



FLOX-2®

Aktuelle Arbeiten zur mehrstufigen flammlosen Oxidation

L. Giesler, N. Schmitz, H. Pfeifer
E. Cresci, J.G. Wüning

**3. Aachener Ofenbau- und
Thermoprozess-Kolloquium**
7. und 8. Oktober 2021



Institut für
Industrieofenbau
und Wärmotechnik

**RWTHAACHEN
UNIVERSITY**

Projekt – Eckdaten

- Förderung: 7. Energieforschungsprogramm (BMWi)
- Projektlaufzeit: 3 Jahre
- Projektstart: 01.05.2020
- Projektpartner: WS Wärmeprozessstechnik GmbH, Renningen
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik, Aachen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Motivation und Zielsetzung

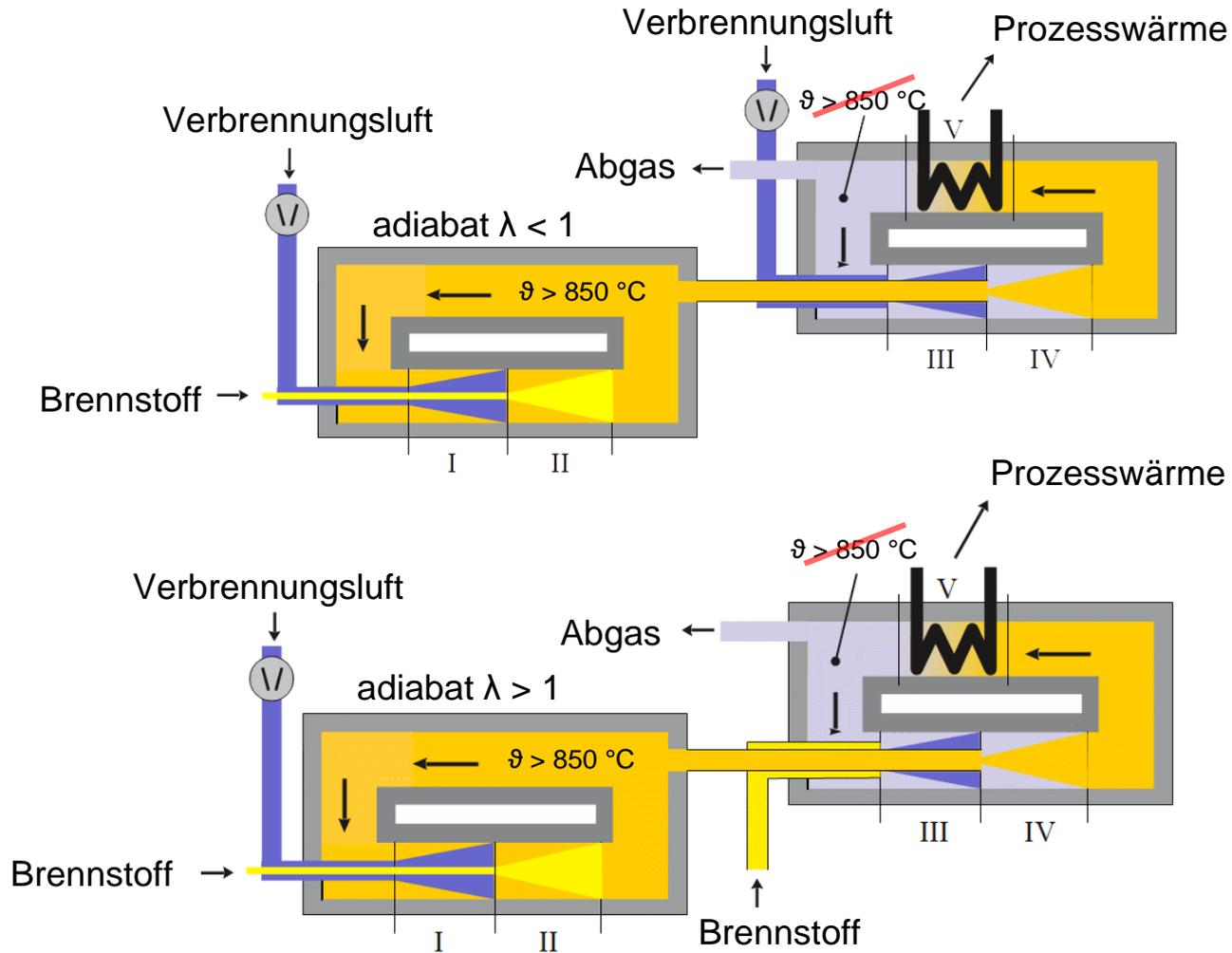
Erweiterung der FLOX[®]-Technologie für

- die schadstoffarme Verbrennung von erneuerbaren Gasen
- in der Zusammensetzung nicht konstanten Gasen
 - Gemische aus Erdgas, H₂, NH₃
 - Schwachgase
- Temperaturen unter 850 °C im Prozessraum
 - schadstoffarme, brennstoffvariable Beheizung auch bei Niedertemperatur-Prozessen



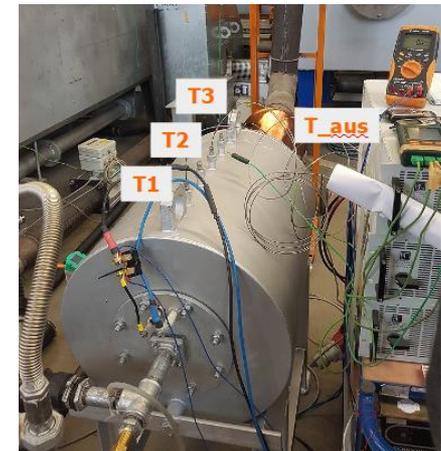
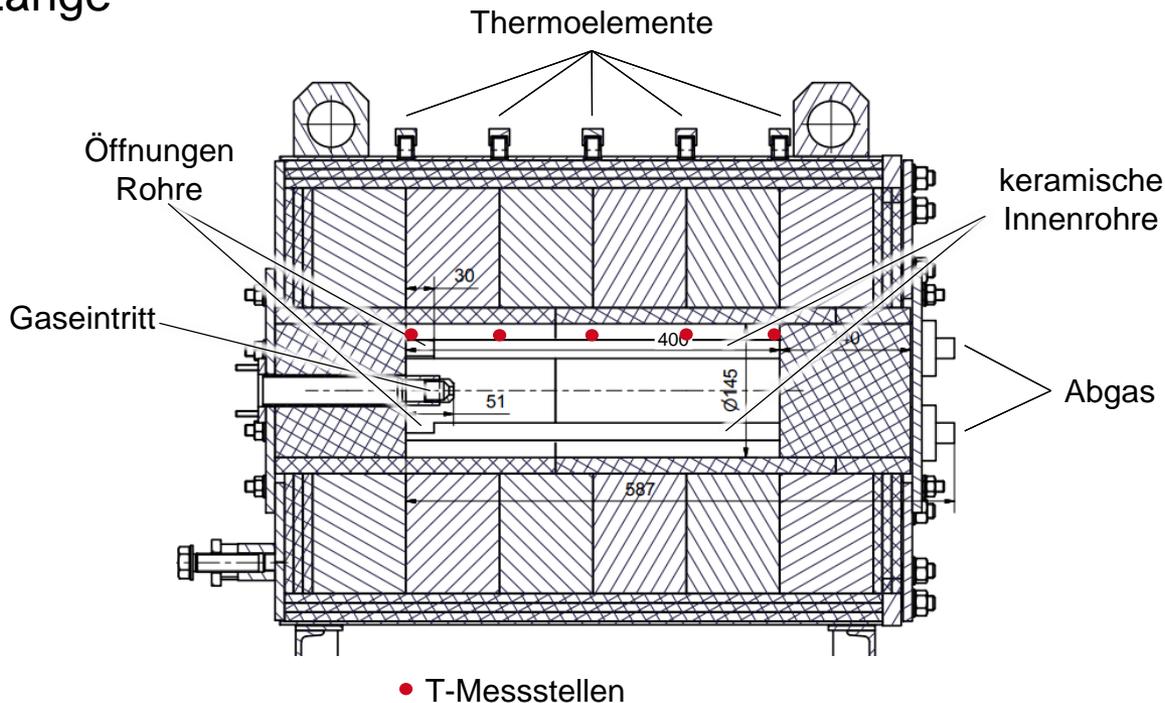
→ „Single Digit NO_x“

Prinzip der mehrstufigen flammlosen Oxidation (FLOX-2[®])



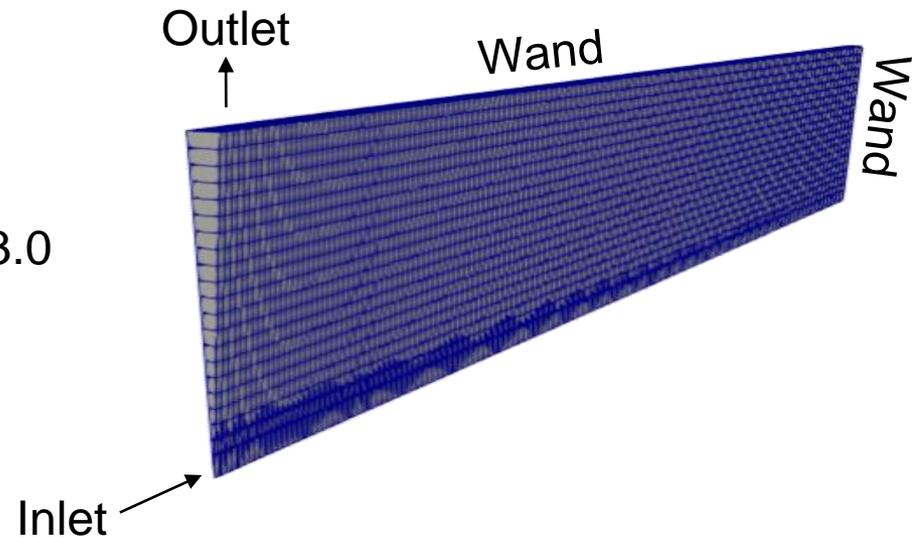
Experimentelle Untersuchungen der 1. Stufe mit $\lambda < 1$

- Leistungsbereich: $P = 12,5 - 40 \text{ kW}$
- Luftzahl $\lambda = 0,4$
- Brennstoff: Erdgas
- Zielgrößen: Temperatur, CO , CH_4 , NO_x
- Zugänglichkeit der Brennkammer: Öffnungen zur Temperaturmessung über die Länge



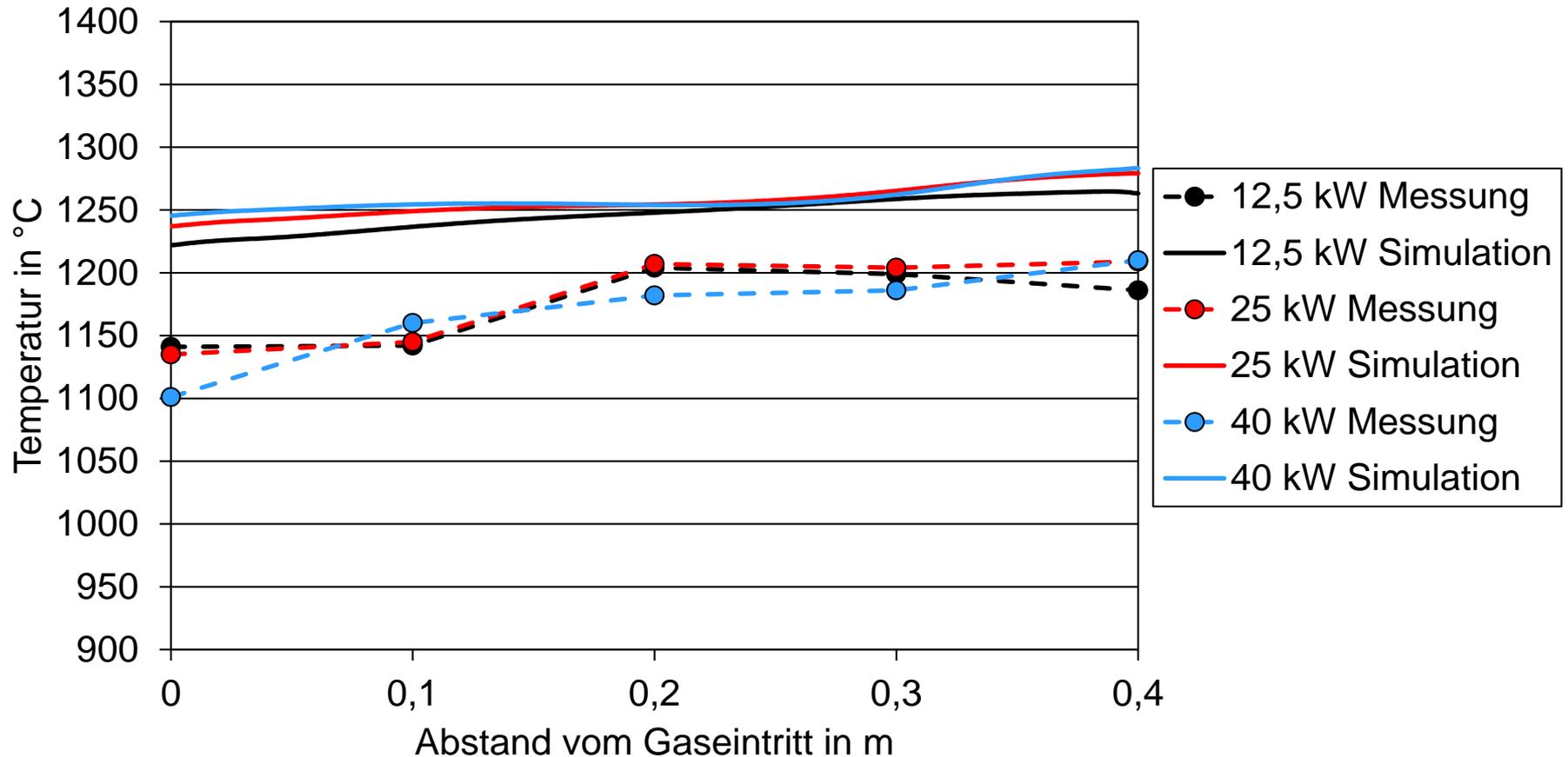
Numerische Untersuchungen der 1. Stufe mit $\lambda < 1$

- Software: OpenFOAM
- 2D-Geometrie
- pseudo-transient
- Turbulenzmodell: k- ϵ
- Verbrennungsmodell: PaSR
- Strahlungsmodell: P1
- Reaktionsmechanismus: GriMech3.0
- Leistung: 12,5 - 40 kW
- $\lambda_{\text{Primär}} = 0,4$
- $T_{\text{Gas}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- adiabate Wände
- Zellenanzahl: ~ 8000

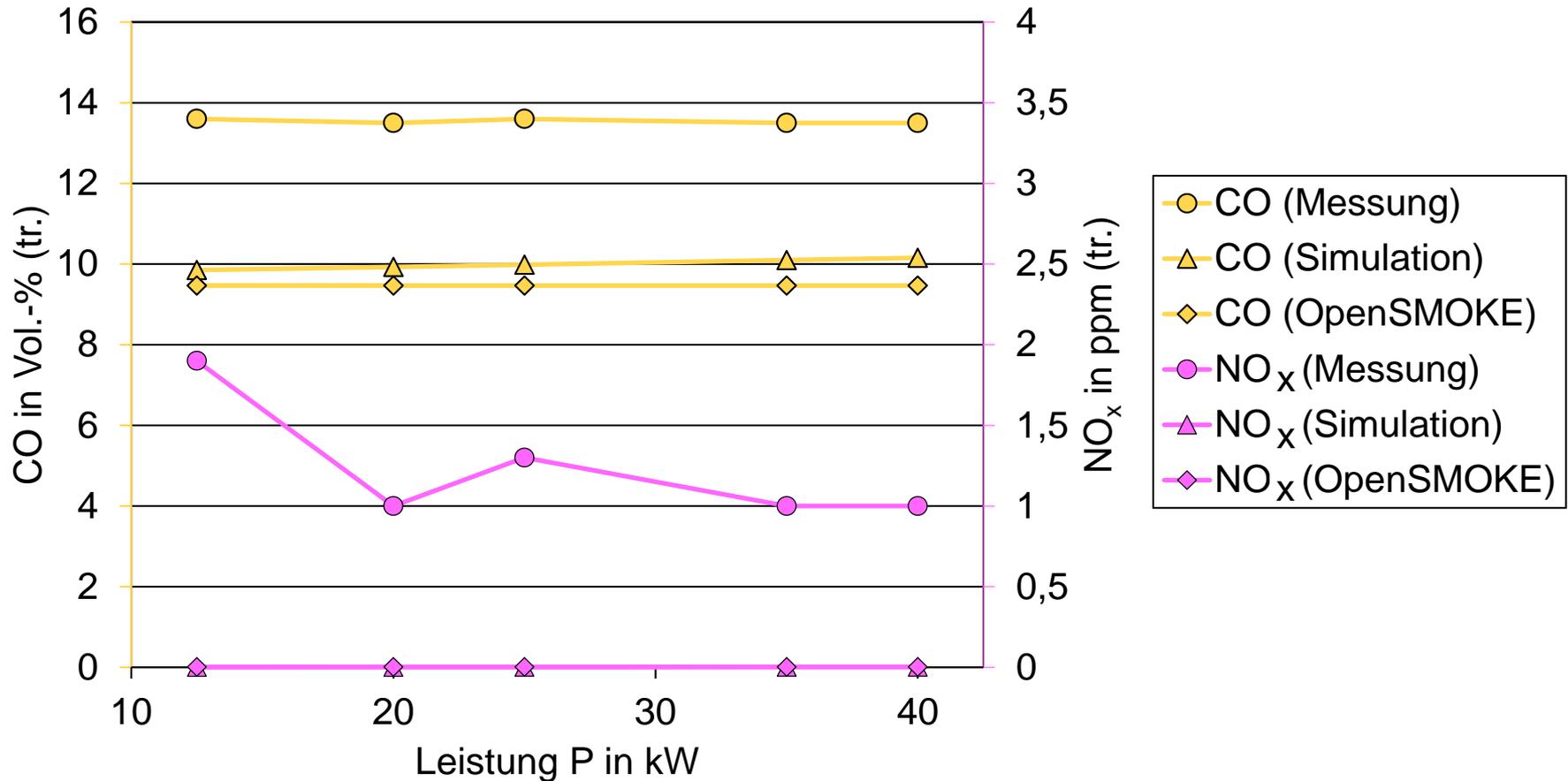


- zusätzliche Berechnungen der Abgaszusammensetzung mit der Software OpenSMOKE++ für den Fall eines perfekt durchmischten Reaktors (PSR)

Ergebnisse – Temperatur

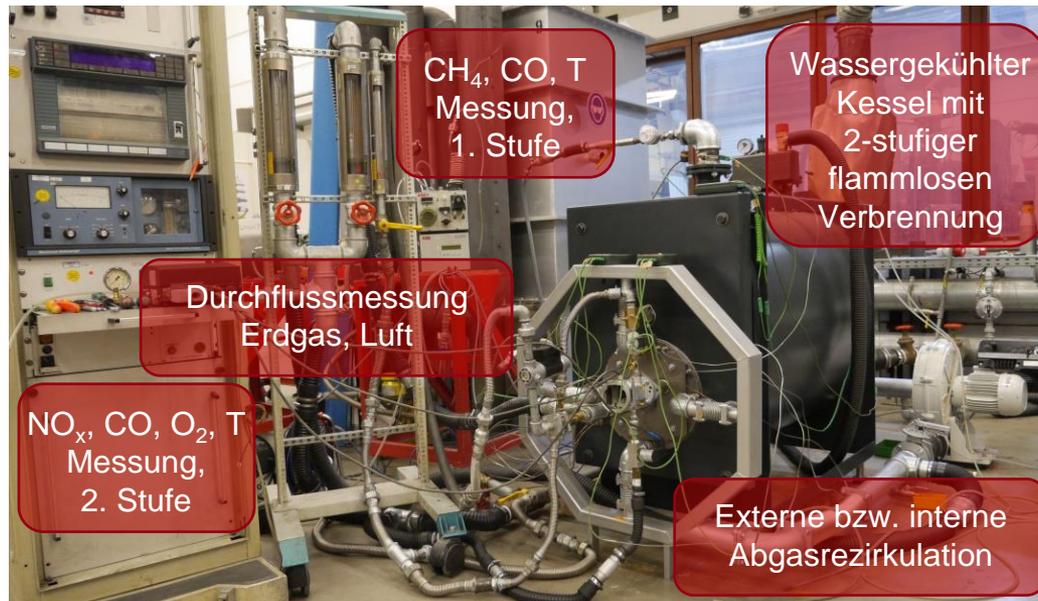


Ergebnisse – Abgas CO/NO_x



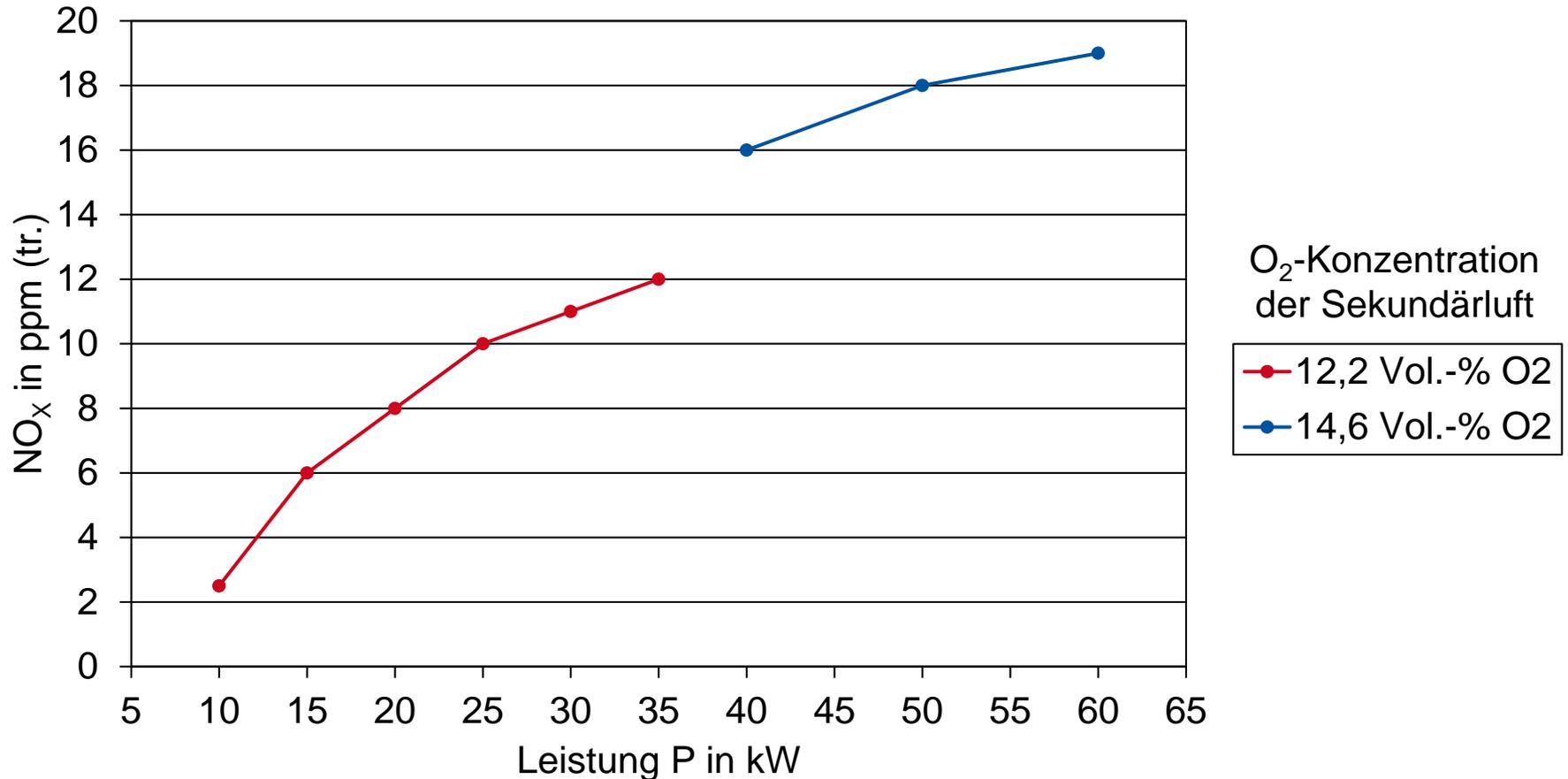
Experimentelle Untersuchungen am Demonstrator

- Leistungsbereich: $P = 10 - 35 \text{ kW}$
- Luftzahl $\lambda_{\text{Primär}} = 0,42$
- Brennstoff: Erdgas
- Zielgrößen: Temperatur, CO , NO_x
- Untersuchungen mit interner Abgasrezirkulation



Ergebnisse – Abgas NO_x

$\lambda_{\text{Primär}} = 0,42$; $\lambda_{\text{Gesamt}} = 1,135$; interne Abgasrezirkulation



Ergebnisse und Zusammenfassung

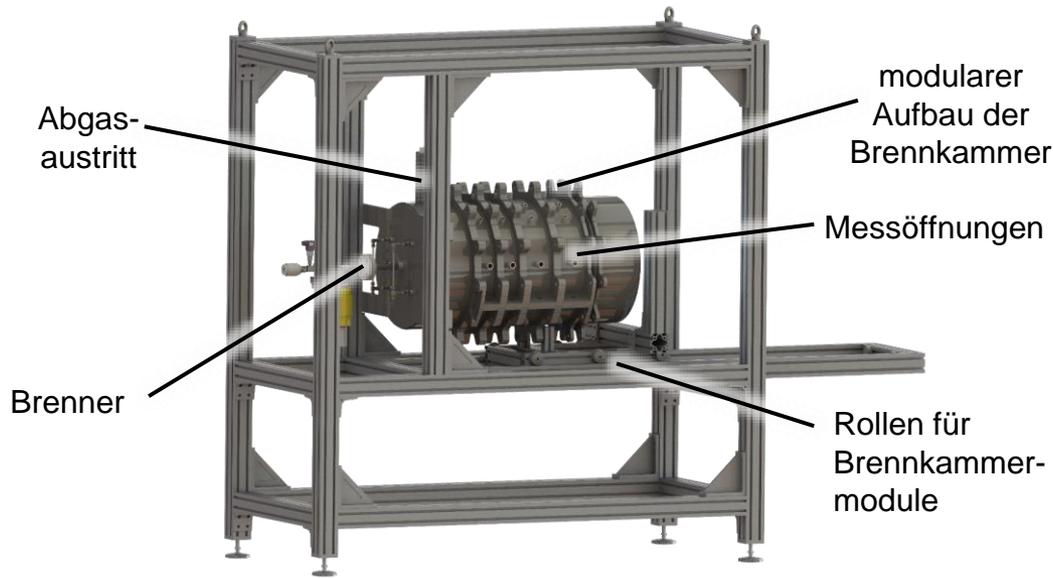
- Experimentelle und numerische Untersuchungen bei konstanter Luftzahl $\lambda = 0,4$ und variabler Leistung zwischen 12,5 kW und 40 kW wurden an der 1. Stufe durchgeführt
 - Steigung der Temperatur über die Brennkammerlänge kann im numerischen Modell abgebildet werden, das numerisch ermittelte Temperaturniveau liegt etwa 100 °C über den experimentellen Werten
 - NO_x -Konzentration erwartungsgemäß niedrig (< 2 ppm)
 - Abweichung in der CO-Konzentration zwischen Simulation und Experiment von etwa 3,5 Vol.-% (tr.)

→ Anpassung der Inlet-Randbedingungen von 100 % CH_4 auf Erdgas-Zusammensetzung

→ Weiterentwicklung des numerischen Modells in OpenSMOKE++
- Experimentelle Untersuchungen an einem Demonstrator mit $\lambda_{\text{Primär}} = 0,42$ und $\lambda_{\text{Gesamt}} = 1,135$, variabler Leistung zwischen 10 kW und 60 kW mit interner Abgasrezirkulation wurden durchgeführt
 - NO_x -Konzentration nimmt mit steigender Leistung zu
 - max. Konzentration bei 35 kW liegt bei etwa 12 ppm (12,2 Vol.-% O_2 in Sek.-Luft) und für 60 kW bei etwa 19 ppm (14,6 Vol.-% O_2 in Sek.-Luft)

Ausblick

- Aufbau eines weiteren Versuchsstands der 1. Stufe
 - Modularer Aufbau der Brennkammer für flexible Länge und flexiblen Durchmesser
 - Rollensystem zum Öffnen der Kammer sowie zum Ein- und Ausbau der Module
 - Mehr Messöffnungen über die Länge, den Umfang und an den Stirnflächen, auch optischer Zugang
 - elektrische Heizelemente zum Aufheizen der Kammer auf Betriebstemperatur und zum Einstellen eines quasi-adiabaten Zustands
 - Bestimmung der vollständigen Abgasmatrix (CO , CO_2 , H_2O , H_2 , NO , NO_2)
 - Untersuchungen mit alternativen Brennstoffen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Linda Giesler, M.Sc.
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen
www.iob.rwth-aachen.de
giesler@iob.rwth-aachen.de
+49 241 80 26060

