



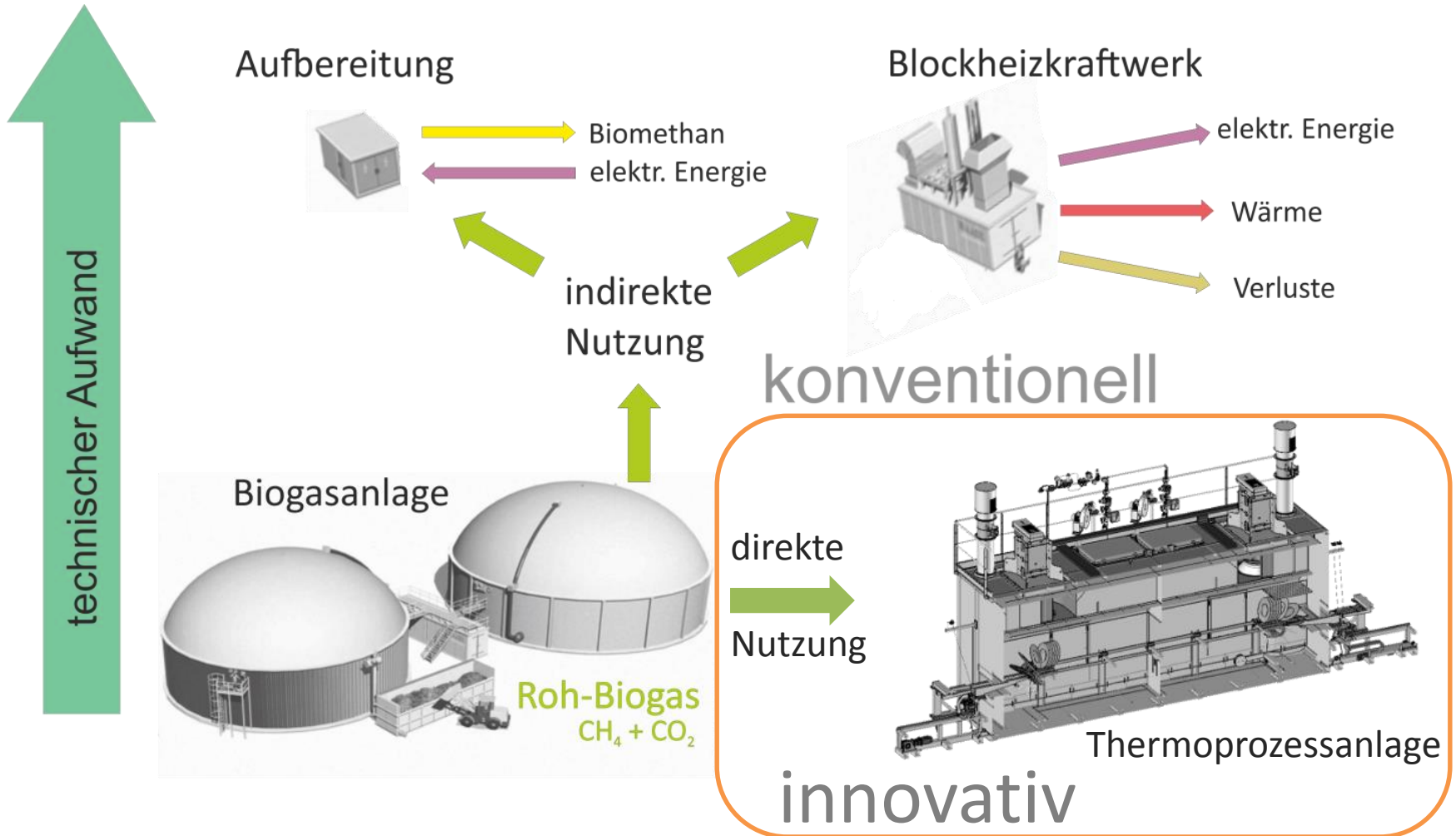
Einsatz von Rohbiogas zur Verbesserung der CO₂-Bilanz metallurgischer Thermoprozesse - Auswirkungen auf die Feuerung

Markus Röder¹, Philipp Pietsch², Tim Schneider¹,
Dr. Anne Giese¹, Ronny Erler², Prof. Klaus Görner¹

¹Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

²DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

2. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium
Aachen, 11. Oktober 2019



Quelle: <https://cdn.daa.net>

Quelle: ELMETHERM - Durchlaufofen um Aluscheiben vor Formungsverfahren zu wärmen
Vertikale Förderung der Aluscheiben Temperatur des Ofens 550°C

Bezeichnung Einheit	Einheit	Typische Werte Rohbiogas (NaWaRo)	Typische Werte Rohbiogas (Reststoffe)	Anforderungen G 260/#G 262
Brennwert	kWh/m ³	5,5–6,1	6,6–7,8	8,4–13,1
Relative Dichte	–	0,99–1,04	0,85–0,94	0,55–0,75
Wobbe-Index	kWh/m ³	5,4–6,1	6,8–8,4	H-Gas: 10,8–15,7 L-Gas: 10,5–13
Taupunkt Wasser	°C	gesättigt bei $T_{\text{Fermenter}}$ / $p_{\text{Fermenter}}$	gesättigt bei $T_{\text{Fermenter}}$ / $p_{\text{Fermenter}}$	maximal: gesättigt bei T_{Boden} / p_{Leitung}
CH ₄	Vol.-%	50–55	60–70	–
CO ₂	Vol.-%	43–50	30–40	6
O ₂ (trockenes Netz)	Vol.-%	0–2	0–1	3
O ₂ (feuchtes Netz)	Vol.-%			0,5
Carbonsäuren	mg/m ³	< 220	Spuren	–
Alkohole	mg/m ³	Spuren	< 22	–
BTEX	mg/m ³	Spuren	< 10	–
C _x H _y Rest	mg/m ³	< 2	< 1250	Kondensation bei T_{Boden}
H ₂ S	ppm	< 600*)	< 30 000	5
Mercaptane	mg/m ³	< 10	< 5	6
COS	mg/m ³	< 8	< 0,6	–
NH ₃	mg/m ³	< 10	< 10 000	–
H ₂	Vol.-%	< 0,3	< 1	5
Si _{Gesamt}	mg/m	< 15	< 5	–

*) grobentschwefelt.

Strömung,
Mischung,
Verbrennung,
Wärmetransport

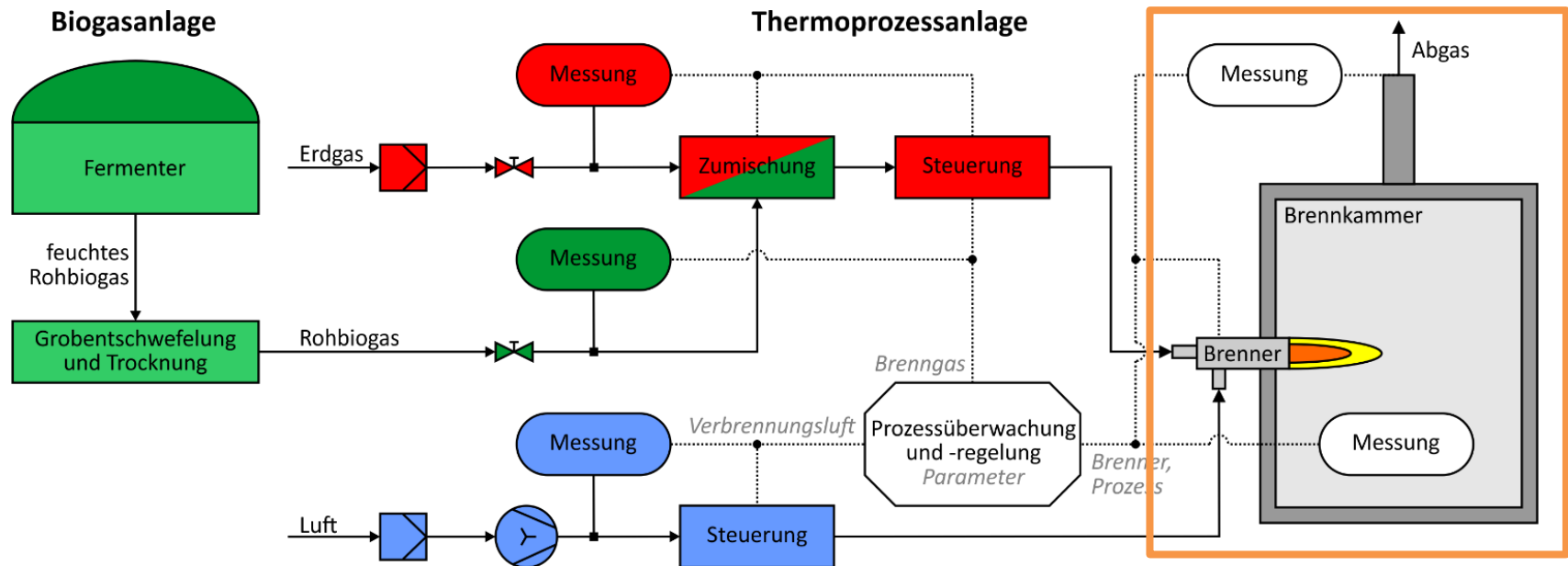


Schadstoffemissionen,
Interaktion mit dem
Produkt und
Feuerfestmaterial



Leitungsschema, notwendige Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

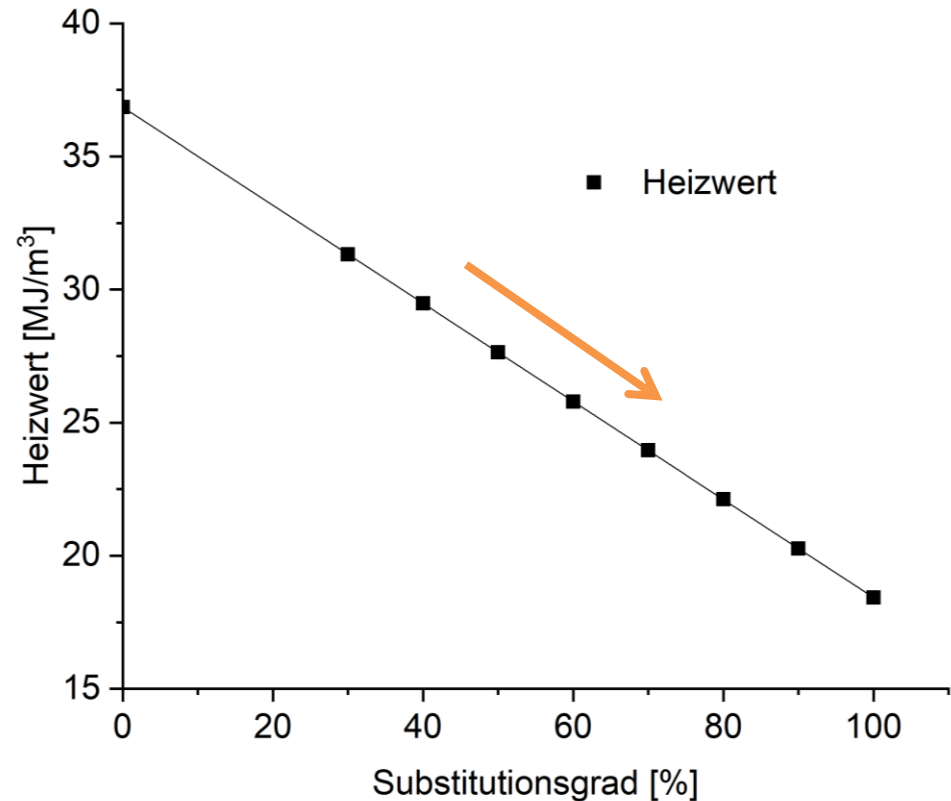
- **Brenngas:** Zusammensetzung, Menge, Leistung
- **Luft:** Menge, Luftverhältnis
- **Brennkammer:** Temperaturverteilung, Brennraumatmosphäre
- **Brenner:** Überwachung (T, UV, Ionisation)



Änderung des Heizwertes

- Primärbrennstoff:
 - Erdgas H
- Annahme Biogas-zusammensetzung:
 - 50 Vol.-% CH₄
 - 50 Vol.-% CO₂

Konstante thermische Leistung:
Substitution erfordert eine
Erhöhung des Durchsatzes

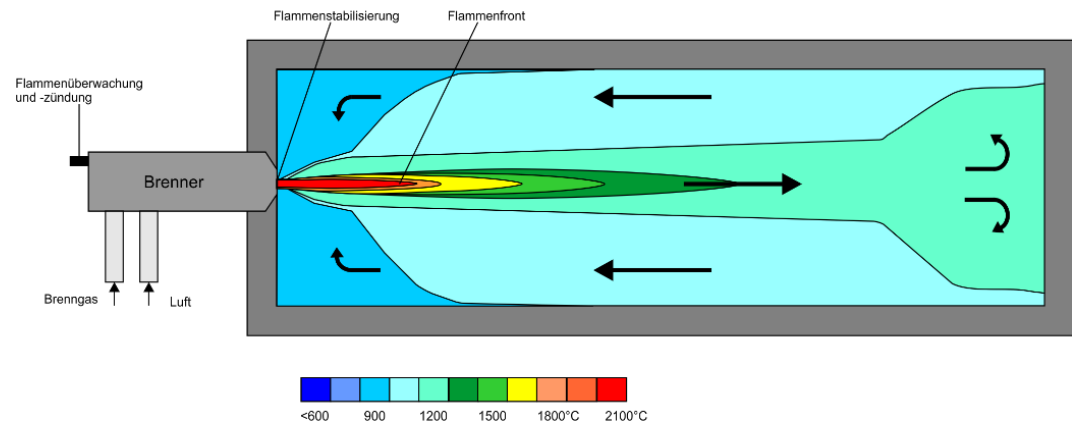


Untersuchung typischer Verbrennungsverfahren

Betrachtungen:

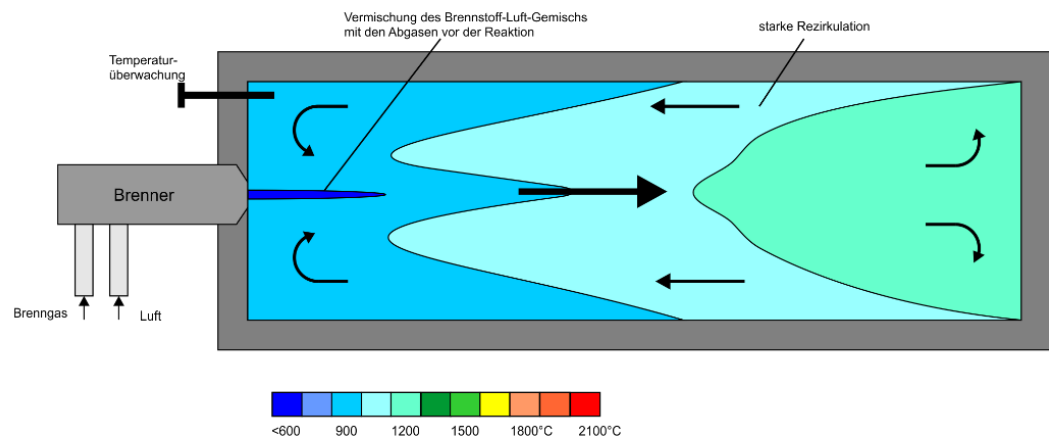
- I. Auswirkungen auf die Schadstoffbildung
- II. Auswirkungen auf die Ofenraumatmosphäre
- III. Auswirkungen auf die Flamme
- IV. Auswirkungen auf den Wirkungsgrad

Konventioneller Brenner



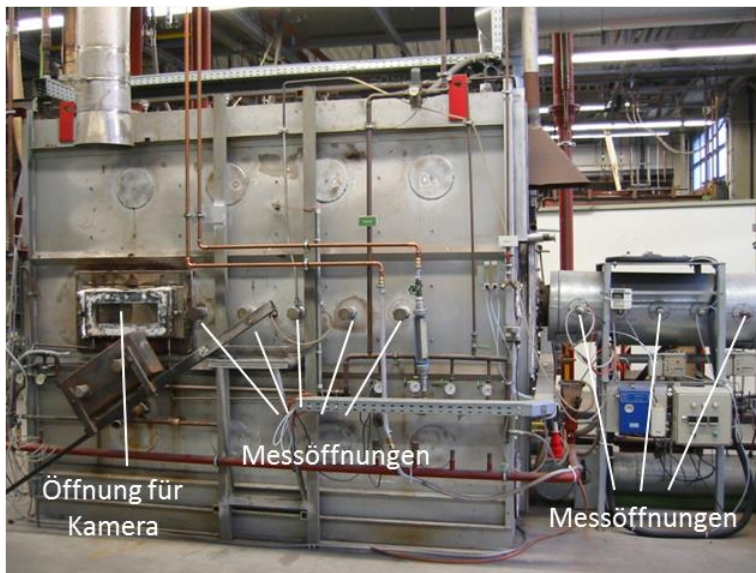
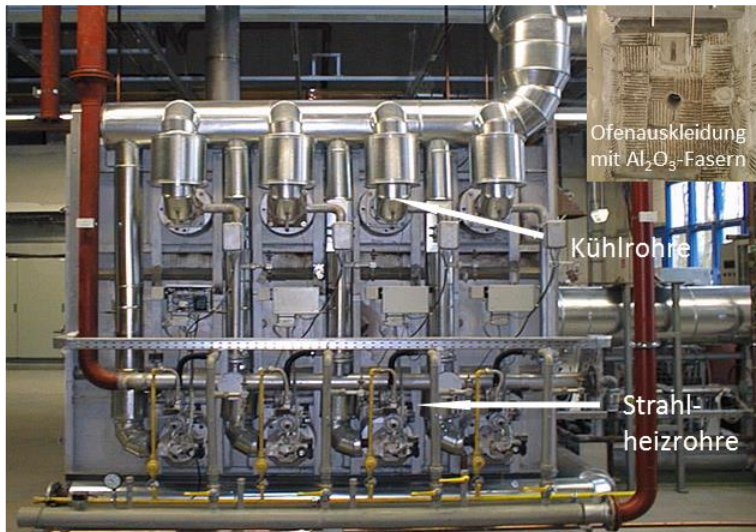
Brenner 1: Flamme

Flammenlose Oxidation



Brenner 2: FLOX®

(Quelle: Wüning, J. G., Milani, A., Handbuch der Brennertechnik für Industrieöfen, 2011)



Eigenschaften

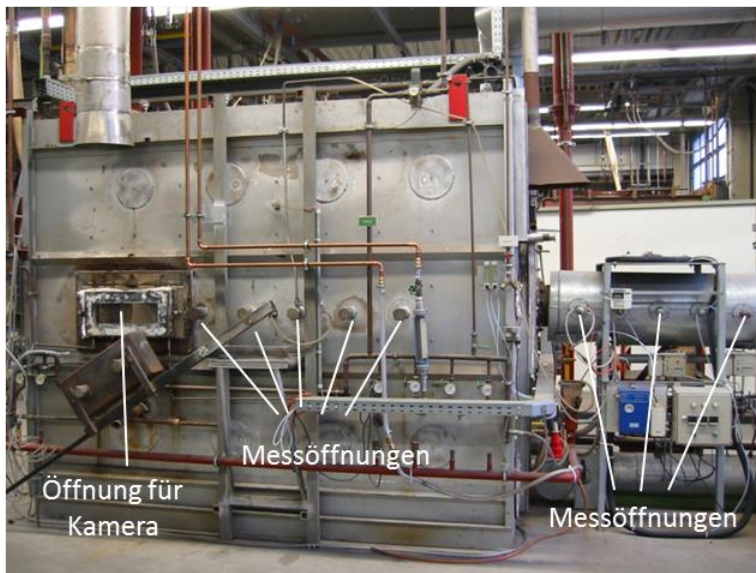
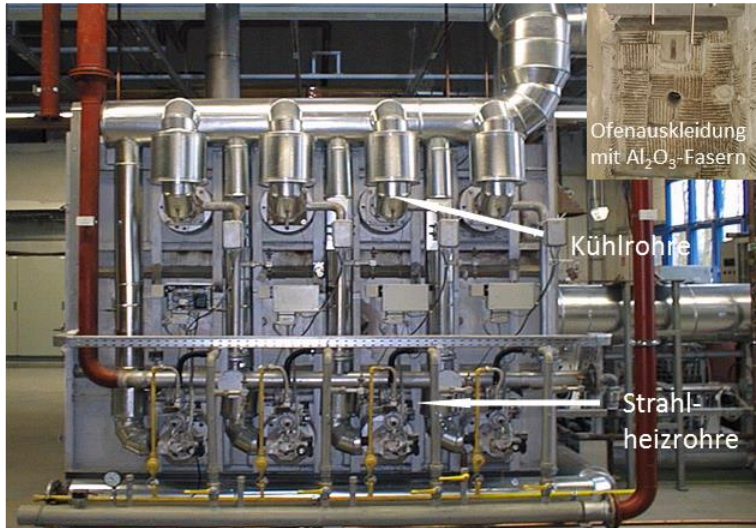
- Max. Temp.: 1300 °C
Max. Leistung: 300 kW (Brenngas)
Größe: Breite: 1,2 m
Höhe: 1,8 m
Länge: 2,7 m
Heizsystem: 4 Strahlheizrohre
Kühlsystem: 4 Kühlrohre (mit Luft)
6 Öffnungen \varnothing 60 mm,
7 Öffnungen im Abgaskanal \varnothing 25 mm
1 Beobachtungsfenster 200 × 600 mm

Abgasanalyse

Entnahmesonde und Thermoelement im Abgastrakt nahe Ofenaustritt

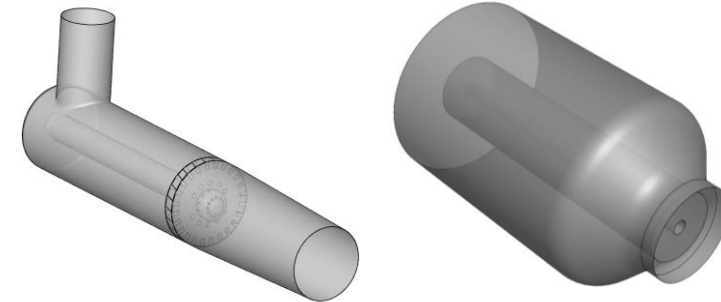
Analysegeräte:

- NO, NO₂: Eco Physics CLD 822 S r
- CO, O₂: Rosemount NGA 2000
- CO₂: Rosemount BINOS 100



Betriebsparameter

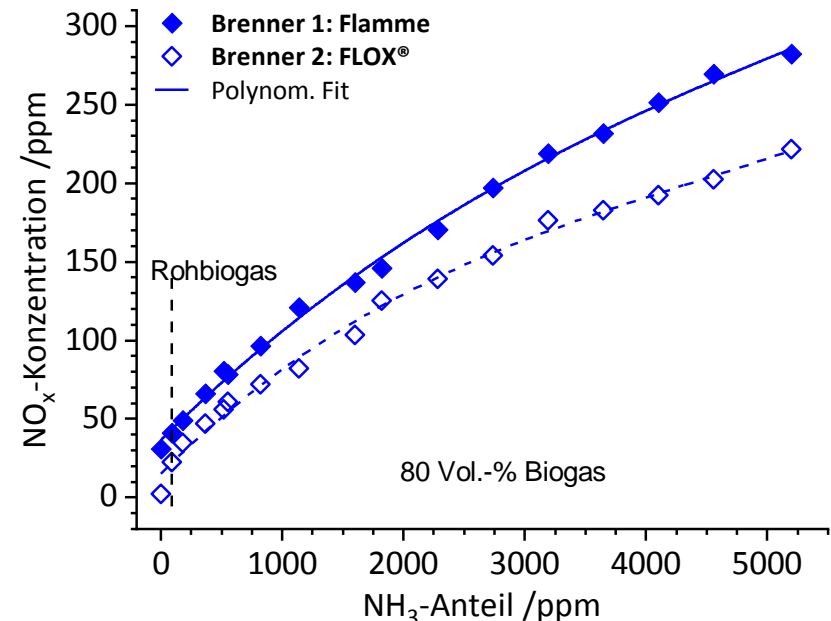
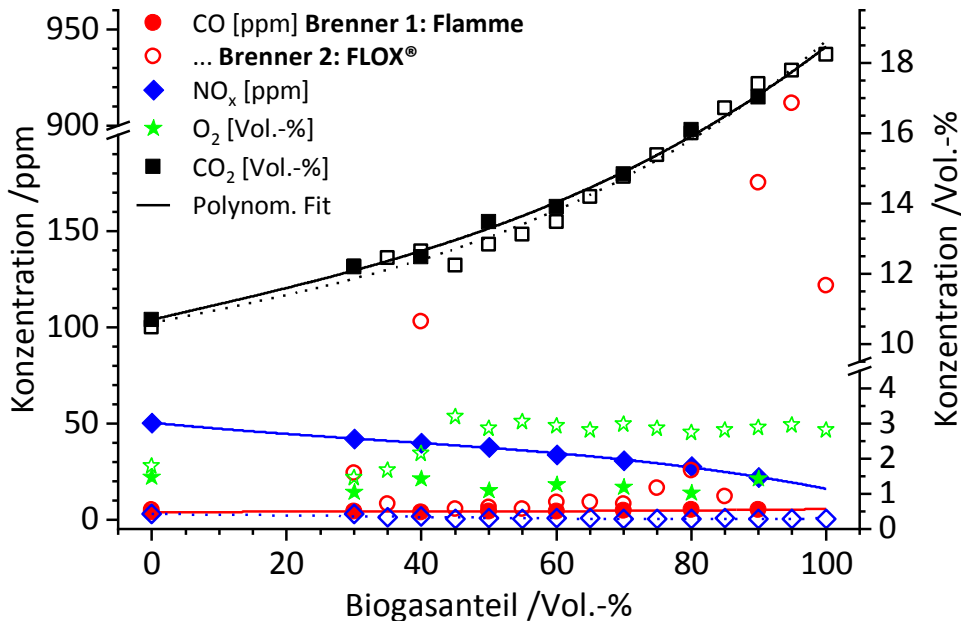
Parameter	Brenner 1	Brenner 2
P_{th}	120 kW	150 kW
$m_{\text{pkt_Erdgas}}$	11,7 m ³ /h	15 m ³ /h
λ	~1,1	~1,1
T_{Ofen}	800 °C	900 °C
$T_{\text{Br}}, T_{\text{Luft}}$	20 °C	20 °C
Verfahren	Nicht-vorgemischt, Flamme	Nicht-vorgemischt, FLOX®



Computergestützte Geometriemodelle

Abgasuntersuchung und NH₃-Zugabe

- Bestimmung der trockenen Abgaszusammensetzung im Kamin bei Biogas- bzw. CO₂-Zugabe
- Brenner 1: Sinkende NO_x-Emissionen mit zunehmendem CO₂-Gehalt im Brenngas
- Brenner 2: Teils gelangt ungebranntes Gas in den Kamin, dadurch erhöhte CO-Werte
- Zunahme der NO_x-Konzentration im Abgas bereits bei geringen NH₃-Anteilen im Brenngas



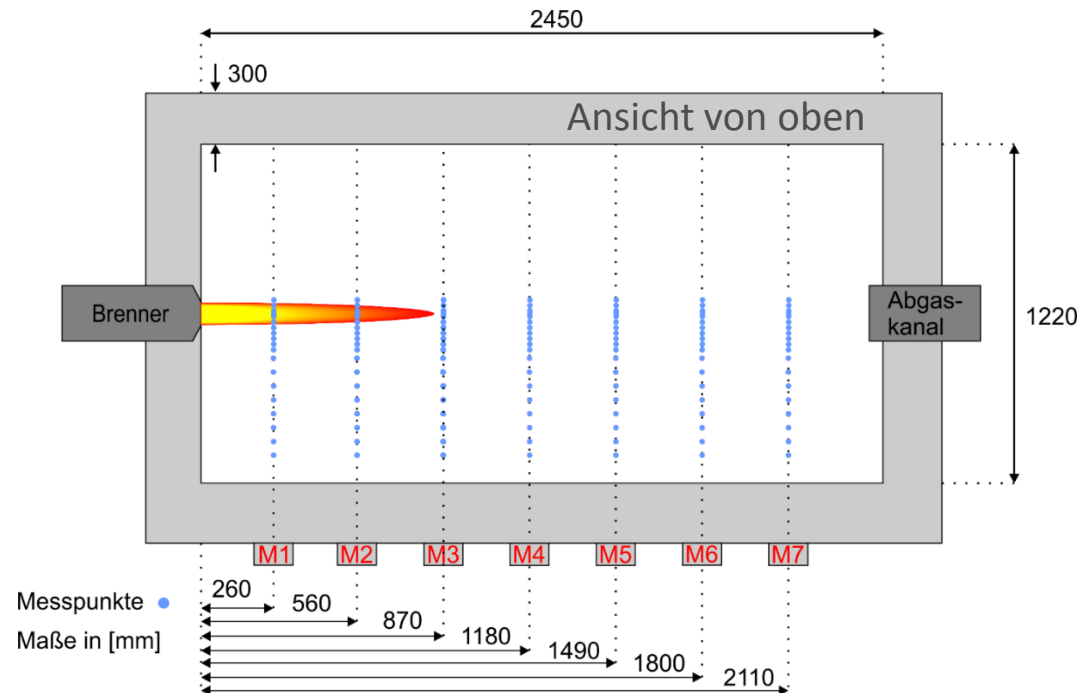
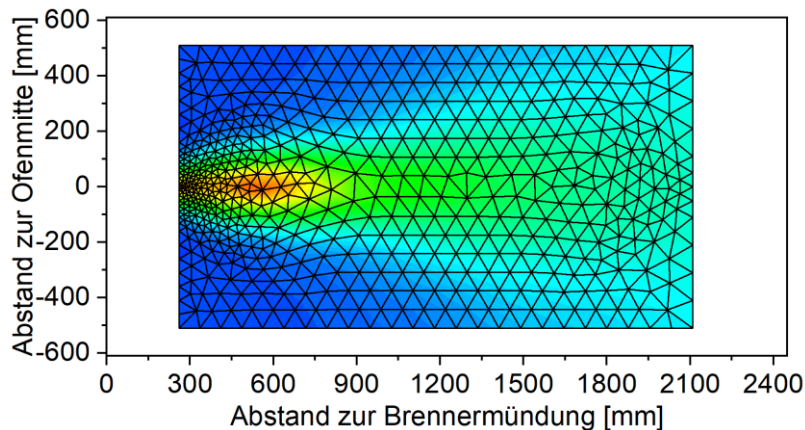
II. Auswirkungen auf die Ofenraumatmosphäre (1)

Bestimmung der Konzentrations- und Temperaturverteilung im Ofenraum

- Feldmessungen mit Absaugpyrometer in Brennermittelebene

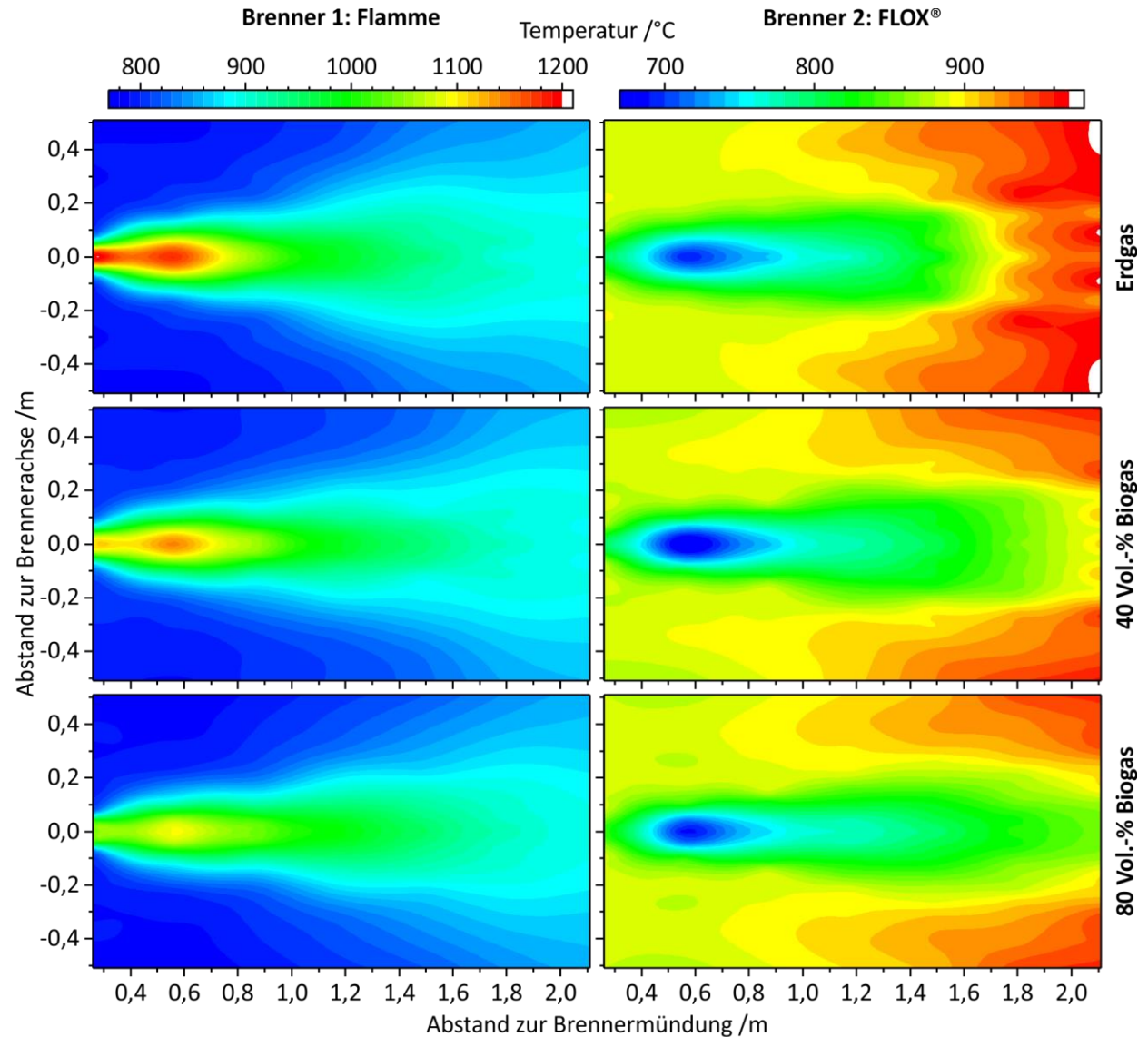
Ermittlung von (T, c)-Feldern:

- Erzeugung Triangulationsgitter
- Lineare Interpolation entlang der Gitterlinien
- Glättung mittels TPS-Methode



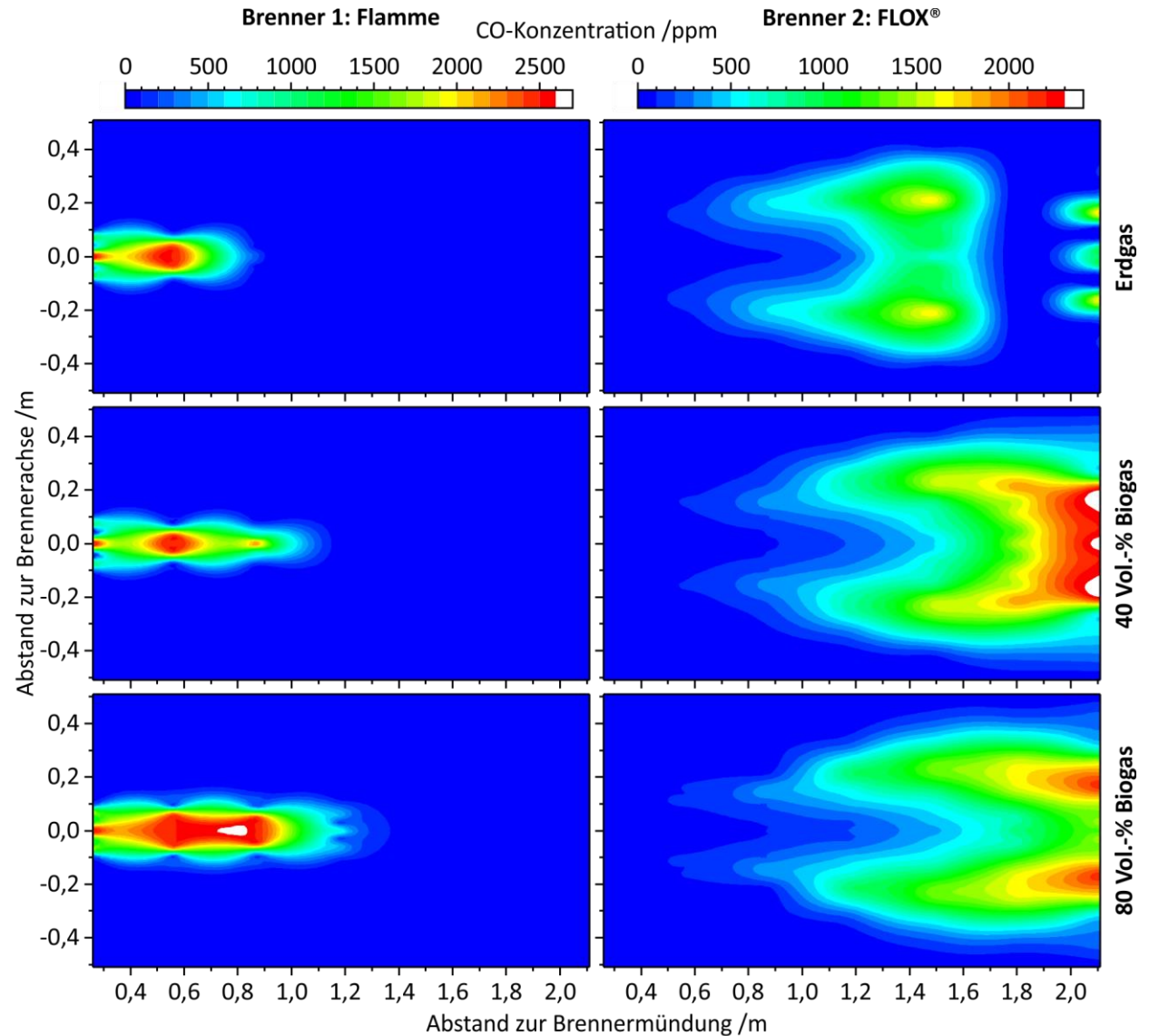
Temperaturverteilung

- T_{\max} sinkt mit zunehmendem Substitutionsgrad
- Flamme: T-Feld ähnlich für alle Substitutionsgrade
- FLOX[®]: T-Feld-Änderung vor allem im hinteren Ofenbereich



[CO]-Verteilung

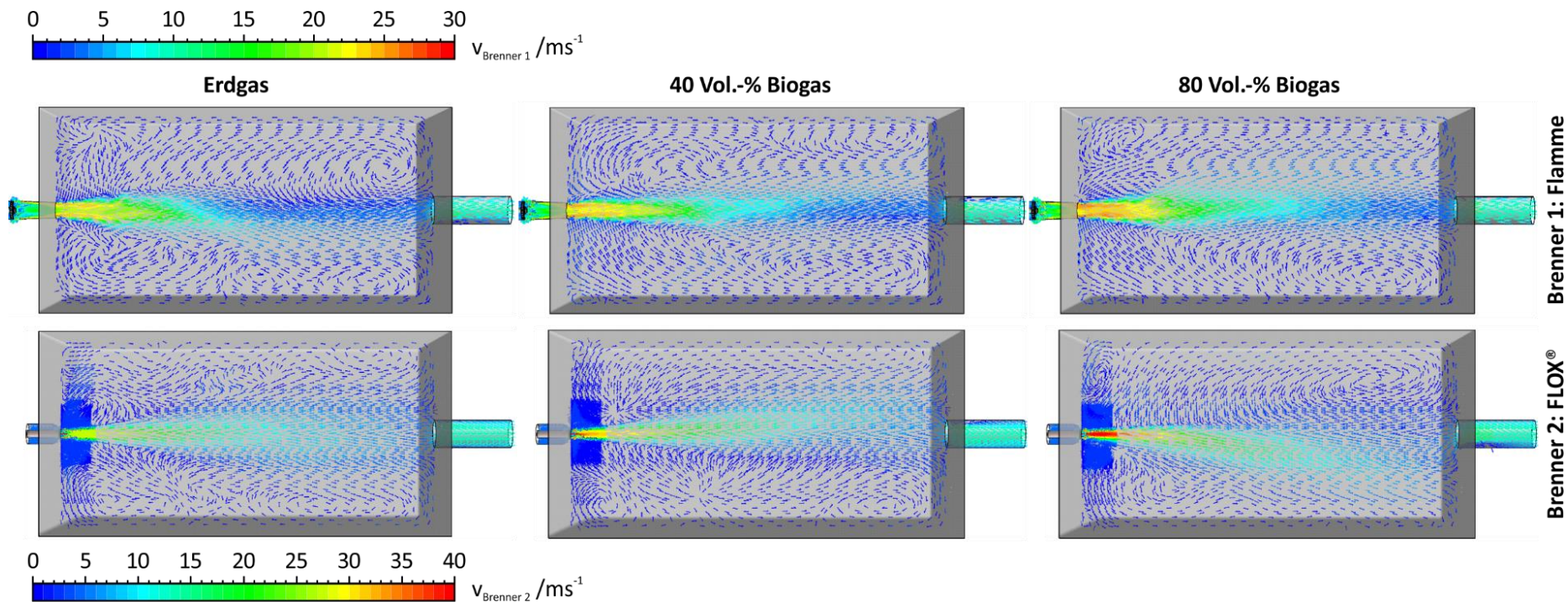
- CO als grober Indikator für Reaktionsbereiche (hohe T)
- Flamme: [CO]-Feld dehnt in axialer Richtung aus
- FLOX®: [CO]-Feld-Änderung vor allem im hinteren Ofenbereich



II. Auswirkungen auf die Ofenraumatmosfera (4)

CFD-Simulationen

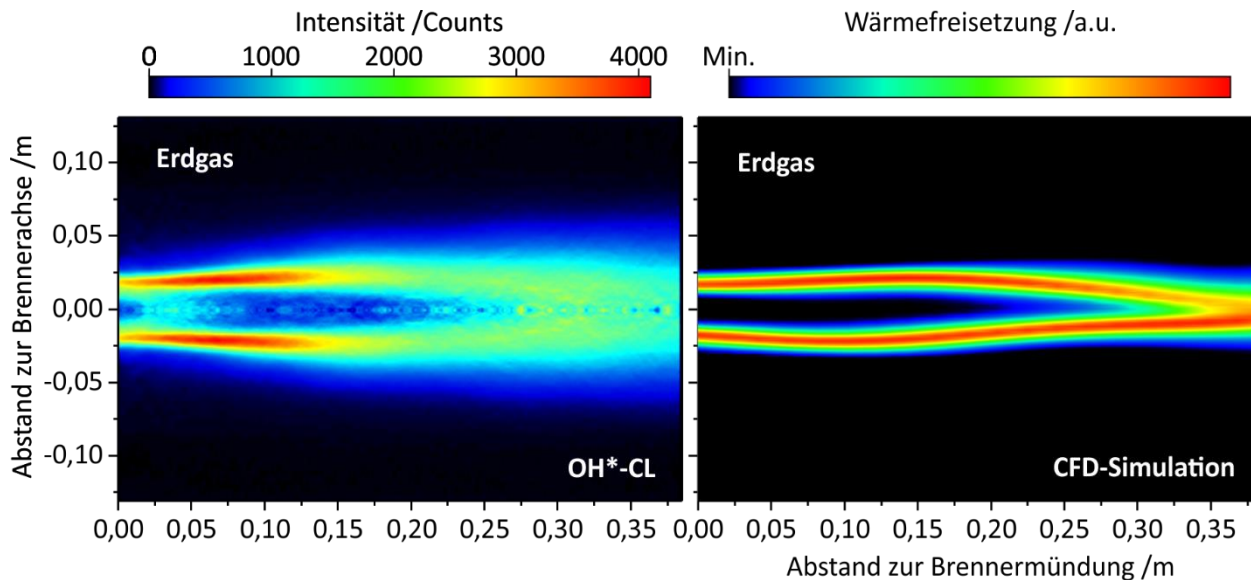
- Stationäre RANS Simulation: Gitter mit 2-3 Mio. Zellen, $k-\omega$ -SST-Turbulenzmodell, partially premixed PDF (Brenner 1) bzw. Wirbelzerfallsmodell mit 6 Spezies (CH_4) (Brenner 2)
- Ebene Geschwindigkeitsverteilung im Ofenraum, vektorielle Darstellung (horizontal, Brennermitte):



III. Auswirkungen auf die Flamme

Chemilumineszenz-Aufnahmen (OH*)

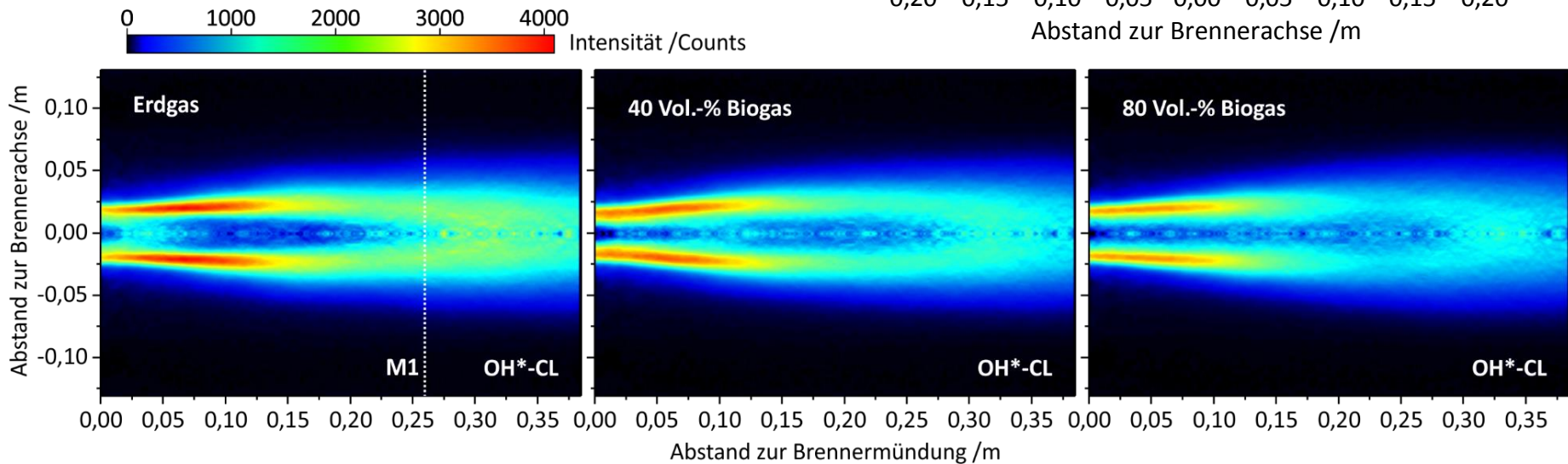
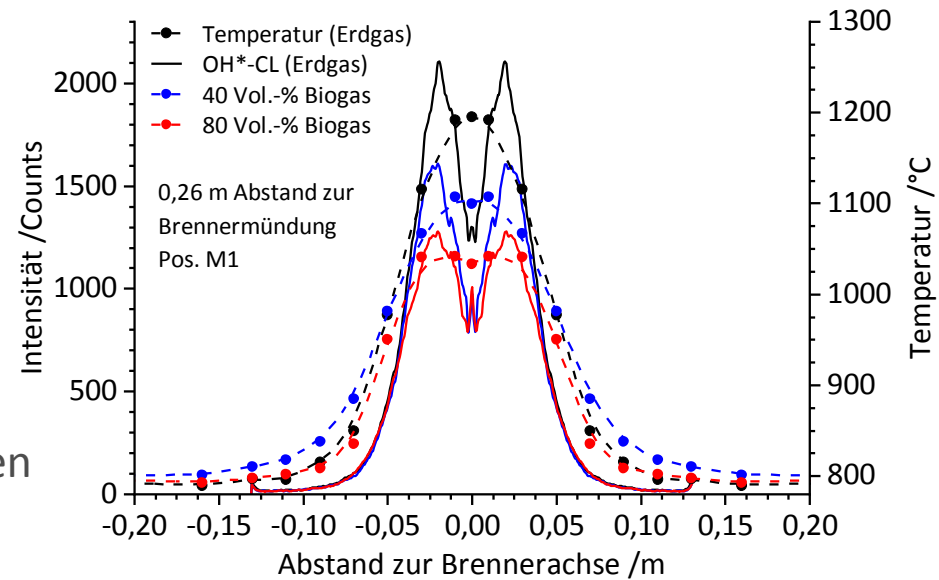
- Zeitlich gemittelte, bildgebende Detektion der Reaktionszone (Abel-Inversion: ebene OH*-Intensitätsverteilung)
- Indikator für Wärmefreisetzung in der Flamme: sinkt lokal mit zunehmendem Biogas(CO₂-)Anteil
- Gute Korrelation mit gemessenen T-Profilen



III. Auswirkungen auf die Flamme

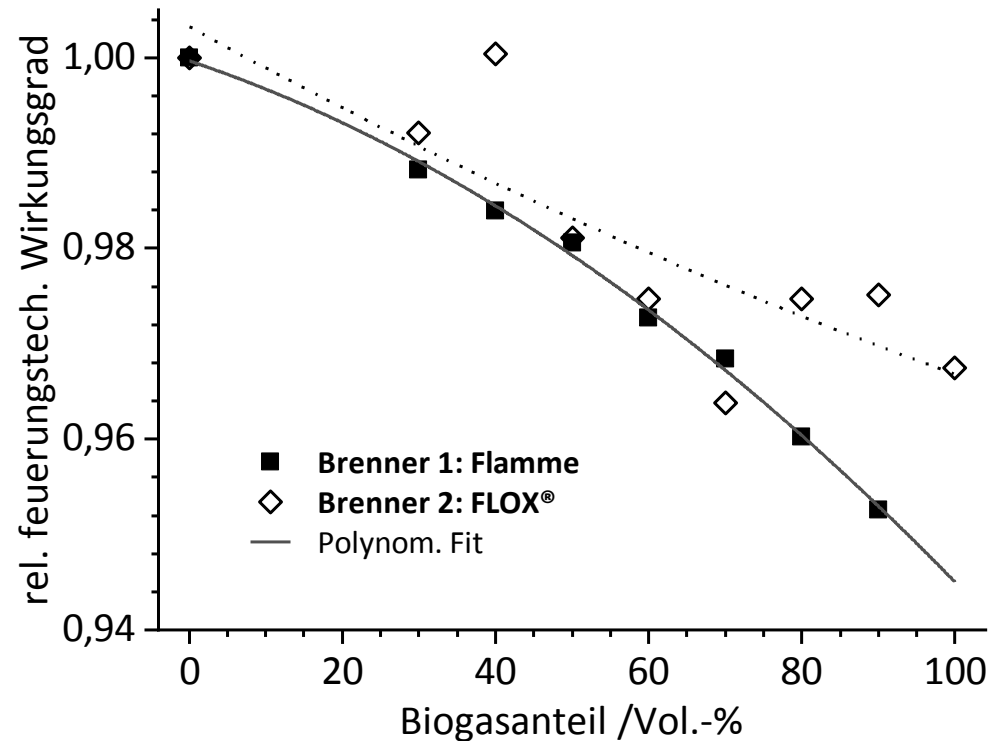
Chemilumineszenz-Aufnahmen (OH*)

- Zeitlich gemittelte, bildgebende Detektion der Reaktionszone (Abel-Inversion: ebene OH*-Intensitätsverteilung)
- Indikator für Wärmefreisetzung in der Flamme: sinkt lokal mit zunehmendem Biogas(CO₂-)Anteil
- Gute Korrelation mit gemessenen T-Profilen



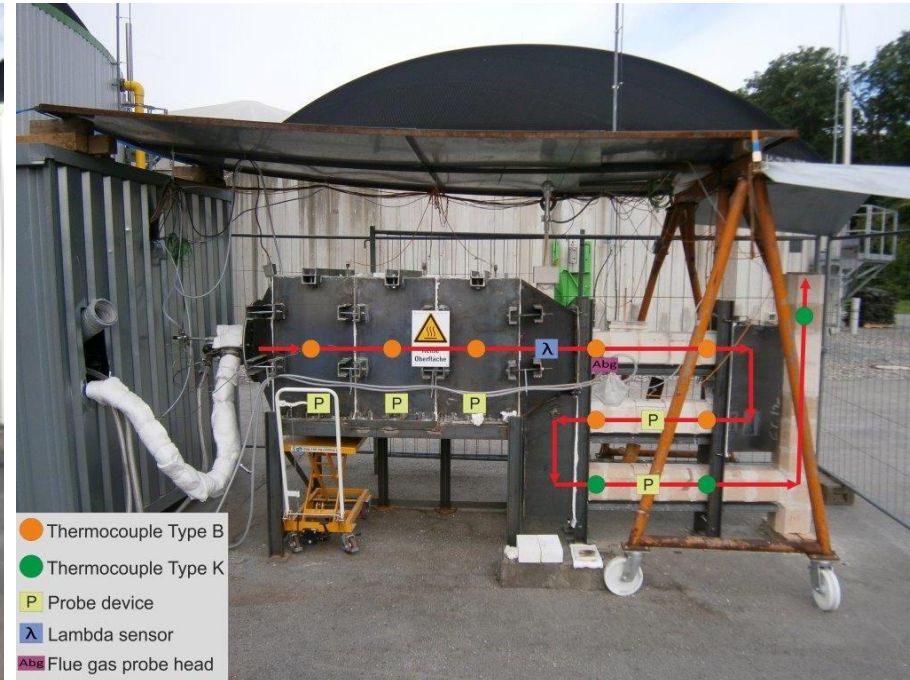
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

- Ermittelt aus der Stoff- und Energiebilanzierung des Ofenraums
- Trends: Relativer feuerungstechnischer Wirkungsgrad sinkt um etwa 4 % bei vollständiger Substitution durch Biogas
- Brenner 2: Streuung verursacht durch stark schwankende Abgasmesswerte
- Negative Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit industrieller Feuerungen



- **Auswirkungen auf typische Verbrennungsverfahren von HT-Prozessen der Metallurgie untersucht**
- Bei hohen Substitutionsgraden kann Flammeninstabilität bzw. eine unvollständige Verbrennung eintreten
- Auswirkungen auf die (T, c)-Verteilungen sowie die Wärmefreisetzung im Feuerungsraum stark abhängig vom Verbrennungsverfahren;
u. U. starke Änderung der (T, c)-Verteilungen im Feuerungsraum
- Niedrigere Verbrennungstemperaturen: Positiver Einfluss auf die Stickoxidbildung, allerdings prozessrelevant
- Negative Auswirkung auf den feuerungstechnischen Wirkungsgrad muss im Anlagenbetrieb berücksichtigt werden
- **Fazit: Einsatz von (Roh-)Biogas in Erdgasbrennern metallurgischer HT-Prozesse prinzipiell bis hinzu hohen Substitutionsgraden möglich**

- Untersuchung des Einflusses von grobentschwefeltem Rohbiogas auf das die **Produktqualität** und das **Feuerfestmaterial**
- Installation eines **mobilen** mit umfangreicher Messtechnik ausgestatteten **Versuchsstandes** an einer Biogasanlage
- Ausstattung mit **Gasaufbereitungsanlage** und **Brenngasanalytik**





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dipl.-Ing. Markus Röder
Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Hafenstraße 101
45356 Essen
T: +49 (0) 201 3618 - 288
E: roeder@gwi-essen.de
W: www.gwi-essen.de