Fraunhofer IMM

Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM

ReInvent
TREIBHAUSGASREDUZIERUNG IN DER GRUNDSTOFFINDUSTRIE

DLR Projektträger

Branchenworkshop der Feuerfest-, Glas-, Keramik-, Zement- und Ziegelindustrie
29. März 2023 Offenbach
Jochen Schürer

Verbundprojekt KlimPro: Grünes Spaltgas als Brenngas zur Ziegelherstellung (Spaltgas)

Übersicht

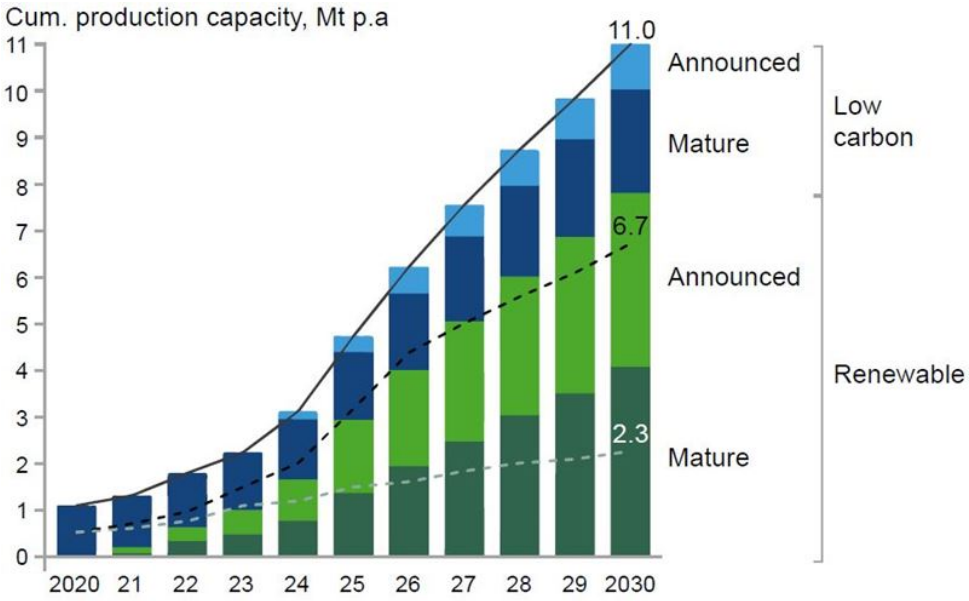
Projekt Spaltgas – Grünes Ammoniak als Brenngas

1. **Motivation und künftige Szenarien der Energiewende**
2. **Projektziele und Projektpartner**
3. **Projektschwerpunkte**
4. **Projektstatus**

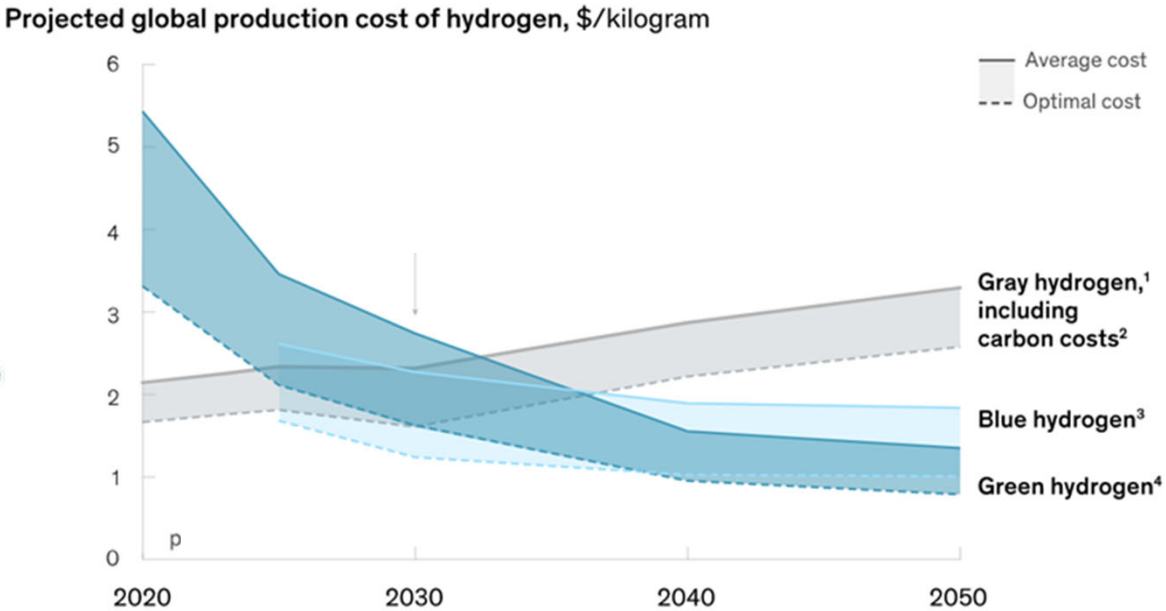
 © Fraunhofer IMM

The Hydrogen Economy

Future Market Potential



Source: Hydrogen Council, McKinsey & Company, Hydrogen Insights July 2021 Update



Source: McKinsey Hydrogen & Derivates Flows Model, October 2022

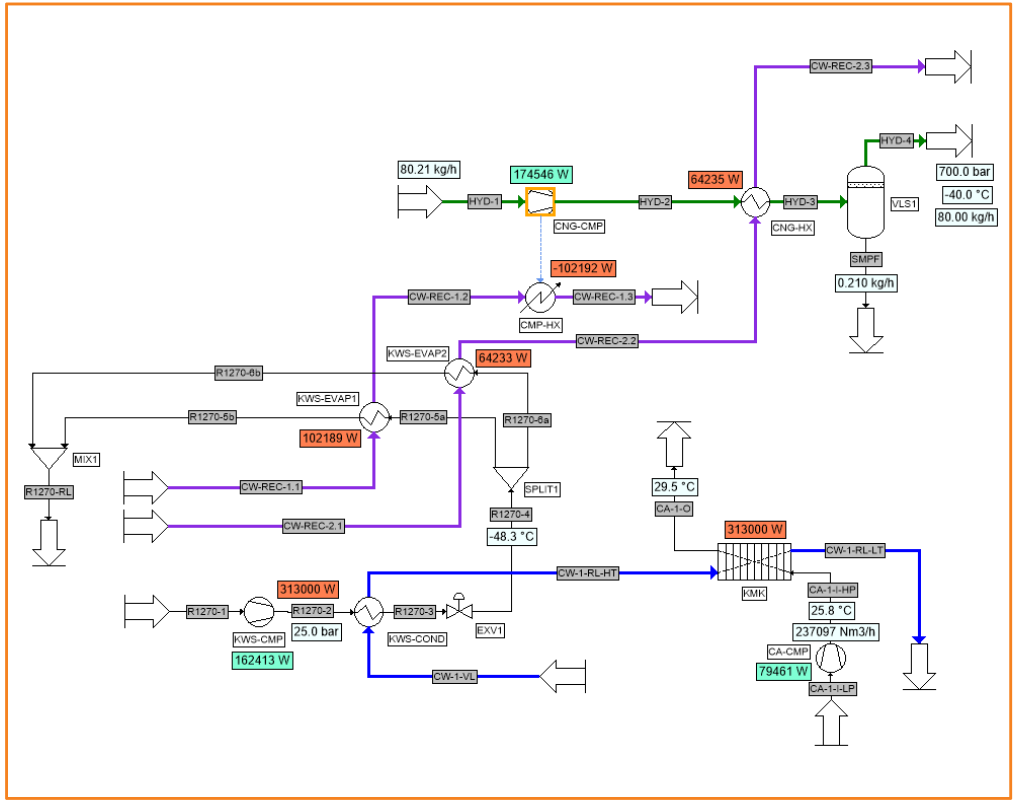
- The total hydrogen capacity is projected to increase drastically
- Forecast predicts declining price of green hydrogen

 © Fraunhofer IMM

Energy losses by hydrogen compression to 700 bar

- Energy content of H_2 (LHV 241,826 J/mol):
  - 2.666 MW
- **Power for compression and cooling:**
  - **416.4 kW from 25 bar to 700 bar**

Energy loss of 15.6%

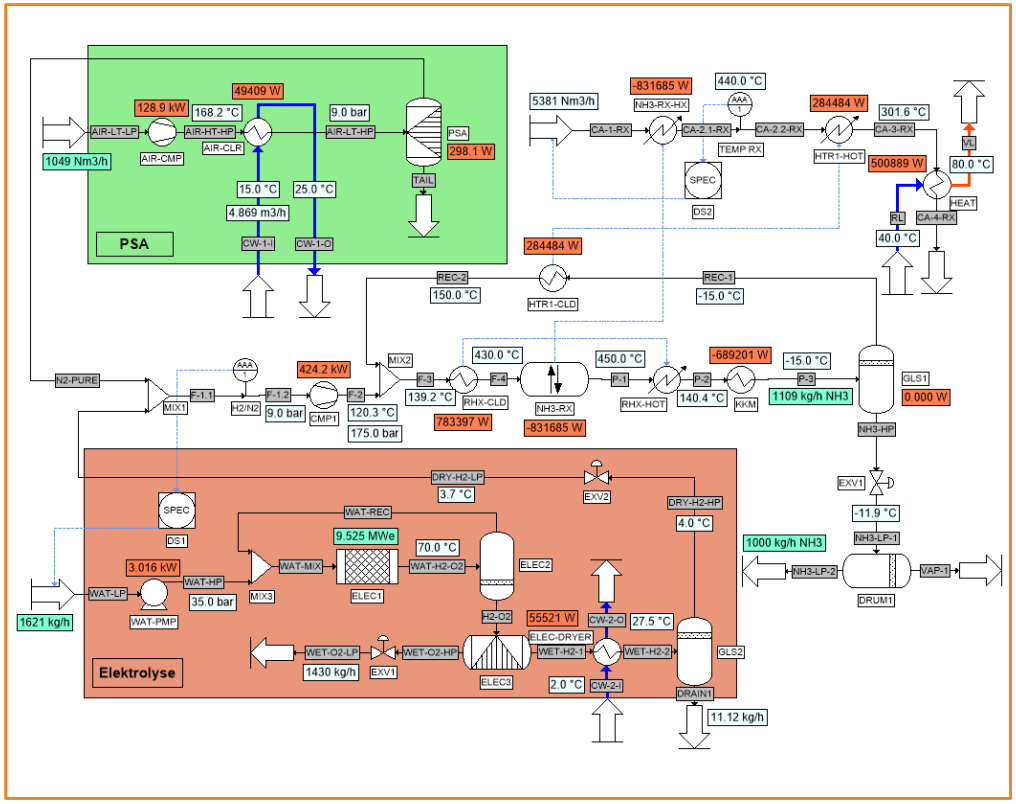


 © Fraunhofer IMM

Energy efficiency of ammonia production

- Energy Input of the process chain from H_2 to NH_3:
  - Pressure Swing Adsorption: 128 kW
  - NH_3 synthesis: 562 kW
  - **Electrolysis: 9,525 kW**

- Energy required for ammonia production:
  - 0.691 kWh/kg without electrolysis
  - 10.22 kWh/kg with electrolysis



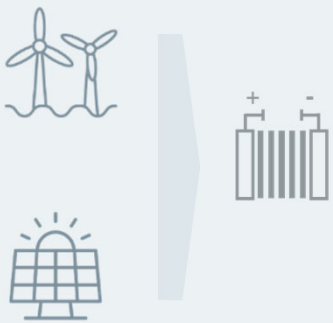
 © Fraunhofer IMM

Fraunhofer IMM

The Hydrogen Economy

Hydrogen and Hydrogen Carriers

H_2 generation



H_2 Storage and Distribution

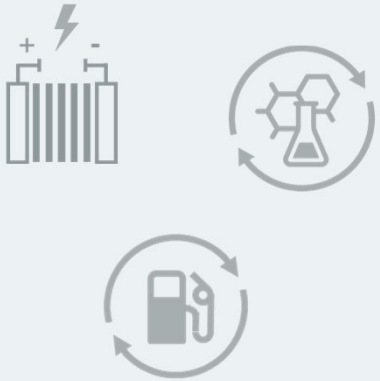
Viable alternative: H_2 Carriers Methanol and NH_3

- Much higher volumetric energy density than H_2
- Storage at room temperature and moderate pressure
- Produced and transported in millions of tons

Major draw backs:

- Low volumetric energy density
- Energy intensive liquefaction or high-pressure storage
- Safety concerns
- No pipeline grid developed

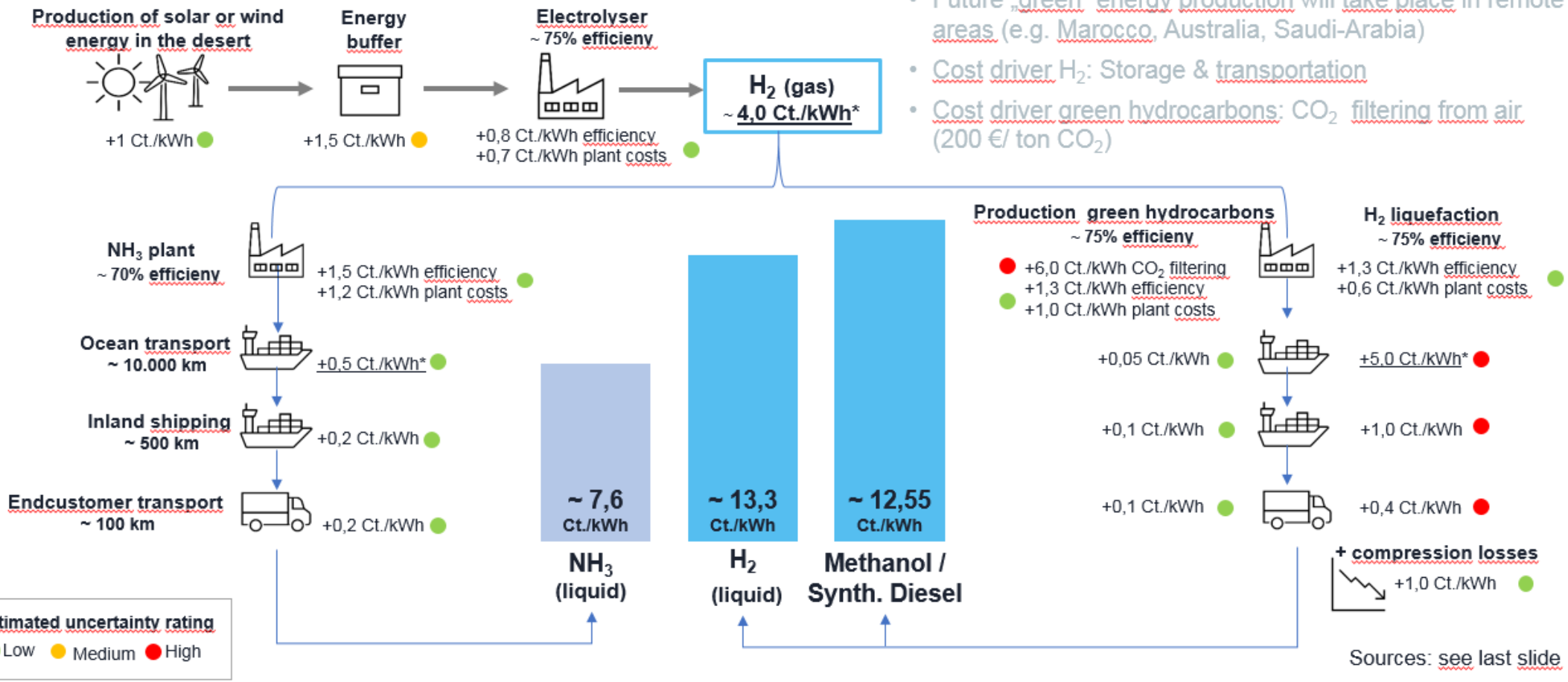
H_2 Utilization



 © Fraunhofer IMM

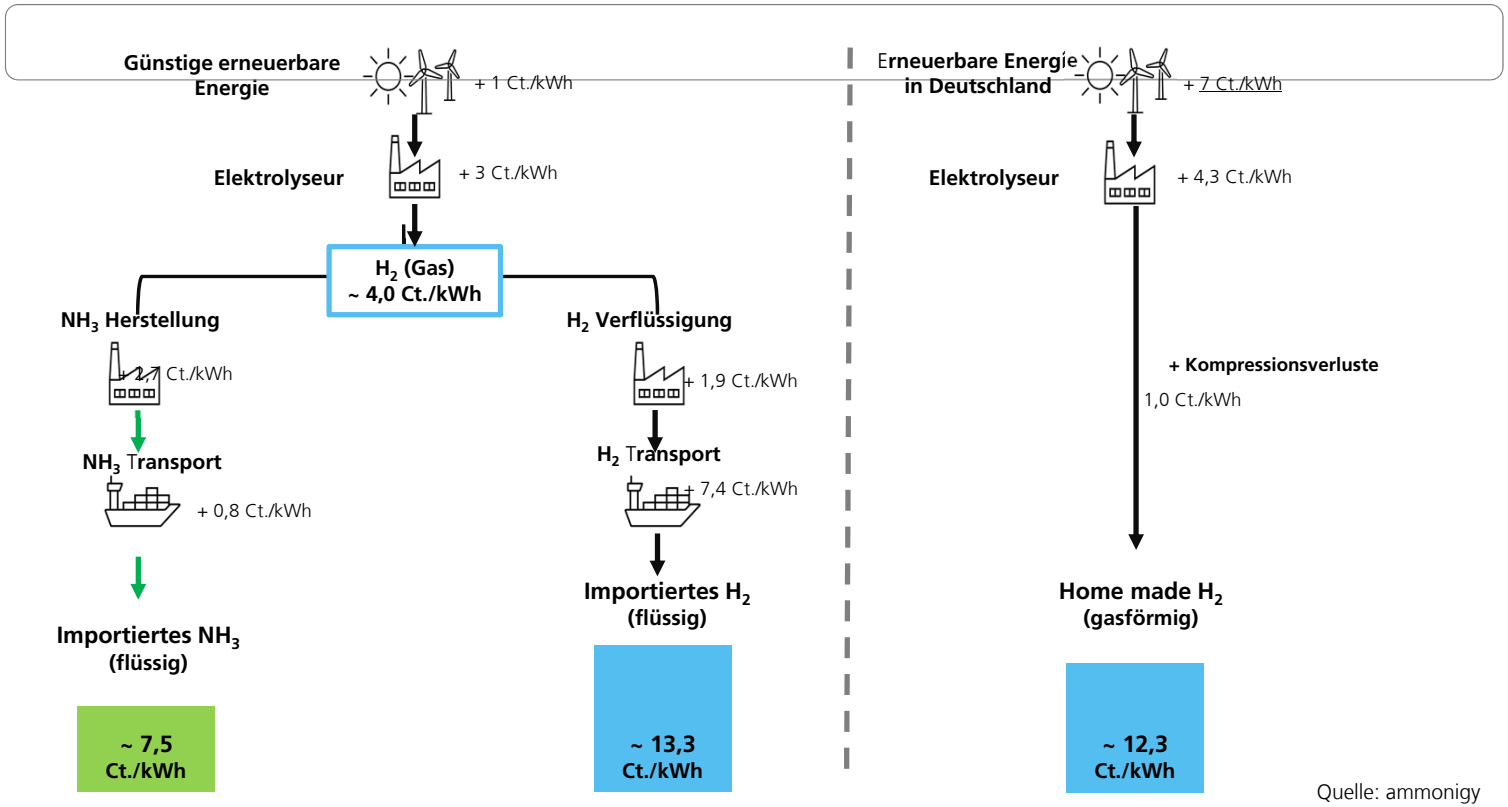
Future cost estimation in 2030: green NH_3 vs. green alternatives

- Future „green“ energy production will take place in remote areas (e.g. Marocco, Australia, Saudi-Arabia)
- Cost driver H_2: Storage & transportation
- Cost driver green hydrocarbons: CO_2 filtering from air (200 €/ ton CO_2)



Sources: see last slide

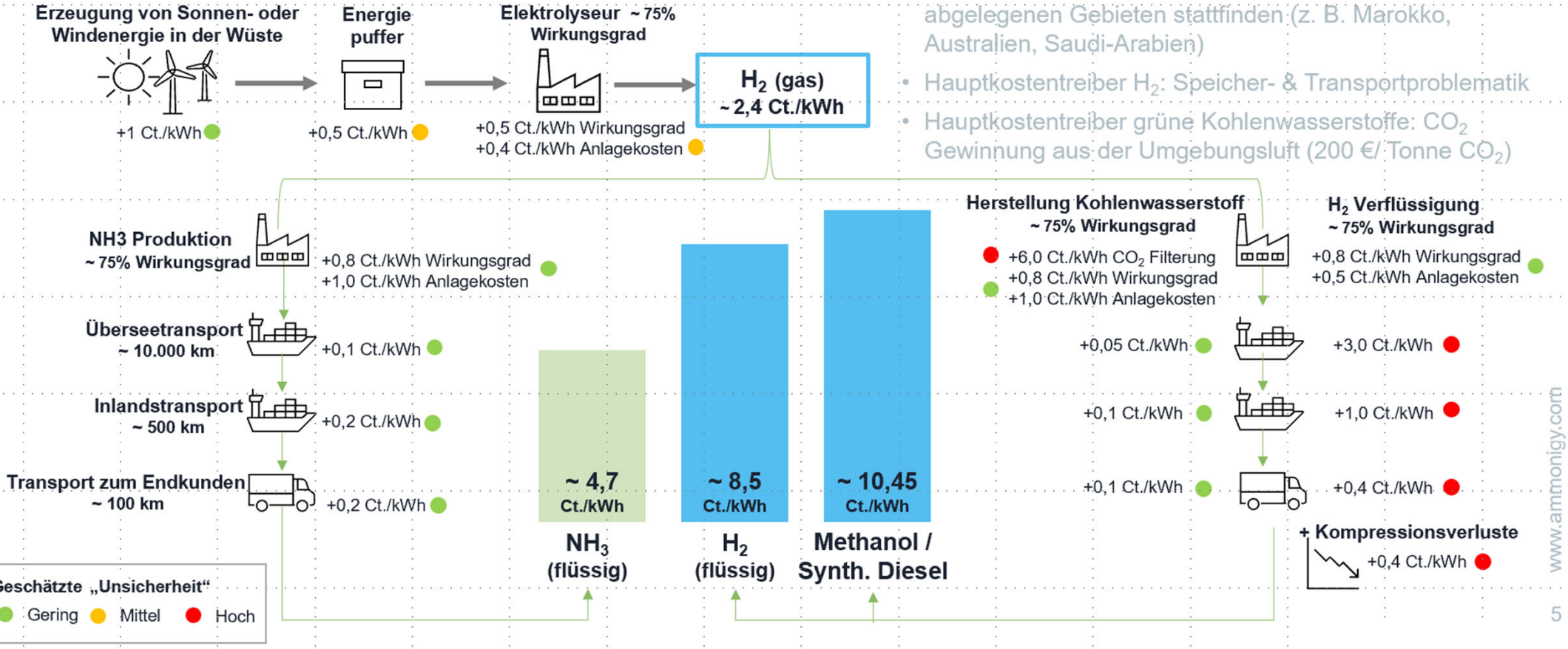
Logistische Preiseffekte



Quelle: ammonigy

Schätzung zukünftige Kosten grünes NH_3 vs. grüne Alternativen 2050

- Die zukünftige „grüne“ Energieerzeugung wird in abgelegenen Gebieten stattfinden (z. B. Marokko, Australien, Saudi-Arabien)
- Hauptkostentreiber H_2: Speicher- & Transportproblematik
- Hauptkostentreiber grüne Kohlenwasserstoffe: CO_2 Gewinnung aus der Umgebungsluft (200 €/ Tonne CO_2)



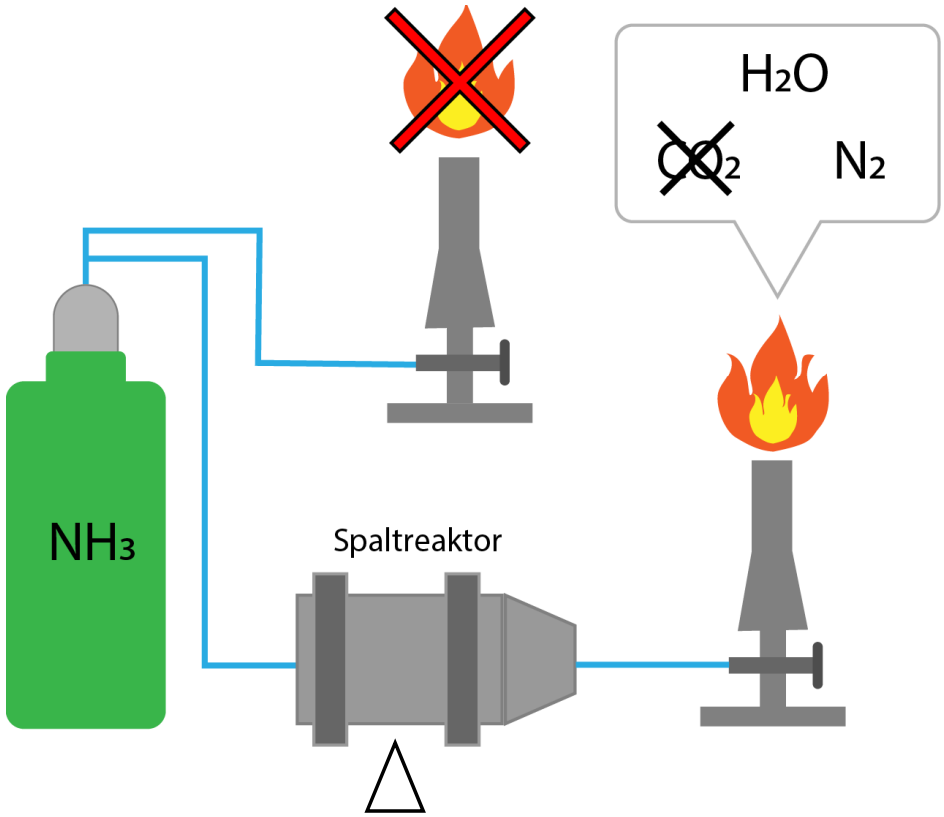
www.amtonigy.com

 © Fraunhofer IMM Internal

Fraunhofer IMM

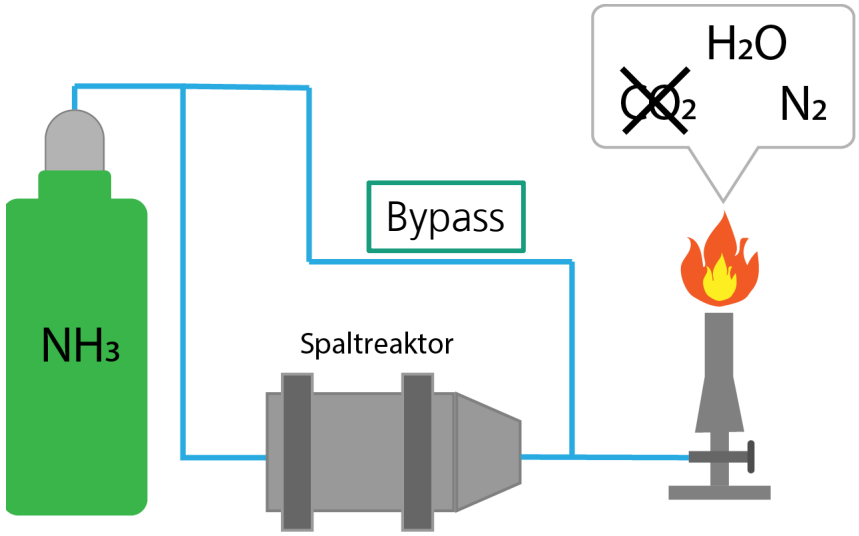
Ammoniak als Brenngas

Spaltgas



$$x\ NH_3 \rightarrow N_2 + 3\ H_2 + (x-2)\ NH_3$$

- Ammoniak an Luft schlecht brennbar
- Alternative: Spaltgas – Gemisch aus H_2, NH_3 und N_2
- Verbrennung von Ammoniak mit Wasserstoff
- Erzeugung des Wasserstoffs aus Ammoniak
- Einsatz grünes Ammoniak



 © Fraunhofer IMM Internal

Projektziele

Projekt Spaltgas – Ammoniak als Brenngas

Zielsetzung des Vorhabens: Brennen von Mauerziegelsteinen mittels grünem Spaltgas

- Spaltgas – Gemisch aus H_2, NH_3 und N_2
- Einsatz als Brenngas zur Ziegelherstellung

- Spaltgaserzeugung aus grünem Ammoniak

- Grüner Ammoniak
  - Herstellung mittels Haber-Bosch-Prozess aus Elektrolyse-Wasserstoff (regenerativer Strom)
  - Zwischenlagerung und Distribution flüssig

- Brennprozess
  - Wasserstoff am Einsatzort mittels eines Spaltreaktors zusammen mit Stickstoff wieder freigesetzt
  - Verbrennung in innovativen Brennern
  - Teilspaltung des Ammoniak

 © Fraunhofer IMM

Projektübersicht

Projekt Spaltgas – Ammoniak als Brenngas

Zielsetzung des Vorhabens: Brennen von Mauerziegelsteinen mittels grünem Spaltgas

- AP 1 Aufbau einer Brennkammer (Laborreaktor) im Kleinstmaßstab
  - AP 1.1 Verfahrenstechnisches Modell (Brennerentwicklung, Simulation) (IMM, ITWM, whs, IBS)
  - AP 1.2 Bau eines Labor-Versuchsbrennofens mit Brenner (IBS, IMM, ITWM, whs, JUWÖ)
  - AP 1.3 Betrieb des Versuchsbrennofens (Brennversuche)
  - AP 1.4 Tests der gebrannten Mauerziegelsteine

- AP 2 Hochskalieren des Brennprozesses auf Pilotniveau (TRL 5)
  - AP 2.1 Verfahrenstechnisches Modell (Spaltgasreaktor, Brennerentwicklung, Pilot-Brennofen)
  - AP 2.2 Bau eines Pilotbrennofens (Spaltgaserzeugung aus grünem Ammoniak)
  - AP 2.3 Inbetriebnahme des Pilotbrennofens (Freigabe) (JUWÖ, IMM, ITWM, IBS, whs)
  - AP 2.4 Tests der gebrannten Mauerziegelsteine (JUWÖ)

- AP 3 Aufzeigen der ökologischen Vorteile und wirtschaftlichen Machbarkeit des Einsatzes von grünem Spaltgas gegenüber konventionellen kohlenstoffhaltigen (fossilen) Energieträgern
  - AP 3.1 Wirtschaftlichkeitsermittlung
  - AP 3.2 Ökobilanzierung

 © Fraunhofer IMM

Projektpartner

Projekt Spaltgas – Ammoniak als Brenngas

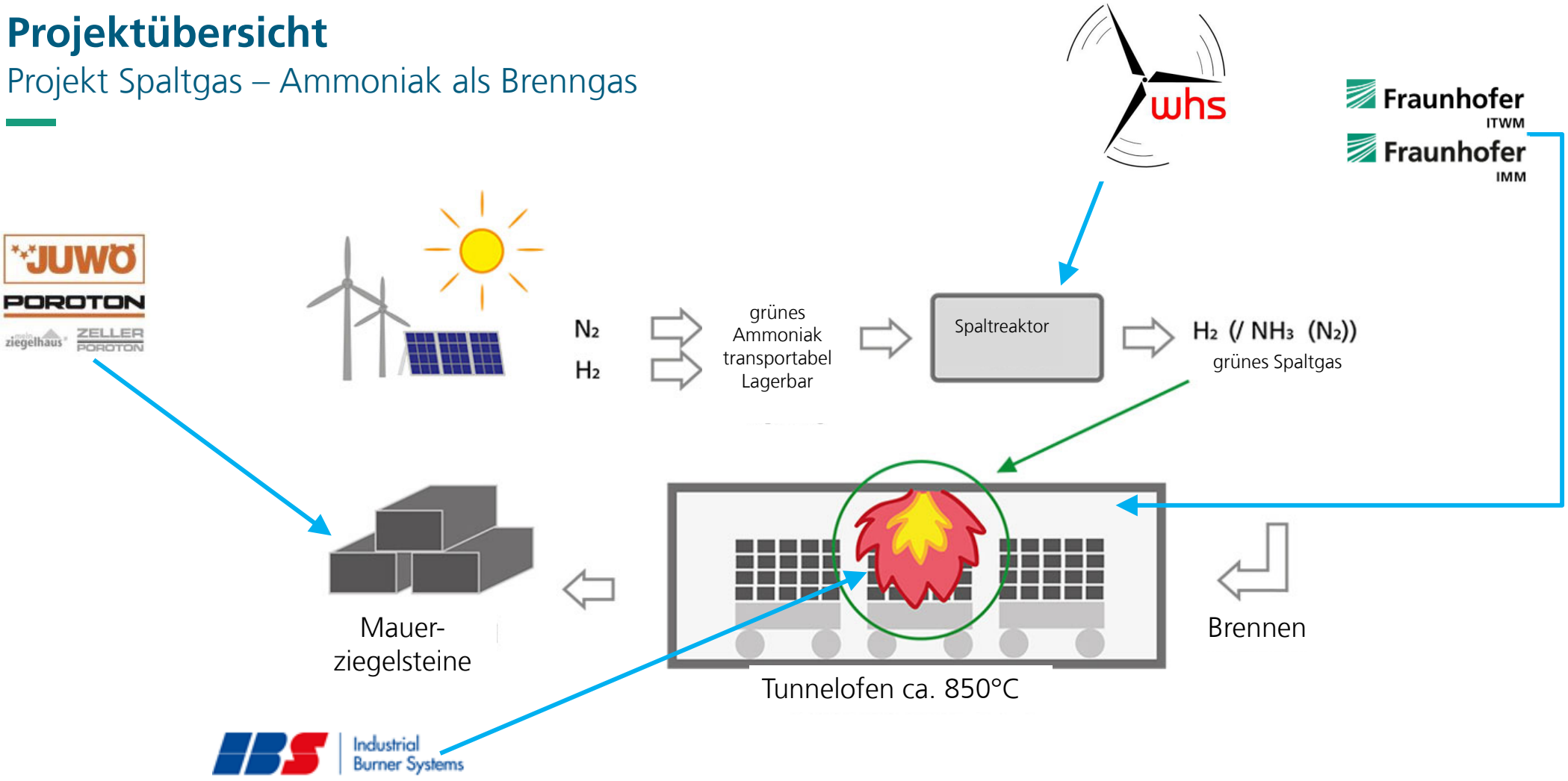
Verbundprojekt

- Koordinator: JUWÖ POROTON-WERKE Ernst Jungk Sohn GmbH, 55597 Wöllstein
- Verbundpartner:
  - whs Gesellschaft für Energietechnik GmbH, 64390 Erzhausen
  - IBS Industrie-Brenner-Systeme GmbH, 58091 Hagen
  - Fraunhofer-Gesellschaft
    - Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, 67663 Kaiserslautern
    - Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme, 55129 Mainz
- Projektträger
  - DLR Projekträger, Bereich Umwelt und Nachhaltigkeit, 53227 Bonn

 © Fraunhofer IMM

Projektübersicht

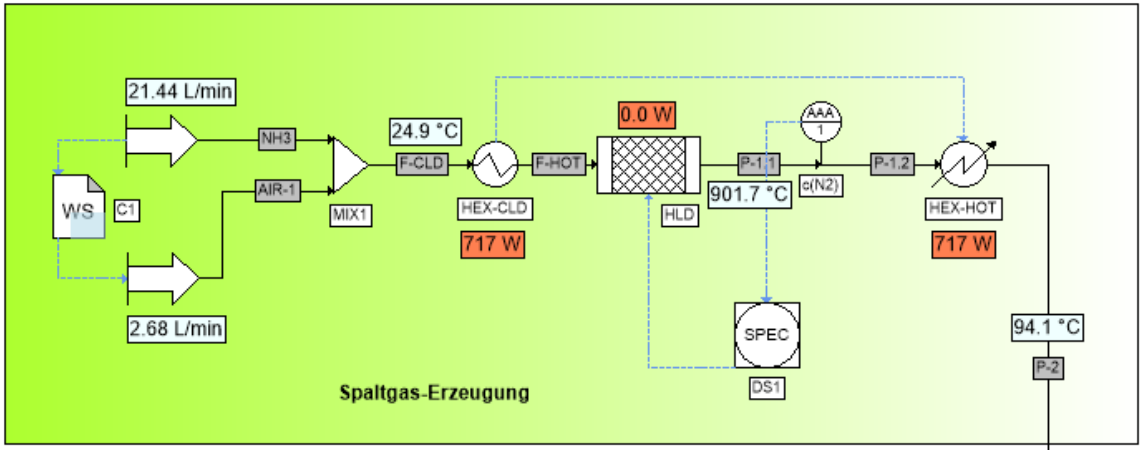
Projekt Spaltgas – Ammoniak als Brenngas

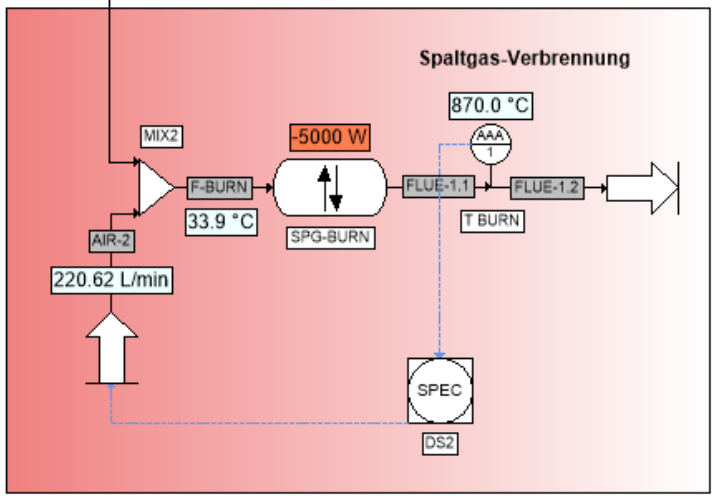


 © Fraunhofer IMM

Projektergebnisse

Prozesssimulation





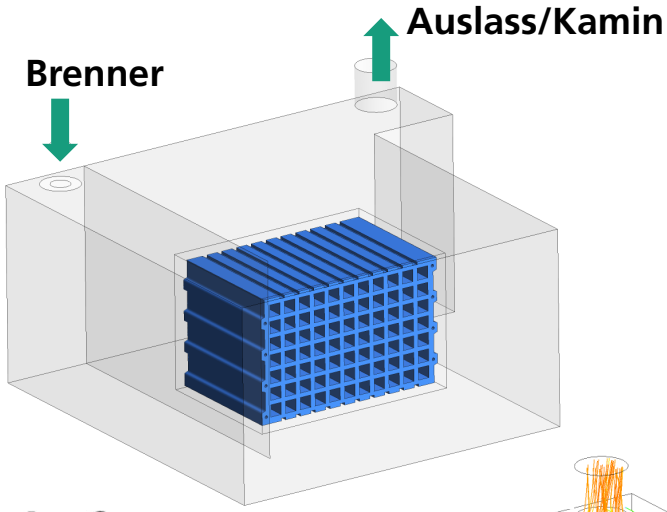
- Autothermische Spaltgas-Erzeugung aus Ammoniak und Luft in einem adiabatischen Reaktor bei λ: 0,035
- Energieverbrauch: 4 - 5 kWh/Mauerziegelstein

 © Fraunhofer IMM

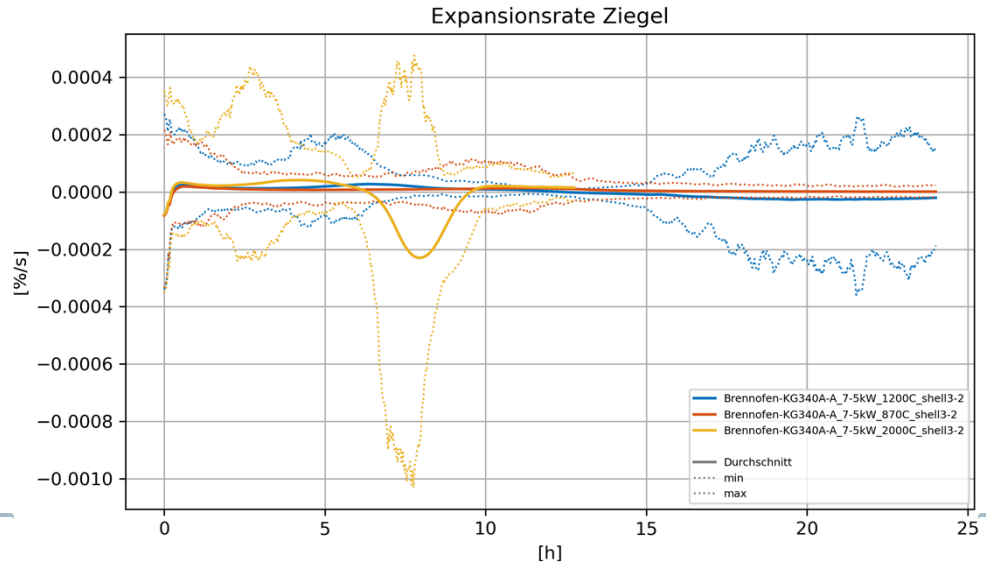
Projektergebnisse

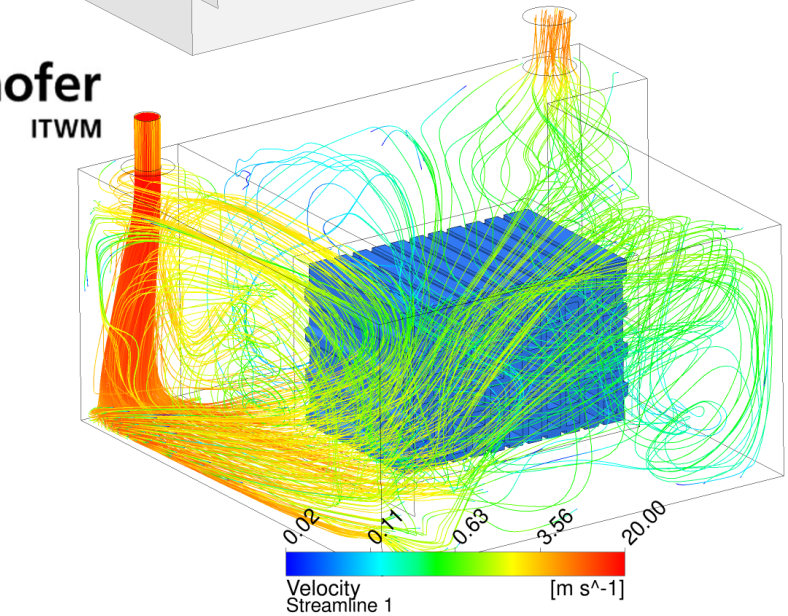
Fluidische und thermische Simulation (Ansys)

- Brennerleistung 7,5 kW
- Modellofen
- Energiebilanz
- Temperaturen Ofeninneres/-wände und Ziegel
- Expansionsrate Ziegel



Fraunhofer ITWM





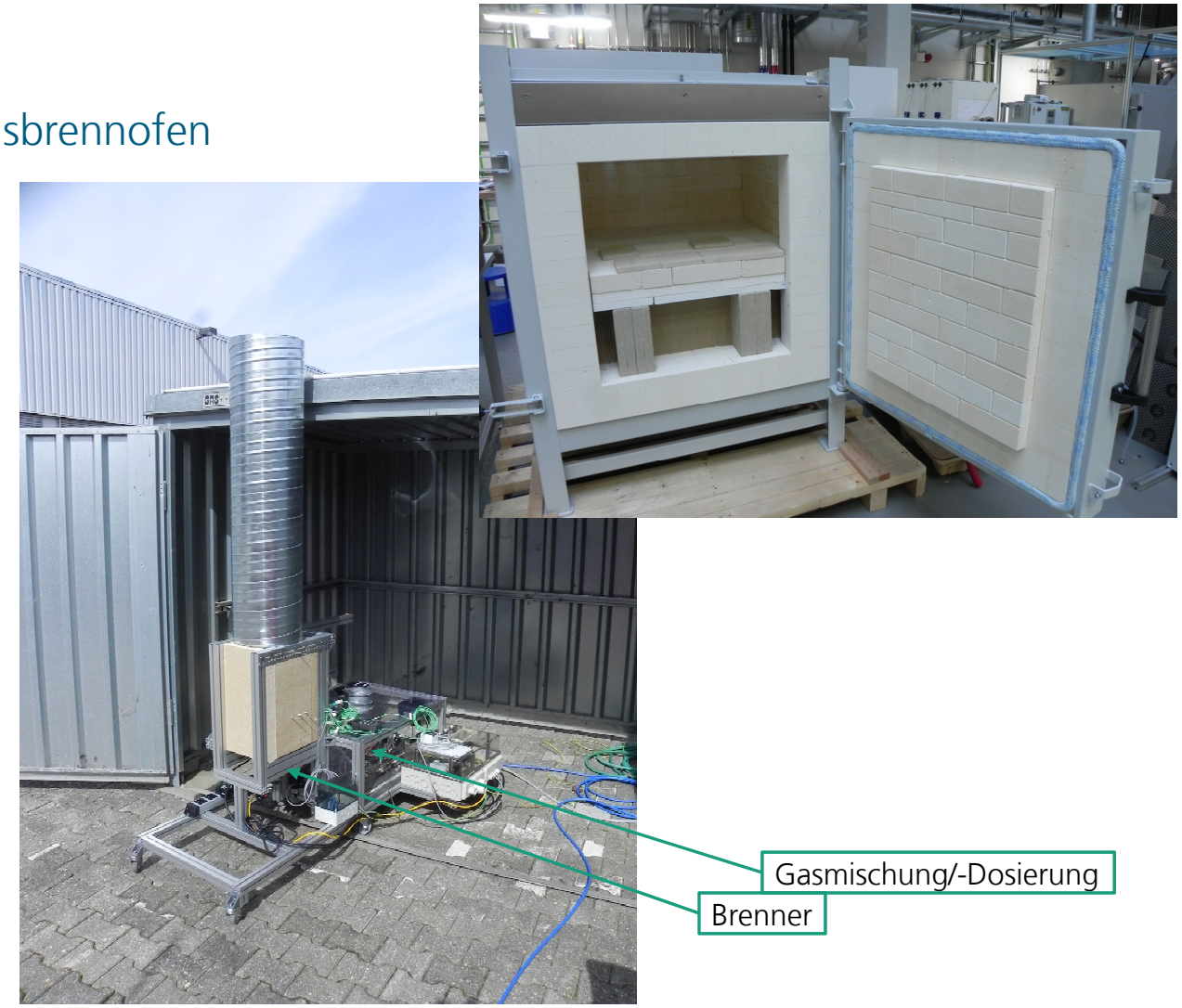
 © Fraunhofer IMM

Fraunhofer IMM

Projektergebnisse

Brennerteststand 7,5 kW und Laborversuchsbrennofen

- Separater Brennerteststand
- Gasmisch- und Dosierstation
- Variable Flüsse H_2, N_2, NH_3
- Umrüstung kommerzieller Ofen



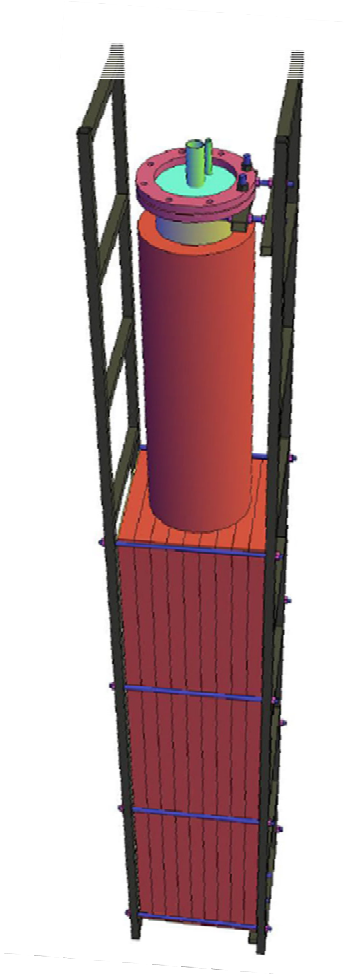
 © Fraunhofer IMM Internal

Projektergebnisse

Spaltreaktor

whs Gesellschaft für Energietechnik mbH

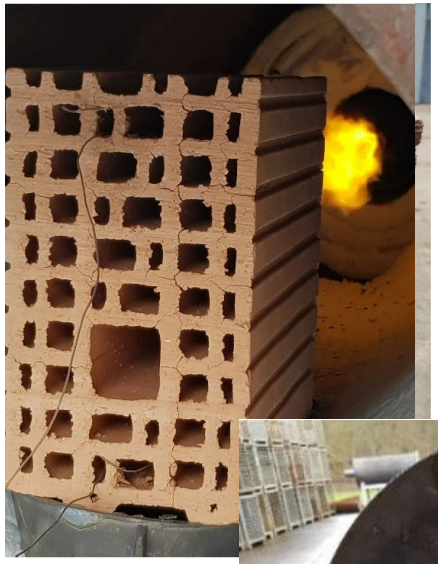
- Betrieb mit Ammoniak und Luft
- Wasserstoffleistung bis 100 kW
- Produktstrom H_2, N_2, H_2O, NH_3
- für Pilotbrennofen ausgelegt



 © Fraunhofer IMM Internal

Projektergebnisse

Brennerentwicklung und erster Ziegelbrand

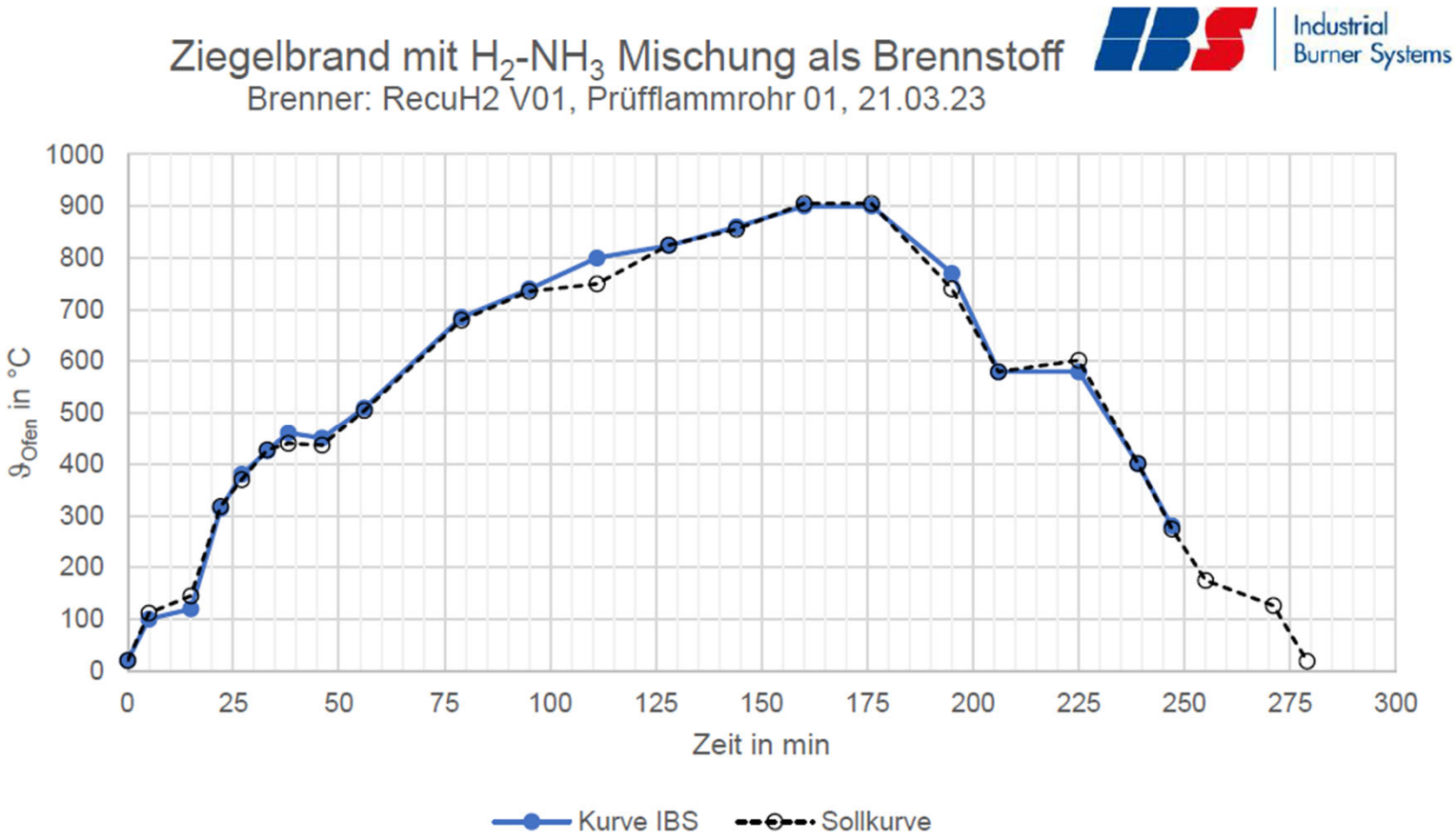


- Auslegung und Anpassung eines seriennahen Brenners bis 40 kW
- Reduktion Emissionen und Stabilisierung Verbrennung
- Betrieb mit den Brenngasen Erdgas, Wasserstoff und Mischungen aus Wasserstoff und Ammoniak unter realistischen Bedingungen in einem Versuchsofen
- Brennen eines halben Ziegels mit Brenngas aus Wasserstoff und Ammoniak

 © Fraunhofer IMM

Projektergebnisse

Brennerentwicklung und erster Ziegelbrand



 © Fraunhofer IMM Internal

Fraunhofer IMM

Typische Kennwerte des Ziegelbrennens und der Speicherkapazität von NH_3

- Energiebedarf des Ziegelbrennens:

  Ca. 300 kWh / t Ziegel

- Jahresverbrauch an Erdgas einer mittelgroßen Ziegelei:

  4-6 000 000 m³ Erdgas

- Täglicher Bedarf an Ammoniak (flüssig):

  ca. 50 m³; dies entspricht in etwa der Aufnahmekapazität eines Kesselwagens

  Ein Kesselwagen dieser Größe enthält gefüllt mit Ammoniak somit ca. 160 MWh Energie

 © Fraunhofer IMM

Brennwerte und Heizwerte

Ammoniak hat nach DIN 51850 einen Brennwert von 22,5 MJ/kg oder einen Heizwert von 5,2 kWh/kgQuelle: Wikipedia

Vergleich von Brennwerten und Heizwerten

	Einheit	Methanol	Ammoniak	Wasserstoff	Flüssiggas
Heizwert	[MJ/kg]	19,9	18,6	119,9	46,1
Brennwert	[MJ/kg]	22,7	22,5	141,8	50,9
Speicherdruck (20 °C)	[bar]	1	8,6	300	<20
Speicherdichte (20 °C)	[kg/dm³]	0,79	0,61	0,021	ca. 0,73

 © Fraunhofer IMM

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Fraunhofer
IMM

Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik
und Mikrosysteme IMM

**Funded by
the European Union**

Fraunhofer IMM

Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Kontakt

—

Jochen Schürer
Geschäftsbereich Energie
Tel. +49 6131990 435
Fax +49 6134990 205
jochen.schuerer@imm-fraunhofer.de

Brennwerte/Heizwerte

Brennstoff	Heizwert			Brennwert		
	kWh/kg	kWh/l	kWh/m³	kWh/kg	kWh/l	kWh/m³
Wasserstoff	33,3	—	3,0	39,4	—	3,54
Methan	13,9	—	9,94	15,4	—	11,0
Erdgas	8,9 bis 12,5	—	8,6 bis 11,4	10,0 bis 13,9	—	9,7 bis 12,8
Flüssiggas	12,87	6,57	25,89	13,98	7,17	28,12
Propan	12,87	6,57	25,89	13,98	7,17	28,12
Butan	12,70	7,58	34,39	13,75	8,21	37,24
Heizöl EL	11,83	9,82	9.818,9	12,61	10,47	10.466
Heizöl S	11,11	10,83	10.832	11,75	11,46	11.456
Pellets	4,9	—	3.062	5,5	—	3.437
Holzbriketts	4,9	—	3.185	5,5	—	3.185
Hackschnitzel	4,0	—	800	4,5	—	900
Scheitholz	4,2	—	2.100	4,7	—	2.350
Holzkohle	9,3	—	7.905	9,36	—	7.956

Hinweise: Energieinhalte von Gasen beziehen sich auf das Normvolumen bei 0 °C und 101325 Pa;

Quelle: https://www.fluessiggas1.de/heizwert-brennwert/

 © Fraunhofer IMM