Ammoniak

Brücke in eine Wasserstoffwelt

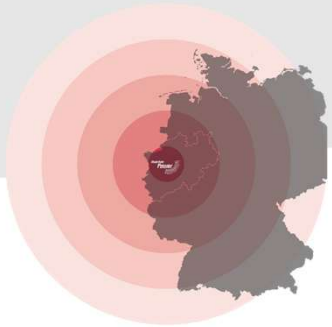
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI)
Rhein Ruhr Power e.V. (RRP)

Branchentag Wasserstoff | 02.11.2026 | Gut Gnadental Neuss

Rhein Ruhr Power e.V.

Mitglieder



Unternehmen

- **2G Energy** AG
- **Energy System Solutions**
- **enshift (Germany)** GmbH
- **Everllence** SE
- **SPRINT! Energy Consulting** GmbH / **troveo** GmbH
- **Standardkessel Baumgarte** GmbH
- **Syneqt** GmbH
- **HKL Anlagentechnik** GmbH
- **HydrogenPro** GmbH
- **InPro-Consult** GmbH
- **Iqony Solutions** GmbH
- **KWS Energy & Knowledge eG**
- **Mehldau & Steinfath Umwelttechnik** GmbH
- **MHI Mitsubishi Heavy Industries EMEA** Ltd.
- **Resalta Deutschland** GmbH
- **TÜV Nord Systems** GmbH & Co. KG
- **TÜV Rheinland Werkstoffprüfung** GmbH
- **WELLAND & TUXHORN** AG

Wissenschaftliche Einrichtungen

- **DLR** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- **Fraunhofer Institut Umsicht**
- **GWI** Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
- **RWTH Aachen**

Verbände, Vereine, Netzwerke

- **4.OPMC** e.V.
- **CEBra** Centrum für Energietechnik Brandenburg e.V.
- **DVV** Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung e.V.
- **h2-netzwerk-ruhr** e.V.
- **IKS** e.V. Innovation & Kreislaufwirtschaft Sachsen
- **vgbe energy** e.V.

Persönliche Mitglieder

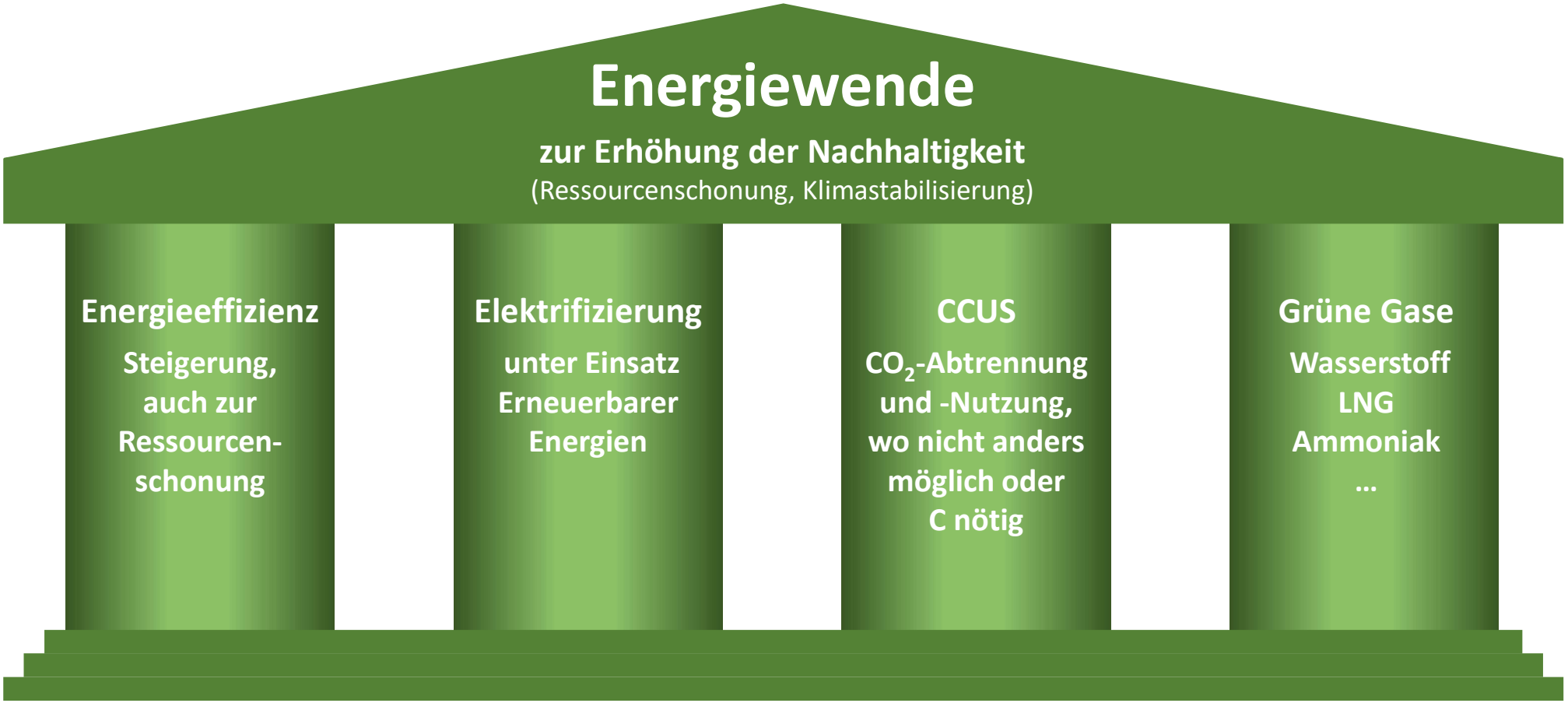
- **Beckmann**, Prof. Dr. Michael
- **Benesch**, Prof. Dr. Wolfgang A.
- **Breitbach**, Dr. Tobias
- **Brinkmann**, Claus
- **Brüggemann**, Hellmuth
- **Dennewitz**, Florian
- **Görner**, Prof. Dr. Klaus
- **Heiermann**, Gerd
- **Hourfar,** Dr. Dariush
- **Iven**, Franz W.
- **Kehr**, Dr. Manfred
- **Korte**, Dr. Hermann-Josef
- **Korte**, Nicolas
- **Maaß**, Dr. Reinhard
- **Moussaoui**, Mohsen Ahmad
- **Steidle**, Andreas
- **Thiemler**, Frank
- **Thomeczek**, Margit
- **Winkler**, Prof. Dr. Wolfgang
- **Witt**, Prof. Dr. Gerd

Energiewende



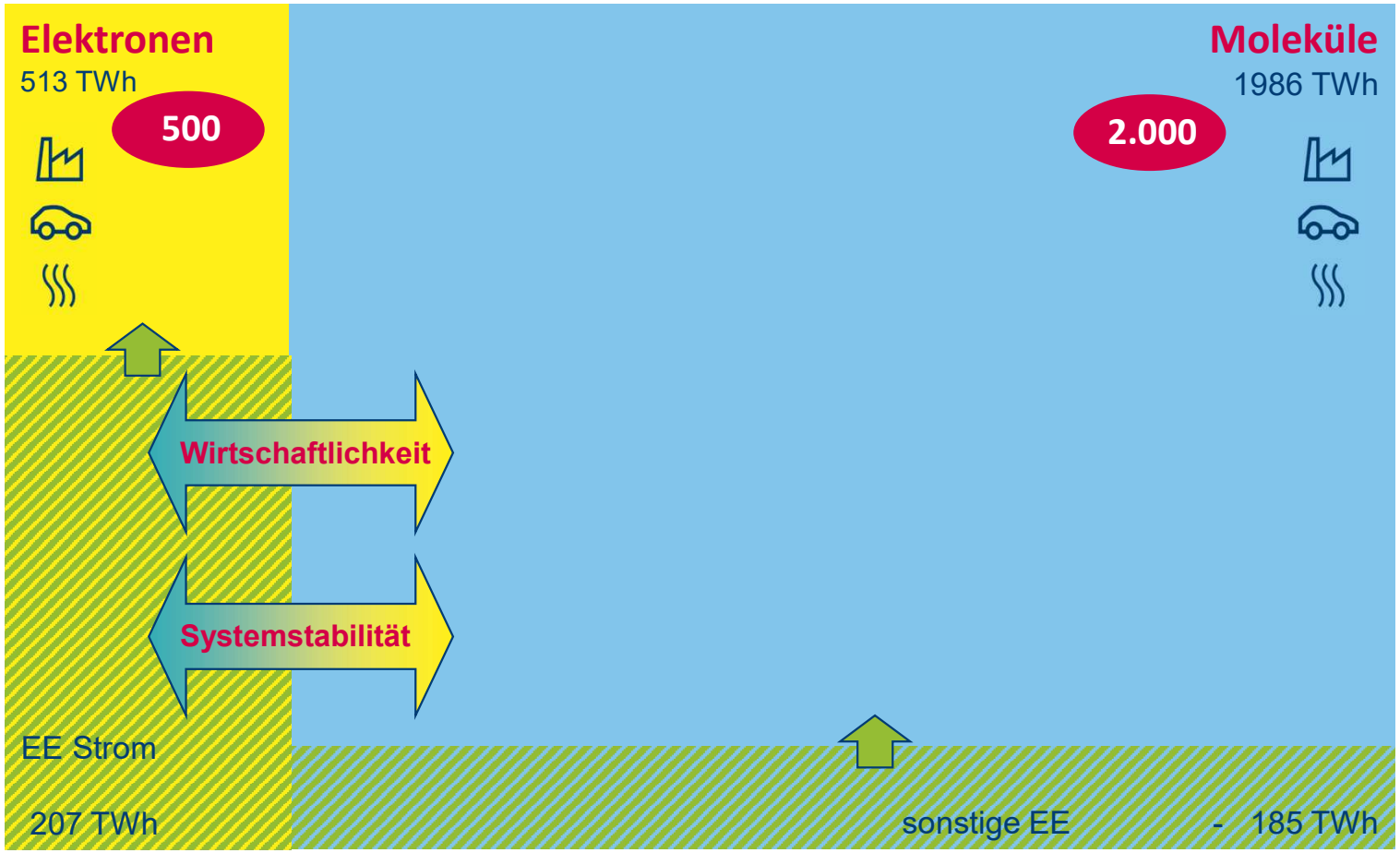
Säulen der Energiewende

Die Last ruht auf allen



Sektorenbetrachtung

Zwei-Energieträger-Welt



Quelle: OGE, 2020; aktualisiert 2025

EE-Anteile

- Elektronen < 60 %
- Moleküle < 10 %

Sektorenkopplung

Konversion zwischen Elektronen und Molekülen tragen zur

- **Wirtschaftlichkeit**

und

- **Systemstabilität**

bei.

H_2 Wasserstoff



Erzeugung von Wasserstoff

Beispielrechnung für 500 TWh H_2

	Volumen	Masse	Energie		Strom
Wasserstoff-Bedarf	170 Mrd m^3	15,1 Mrd kg	1.800 PJ	**500 TWh**	Aktuelle Werte für D in 2020
Zur Herstellung mit Elektrolyse würde hierfür Strom benötigt					Verbrauch **539,4 TWh**
Strom-Verbrauch für Elektrolyse (η=70 %)				**706 TWh**	
Hierfür müsste eine elektrische Elektrolyseleistung installiert werden					Install. Kapazität **224,7 GW**
Elektrolyse-Leistung				**82 GW**	

Ausgeschriebenes Ziel des BMWK für eine Elektrolyseleistung in D bis 2030 **10 GW**

Mit diesem sehr ambitionierten Ziel kann gerade ca. 1/8 des H_2 national erzeugt werden.

Massiver H_2-Import notwendig

Notwendiger Invest für die obige Kapazität von 82 GW

Investitions-Volumen (spez. Kosten: 750-1.500 €/kW) **60 - 120 Mrd €**

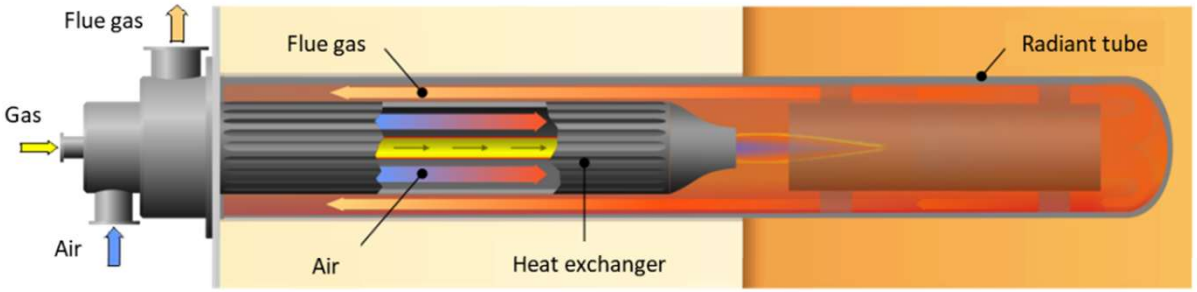
Anwendungstechnik – Entwicklung eines kommerziellen Brenners

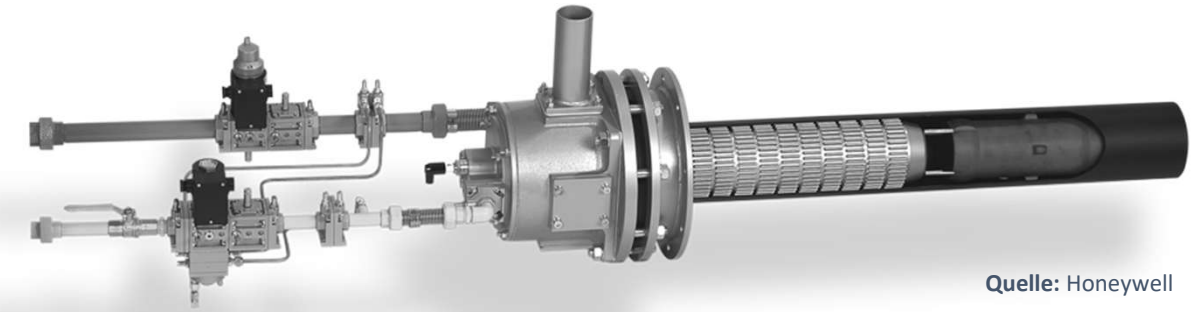
Prinzip eines Rekuperatorbrenners



Quelle: WS Wärmeprozesstechnik GmbH

Prinzip eines Rekuperatorbrenners





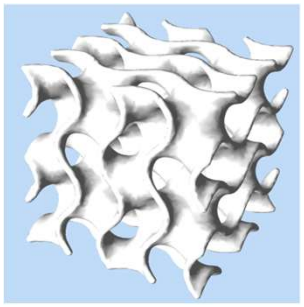
Quelle: Honeywell

Projekt **AdReku**: Steigerung der Effizienz durch Einsatz der additiven Fertigung

Anwendungstechnik – Entwicklung eines kommerziellen Brenners

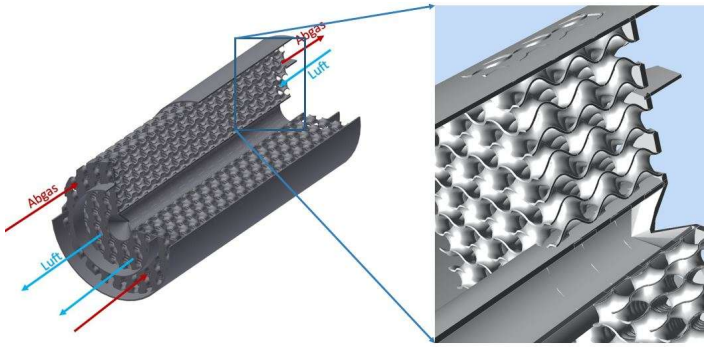
Entwicklungsprozess des iRecu-Brenners – Projekt AdReku

TPMS - triply periodic minimal surface

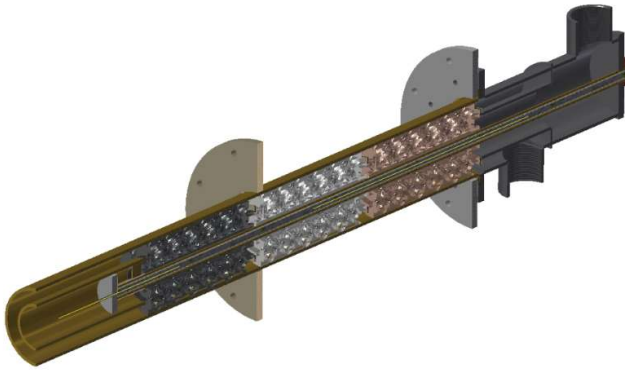




Rekuperator im metallischen 3D-Druck



Prototyp eines Rekuperatorbrenners



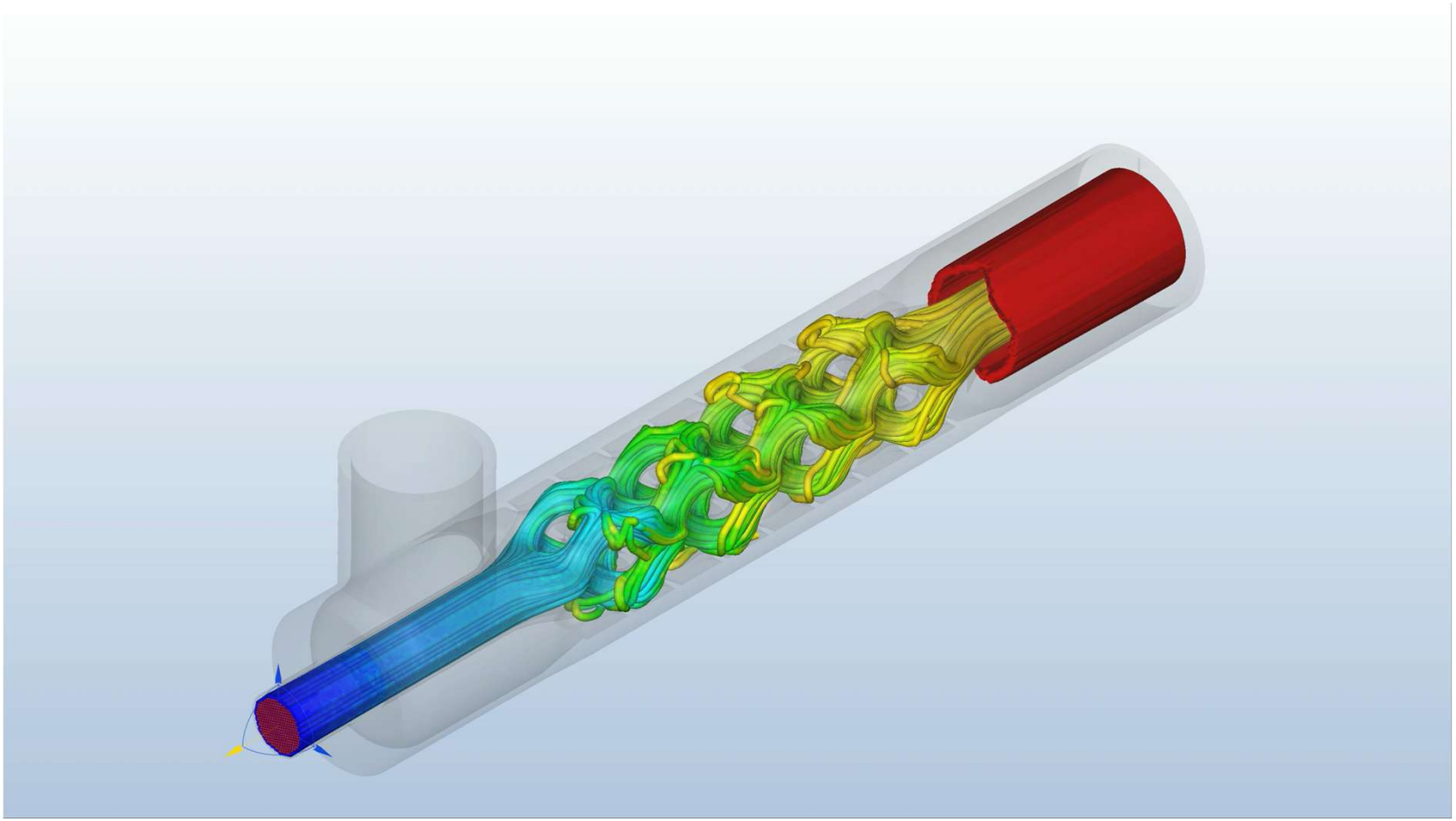


Additiv gefertigter Serienbrenner



Anwendungstechnik – Entwicklung eines kommerziellen Brenners

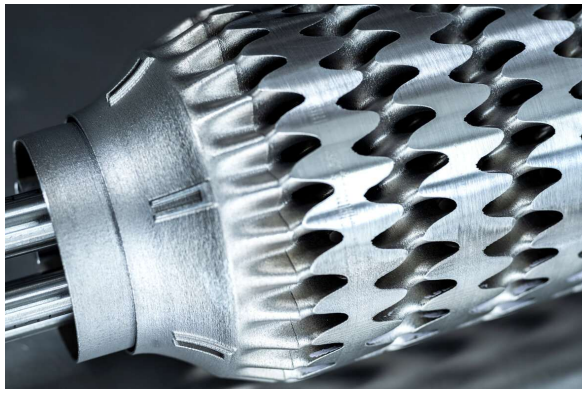
Entwicklungsprozess des iRecu-Brenners – Projekt AdReku



Anwendungstechnik – Entwicklung eines kommerziellen Brenners

Details des konstruktiven Aufbaus

iRecu – additiv gefertigter Rekuperator und Mischeinheit für Erdgas und Wasserstoff





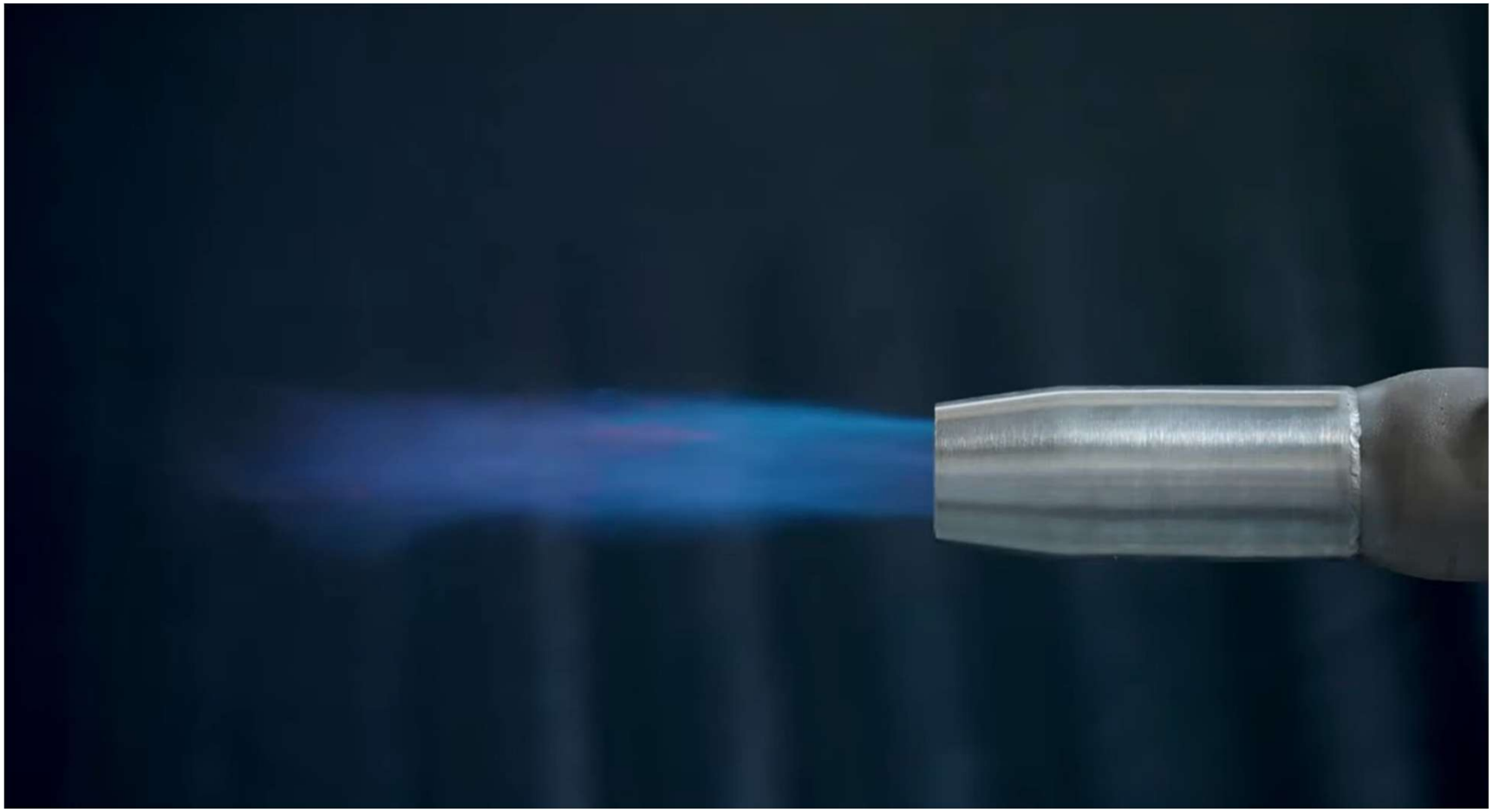




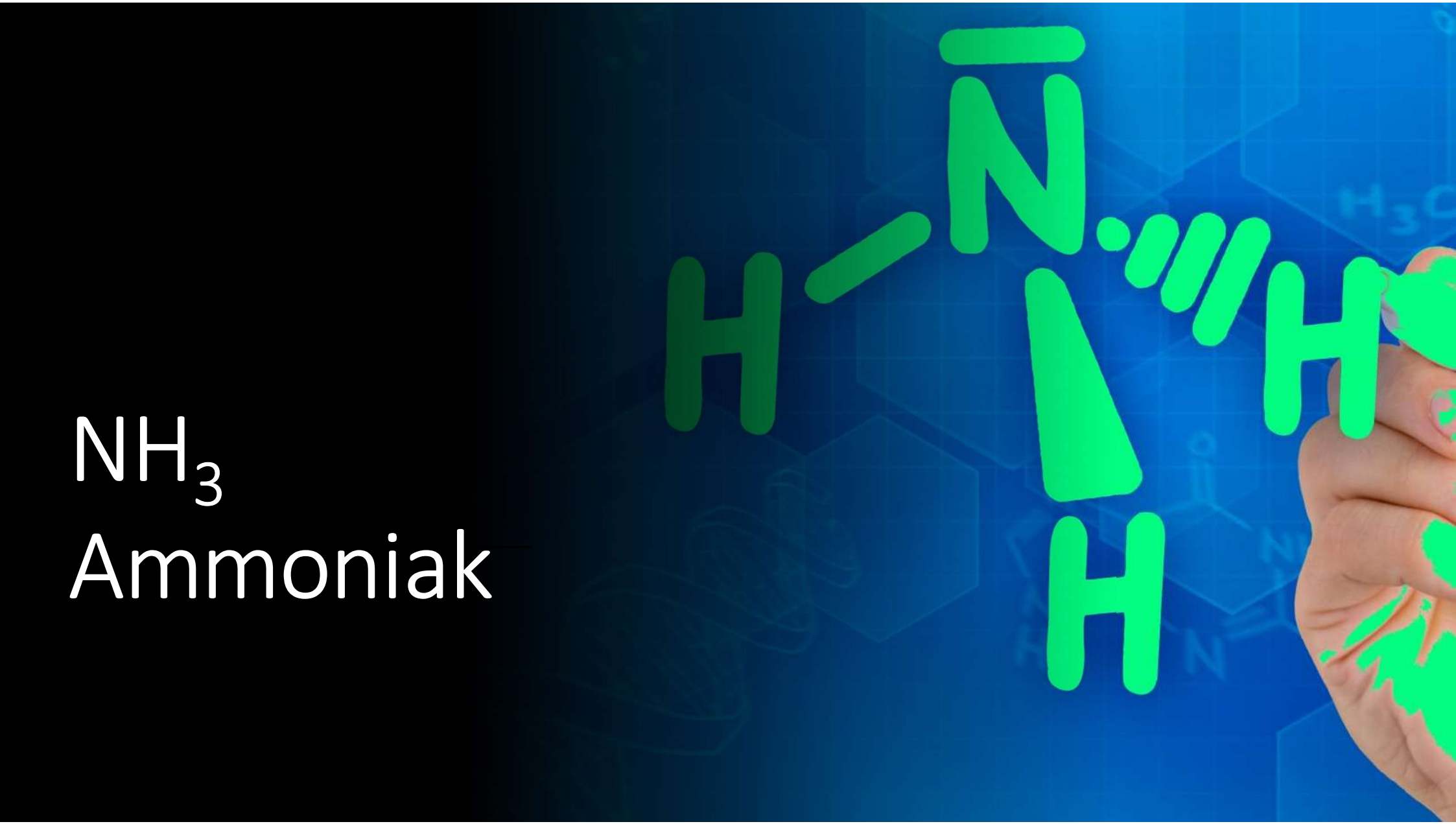
Quelle: GWI & Kueppers Solutions GmbH

Anwendungstechnik – Entwicklung eines kommerziellen Brenners

Entwicklungsprozess des iRecu-Brenners – dual fuel – von Erdgas zu Wasserstoff

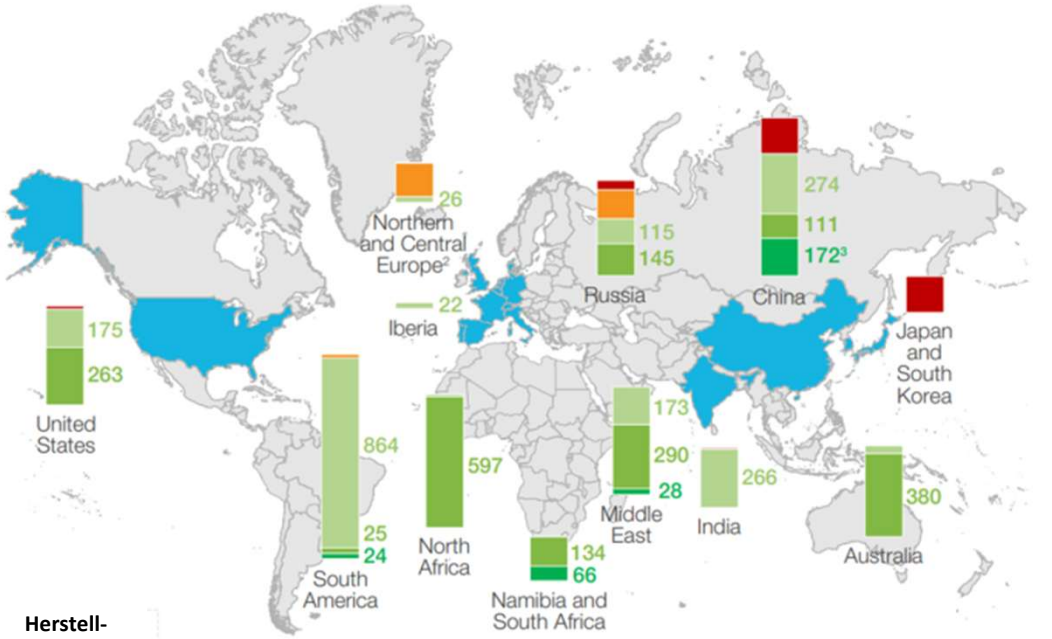


NH_3
Ammoniak



Weltweite Potenziale für die Wasserstoffproduktion 2050

Mio t H_2 / Jahr



Quelle: McKinsey & Comp., 2024

Aber wie kommt der H_2 nach Deutschland (Europa)?

Eine Schlüssel-Option ist
Grünes Ammoniak als Derivat von H_2

Positionspapier zur Wertschöpfungskette von Grünem NH_3

Rhein Ruhr Power | VOTOB | VON BEUST & COLL. HAMBURG · BERLIN · BRÜSSEL · KÖLN

German-Dutch Green Ammonia Supply Chains:
Current State, Opportunities, and Challenges
October 2024

https://rhein-ruhr-power.net/wp/wp-content/uploads/2024/12/Position-Paper_Green-Ammonia_EN_FINAL1.pdf

Lieferkette – Ammoniaktransport aus dem Sonnengürtel der Erde

Transportkette von den Vereinigten Arabischen Emiraten nach Deutschland

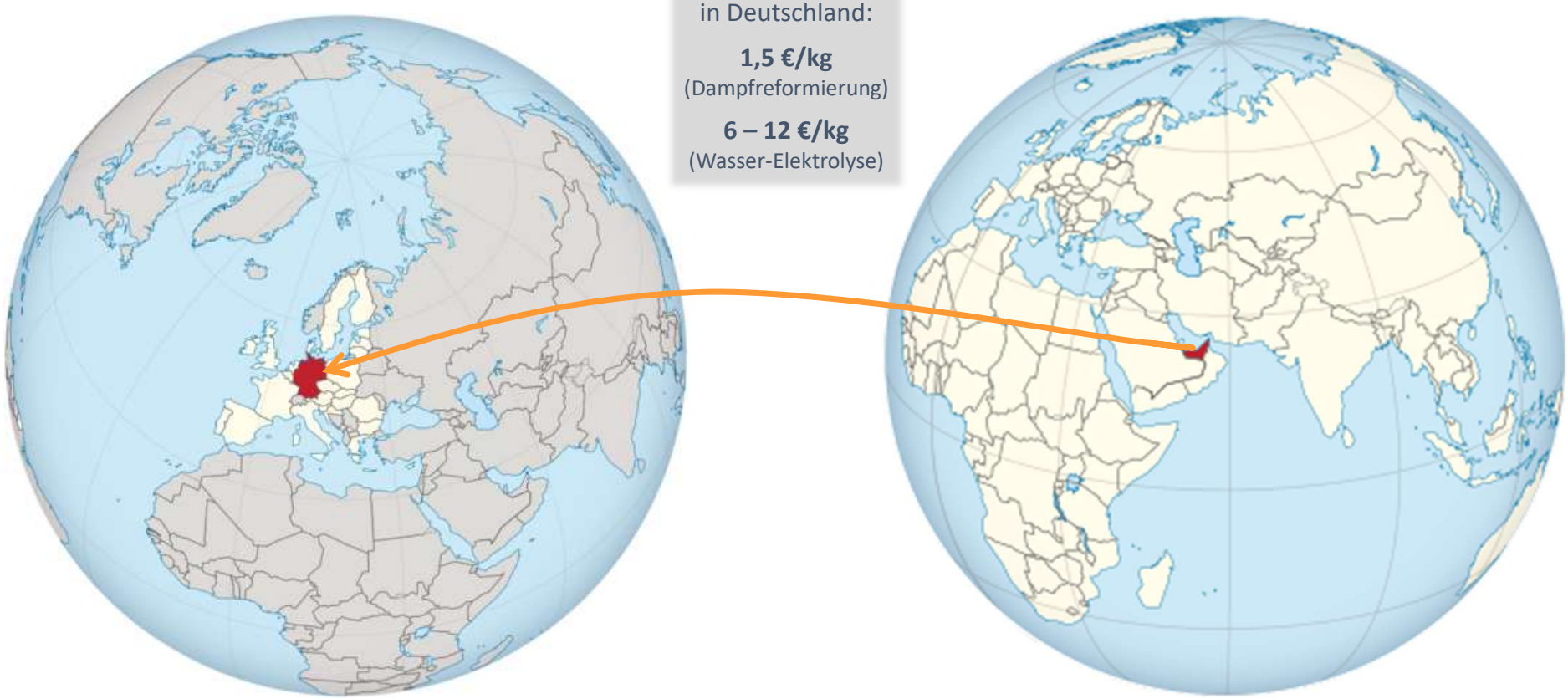
Europa bzw. Deutschland

Heutiger H_2-Preis
in Deutschland:

1,5 €/kg
(Dampfreformierung)

6 – 12 €/kg
(Wasser-Elektrolyse)

Vereinigte Arabische Emirate



Lieferkette – Ammoniaktransport aus dem Sonnengürtel der Erde

Transportkette von den Vereinigten Arabischen Emiraten nach Deutschland

Europa bzw. Deutschaland



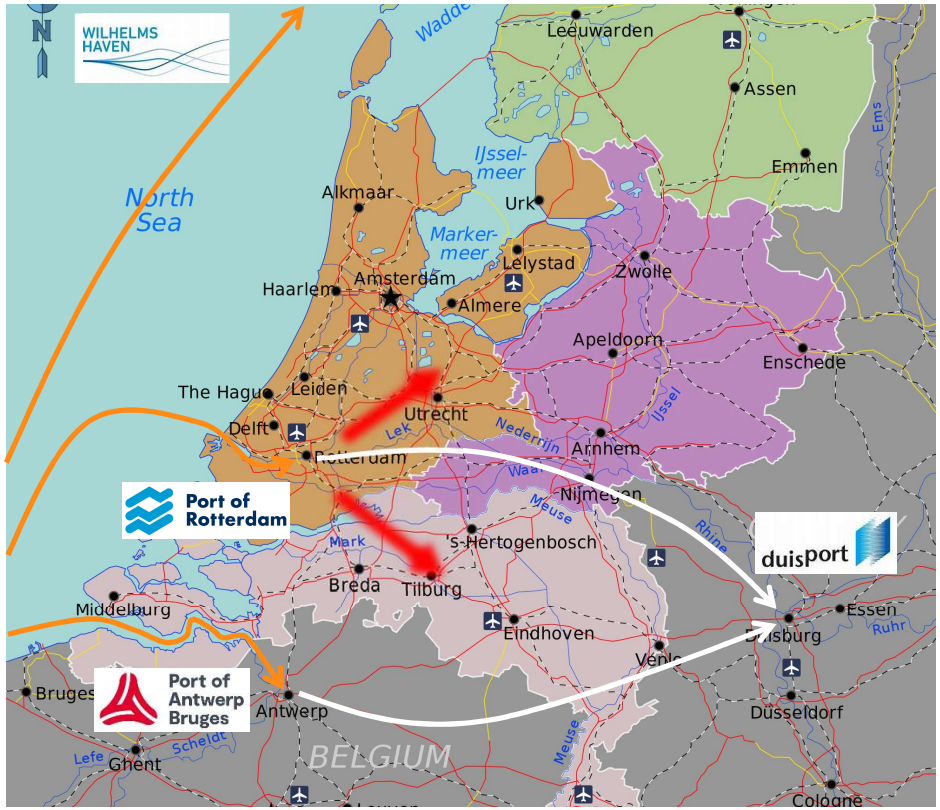
Vereinigte Arabische Emirate



Lieferkette – Ammoniaktransport aus dem Sonnengürtel der Erde

Transportkette von den Vereinigten Arabischen Emiraten nach Deutschland

In die Netherlande, Belgien und Deutschland



und weitere Verteilung in Deutschland



Lieferkette - H_2- bzw. NH_3-Transport-Optionen

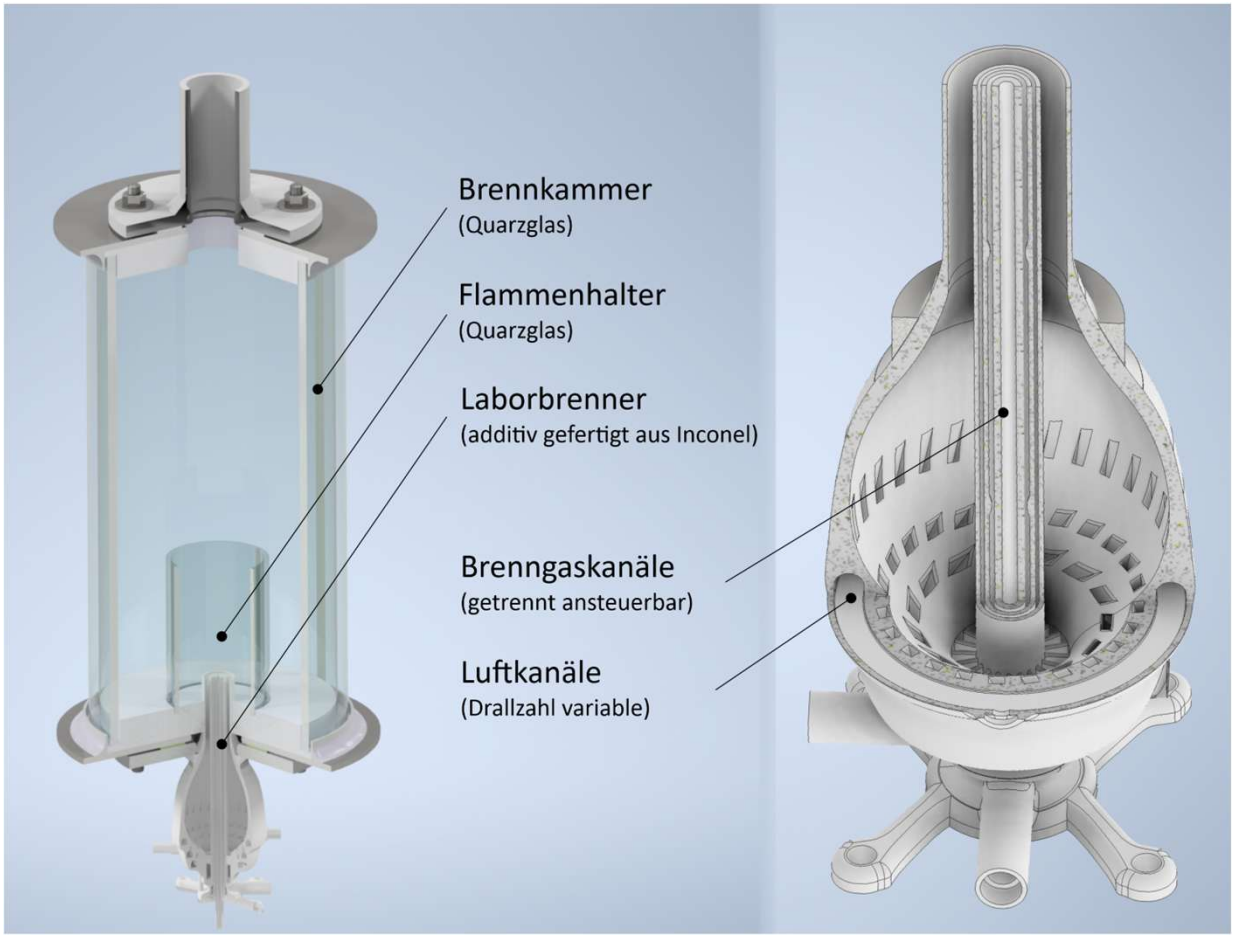
Vor- und Nachteile H_2-Transport

	Technologie	Vorteile	Nachteile
Pipeline-transport	**Komprimierter Wasserstoff** (CGH_2)	• Etablierte Technologie • Günstige Transportoption (bei kurzen Distanzen bzw. großen Mengen) • Kostengünstige Umwidmung von Gasleitungen möglich	• **Entwicklungsbedarf bei H_2-Verdichtern** • Materialverträglichkeitsprüfung bei bestehenden Leitungen erforderlich
Schiffstransport	**Verflüssigter Wasserstoff** (LH_2)	• Verflüssigung in kleinem Maßstab etabliert, Konzepte für große Verflüssiger verfügbar • Transport hochreinen H_2, hohe volumetrische H_2-Dichte • Kompatibilität mit LH_2-Trailertransport • Verdampfung im Importland für Weitertransport via Pipeline unproblematisch	• Hoher Energiebedarf der Verflüssigung (bis zu 30 % der transportierten Energiemenge) • Geringe Transporttemperaturen erforderlich + Transportverluste („boil-off“) • **Schiffe mit großen LH_2-Tanks bisher nur als Prototyp** • **Umrüstung bestehender LNG-Terminals aufwändig**
Schiffstransport	**Ammoniak** (NH_3)	• Hohe volumetrische H_2-Dichte • NH_3 wird bereits heute als Commodity gehandelt → **existierende Technologien, Lieferketten und Verfahren**	• **Cracking (noch) nicht ausgreift (nur im kleinen Maßstab verfügbar), hoher Energiebedarf** • Ggfs. Aufreinigung H_2 und N_2 erforderlich • Toxizität
Schiffstransport	**Flüssige organische Wasserstoff-Träger** (LOHC)	• Hohe volumetrische H_2-Dichte • LOHC-Transport auch via Trailer möglich	• **Kapitalintensiv** (Schiffe + Trägersubstanzen) • **Energiebedarf bei Dehydrierung** • Entwicklungsbedarf bei großen Reaktoren für Hydrogenierung und Dehydrogenierung

Quelle: GWI, Dr. Anne Giese, 2023

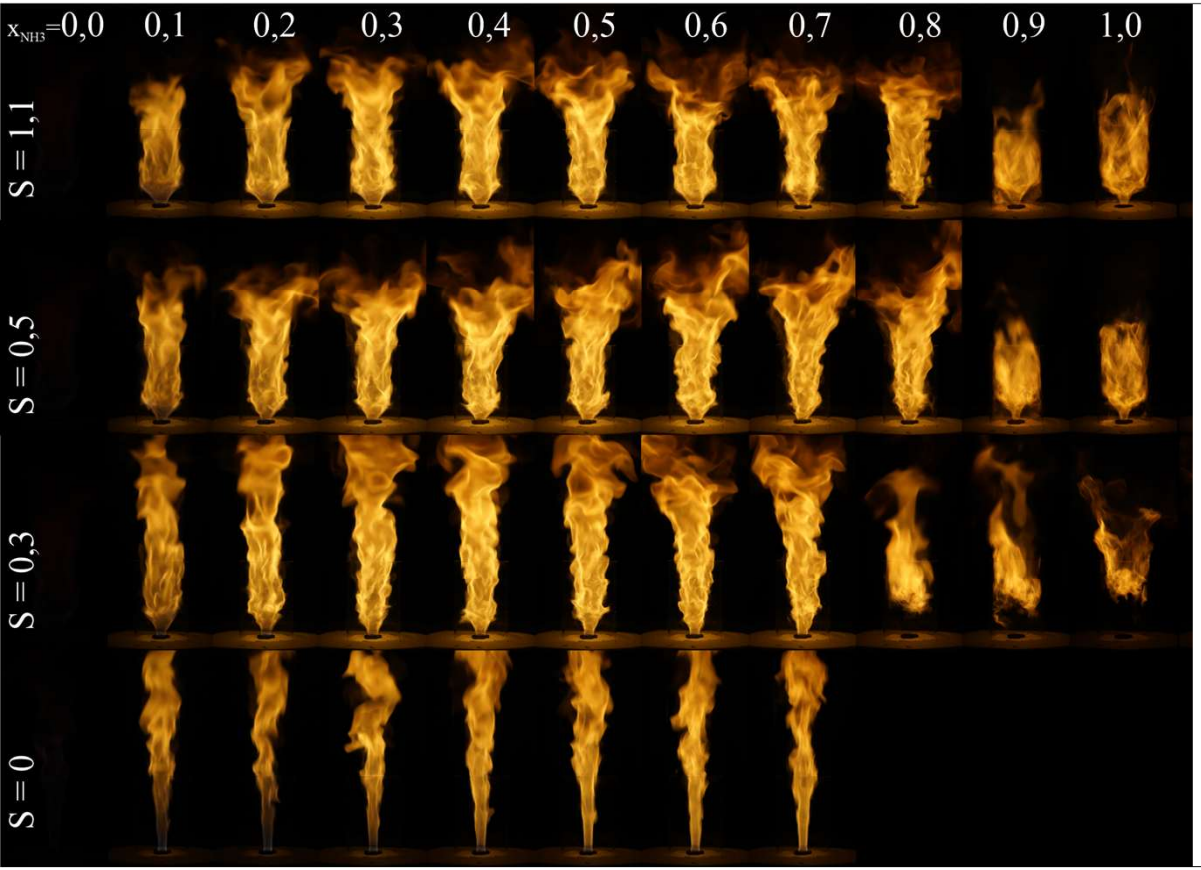
Anwendungstechnik - zur direkten energetischen Nutzung

Entwicklung eines Laborbrenners: Q_{th} = 8 kW / λ = 1,05 / S = 0,5 / H_2-NH_3- und CH_4-NH_3-Gemische



Anwendungstechnik - zur direkten energetischen Nutzung

Untersuchung am Laborbrenner: H_2-NH_3-Gemische bei Q_{th} = 8 kW / λ = 1,05

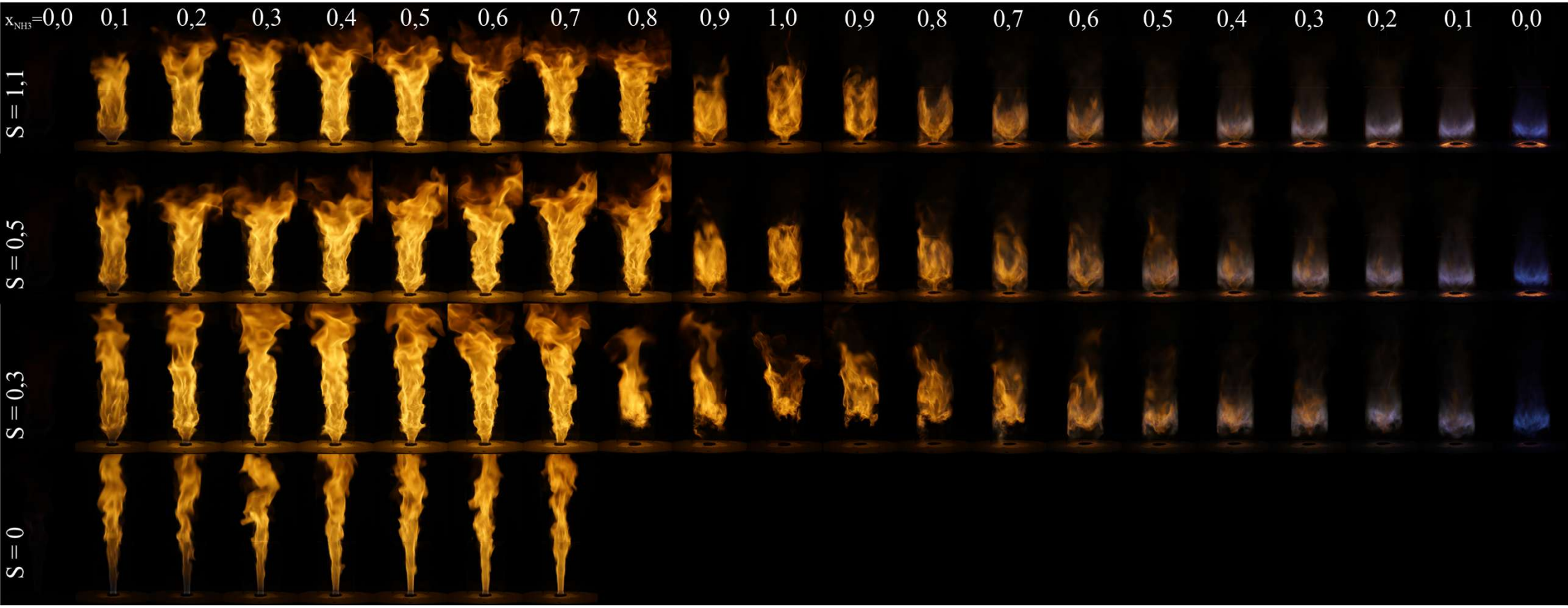


Drallzahl

H_2 → NH_3

Anwendungstechnik - zur direkten energetischen Nutzung

Untersuchung am Laborbrenner: H_2-NH_3- und CH_4-NH_3-Gemische bei Q_{th} = 8 kW / λ = 1,05

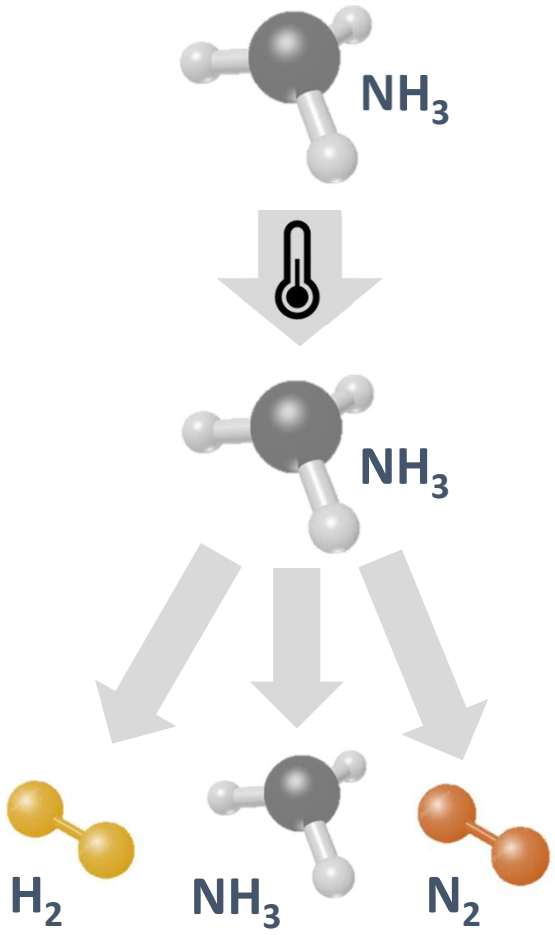


H_2 ⟶ NH_3 ⟵ CH_4

Anwendungstechnik - NH_3-Vorwärmung und partielles Cracken

NH_3-Vorwärmung

Partielles Cracken



Brenngasvorwärmung

✓ Steigerung der Reaktivität (Temperatur)

Partielles thermisches Cracken

✓ Steigerung der Reaktivität (H_2-Anteil)

optimierte Flammen-stabilität

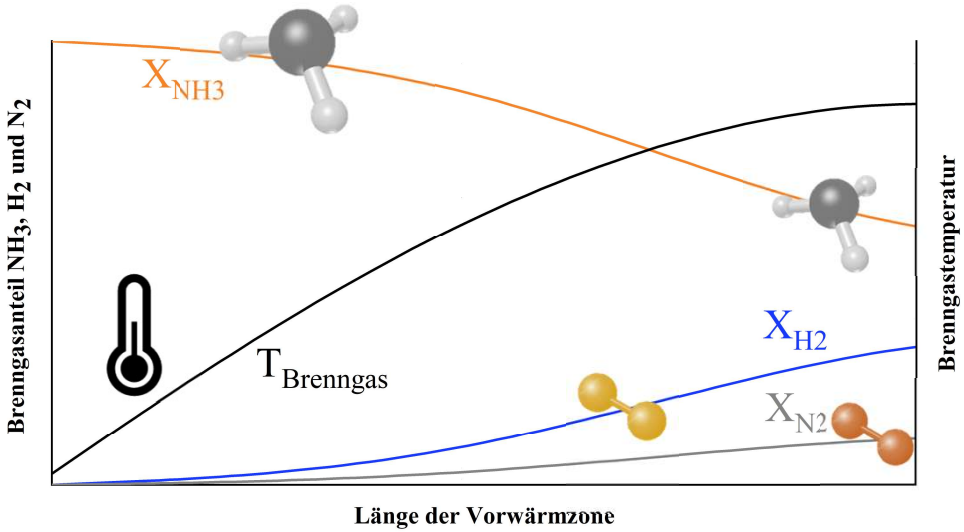
Quelle: Feller, B., Biebl, M., Giese, A., Wieland, C.: Deutscher Flammentag 2025, Berlin, 17.9.2025

Anwendungstechnik - NH_3-Vorwärmung und partielles Cracken

Grundsätzlicher Ansatz - Laborversuche

Voraussetzung für das thermisches Cracken:

- Hohe Temperaturen (> 850 °C)
- lange Verweilzeiten



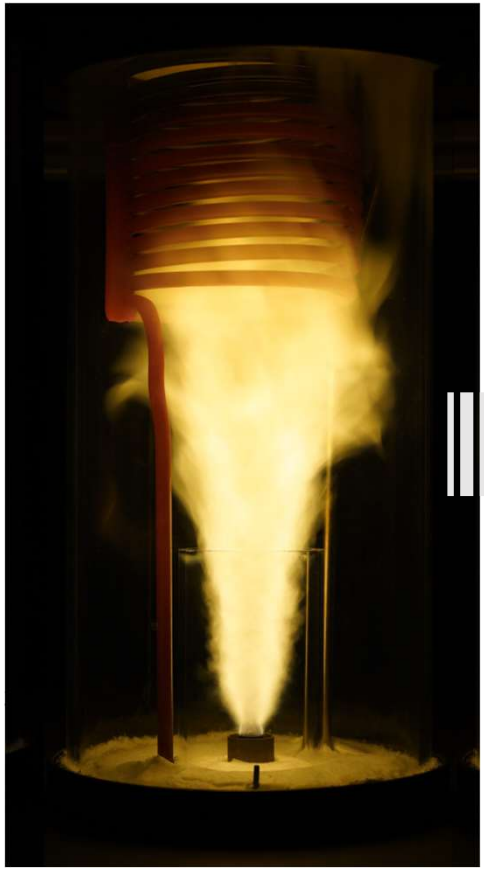
Versuchsaufbau

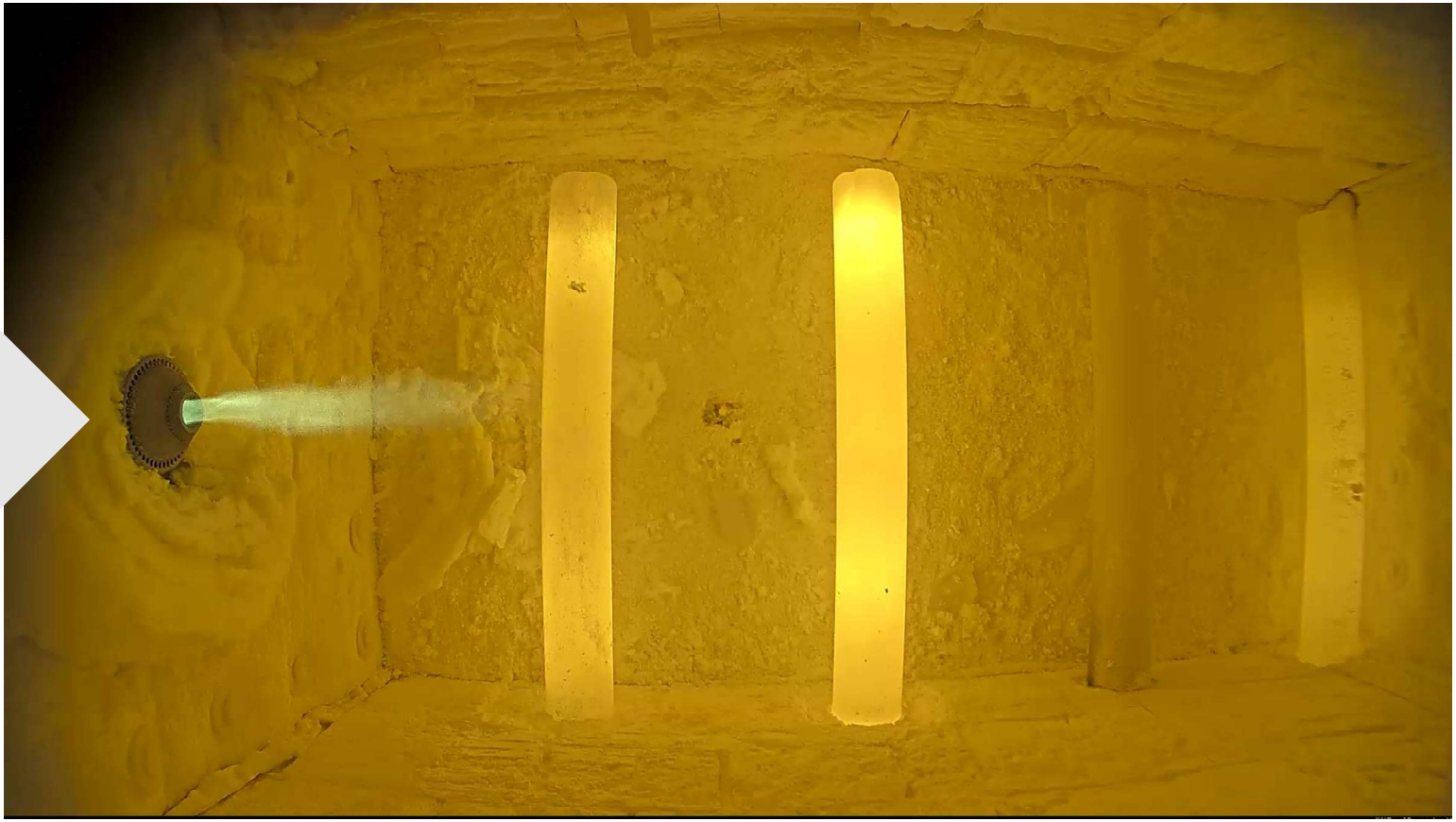


Quelle: Feller, B., Biebl, M., Giese, A., Wieland, C.: Deutscher Flammentag 2025, Berlin, 17.9.2025

Anwendungstechnik - Untersuchung für NH_3 im Labormaßstab

Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammengeometrie



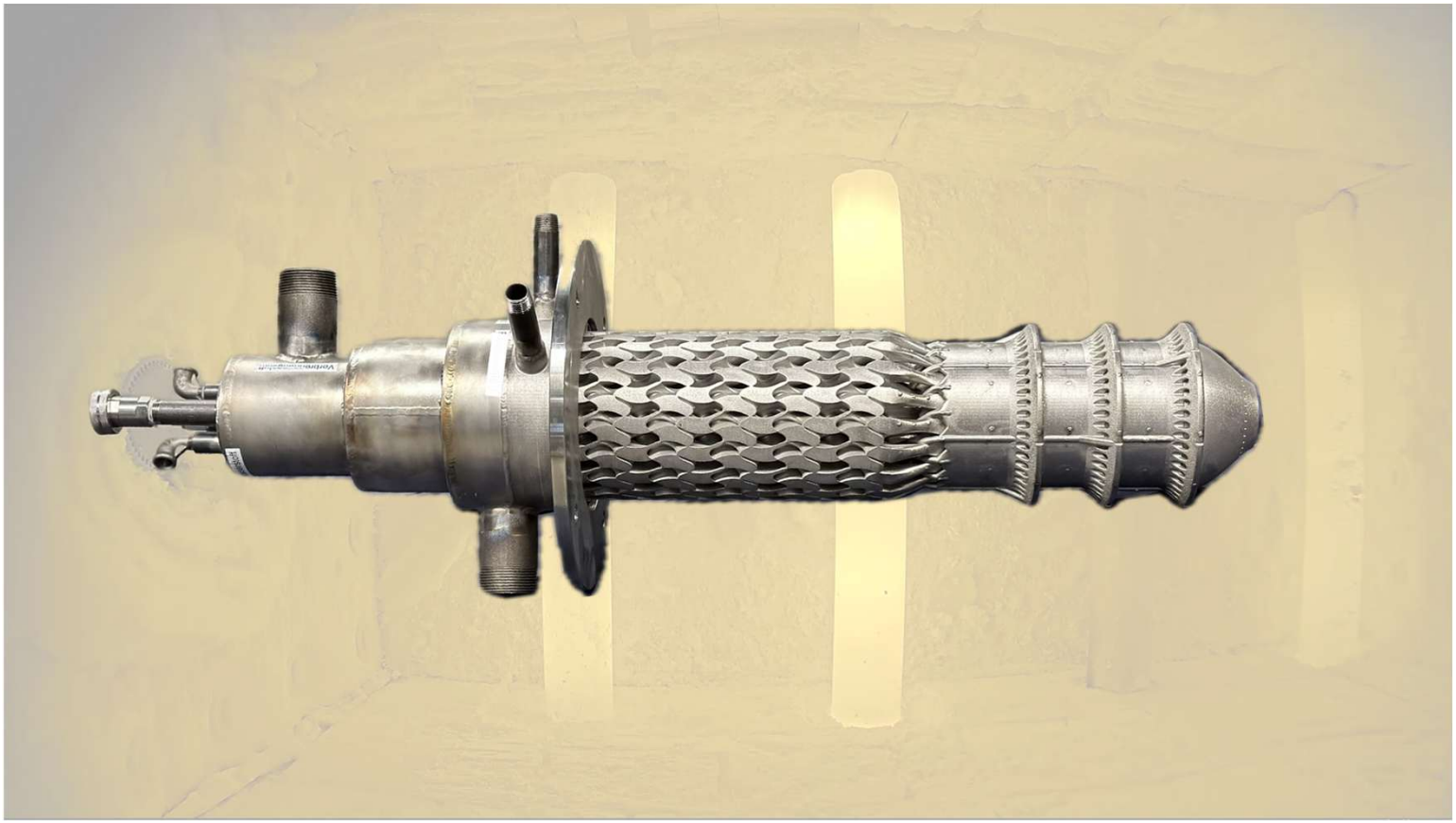


100 % NH_3 / $P_{Brenner}$ = 18 kW / λ = 1,2 / $T_{Ofenraum}$ = 850 °C

Quelle: Feller, B., Biebl, M., Giese, A., Wieland, C.: Deutscher Flammentag 2025, Berlin, 17.9.2025

Anwendungstechnik - Untersuchung für NH_3 im Labormaßstab

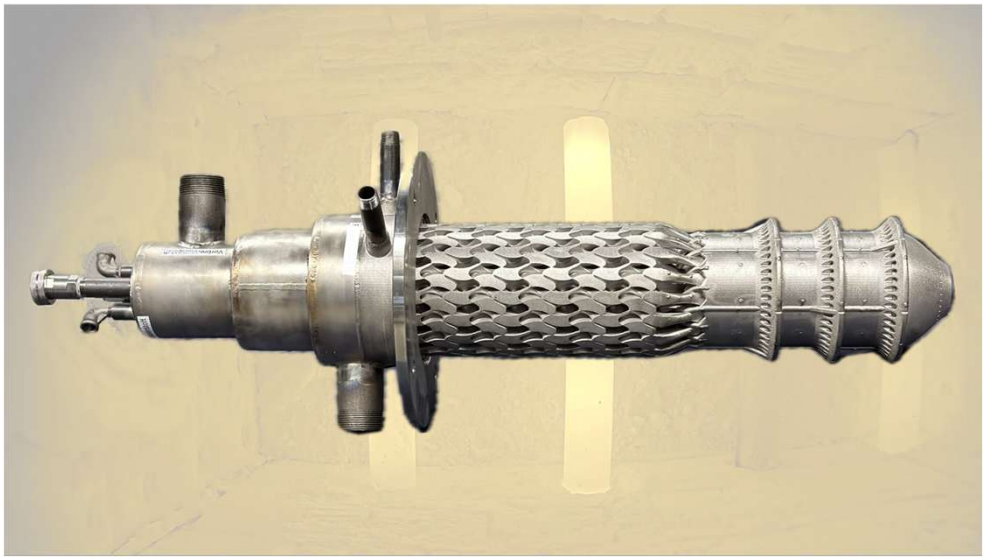
Entwickelter Brenner für CH_4, H_2 und NH_3

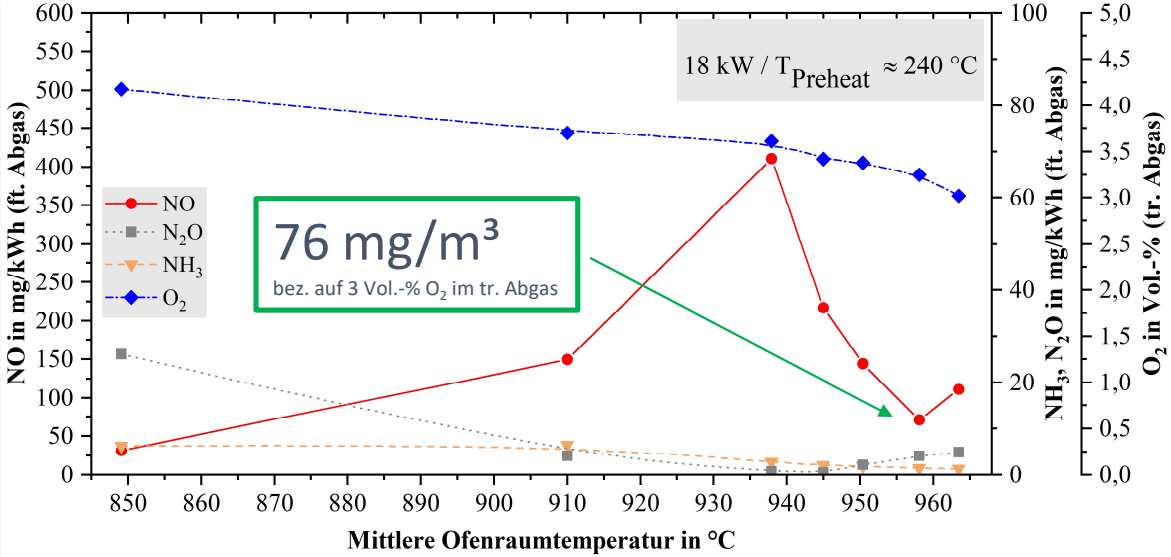


Quelle: Feller, B., Biebl, M., Giese, A., Wieland, C.: Deutscher Flammentag 2025, Berlin, 17.9.2025

Anwendungstechnik - Untersuchung für NH_3 im Labormaßstab

Einfluss des partiellen Crackens und der Vorwärmung auf die Flammengeometrie





Für nahezu alle Ofenraumtemperaturen optimale Arbeitspunkte unterhalb < 250 mg/kWh mit N_2O- und NH_3-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.

Quelle: Feller, B., Biebl, M., Giese, A., Wieland, C.: Deutscher Flammentag 2025, Berlin, 17.9.2025


Resümee

Fazit

Erdgas …
- … hat in D als Energieträger einen fast doppelt so hohen Anteil wie Strom
- … bleibt „Brücken“-Energieträger für die Energiewende
- … ist ein wichtiges stoffliches Edukt für viele Produkte
- … ist „Türöffner“ für Wasserstoff und stellt teilweise Infrastruktur zur Verfügung

Wasserstoff …
- … ist eines der zentralen Element der Energiewende
- … muss überwiegend importiert werden

Ammoniak …
- … sollte ergänzend zu Wasserstoff betrachtet werden
- … hat Vorteile ggü. Wasserstoff in Bezug auf Transport und Speicherung
- … muss verbrennungstechnisch noch optimiert werden

bioLNG, bioCNG, Methanol u.a. …
- … können bestehende Infrastrukturen nutzen
- … diversifizieren das Brennstoffportfolio weiter und erhöhen so die Sicherheit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr.-Ing. Klaus Görner

RRP Rhein Ruhr Power e.V.
GWI Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.