

# Feuerungsanlage mit Brennstoffstufung zur Stickoxidminderung

20. November 2025, Statuskonferenz Bioenergie in Leipzig

**Niklas Gebhard**

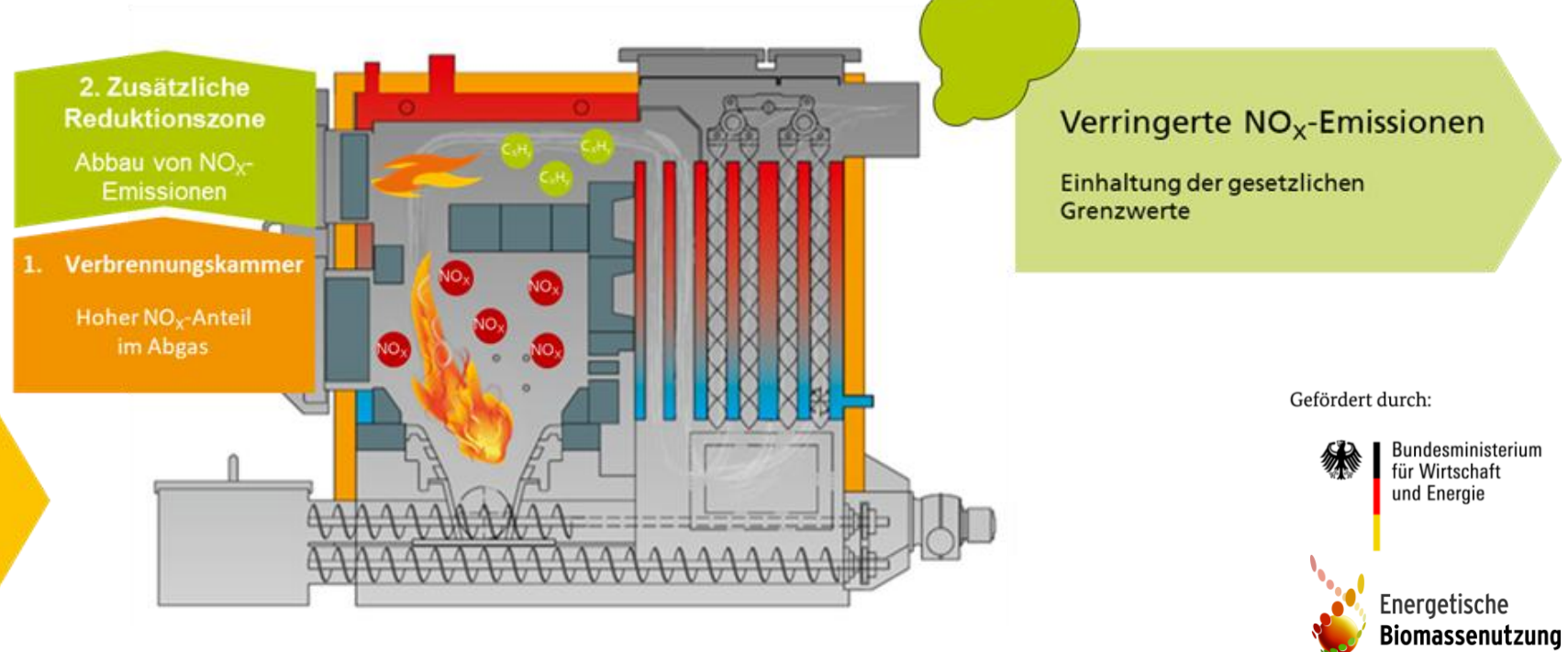
# Ausgangssituation

---

- Aktuell gibt es noch keine marktverfügbare Lösung für die Stickoxidminderung in Feuerungsanlagen im Leistungsbereich 200 kW – 2 MW
- Gesundheitliche Aspekte
- Rechtliche Aspekte: keine Grenzwerte für Stickoxide in 1. BImSchV
  - Vergleich zur 44. BImSchV: max. 370 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub> (bei 6 Vol.-% O<sub>2</sub> für Anlagen < 5 MW)
  - Emissionen ohne Brennstoffstufung: ca. 1.900 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub> (Brennstoff: Briketts aus Spanplattenreste)
  - Stickoxidreduktion teilweise notwendig, um in Zukunft mögliche Grenzwerte einzuhalten
- **Ziel: Biomasse-Verbrennung so sauber machen, dass sie nicht angreifbar ist!**

# Forschungsprojekt FlexNOx

- Laufzeit: 01. Februar 2021 bis 31. Juli 2024
- Projektpartner:



Gefördert durch:





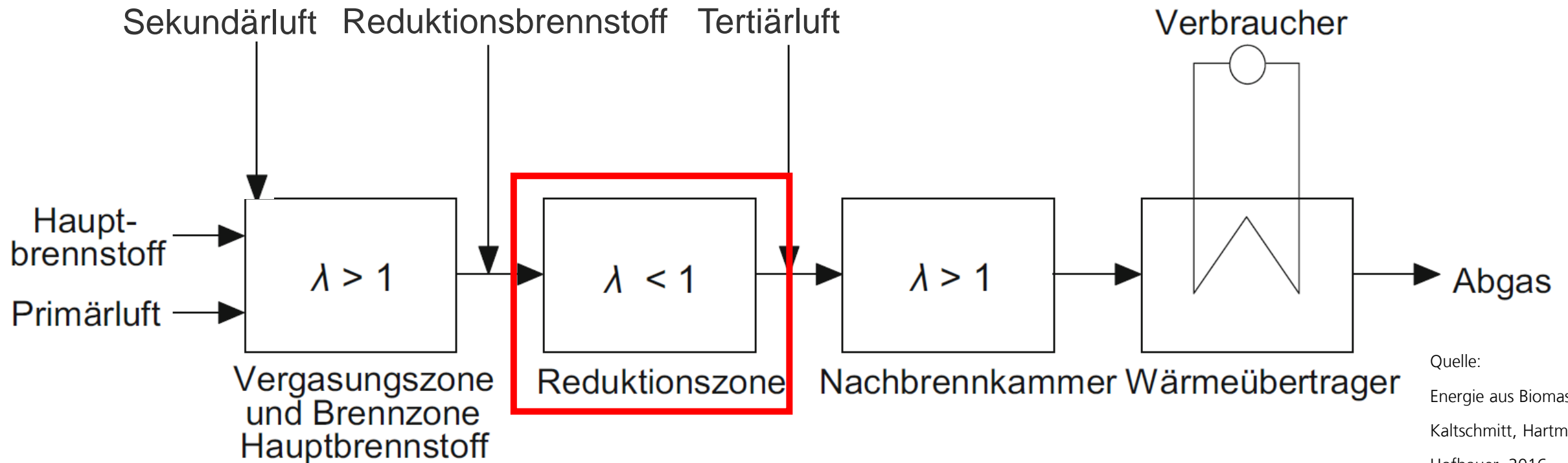
# Zielstellung

- Entwicklung und Erprobung einer neuen Anlage mit Brennstoffstufung
- Leistungsbereich: 200 kW bis 2 MW
- Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe
- Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen:
  - Ursprüngliches Projektziel: Reduktion um mindestens 50 %
  - Adaption: Einhaltung der Grenzwerte der 44. BImSchV (370 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>)
  - Gleichzeitig kein Anstieg übriger Emissionen, wie CO oder CH<sub>4</sub>



# Prinzip der Brennstoffstufung und RFR-Wert

## Theoretische Grundlagen

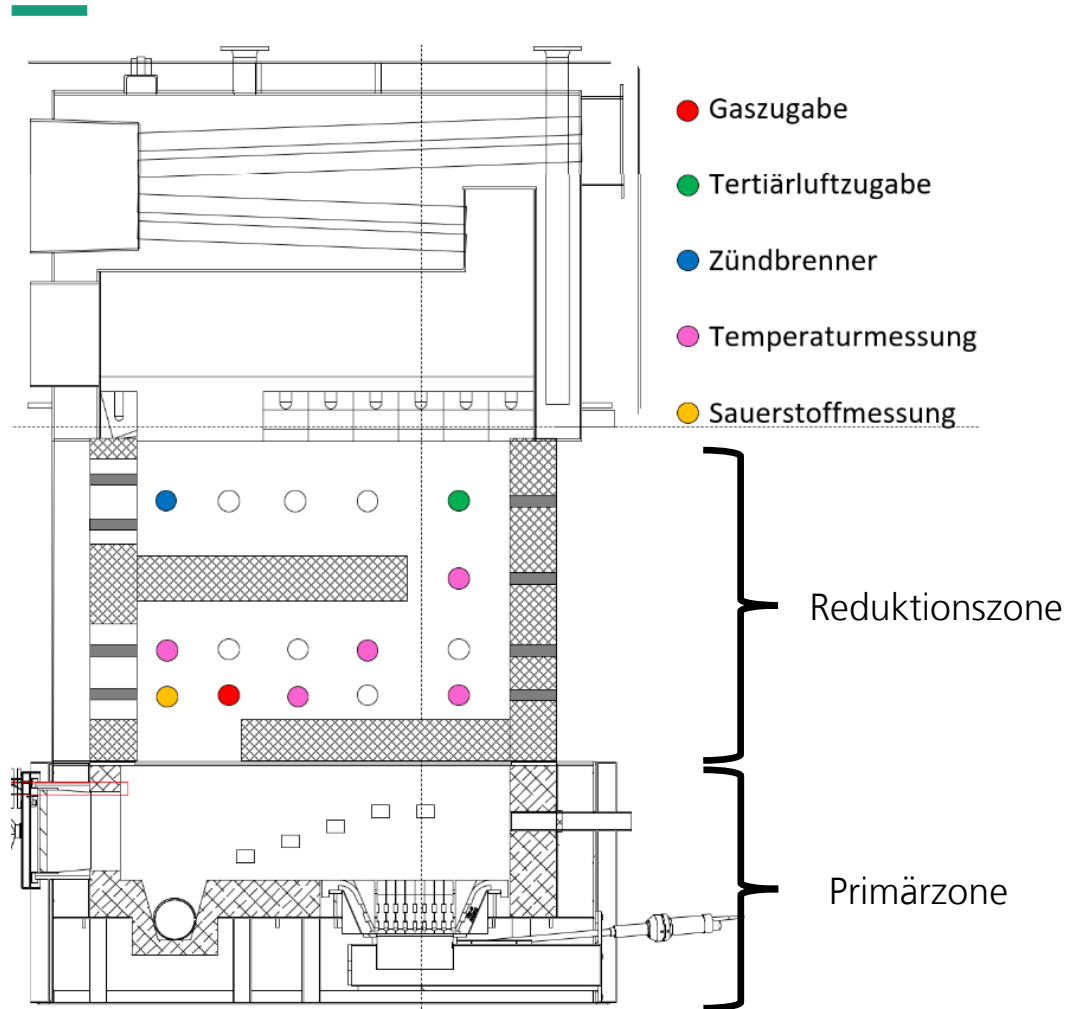


Quelle:  
Energie aus Biomasse  
Kaltschmitt, Hartmann,  
Hofbauer, 2016

Wichtige Bewertungsgröße: 
$$RFR = \frac{m_2 \cdot H_{i2}}{m_1 \cdot H_{i1} + m_2 \cdot H_{i2}}$$

→ Anteil des Reduktionsbrennstoffes an Gesamtwärmeleistung

# Aufbau der Feuerungsanlage



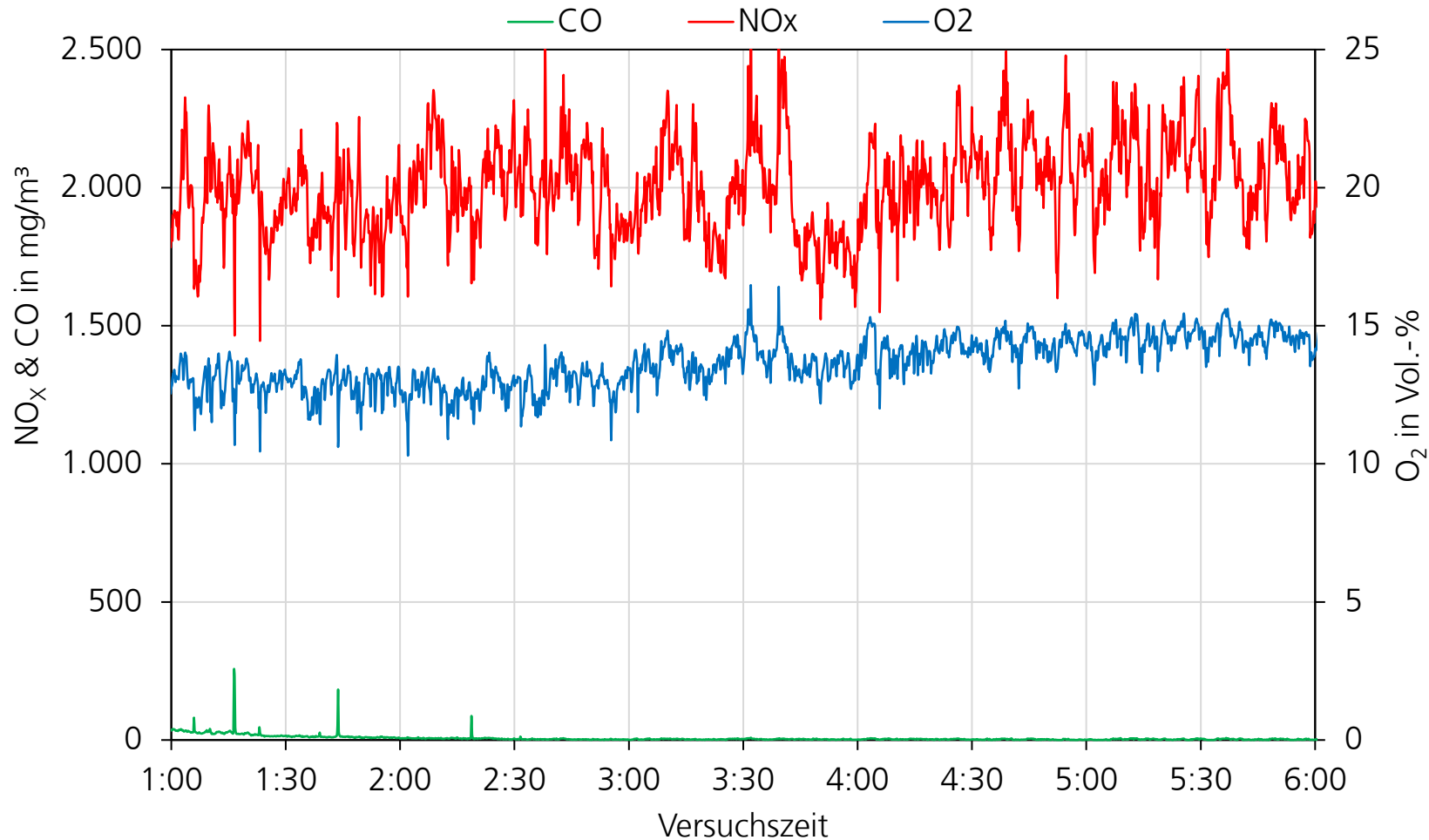
# Vorgehen in der Versuchsphase

- Tagesversuche → max. 10 Stunden Versuchszeit
- Primärbrennstoff: Holzbriketts aus der Möbel Industrie (N-Anteil: ca. 4,6 %), Reduktionsbrennstoff: Erdgas
- Versuche in Voll- und Teillast
- Deaktivierung der automatischen Luft- und Brennstoff-Regelung
- Variation von Sekundärluft- und der Rezirkulationsluftzugabe
- Anpassungen von RFR und Tertiärluft
- Im Laufe des Versuches: Reduzierung der Primärbrennstoffleistung, um Temperatur gering zu halten



# Versuchsergebnisse ohne Brennstoffstufung

Emissionen auf 6 Vol.-% Sauerstoff bezogen



Anmerkungen:

- Normale Regelung der Anlage
- Folgende Ergebnisse über Zeitraum des Diagramms
- NO<sub>x</sub> und CO auf 6 Vol.-% O<sub>2</sub> bezogen

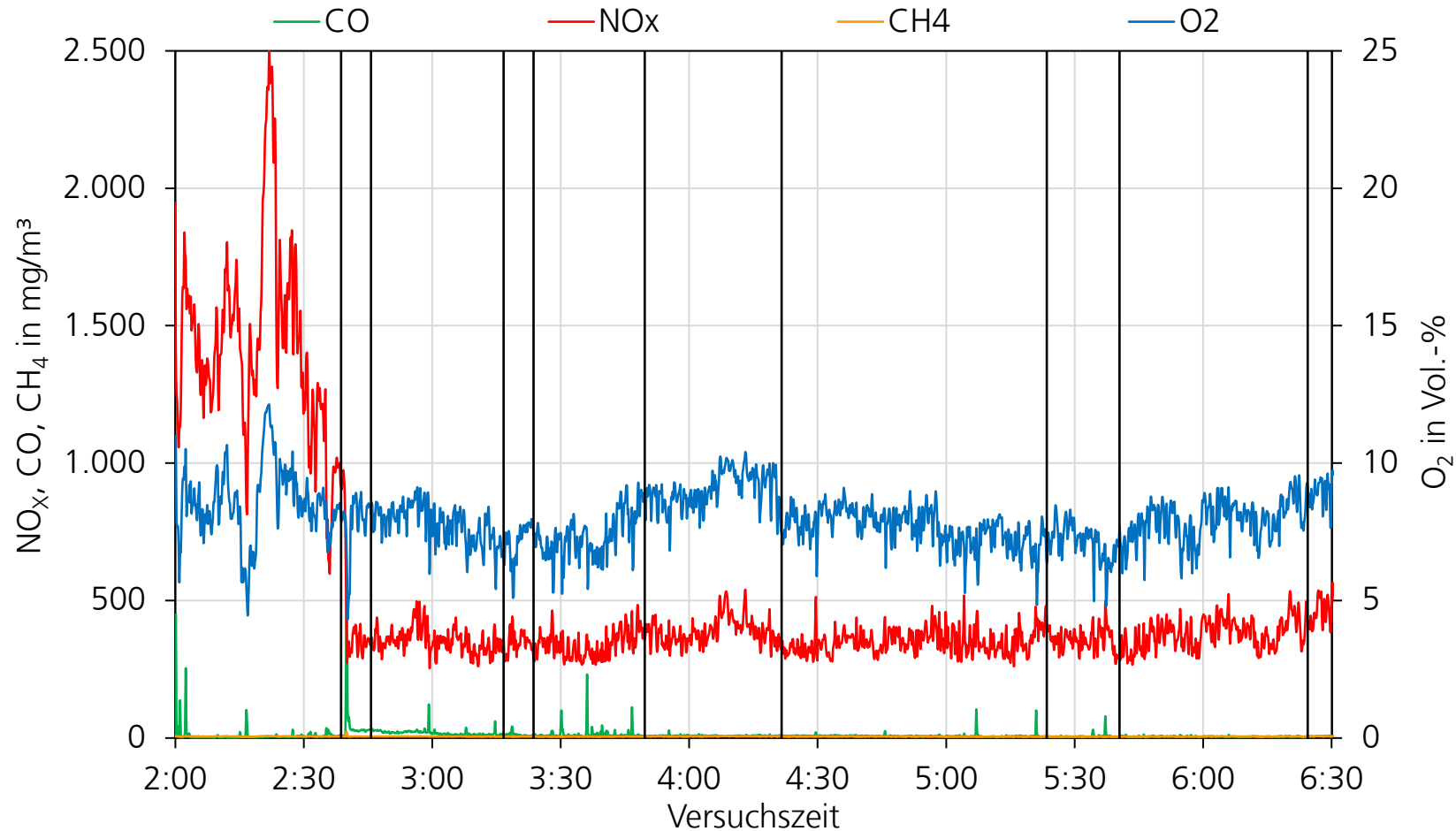
Versuchsergebnisse

- NO<sub>x</sub>: 1.955 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>
- O<sub>2</sub>: 13,7 Vol.-%
- CO: 6,3 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>



# Versuchsergebnisse mit Brennstoffstufung

Emissionen auf 6 Vol.-% Sauerstoff bezogen



Anmerkungen:

- Schwarze Linien: Anpassungen
- Ab 02:39 Brennstoffstufung
- Folgende Ergebnisse für Zeitraum 02:46 bis 06:25

Versuchsergebnisse:

- RFR: 23,5 – 28,6 %
- NO<sub>x</sub>: 361 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>
- O<sub>2</sub>: 7,8 Vol.-%
- CO: 9,3 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>
- CH<sub>4</sub>: 4,8 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>
- Brennraumtemperatur: ca. 1.000 °C
- λ im Brennraum: ca. 1,1

# Zusammenfassung

---

- Prinzip der Brennstoffstufung: Nach Brennkammer Zugabe eines Reduktionsbrennstoffes
- Projektziele:
  - Reduktion der Stickoxid-Emissionen um über 50 % ✓
  - Zuverlässige Einhaltung der Grenzwerte der 44. BImSchV im Voll- und Teillastbetrieb ✓
  - optimierte Luftstufung möglich durch mehr Verweilzeit ✓
  - Entwicklung einer neuen Anlage mit Reduktionszone ✓
  - Reduktionsmodul als mögliche Nachrüstkomponente konzipiert ✓

## Noch ausstehende Herausforderungen:

- Erdgas ist als Reduktionsbrennstoff keine langfristige Option
- Auch für andere Primärbrennstoffe werden NO<sub>x</sub>-Reduktionsmaßnahmen notwendig
- Bis jetzt nur Tagesversuche auf bestimmten Lastpunkten

## Ziel FlexNOx-Demo:

- Untersuchung weiterer Reduktionsbrennstoffe (Holzstaub & TCR)
- Untersuchung weiterer Primärbrennstoffe
- Langzeit/Feldversuche bei Endress

→ **Folgeprojekt FlexNOx-Demo**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Niklas Gebhard

09661 8155-622

[niklas.gebhard@umsicht.fraunhofer.de](mailto:niklas.gebhard@umsicht.fraunhofer.de)

[www.umsicht-suro.fraunhofer.de](http://www.umsicht-suro.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages