



Stabilisierung turbulenter Flammen durch elektrische Felder

F. Beyrau, A. Sakhrieh, F. Altendorfner, A. Leipertz
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, Universität Erlangen-Nürnberg

T. Hammer, G. Lins
Siemens AG, Energy Conversion and Environmental Technologies, Erlangen

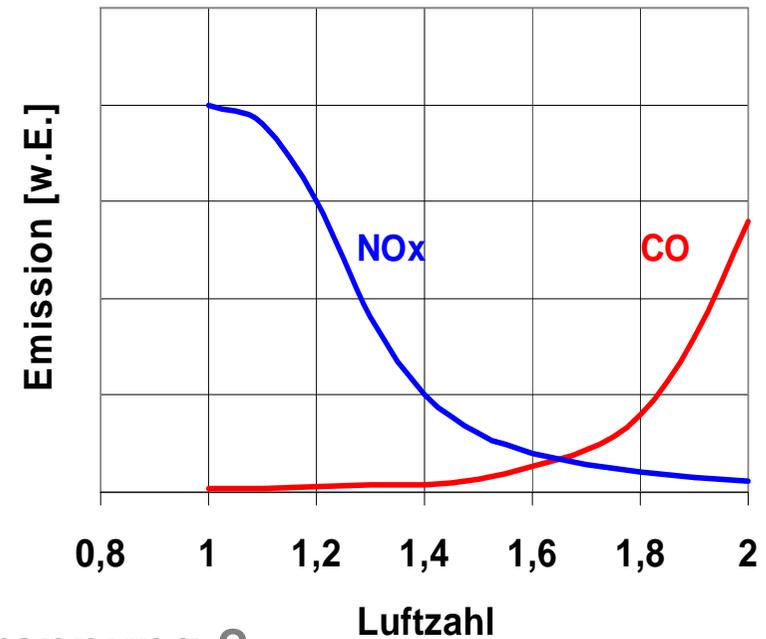
F. Dinkelacker
Lehrstuhl für Thermodynamik und Verbrennung, Universität Siegen

- Motivation
- Wechselwirkung elektrischer Felder mit Flammen
- Hochdruckbrenner - Prüfstand
- Experimente
 - Emissionsminderung
 - Einfluss der Geometrie des elektrischen Feldes / Elektrodenposition
 - Flammenstabilität
 - Periodische Flammensteuerung
- Zusammenfassung & Ausblick

Mager-Verbrennung für low-NO_x-Verbrennung in Gasturbinen

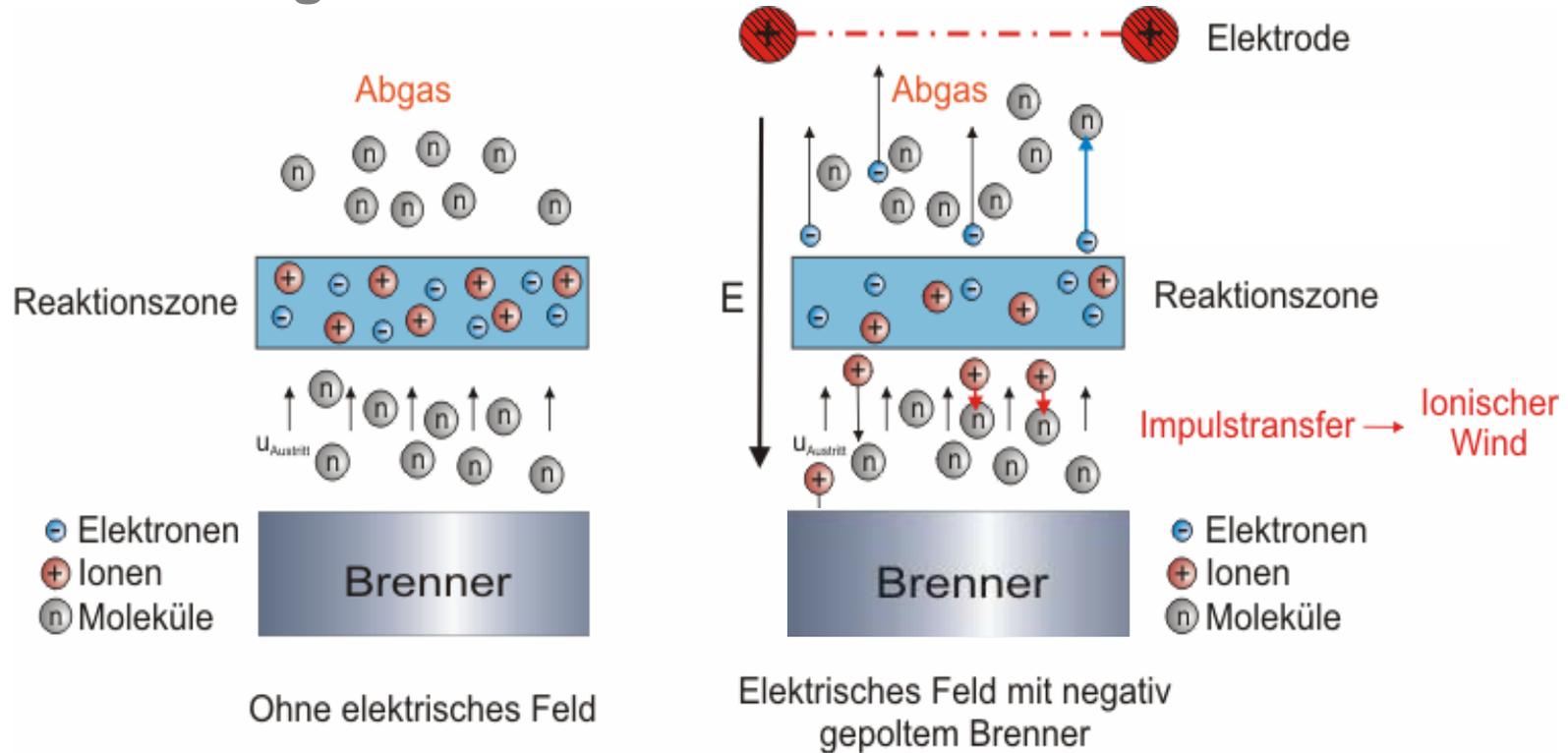
aber:

- Erhöhte CO-Emissionen
- Stabilitätsproblem:
Magere Verlöschgrenze
- Stabilitätsproblem:
Thermoakustische Schwingungen



Potential der E-Feld kontrollierten Verbrennung ?

Wechselwirkung elektrischer Felder mit Flammen

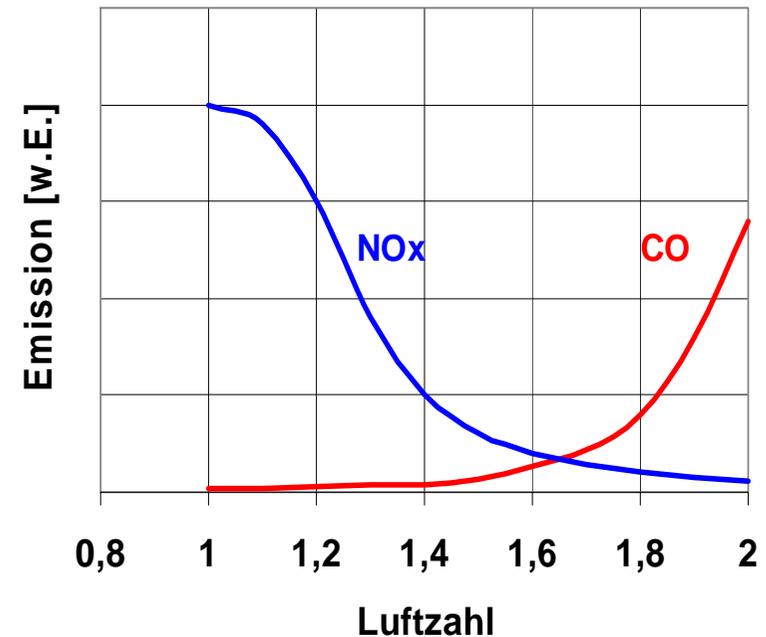


- Chemo-Ionisation in der Reaktionszone: $\bullet\text{CH} + \bullet\text{O} \rightarrow \text{HCO}^+ + e^-$
- Beschleunigung der Ionen im E-Feld
- Impulsübertrag auf das Neutralgas
- Änderung des Strömungsfeldes je nach Geometrie und Spannung

Mager-Verbrennung für low-NO_x Verbrennung in Gasturbinen

aber:

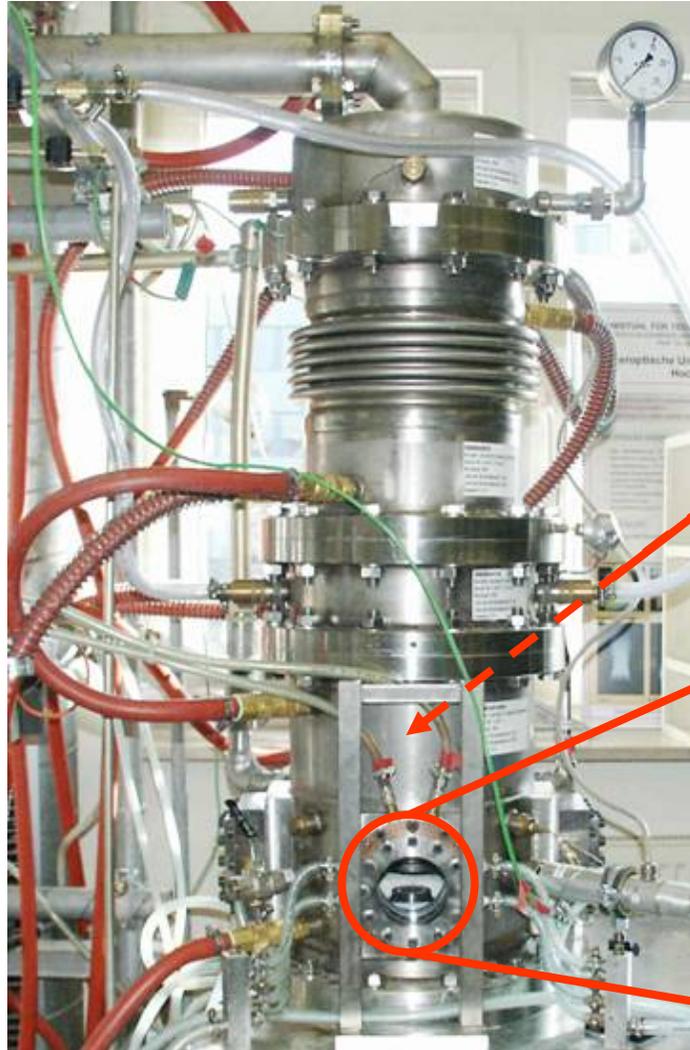
- Erhöhte CO-Emissionen
- Stabilitätsproblem:
Magere Verlöschgrenze
- Stabilitätsproblem:
Thermoakustische Schwingungen



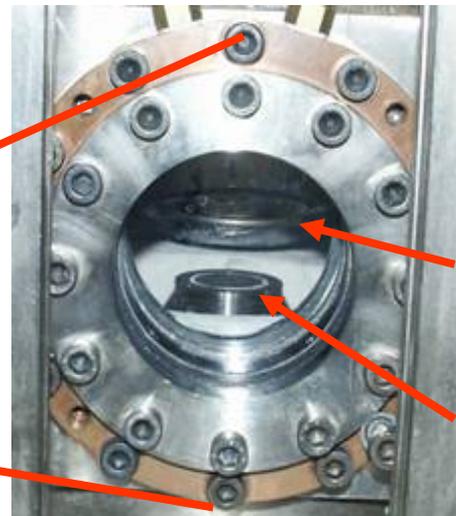
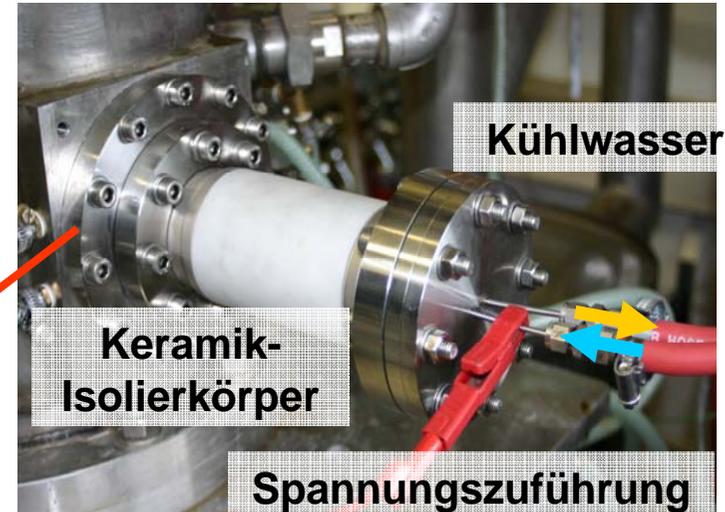
Potential der E-Feld kontrollierten Verbrennung

- Stabilisierung / Emissionsminderung
 - Unterdrückung von Brennkammer-Schwingungen durch periodische Steuerung ?
- ➔ unter technisch relevanten Bedingungen (p, T, u, ...)

Hochdruckbrenner - Prüfstand

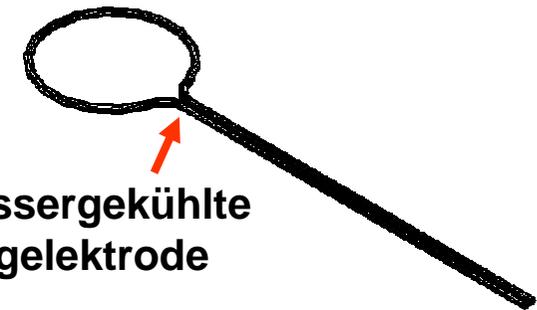


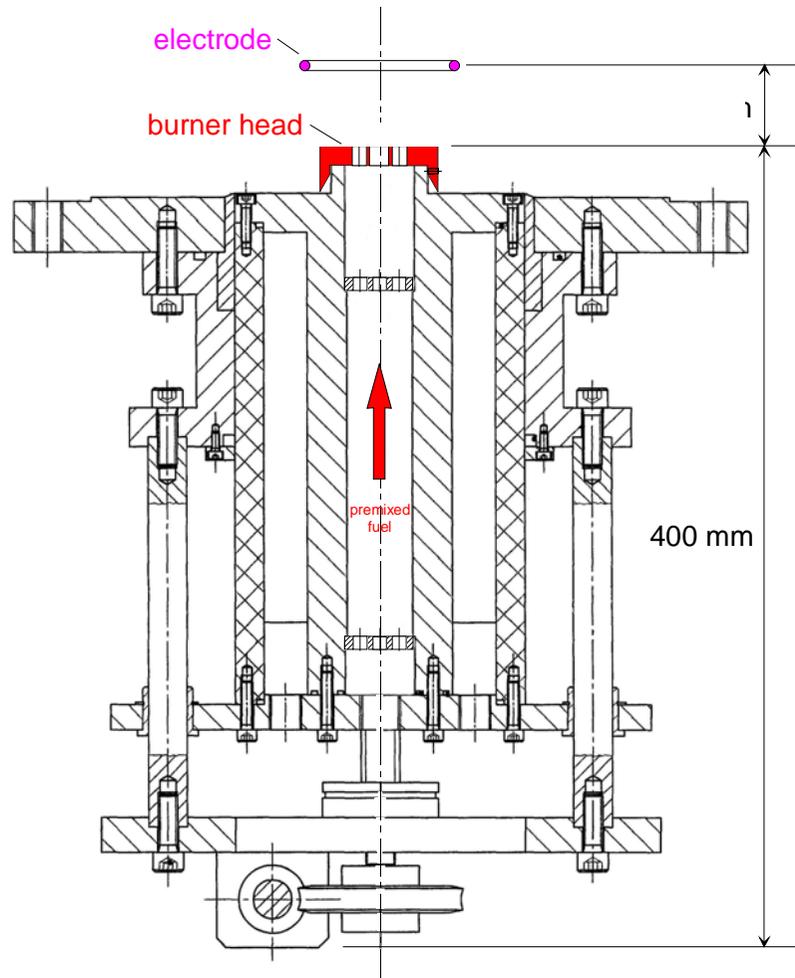
Betriebsbereich:
 $p = 1 - 11 \text{ bar}$
 P_{th} bis 50 (75) kW



Wassergekühlte Ringelektrode

Brennerkopf



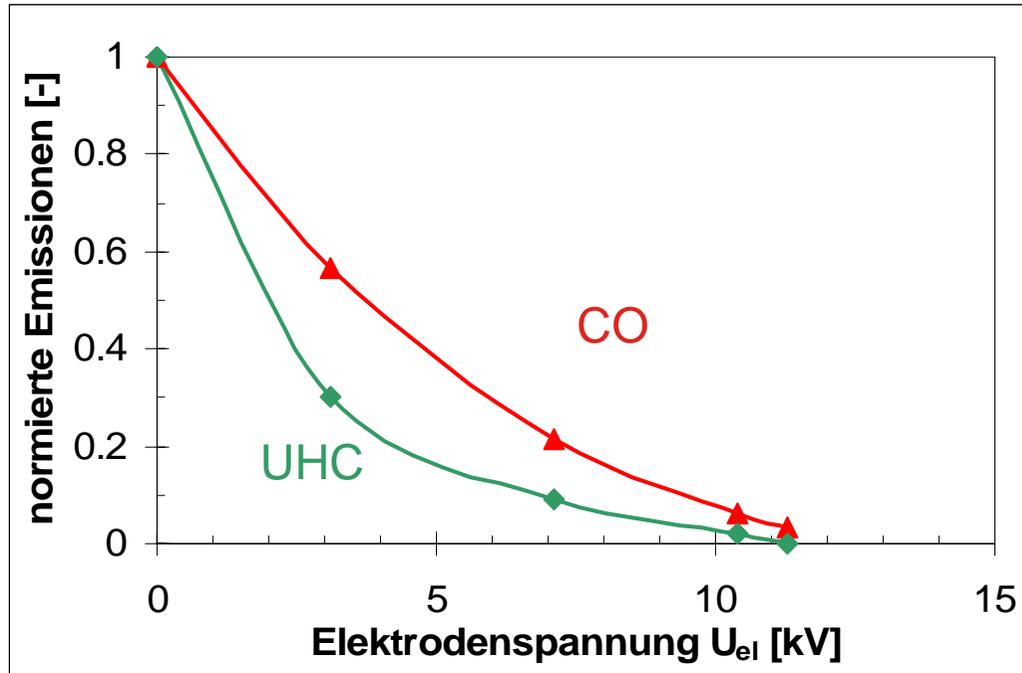


Betriebsbereich:
 $p = 1 - 11 \text{ bar}$
 P_{th} bis 50 (75) kW



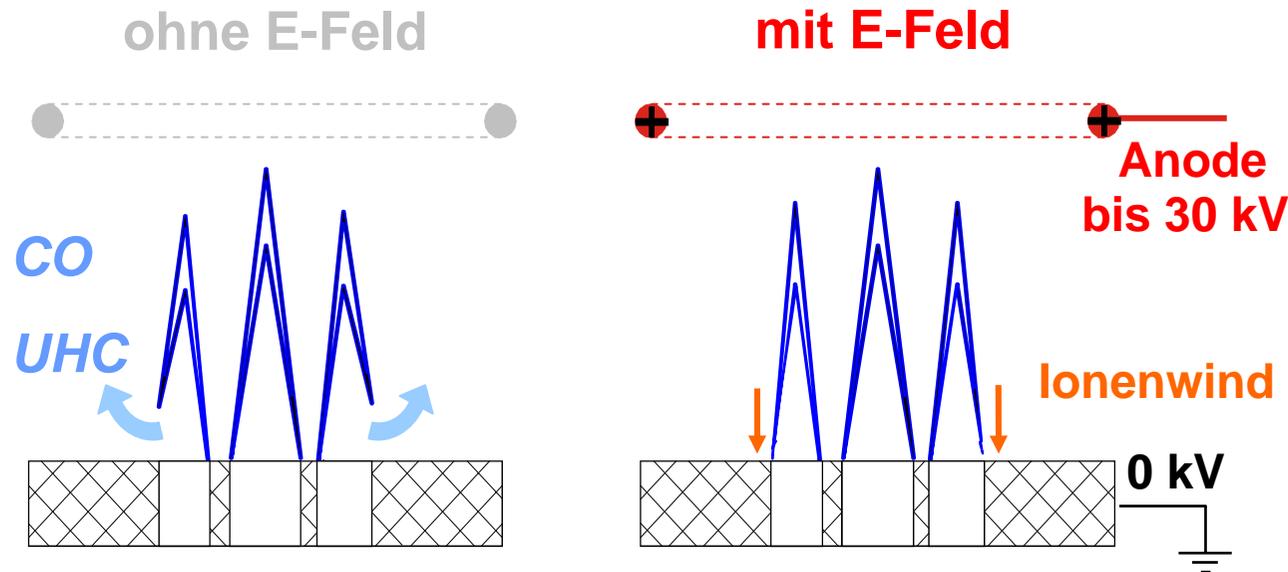
- 7-Loch-Bunsenflamme im Hochdruckbrenner

Emissionsminderung



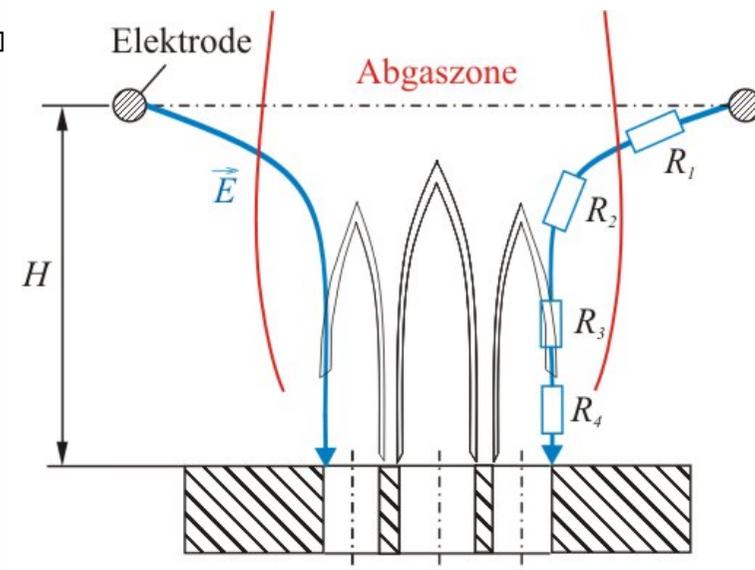
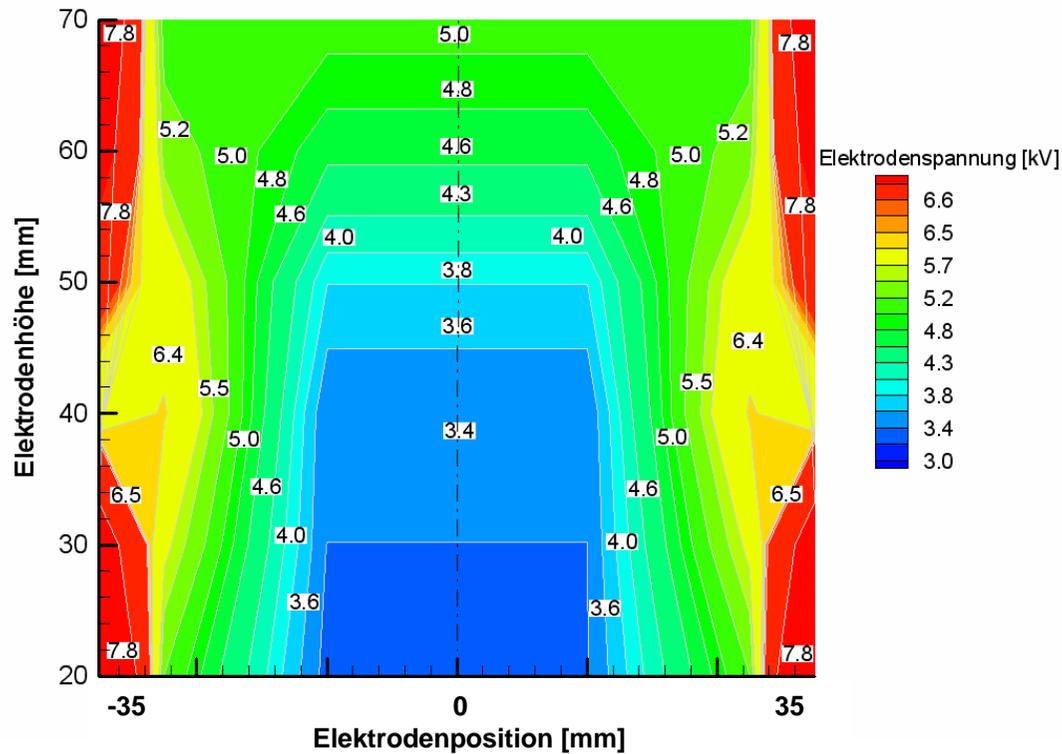
- Konventionelle Abgasanalyse
- CO und C_xH_y können durch ein angelegtes E-Feld stark reduziert werden

Emissionsminderung



- Magere Flammen neigen zum Abheben bei hohen Austrittsgeschwindigkeiten.
- CO und C_xH_y können durch abgehobene Flamme austreten.
- Das E-Feld verändert das Strömungsfeld so dass der Spalt zwischen Flamme und Brenner wieder geschlossen wird.

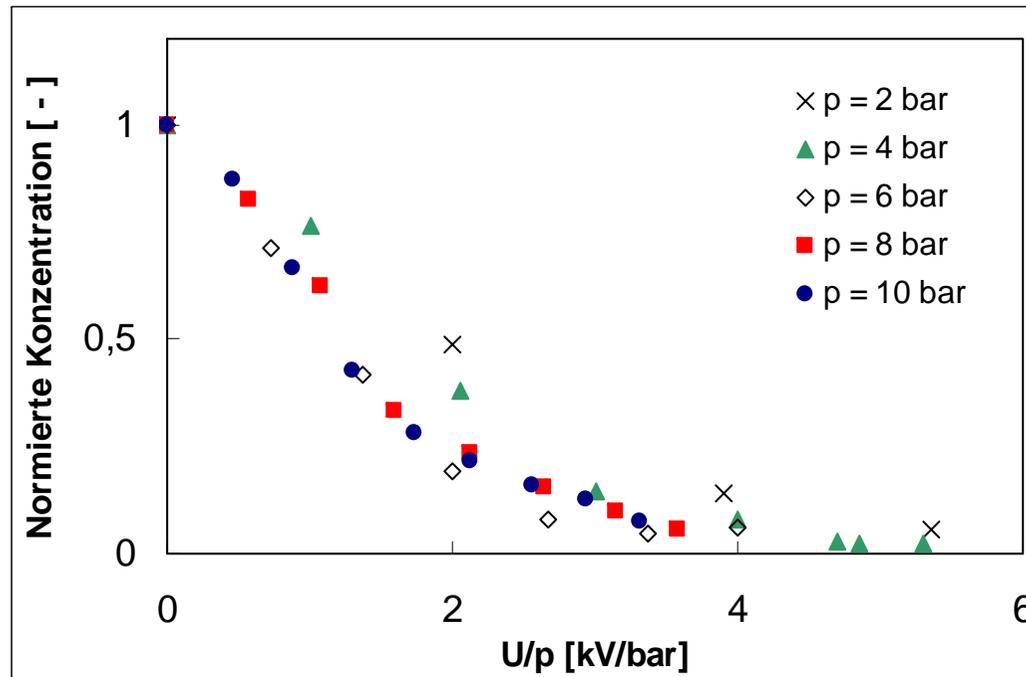
Elektrodenposition



Benötigte Spannung um CO-Emissionen auf 30% zu verringern

- Die Elektrodenposition hat starken Einfluss auf die Effizienz der Einkopplung.

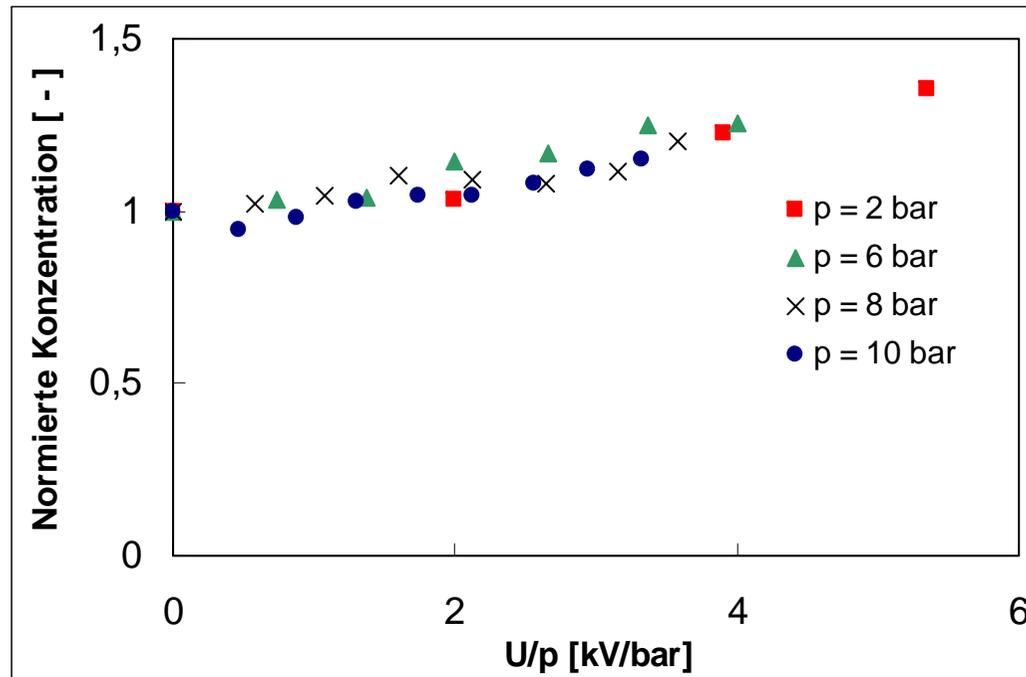
CO-Emissionen: Druckeinfluss



CO-Konzentration normiert auf $U = 0$ kV Wert

- CO-Emissionen sinken stark mit steigender Spannung.
- CO-Abnahme skaliert mit U/p ; Effekt auch noch bei 10 bar wirksam.
- Gleiches Verhalten ist bei den UHC zu beobachten.

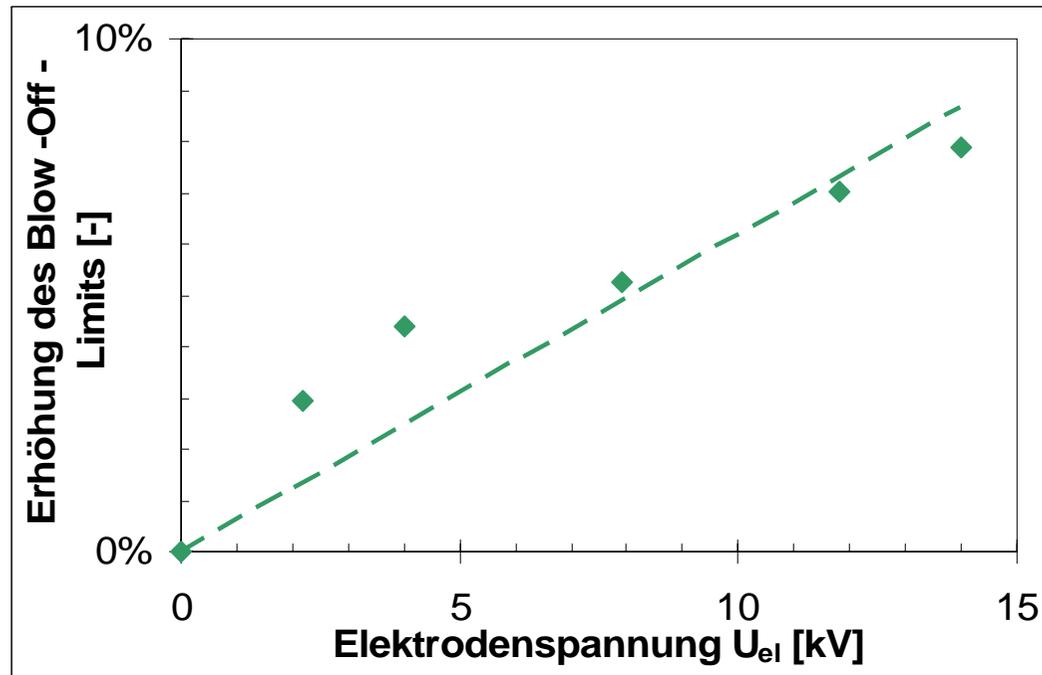
NO_x-Emissionen: Druckeinfluss



NO_x-Konzentration normiert auf den Wert bei $U = 0$

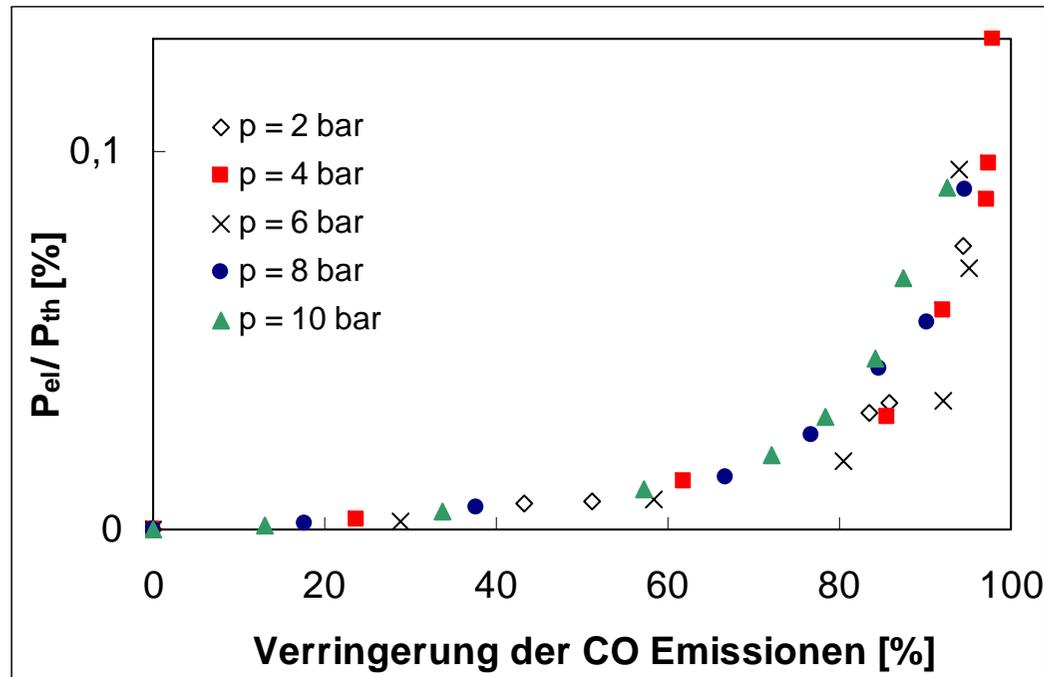
- NO_x-Emissionen steigen leicht bei Erhöhung der Spannung
- skalieren wie bei CO mit U/p

Stabilität: Lean blow-off limit



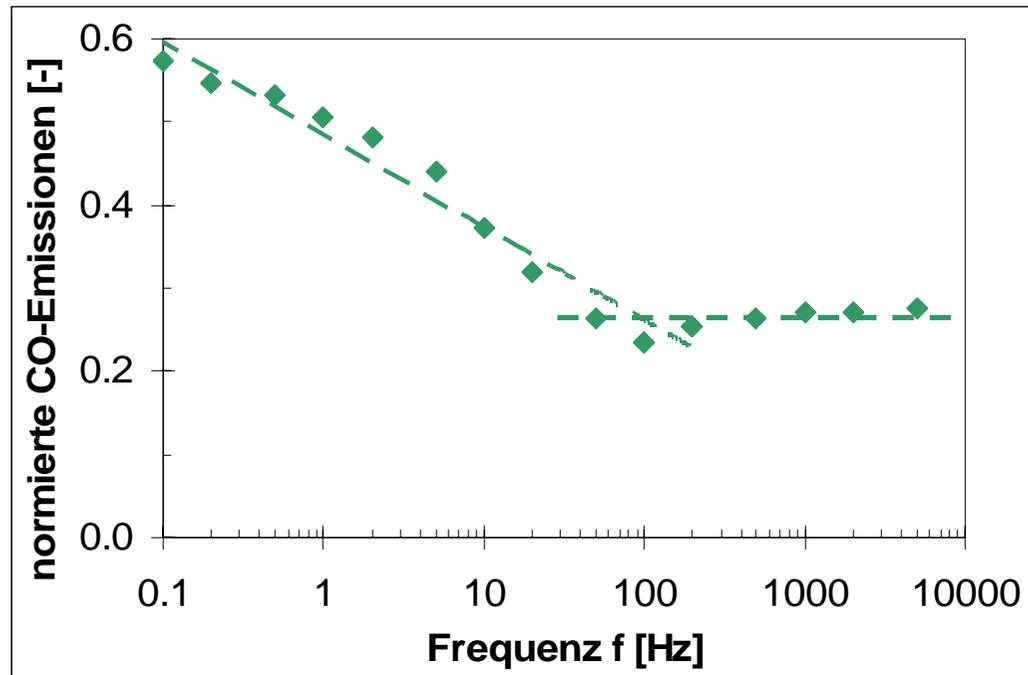
- Das elektrische Feld erhöht die magere Verlöschgrenze.
- Die früher beobachteten erhöhten NO_x Emissionen können so ausgeglichen werden.

Energieaufwand



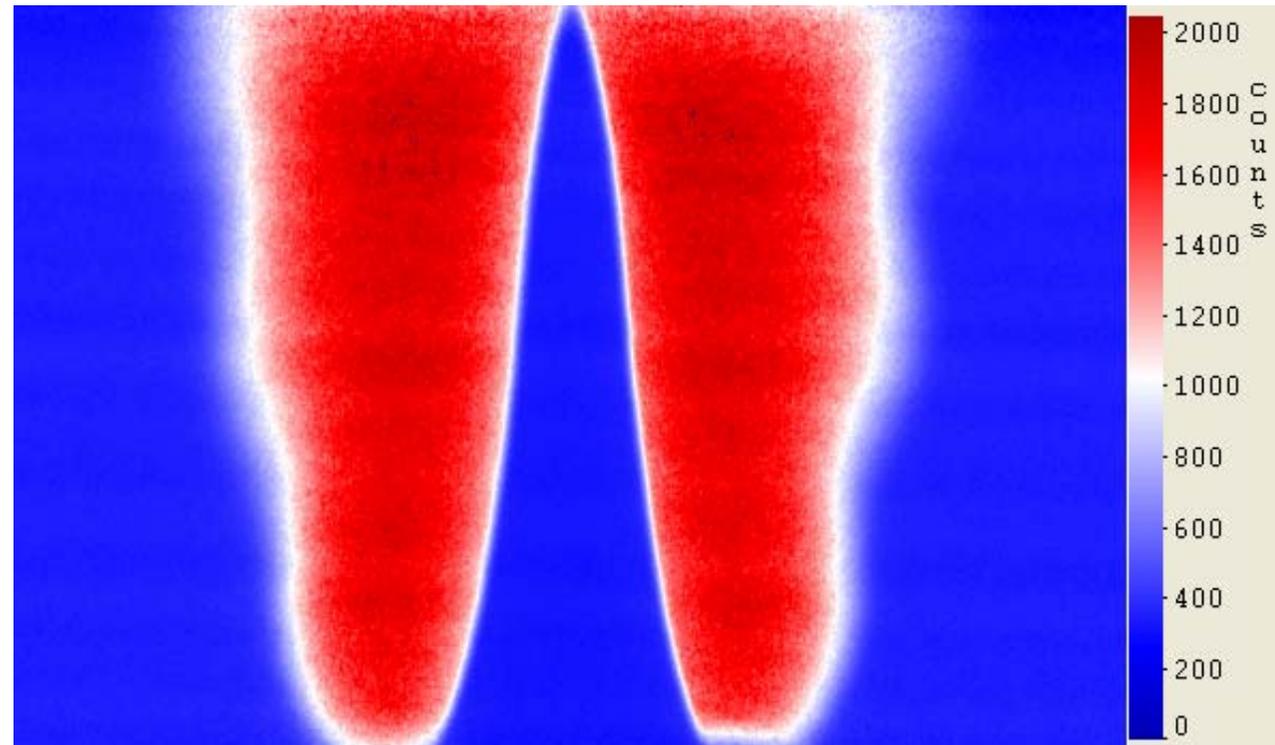
- Nahezu keine Druckabhängigkeit
- Die benötigte elektrische Leistung beträgt weniger als 0,1% der thermischen Leistung.

Periodische Steuerung



- Anregung der Flamme durch gepulstes E-Feld (Rechteckpulse)
- Variierende Anregungsfrequenz
- Reaktion der Flamme bis etwa 100 Hz

Modellflamme: Periodische Steuerung



- Laser-Rayleigh-Thermometrie
- Anregung der Flamme durch gepulstes E-Feld (Rechteckpulse)
- Anregungsfrequenz 100 Hz

Wirkung elektrischer Felder auf Hochdruckflammen :

- Elektrische Felder bieten die Möglichkeit zur
 - Erhöhung der Flammenstabilität
 - Emissionsminderung
 - periodischen Steuerung
- Technisch relevante Bedingungen
 - Druck bis 10 bar
 - Vorheizung bis 500 K
 - Austrittsgeschwindigkeiten bis 25 m/s
- **Ausblick**
 - Kapazitive Einkopplung
 - Drallflammen
 - Thermoakustische Schwingungen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Die Autoren danken dem Freistatt Bayern, der Bayerischen Forschungsfoundation (BFS) und der Siemens AG für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Rahmen der Forschungsinitiative „Kraftwerke des 21. Jahrhunderts“ (KW 21)

ERCOFTAC Technologietag

Stuttgart