

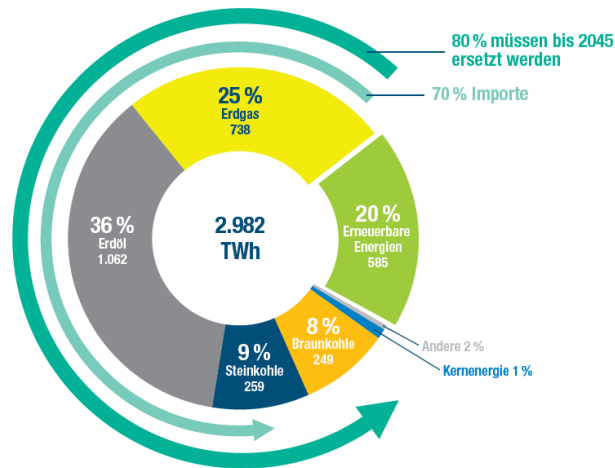
Ammoniak zur Prozesswärmenutzung

Dr. A. Giese / 19.02.2026 / Duisburg / ZBT Wasserstofftage

Hintergrund und Motivation

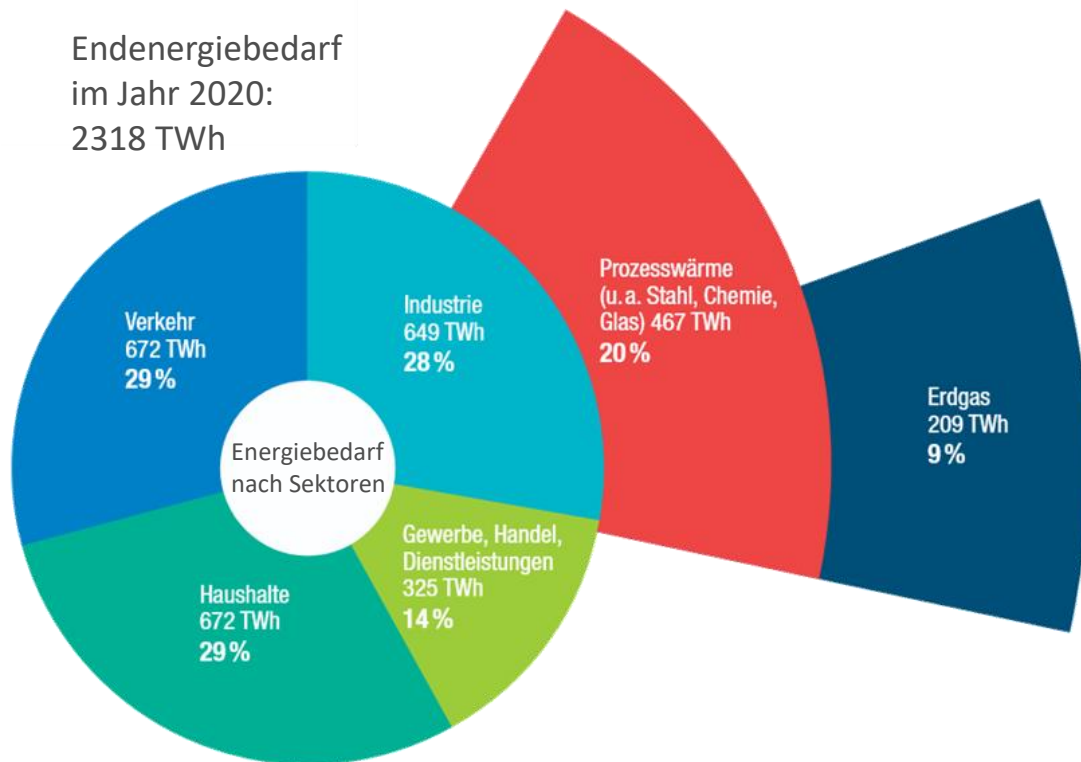
Dekarbonisierung von industrieller Prozesswärme

Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2023:



Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2023 (in TWh)
Quelle: AEE 2023 / Daten und Fakten • AG Energieberichterstattung (ag-energieberichterstattung.de)

Endenergiebedarf im Jahr 2020: 2318 TWh



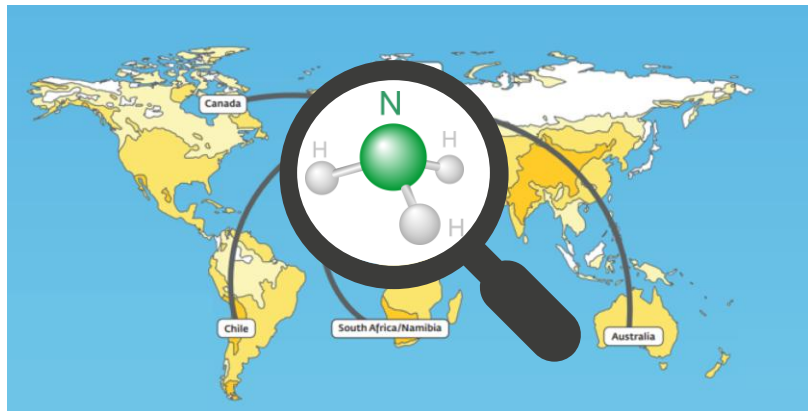
„Der Gasbedarf für industrielle Prozesswärme macht ein Zehntel des gesamten Endenergiebedarfs aus“

Quelle: DVGW; „Lokale Versorgung mit Wasserstoff: Zum Beitrag von Wasserstoff in einer klimaneutralen Energiezukunft“; Broschüre, 2024

Hintergrund und Motivation

Ammoniak: mehr als ein H₂-Derivat?

Zukünftige NH₃-Importströme in die EU



„Soll der zügige Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland gelingen, ist Ammoniak Teil der Lösung. Ammoniak als Treiber für internationale H₂-Wirtschaft“

Quelle: „Ammoniak als Energieträger für die Energiewende“ Studie für den Weltenergieat, Dr. Thomas Kattenstein, DMT Energy Engineers, 2023

Ammoniak – Eigenschaften und Vorteile

Kriterium	 Ammoniak (NH ₃)	Flüssigwasserstoff (LH ₂)
Energiedichte (vol.)*	11,5 MJ/L	8,5 MJ/L
Speichertemperatur*	-33 °C bei 1 bar	-253 °C bei 1 bar
Infrastruktur	gut etabliert (Düngemittelindustrie)	teuer & komplex (Kryotechnik)
Transport	einfach per Schiff, Pipeline, Tank	hohe Verluste, komplex
Toxizität	giftig, aber gut handhabbar	nicht toxisch, aber hochexplosiv

* Quelle: Davis, S.J. et al. Net-zero emissions energy systems, Science, 360, 2018

Nutzungspfade für grünes Ammoniak (NH₃)



stoffliche Nutzung (z. B. Düngemittelherstellung)



als Trägermedium von grünem H₂ (Cracking)



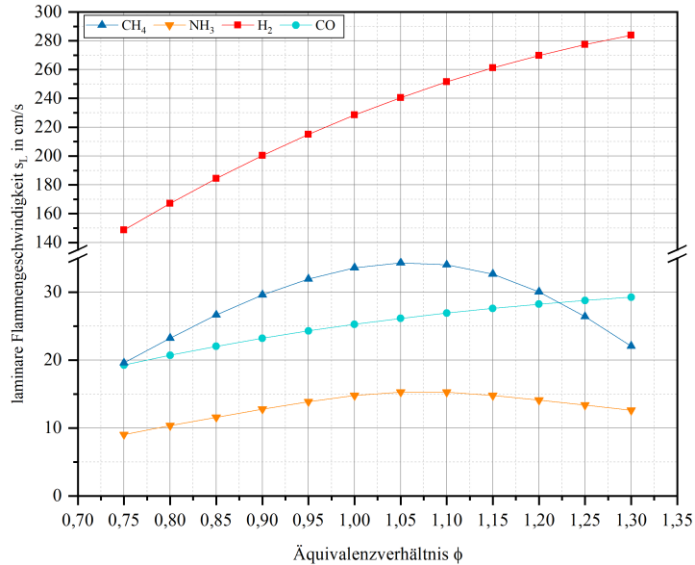
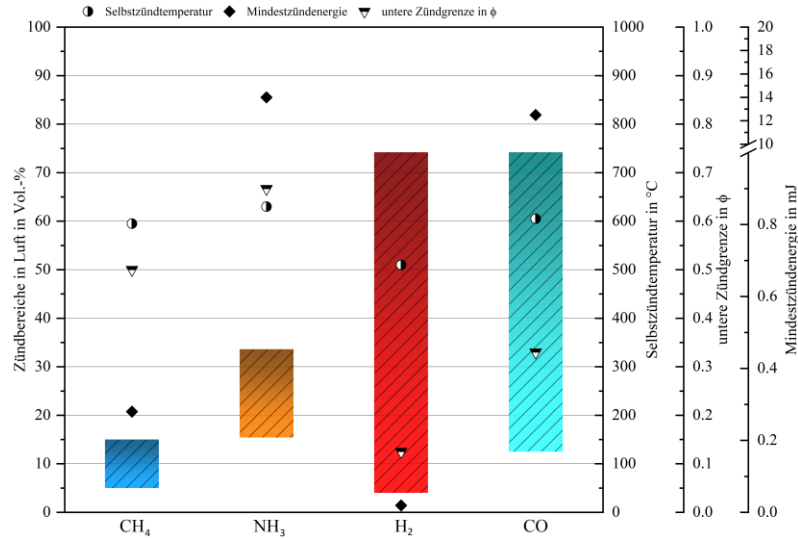
als Kältemittel



Direkte Nutzung (Verbrennung)

Ammoniak als Brennstoff

Verbrennungseigenschaften: CH_4 / NH_3 / H_2 / CO



Ammoniak als Brenngas:

- ○ ○ Zündbereich
- ○ ○ laminare Flammengeschwindigkeit
- ○ ○ Selbstzündtemperatur
- ○ ○ Mindestzündenergie

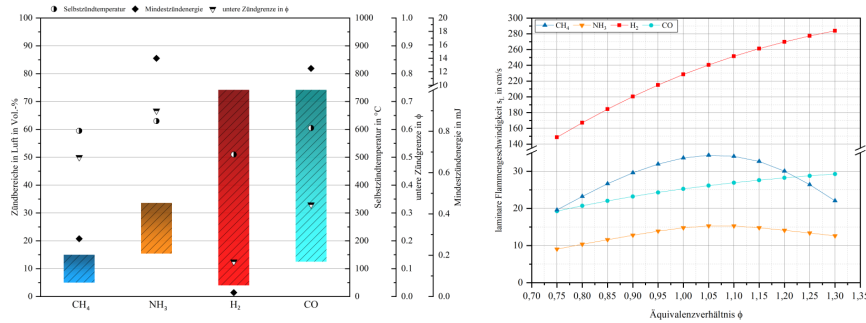


Flammenstabilität?

Ammoniak als Brennstoff

Verbrennungseigenschaften: CH_4 / NH_3 / H_2 / CO

Verbrennungseigenschaften

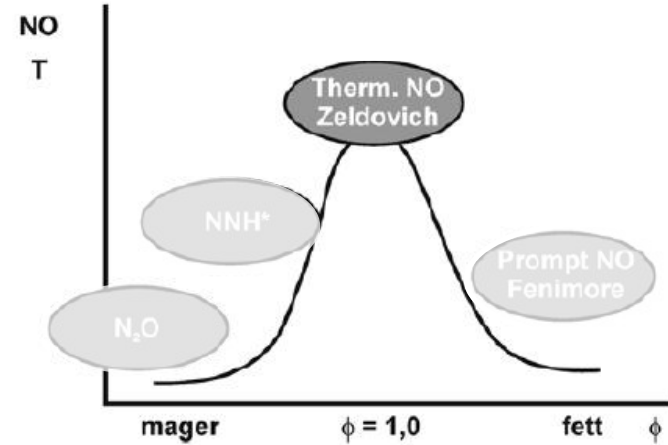


Ammoniak als Brenngas:

- ○ ○ Zündbereich
- ○ ○ laminare Flammgeschwindigkeit
- ○ ○ Selbstzündtemperatur
- ○ ○ Mindestzündenergie

Flammenstabilität?

NO_x -Bildungspotential



hohe NO_x -Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Herausforderungen

NH₃ als Brenngas

Herausforderung

Flammenstabilität?

Lösungsstrategie

- konstruktiv -
(z.B. Drallerzeuger)

- chemisch -
(Blends mit H₂/CH₄)

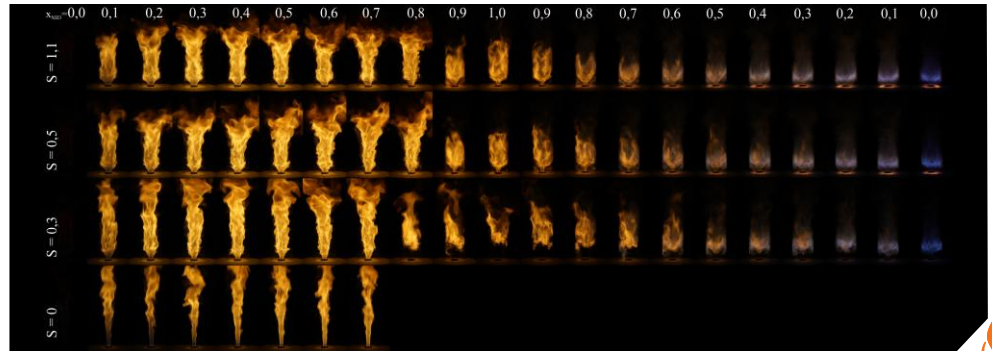
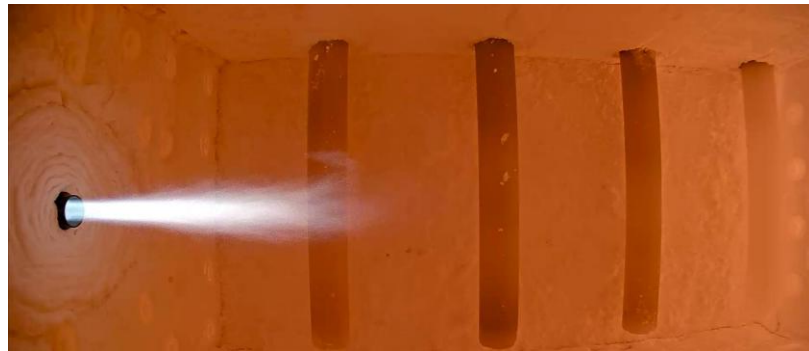
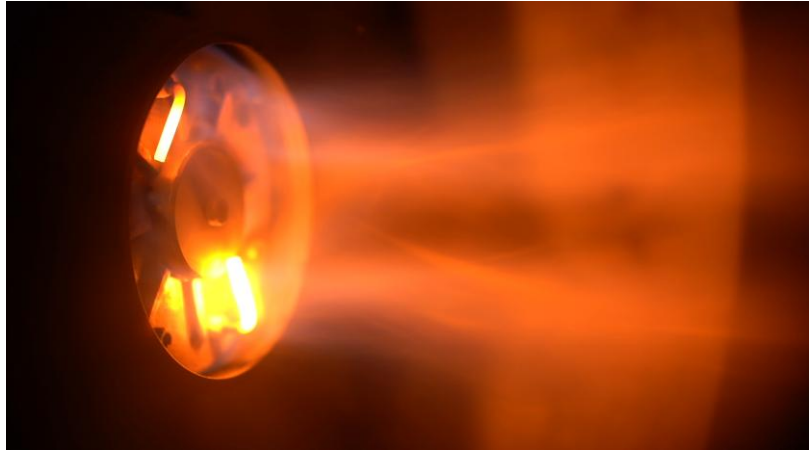
hohe NO_x-Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Ermittlung der NO_x-Konzentration

gängige Minderungsmaßnahmen
(z. B. Luftstufung)

Stand der Technik

Ammoniakverbrennung



Kompensationsstrategien

NH₃ als Brenngas

Herausforderung

Flammenstabilität?

Lösungsstrategie

- konstruktiv -
(z.B. Drallerzeuger) ✓

- chemisch -
(Blends mit H₂/CH₄) ✓

hohe NO_x-Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Ermittlung der NO_x-Konzentration ✓

Schadstoffbildung abhängig von...
...dem **NH₃-Anteil** im Brenngas
...dem lokalen **Sauerstoffangebot**
...der **Brennergeometrie**

Kompensationsstrategien

NH₃ als Brenngas

Herausforderung

Flammenstabilität?

Lösungsstrategie

- konstruktiv -
(z.B. Drallerzeuger)

- chemisch -
(Blends mit H₂/CH₄)

hohe NO_x-Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Ermittlung der NO_x-Konzentration

Schadstoffbildung abhängig von...

...dem **NH₃-Anteil** im Brenngas

...dem lokalen **Sauerstoffangebot**

...der **Brennergeometrie**

Primäre NO_x-
Minderungsmaßn

Untersuchte NO_x-Minderungsmaßnahmen

Ergebnisse bei der Ammoniakverbrennung



Projekt:

AmOszi

Partner:



Quelle: Stickoxidminderung bei der oszillierenden Verbrennung von Ammoniak als kohlenstofffreiem Energieträger, KIT und GWI, IGF-Vorhaben Nr. 21858 N, 2024

Ergebnisse:

Oszillierende Verbrennung

vorher: 10.000 mg/m³ @3Vol.-%O₂, tr.

nachher: 2.000 mg/m³ @3Vol.-%O₂, tr.

➤ **NO_x-Minderung: 80 %**



GreenNH₃



Quelle: CO₂-neutraler Kessel: Nutzung von grünem Ammoniak als klimafreundliche Alternative zur Verbrennung fossiler Brennstoffe - Teil 1: Grundlagenuntersuchung und Brennerentwicklung, Saacke und GWI, NRW Landesförderung EFO 0197 A, 2025

Luftstufung

➤ **NO_x-Minderung: 85 %**



BrEEga



Quelle: Entwicklung eines innovativen Brennersystems zur Einsparung von fossilem CO₂ durch die flexible Nutzung von Gasen erneuerbaren Ursprungs und Prozessgasen der Industrie (Akronym: BrEEga), Fried Ley und GWI, 03EN2070 A, 2025

MILD combustion (flammenlos)

NO_x = 117 mg/m³ @3Vol.-%O₂, tr.

N₂O = 46 mg/m³ @3Vol.-%O₂, tr.

NH₃ = 3 mg/m³ @3Vol.-%O₂, tr.

Moderate or Intense Low oxygen Dilution

Kompensationsstrategien

NH₃ als Brenngas

Herausforderung

Flammenstabilität?

Lösungsstrategie

- konstruktiv -
(z.B. Drallerzeuger)

- chemisch -
(Blends mit H₂/CH₄)

hohe NO_x-Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Ermittlung der NO_x-Konzentration

Primäre NO-
Minderungsmaßnahmen

Luftstufung

Flammenlose
Verbrennung

Oszillierende
Verbrennung

Kompensationsstrategien

NH₃ als Brenngas

Herausforderung

Flammenstabilität?

Lösungsstrategie

- konstruktiv -
(z.B. Drallerzeuger) ✓

- chemisch -
(Blends mit H₂/CH₄) ✓

NH₃-Vorwärmung

hohe NO_x-Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Ermittlung der NO_x-Konzentration ✓

Primäre NO-
Minderungsmaßnahmen

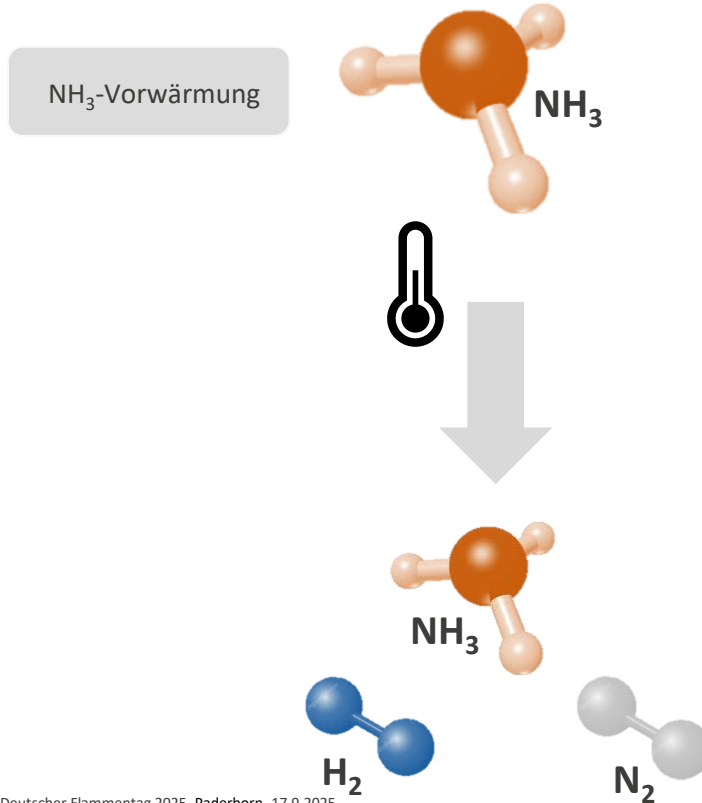
Luftstufung ✓

Flammenlose
Verbrennung ✓

Oszillierende
Verbrennung ✓

NH₃-Vorwärmung

Grundgedanke



Brenngasvorwärmung

- ✓ Steigerung der Reaktivität (Temperatur)

Partielles thermisches Cracken

- ✓ Steigerung der Reaktivität (H₂-Anteil)



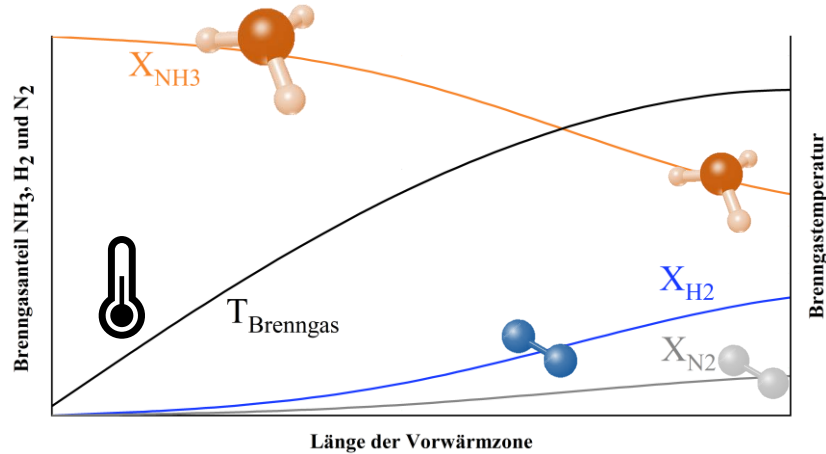
**optimierte
Flammenstabilität**

Konzept des internen, partiellen Crackens

Ansatz zur Umsetzung des Konzepts

Voraussetzung für das thermisches Cracken:

- Hohe Temperaturen ($> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- lange Verweilzeiten

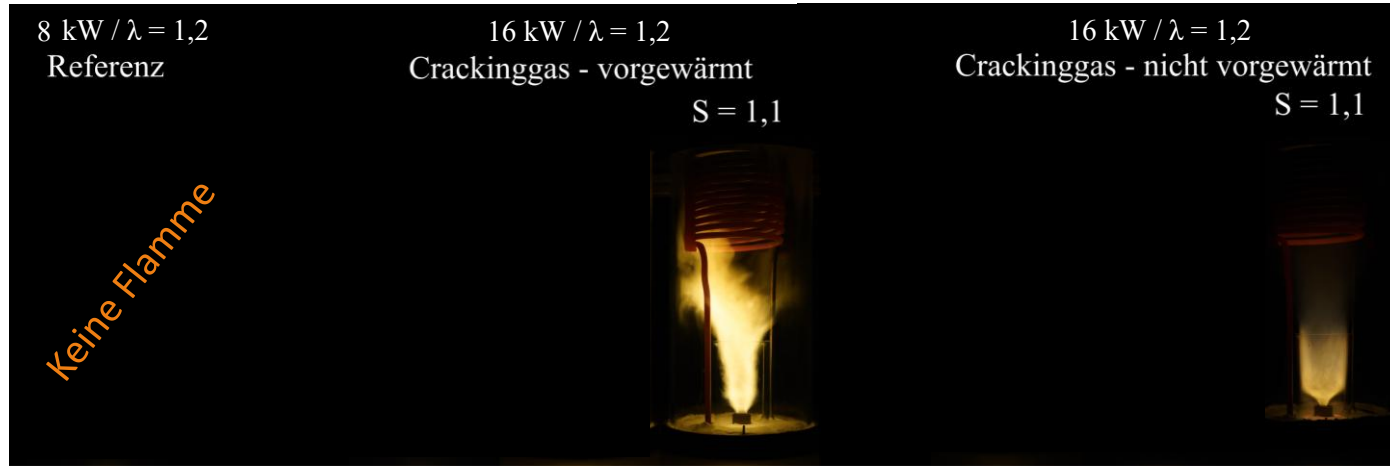


Versuchsaufbau



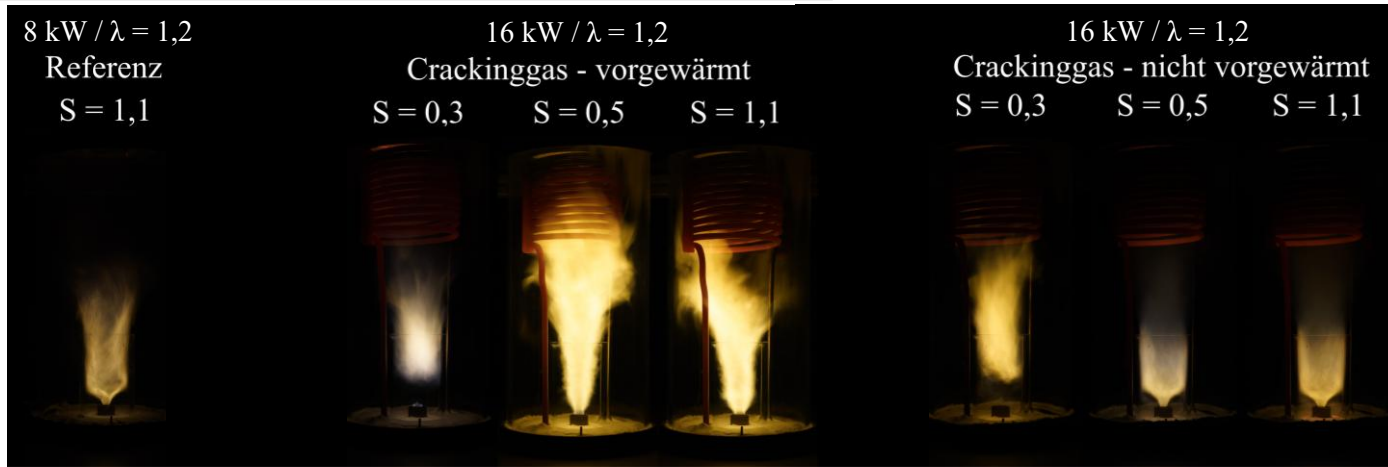
Untersuchung im Labormaßstab

Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammgeometrie



Untersuchung im Labormaßstab

Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammgeometrie

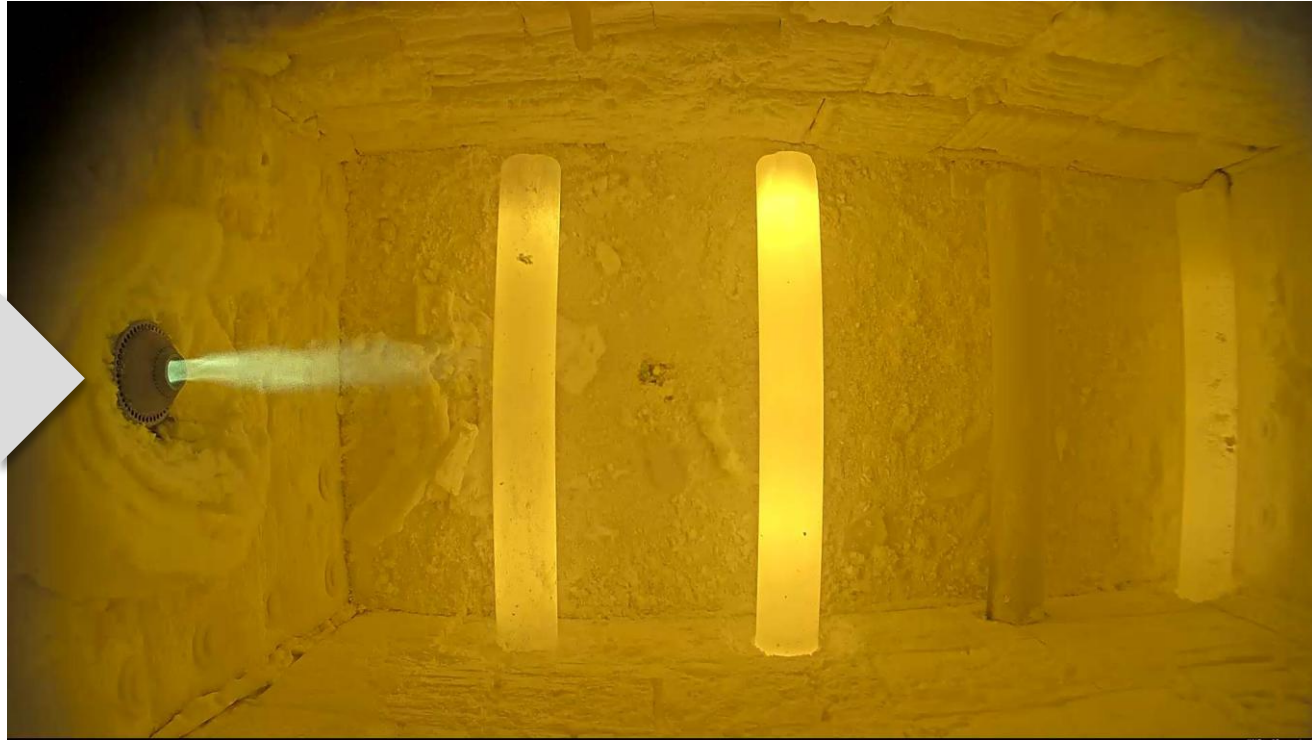


Zwischenfazit:

- Zwischen der abgegebenen Verbrennungswärme und der vom NH_3 aufgenommenen Wärme stellt sich ein thermisches Gleichgewicht ein.
- Die Kombination aus Vorwärmung und internem, partiellen Cracken steigert die Reaktivität signifikant.
- Die geänderte Flammenform bewirkt eine Reduzierung der NO-Emissionen um 60 %, bei gleichzeitig niedrigen Emissionen an N_2O und NH_3 .

Untersuchung im Labormaßstab

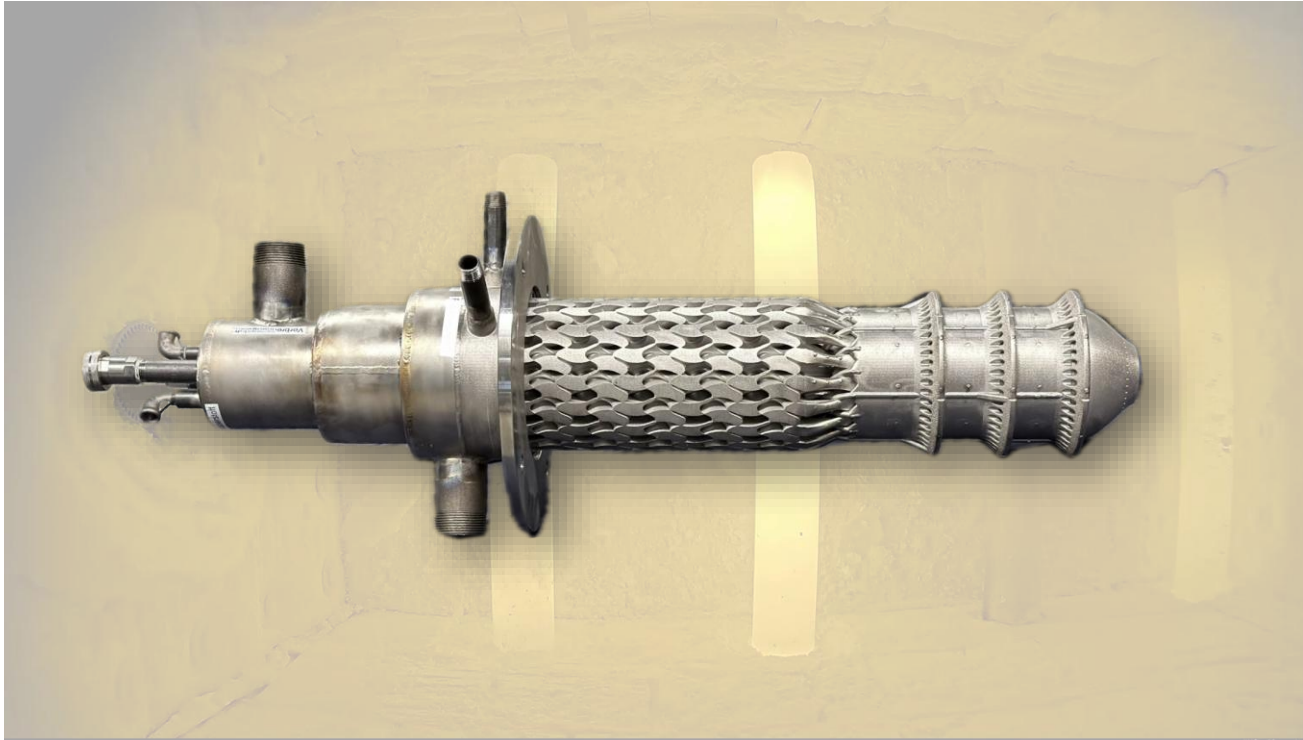
Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammgeometrie



100 % NH_3 / $P_{\text{Brenner}} = 18 \text{ kW}$ / $\lambda = 1,2$ / $T_{\text{Ofenraum}} = 850 \text{ }^\circ\text{C}$

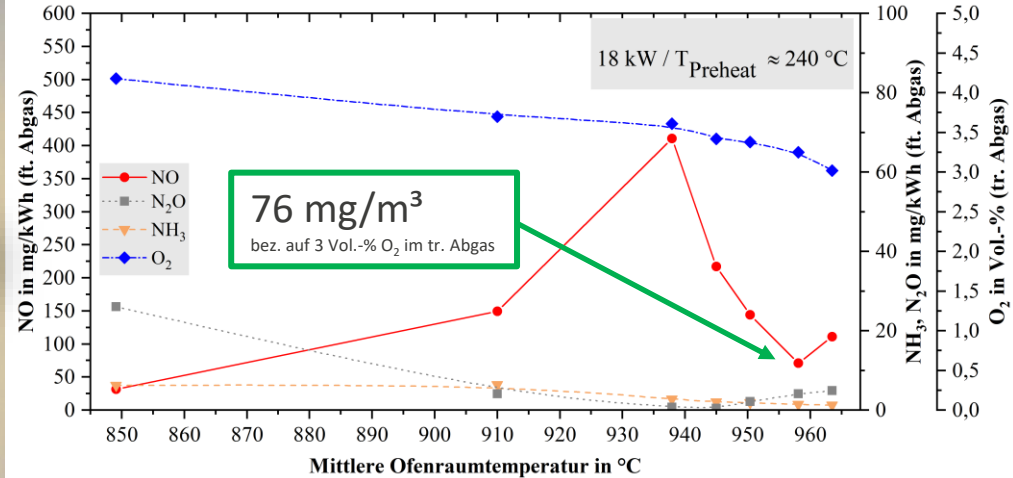
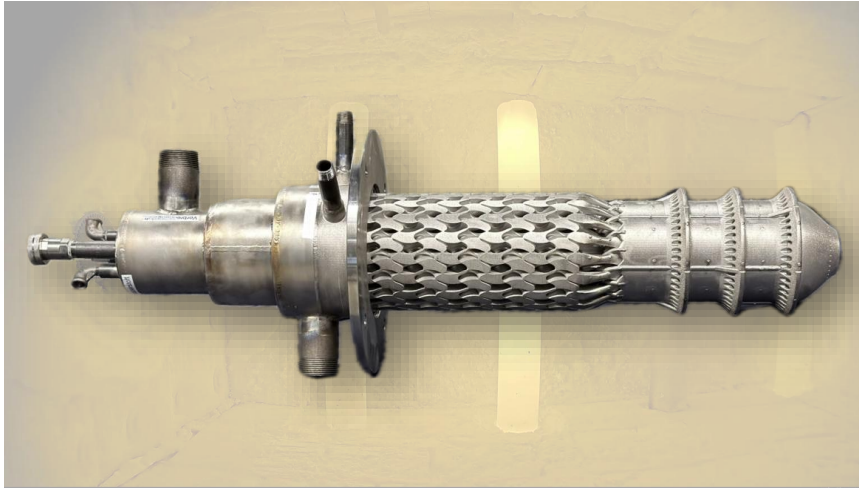
Untersuchung im Labormaßstab

Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammgeometrie



Untersuchung im Labormaßstab

Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammgeometrie



Für nahezu alle Ofenraumtemperaturen optimale Arbeitspunkte unterhalb < 250 mg/kWh mit N₂O- und NH₃-Werten < 25 mg/kWh.

Vorteile des Brennerkonzeptes:

- Erhöhte Stabilisierung durch Vorwärmung und partielles Cracken.
- Dadurch starke Luftstufung möglich, die die NO-Bildung in erheblichem Maße reduziert.
- Das verhältnismäßig große Ofenraumvolumen und das partielle Cracken begünstigen den thermischen DeNO_x-Pfad.

Kompensationsstrategien

NH₃ als Brenngas

Herausforderung

Flammenstabilität?

Lösungsstrategie

- konstruktiv -
(z.B. Drallerzeuger)

- chemisch -
(Blends mit H₂/CH₄)

NH₃-Vorwärmung
(thermisches Cracken)

hohe NO_x-Emissionen?
(Brennstoff-NO)

Ermittlung der NO_x-Konzentration

Primäre NO-
Minderungsmaßnahmen

Luftstufung

Flammenlose
Verbrennung

Oszillierende
Verbrennung



Fuel

Volume 386, 15 April 2025, 134501



Review article

A comprehensive study of non-premixed combustion of ammonia and its blends: Flame stability and emission reduction ☆

M. Biebl , J. Leicher, A. Giese, C. Wieland



- **Flammenstabilität nicht einfach aber möglich!!**
- Schadstoffbildungsverhalten ist nach wie vor **technisch herausfordernd**, aber...
- Experimente zeigten je nach Betriebsbedingungen trotz des hohen NO-Bildungspotentials der NH₃-Verbrennung **sehr geringe NO_x-Konzentrationen** (und N₂O & NH₃).

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

M.Sc. Bernd Feller / Dr.-Ing. Marcel Biebl

