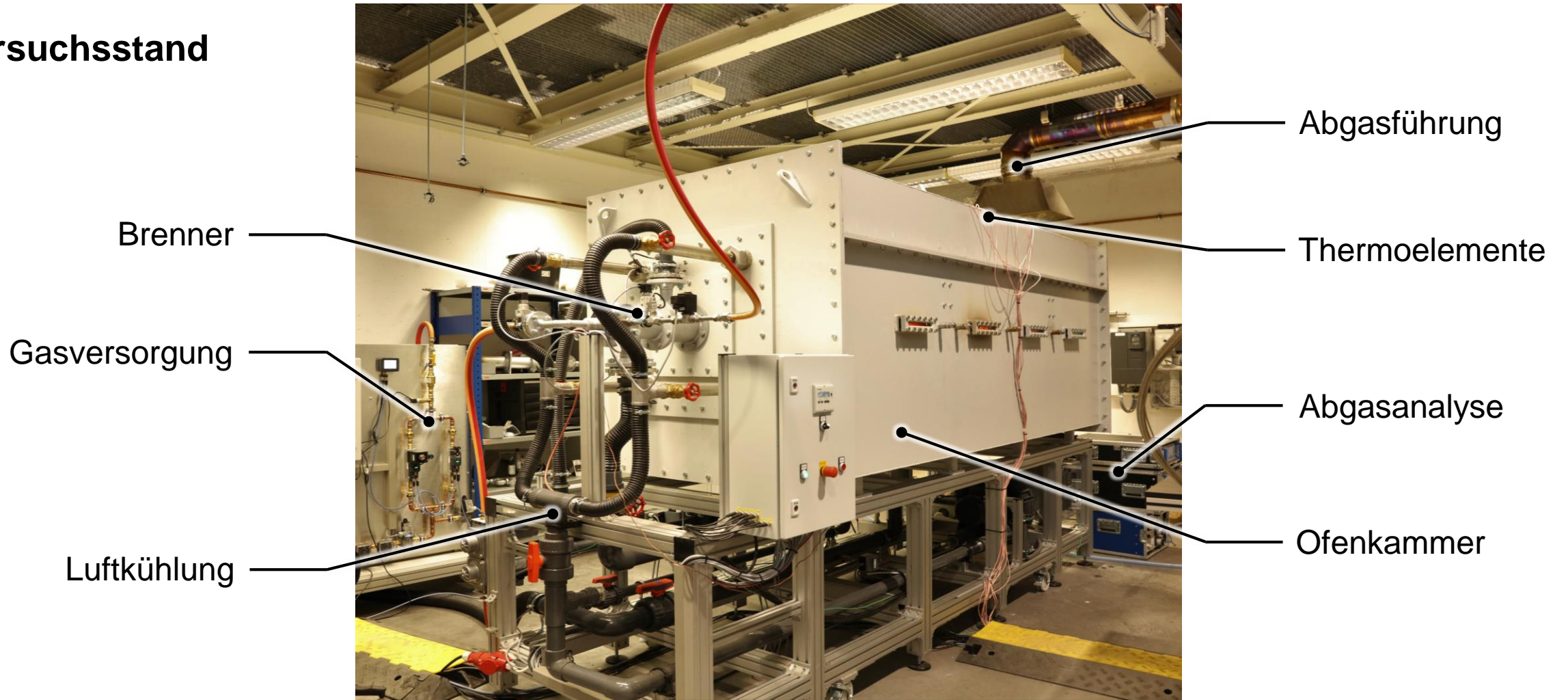
Prototyp Mehrstoffbrenner

- Getrennte Brennstoffzufuhr von Erdgas und Wasserstoff
 - Erdgas: radial
 - Wasserstoff: axial
- Gestufte Verbrennung: Separate Anschlüsse für Primär- und Sekundärluft
 - Primärluft: Stauscheibe
 - Sekundärluft: Ringspalt
- Thermische Leistung: 200 kW
- Flammenüberwachung: UV-Sensor (Siemens QRA4.U)



Prüfstand und experimenteller Aufbau

Versuchsstand

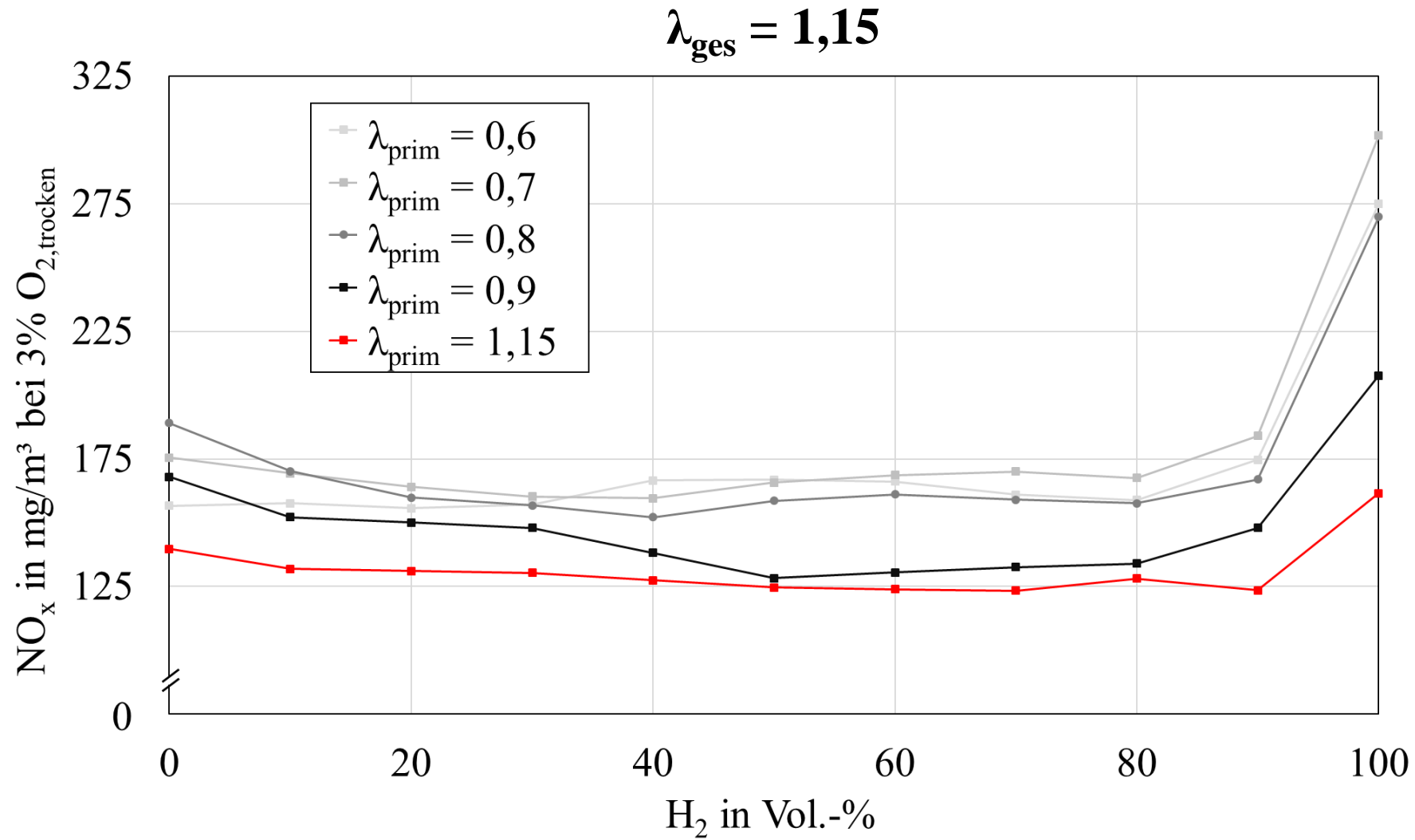


Versuchsplan

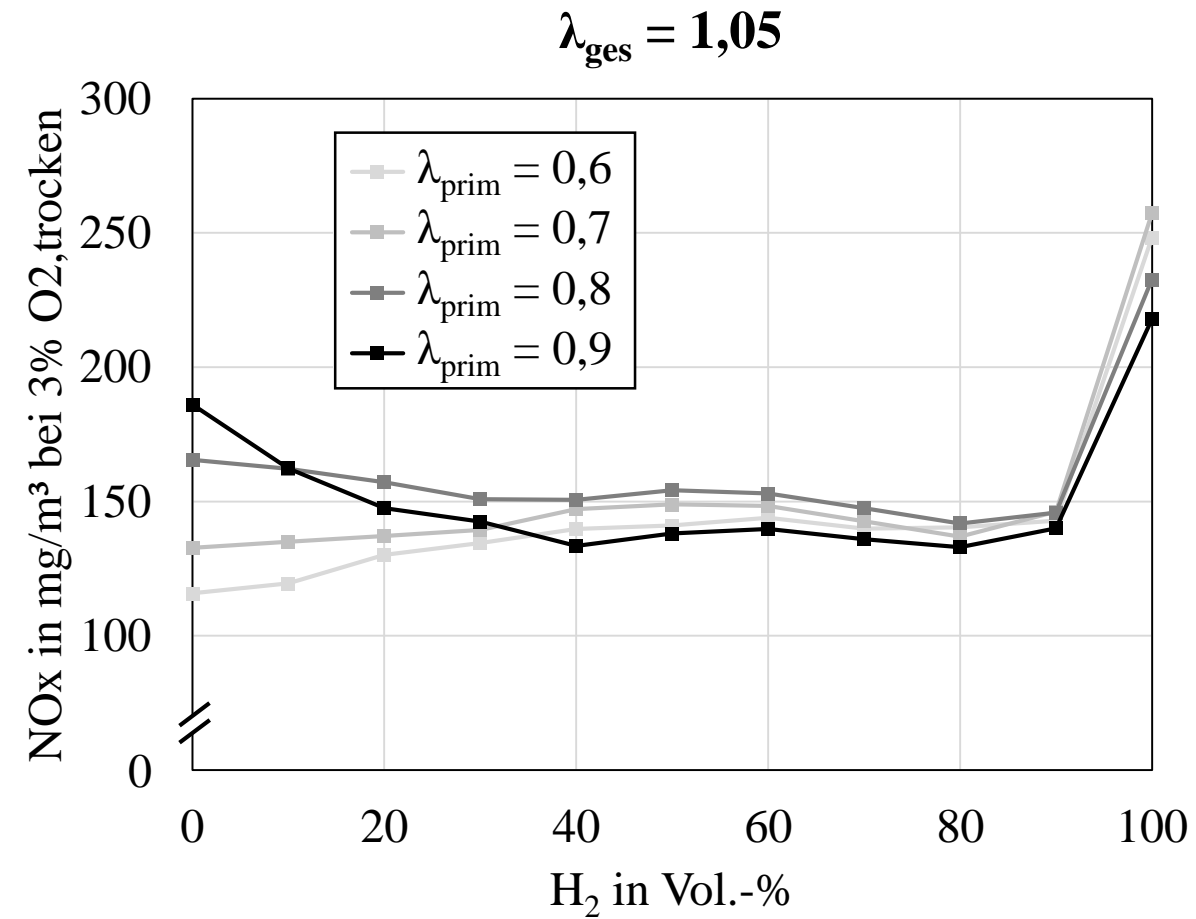
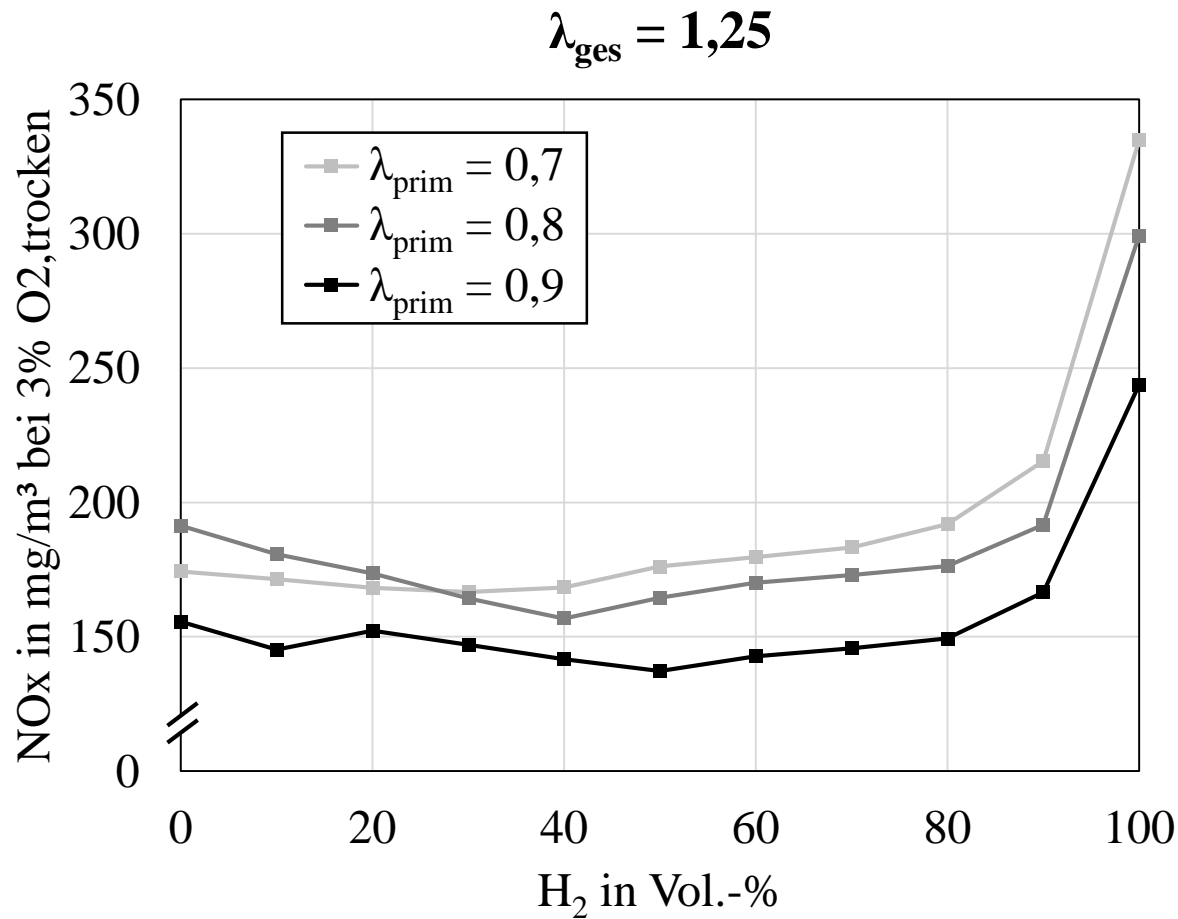
Brennerleistung in kW	Mittlere Ofentemperatur in °C	Gesamtluftzahl λ_{ges}	Primärluftzahl λ_{prim}	Wasserstoffanteil in Vol.-%
200	950	1,05 (1,1% O _{2,dry})	0,6*	0
		1,15 (3,0% O _{2,dry})	0,7	10*
		1,25 (4,6% O _{2,dry})	0,8	20*
			0,9	30
			1,15*	40*
				50
				60*
				70
				80
				90
				100

* konnte nicht untersucht werden oder wurde bewusst ausgelassen

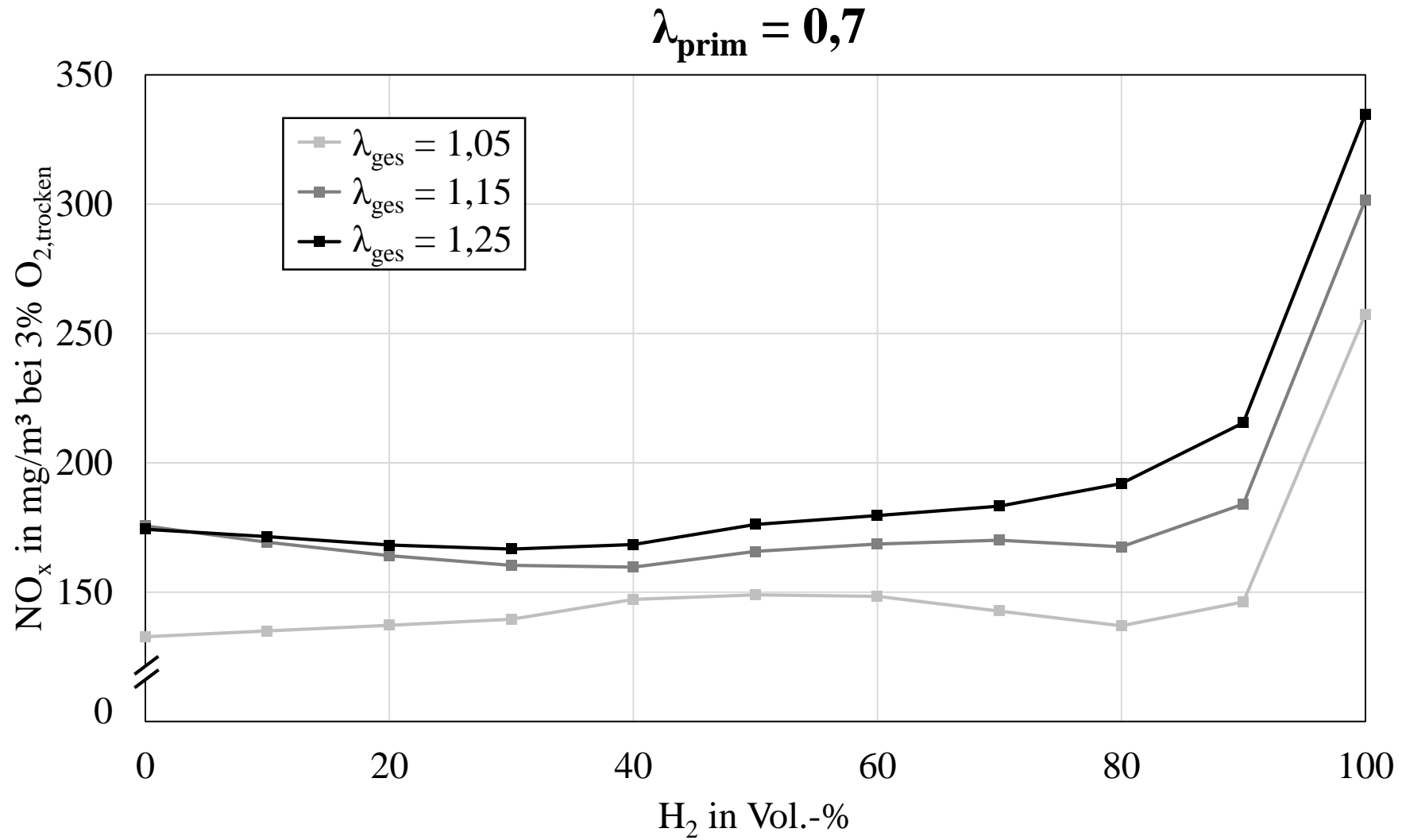
Ergebnisse - Stickoxide



Ergebnisse - Stickoxide

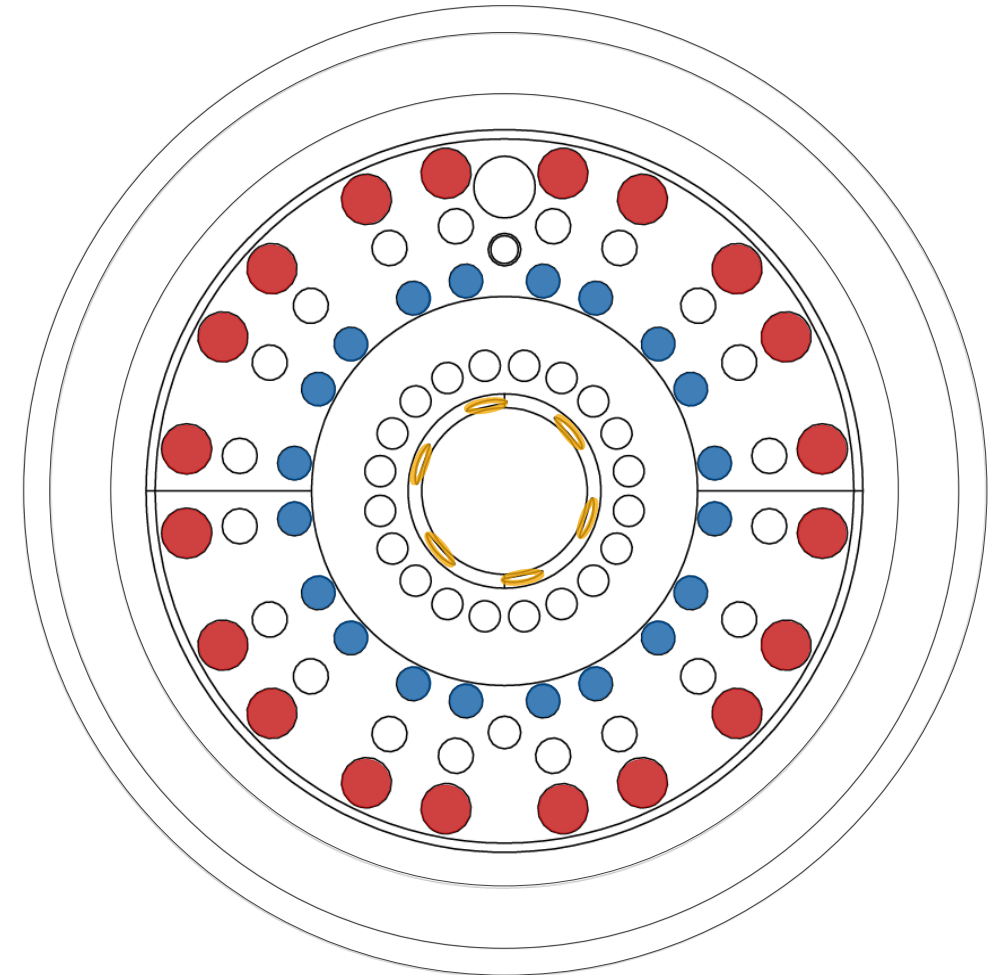


Ergebnisse - Stickoxide



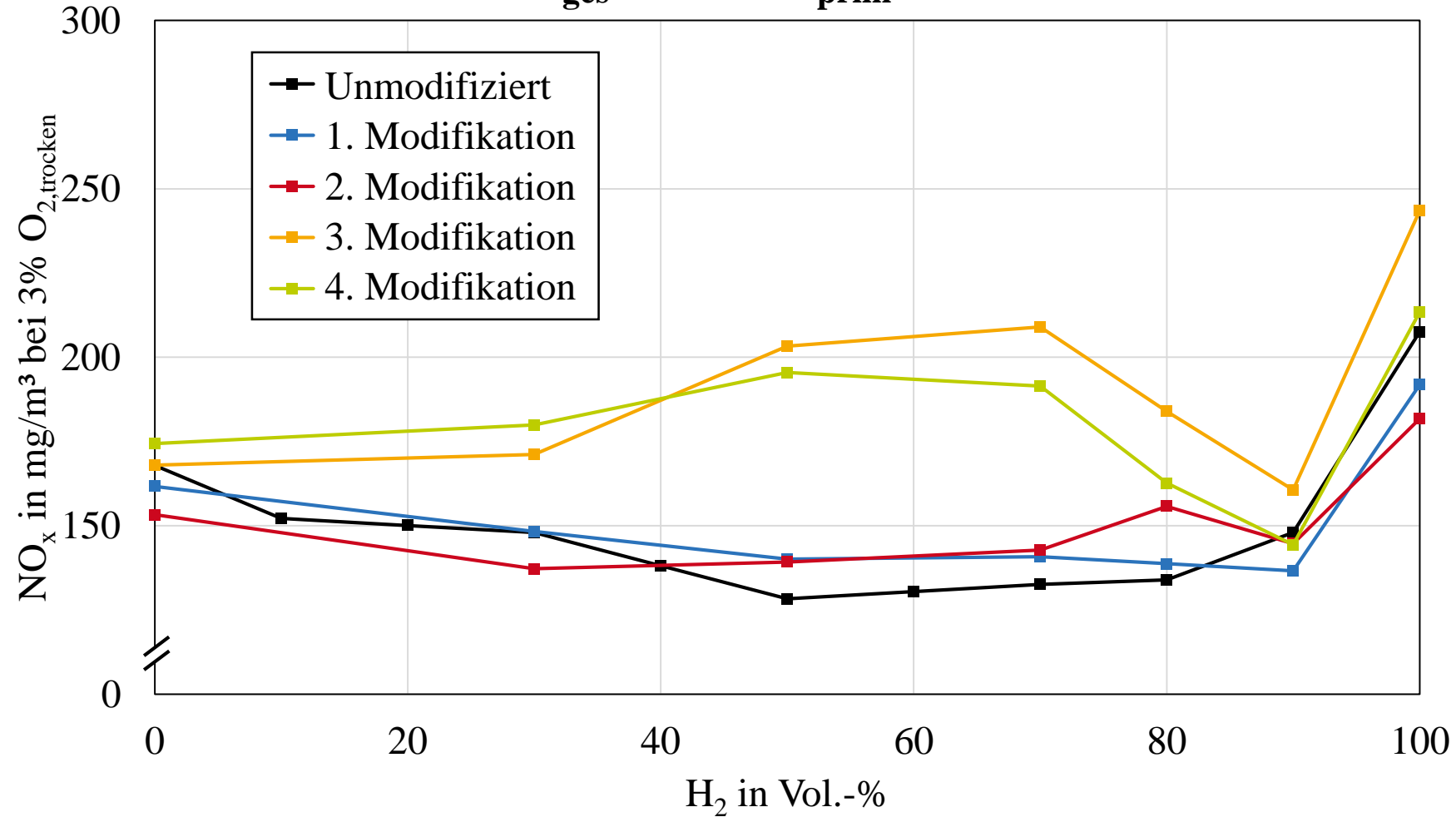
Brennermodifikationen

- 1. und 2. Modifikation: Erhöhung des Primärluftimpulses
 - Innerer Lochkreis der Stauscheibe wird geschlossen ●
 - Äußerer Lochkreis der Stauscheibe wird geschlossen ●
- 3. Modifikation: Erhöhung des Erdgasimpulses
 - Verjüngung der Erdgasdüsen von 6 mm auf 4 mm ◌
- 4. Modifikation: Erhöhung des Primärluft- und Erdgasimpulses
 - Kombination aus Modifikation 1 und 3 ● + ◌
- Zunächst nur bei konstanter Leistung, Temperatur und Gesamtluftzahl (200 kW, 950 °C, 1,15)

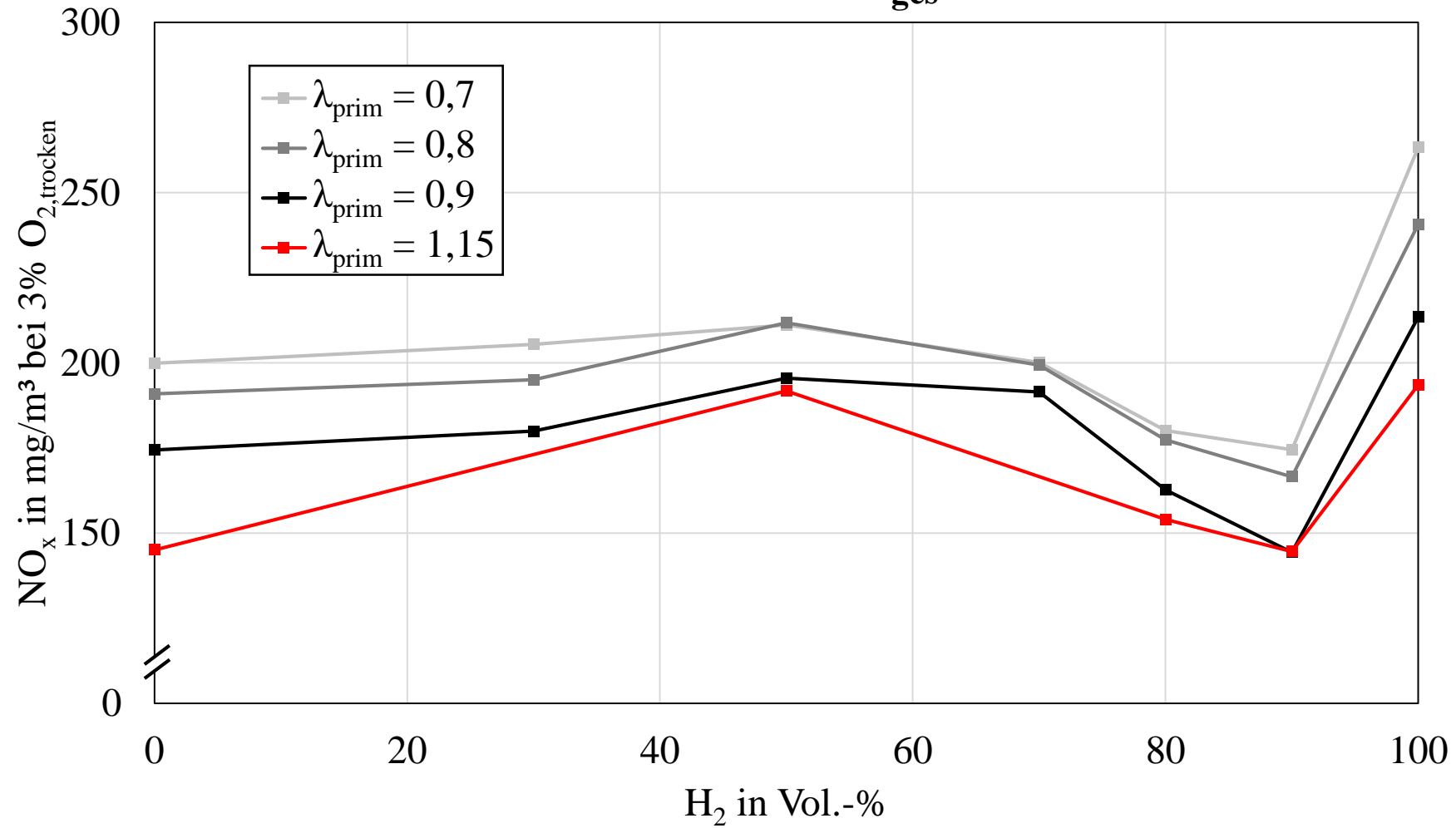


Ergebnisse - Stickoxide

$$\lambda_{\text{ges}} = 1,15; \lambda_{\text{prim}} = 0,9$$

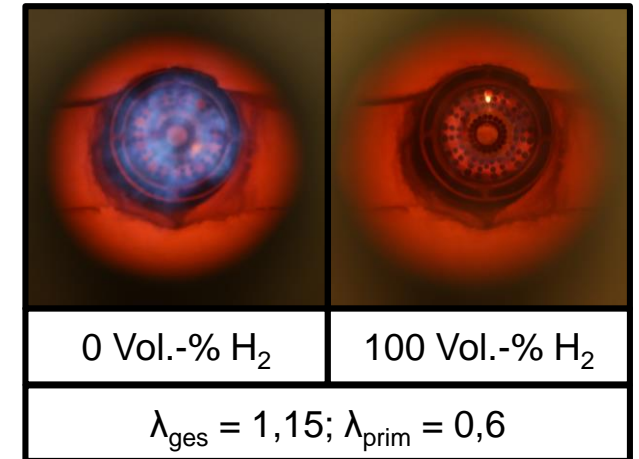


4. Modifikation; $\lambda_{ges} = 1,15$



Zusammenfassung und Ausblick

- Sicherer Betrieb eines Mehrstoffbrenner Prototypen mit bis zu 100 Vol.-% Wasserstoff möglich
- Flamme bei 100 Vol.-% Wasserstoff nahezu nicht mehr sichtbar
- Erhöhte thermische Belastung des Brenners mit Wasserstoffbeimischung
- Experimentelle Untersuchungen zeigen
 - deutlicher Anstiege der NO_x -Emissionen bei > 90 Vol.-% Wasserstoff
 - Gestufte Verbrennung führt nicht zu der gewünschten Stickoxidminderung
 - Erhöhung des Primärluftimpulses führt kaum zu Veränderungen bei der Stickoxidbildung
 - Erhöhung des Erdgasimpulses führt zu einer erhöhten Stickoxidbildung
- Ausblick
 - Fortführung der experimentellen Untersuchungen mit weiterer Variierung der Parameter (z.B. Gesamtluftzahl, Leistung, Ofenraumtemperatur)
 - Modifizierung der Brennergeometrie im Hinblick auf die Sekundärlufteindüsung
 - Validierung der Messungen mithilfe von CFD-Simulationen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Marius Philipp, M.Sc.
Wiss. Mitarbeiter – Arbeitsgruppe Verbrennung
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen
www.iob.rwth-aachen.de
philipp@iob.rwth-aachen.de
+49 241 80 25940



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages