CAMPFIRE

Wind und Wasser zu Ammoniak

- maritimer Kraftstoff und Energiespeicher für eine emissionsfreie Zukunft

Dr. Angela Kruth & Jens Wartmann

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. - INP, Greifswald

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH – ZBT, Duisburg

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

wir! Wandel durch Innovation in der Region

Die Region Nord-Ost

Regionale Voraussetzungen für Entwicklung einer Innovationslandschaft für Ammoniak

- EE Stromexporter: **1.797 Windenergieanlagen an Land und 172 auf See**
- Erzeugung von **1,5 Mio t Düngemittel/Jahr aus NH_3**
- **440 Unternehmen in der maritimen Industrie**

- Werftindustrie, Zuliefererindustrie
- Binnenfahrgastschiffe und Binnenfähren
- 190 Kreuzfahrtanläufe von 36 Schiffen mit ca. 1 Mio Passagiere pro Jahr (2017)
- Fährverbindungen zu den Ostseeinseln, Baltikum und Skandinavien

Region Nord-Ost

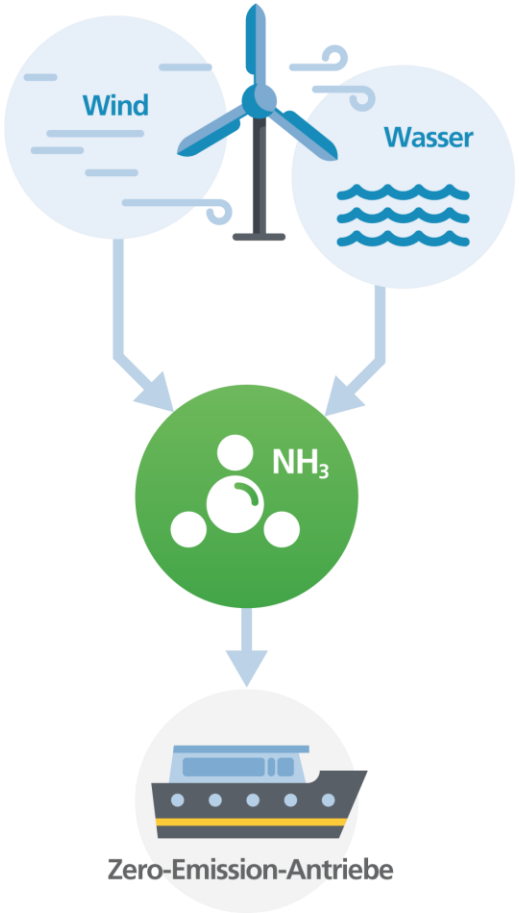
48,3 MW Windpark Baltic 1 (EnBW) vor Fischland-Darß-Zingst

Yara International GmbH & Co.KG bei Rostock

Innovationsfeld

Innovationslandschaft
Ammoniak-basierte Energietechnologien

- Herstellung von Ammoniak aus **Luftstickstoff und Wasser**
- dezentralisierte Produktion aus **erneuerbarer Energie**
- Einsatz in **Zero-Emission-Antrieben** in der maritimen Mobilität

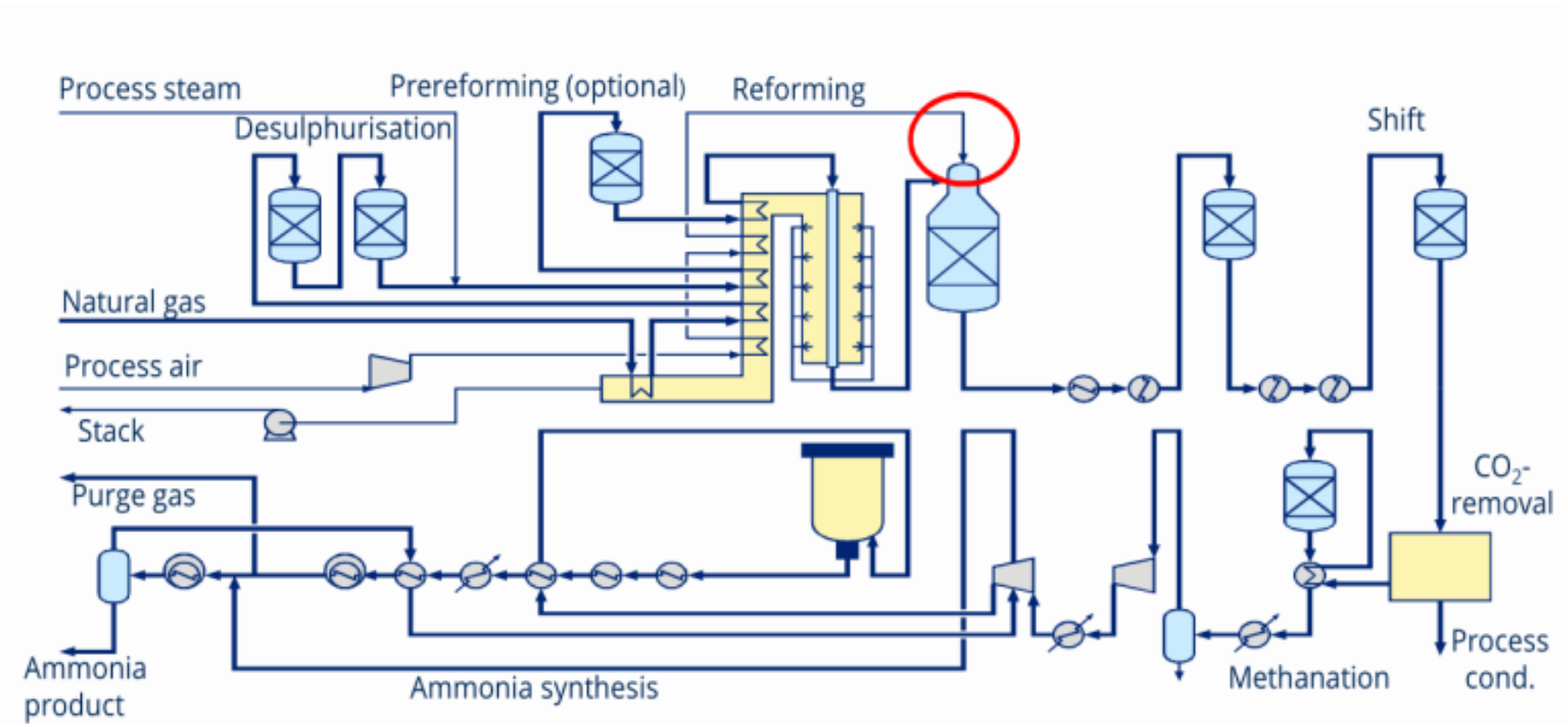


Gliederung

- **Ammoniak als neuer Energieträger**
- CAMFIRE Technologien für die neue Ammoniakwirtschaft
- Sicherer Umgang mit Ammoniak

Ammoniak
als chemischer Grundstoff

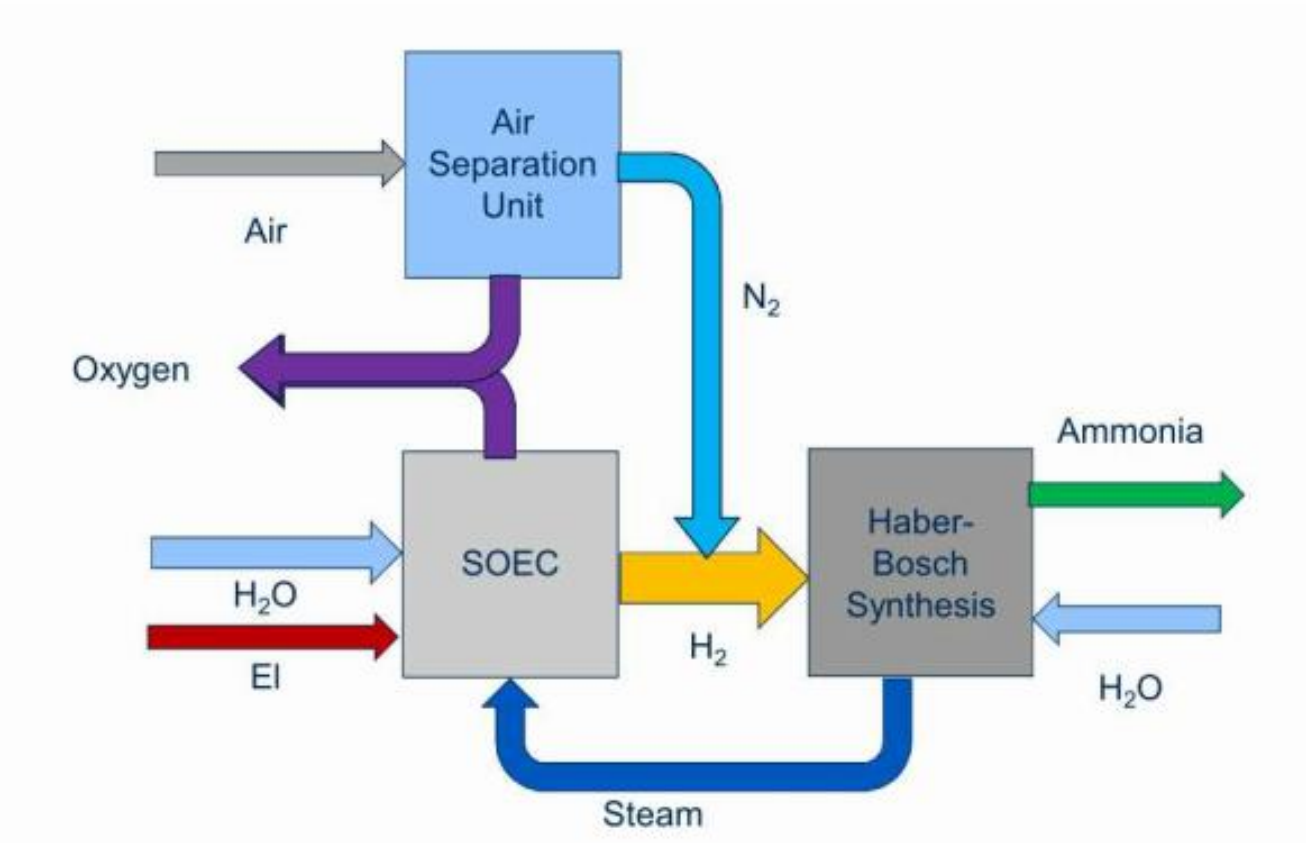
Konventionelle Ammoniak-Produktionsanlage (HB)



J. Hansen, ECS Transactions 2019

Ammoniak
als chemischer Grundstoff

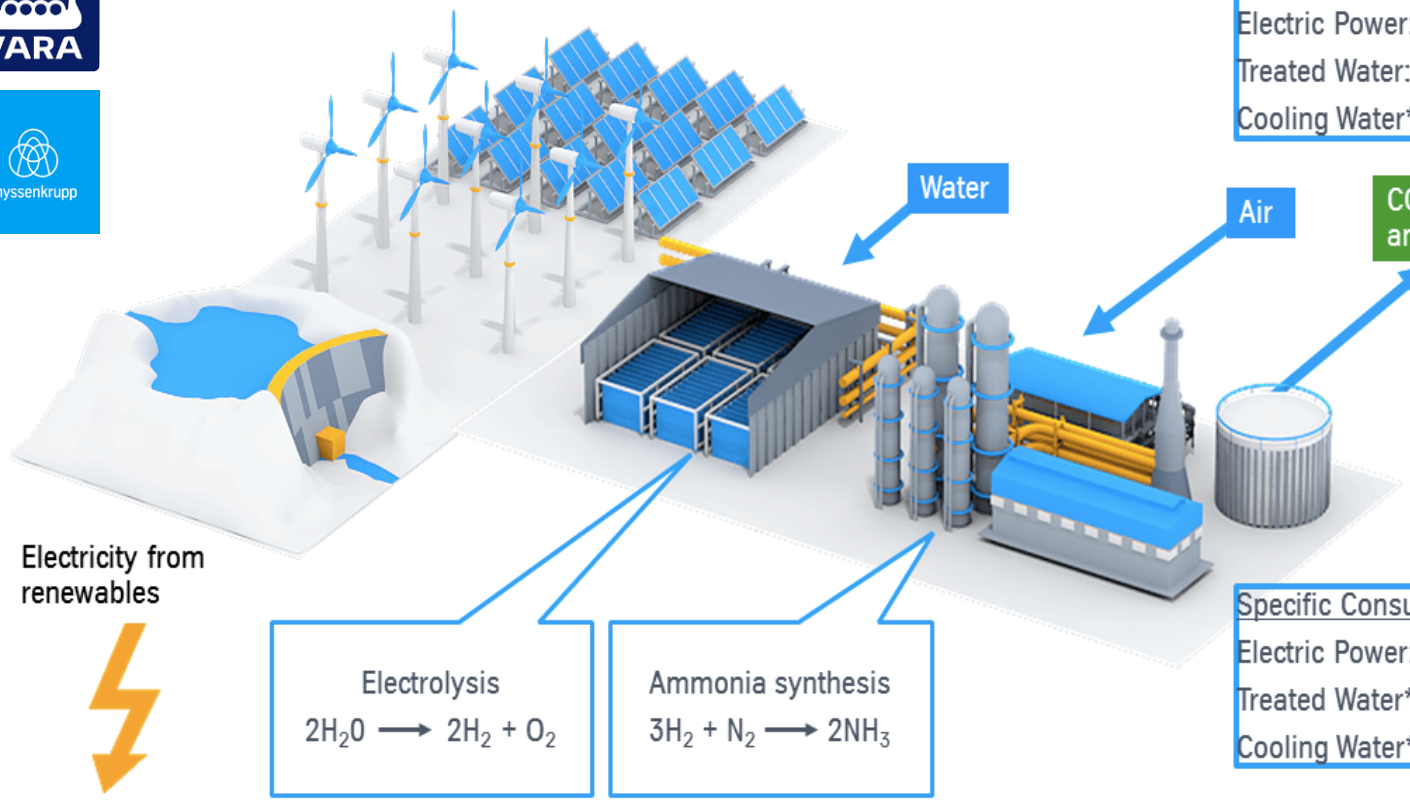
Power-to-Ammonia:
Elektrolysierte Ammoniak-Produktionsanlage (E-HB)



J. Hansen, ECS Transactions 2019

Green Ammonia

Power-to-Ammonia Pilot Plant in Südaustralien, 2019



Specific Consumption 50 mtpd plant	
Electric Power:	~ 10 MWh/t_{NH3}
Treated Water:	~ 1.6 $tons/t_{NH3}$
Cooling Water*:	~ 85 $tons/t_{NH3}$

Specific Consumption 300 mtpd plant	
Electric Power:	~ 10 MWh/t_{NH3}
Treated Water**:	~ 2.6 $tons/t_{NH3}$
Cooling Water*:	~ 125 $tons/t_{NH3}$

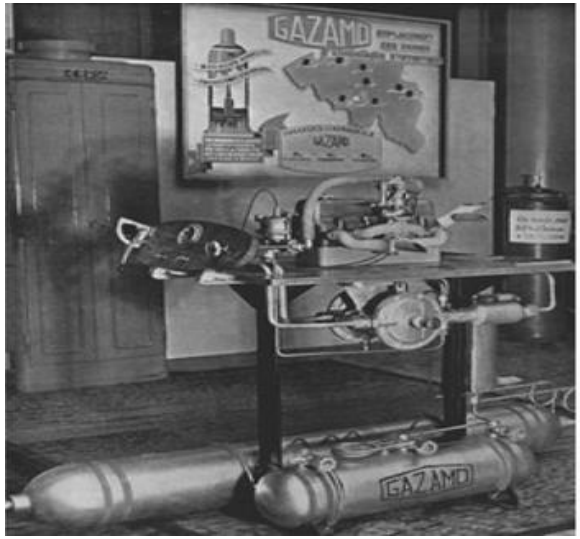
*CW loop flowrate
** incl. steam generation

1941: Ammoniak für Motorbusse

Emeric Kroch, Comprigaz, Brüssel: „Ammonia – A Fuel for Motor Busses“

GAZAMO Prinzip

- Kohlengas mit 50% H_2 als Promotor für die Zündung der Luft-Ammoniak-Mischung
- 1 Jahr Testruns mit 6 Bussen gab „excellent results“: keine Korrosion, keine Unfälle, keine Verluste an Effizienz



Namur Bus, 1943
Standard Ammoniak-Zylinder, 2 x 125 lb.

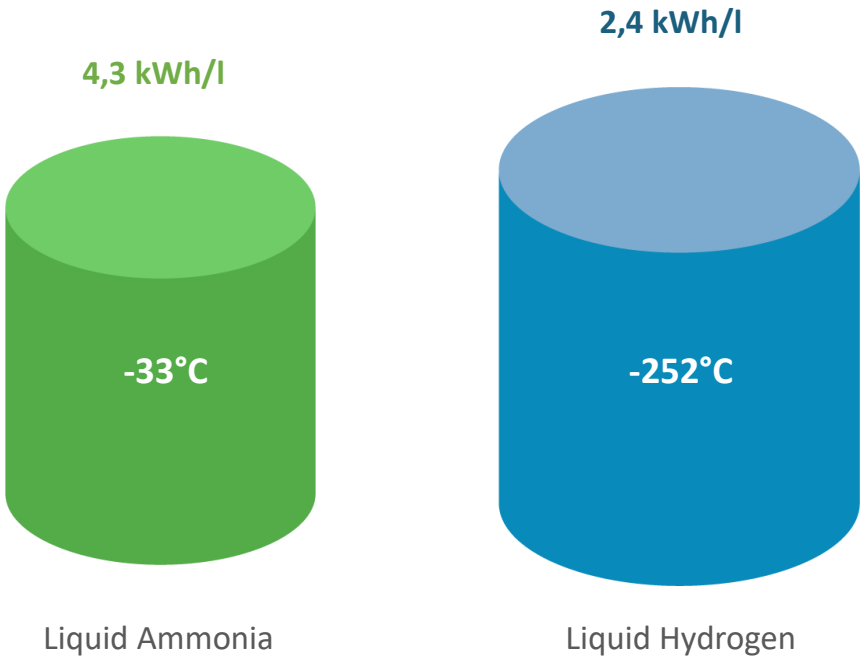
Green Ammonia

Introducing Decentral Renewable Ammonia:

Unlimited Supply of Carbon-free Fuel

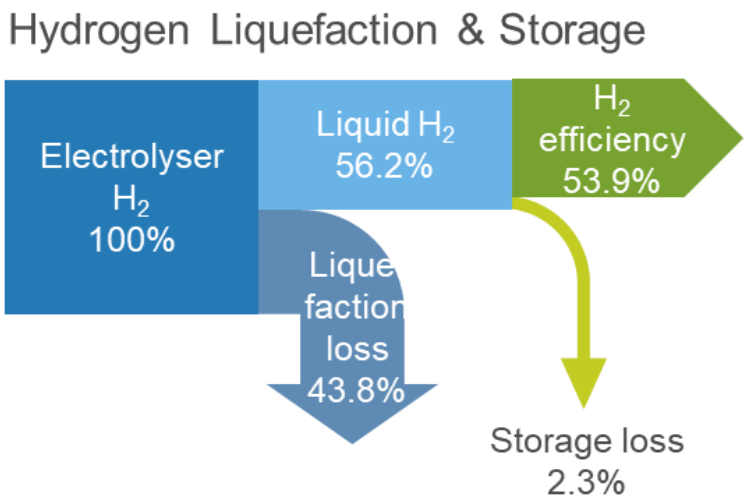
Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

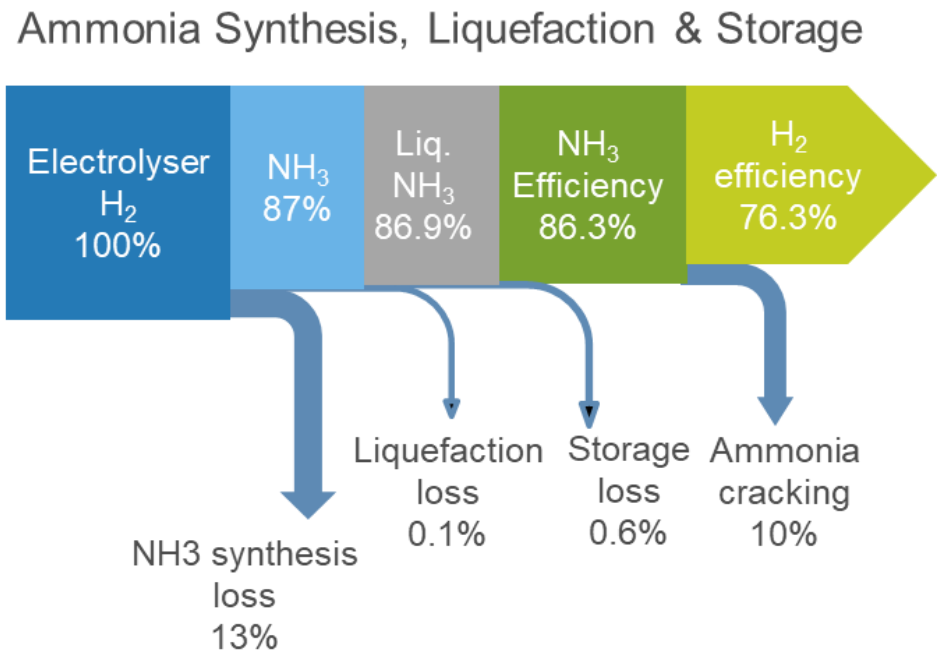
- **kohlenstofffreier** Energieträger
- **kostengünstige** Verflüssigung und Speicherung
- hohe **Energiedichte**
- über 150 Jahre **sichere Handhabung**



Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

Effizienzen von Transport und Speicherung von L-H_2 und L-NH_3





Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

Power-to-Fuel-to-Power Indizes von C- und N-basierten Energieträgern (in äquiv. Arbeit)

Kraftstoff	Luftzer-legung	Wasser-spaltung	Energie für die Synthese	Transport	Energie-dichte (GJ t^{-1})	$\eta^{Verbrennung}$ [g]	PFP^{Atm} [h]
Methan	0.326	1.64	0.022	0.027	55.5	54.1 %	27 %
MeOH	0.382	1.44	0.202	0.005	23.7	54 %	27 %
DME	0.398	1.50	0.274	0.005	31.7	50 %	23 %
Ammoniak	0.008	1.43	0.071	0.008	22.5	53 %	35 %

A. Grinberg Dana, Angewandte Chemie Volume128, Issue31, 2016, Pages 8942-8949

Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

Energieeffizienz vs alternativer Kraftstoffe

* Power-2 –X mit DAC

12,5 % Punkte vs GH2

31 % Punkte vs LH_2

8 % Punkte vs Methanol *

8 % Punkte vs Ameisen-Säure *

- 11.000 kg nutzbare Energiemenge

  100 % Entnahme möglich
- Kosten pro kg NH_3 inst. **3 €**

T50 ISO Container

Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

Speicherung von Wasserstoff im Vergleich

Bilder: ZBT GmbH und ENERTRAG AG

Typ IV Tank 500 bar

Typ II Tank 1000 bar

Stahltank < 60 bar

hydraulisch angetriebener 500 bar Verdichter

Typ I Tank

- Kosten pro kg H_2 inst. 480 € @300 bar
- nutzbare Energiemenge 83 %

Typ IV Tank

- Kosten pro kg H_2 inst. 1.500 € @500 bar
- nutzbare Energiemenge 63 %

Typ II Tank

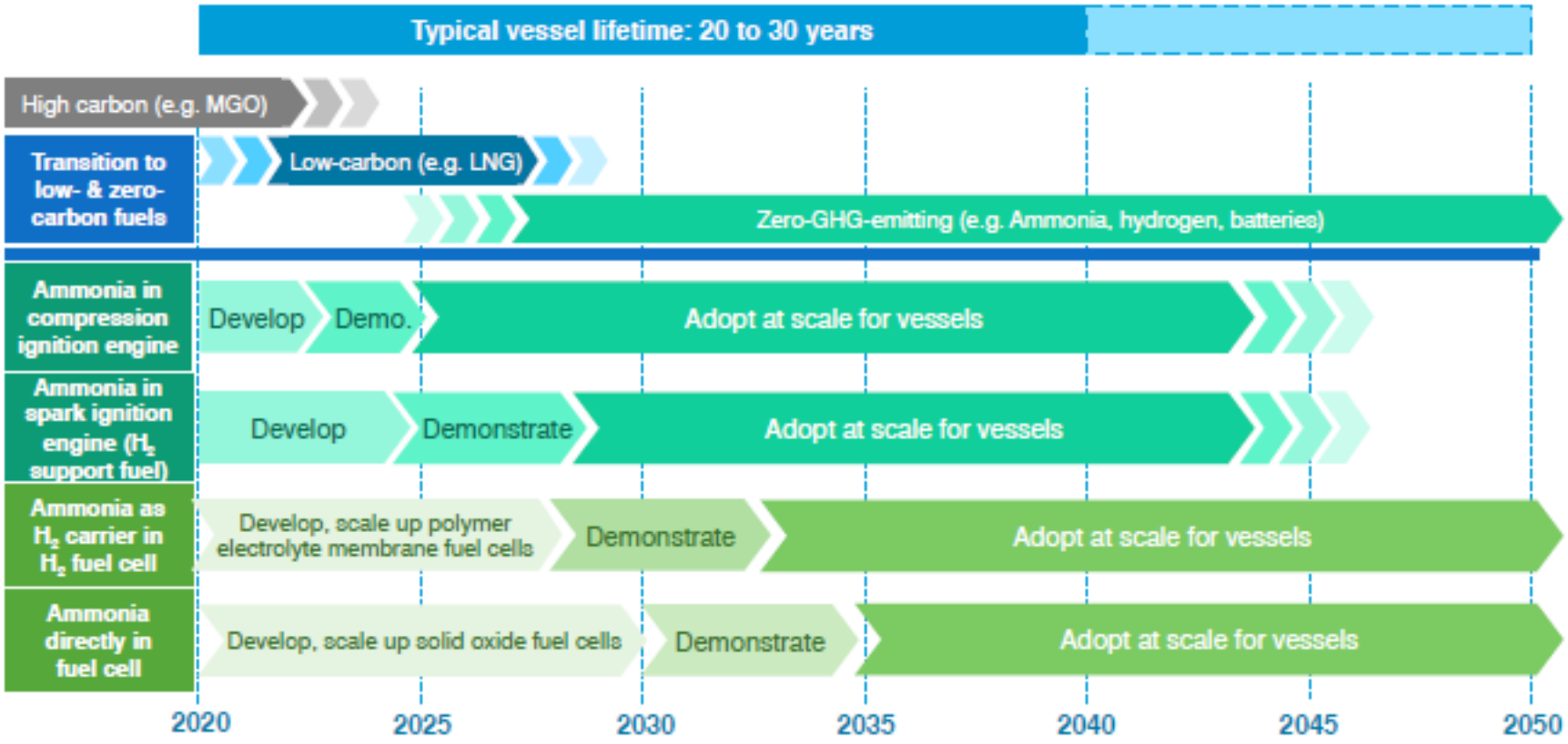
- Kosten pro kg H_2 inst. 5.000 € @1.000 bar
- nutzbare Energiemenge 10 - 50 %

Busse benötigen 450 bar; PKW 1000 bar bei der Betankung:
Bei druckloser Speicherung müssen 10 % Energie werden für die Verdichtung benötigt

Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

EDF Ricardo - Sailing on Solar - Full Report, 2019

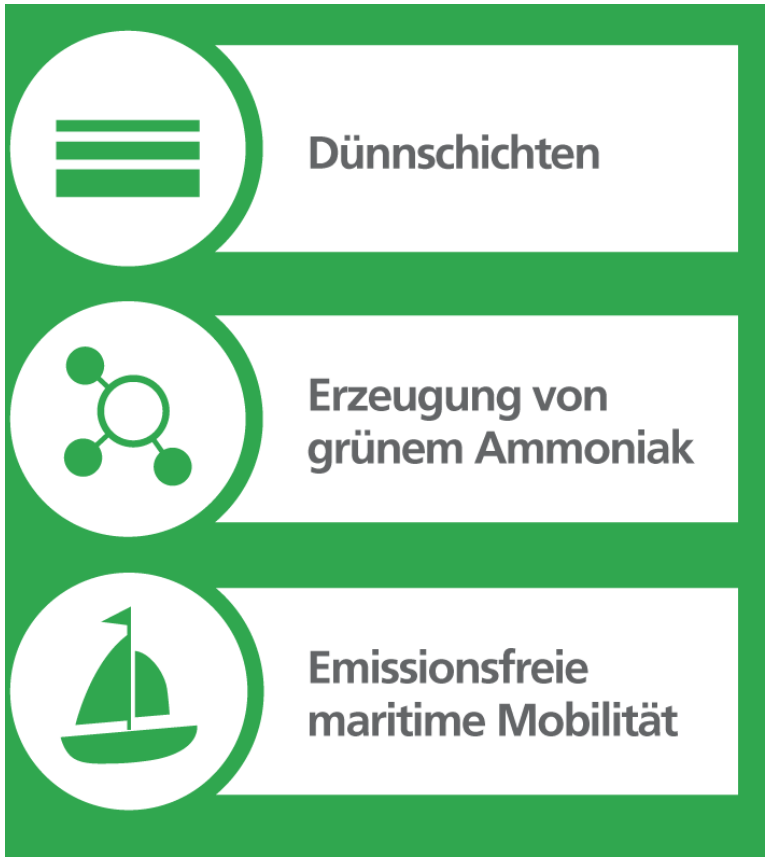
Technology roadmap for ammonia propulsion technologies



Gliederung

- Ammoniak als neuer Energieträger
- **CAMPFIRE Technologien für die neue Ammoniakwirtschaft**
- Sicherer Umgang mit Ammoniak

CAMPFIRE Technologien

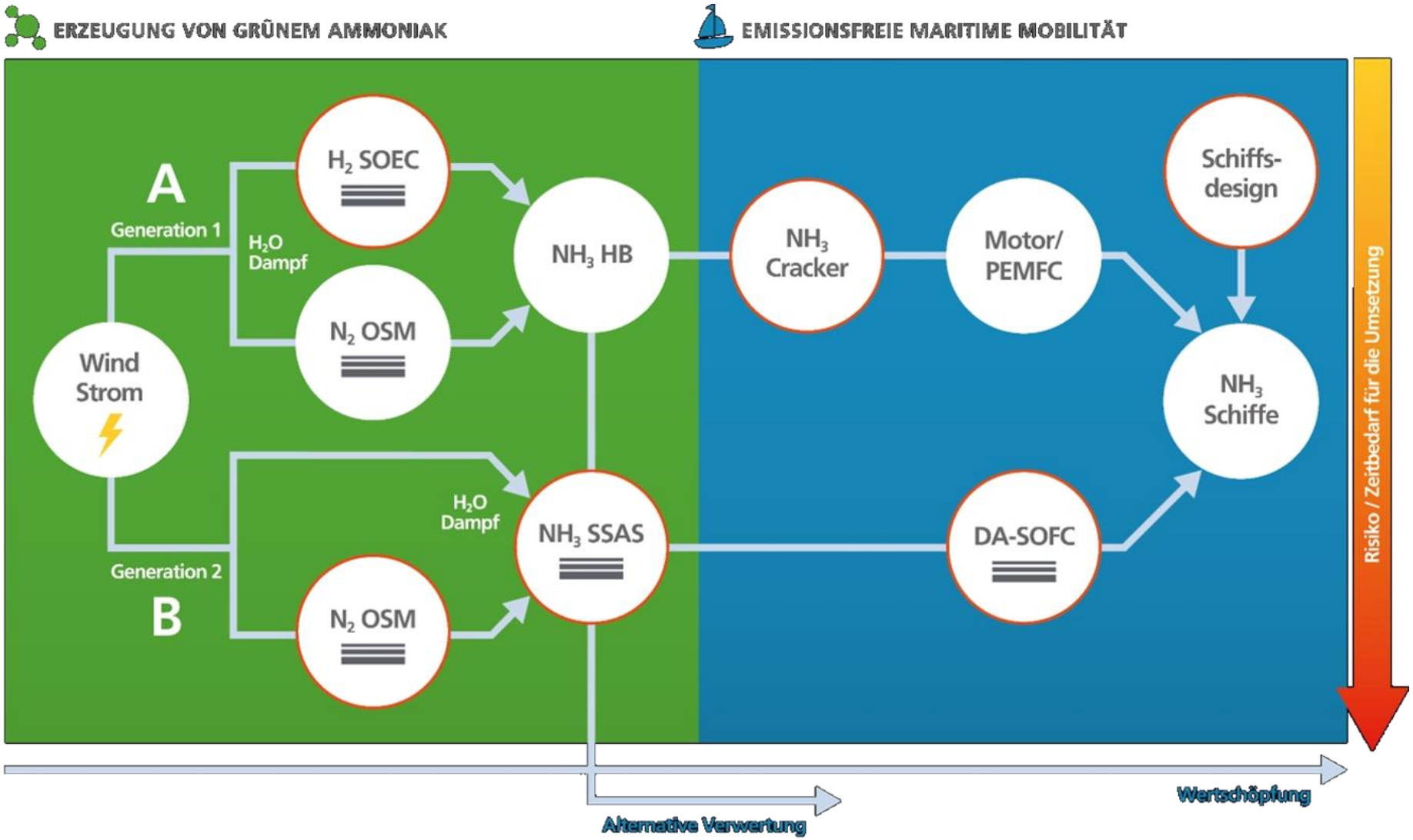


- Oxidionen-, Protonen- und gemischtleitende Membranen, MEAs und Stacks

- dezentrale Haber-Bosch-Typ Ammoniak-Reaktoren
- Elektrochemische Ammoniaksynthese mittels SSAS

- Ammoniak-Reformer
- Ammoniak-Motoren
- Direkt Ammoniak-SOFC

Technologien



Rahmenbedingungen

- **Regulatorische und ökonomische Faktoren**

Rechtliche Rahmenbedingungen
Identifizierung der rechtlichen Anforderungen (insbesondere des Energie-, Umwelt- und Wirtschaftsrechts) zur Umsetzung der Lösungswege

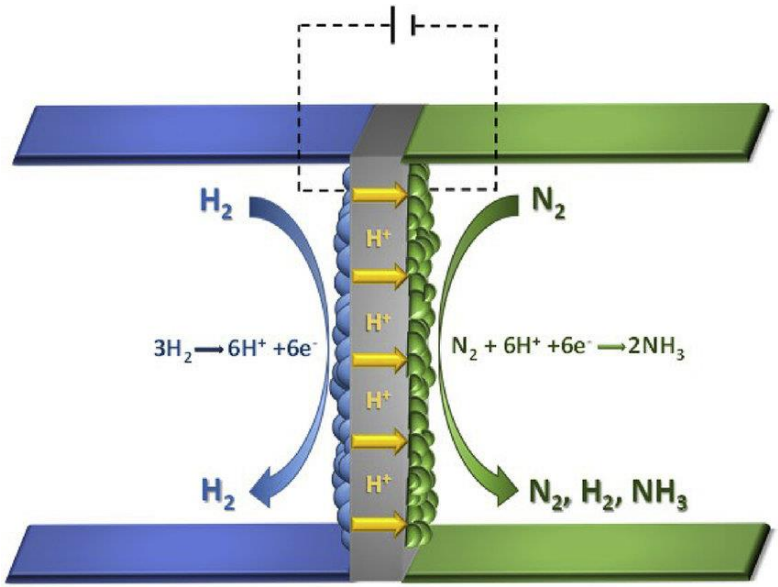
Ökonomische Rahmenbedingungen
Betrachtung der spezifischen Markt-potenziale der Lösungswege

Politische Rahmenbedingungen
Einschätzungen zu politischen Akteuren und aktuellen Entwicklungen in der Energiepolitik

CAMPFIRE Technologien

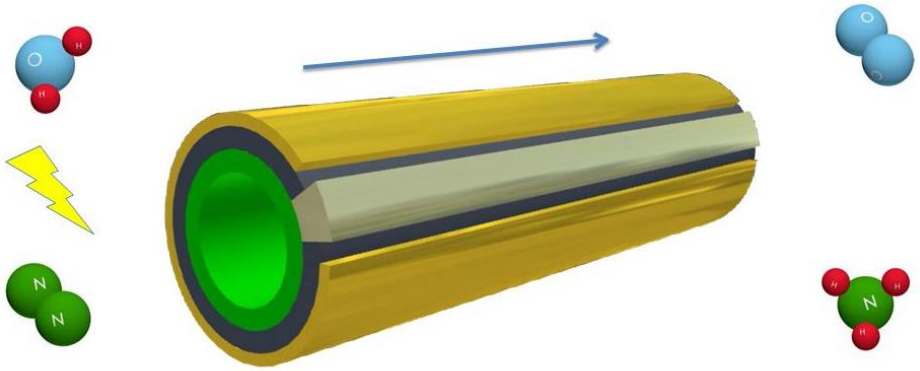
Festkörper-Ammoniaksynthese - SSAS

Festkörper-Zelle mit protonenleitender Membran für die **elektrochemische Synthese von NH_3**

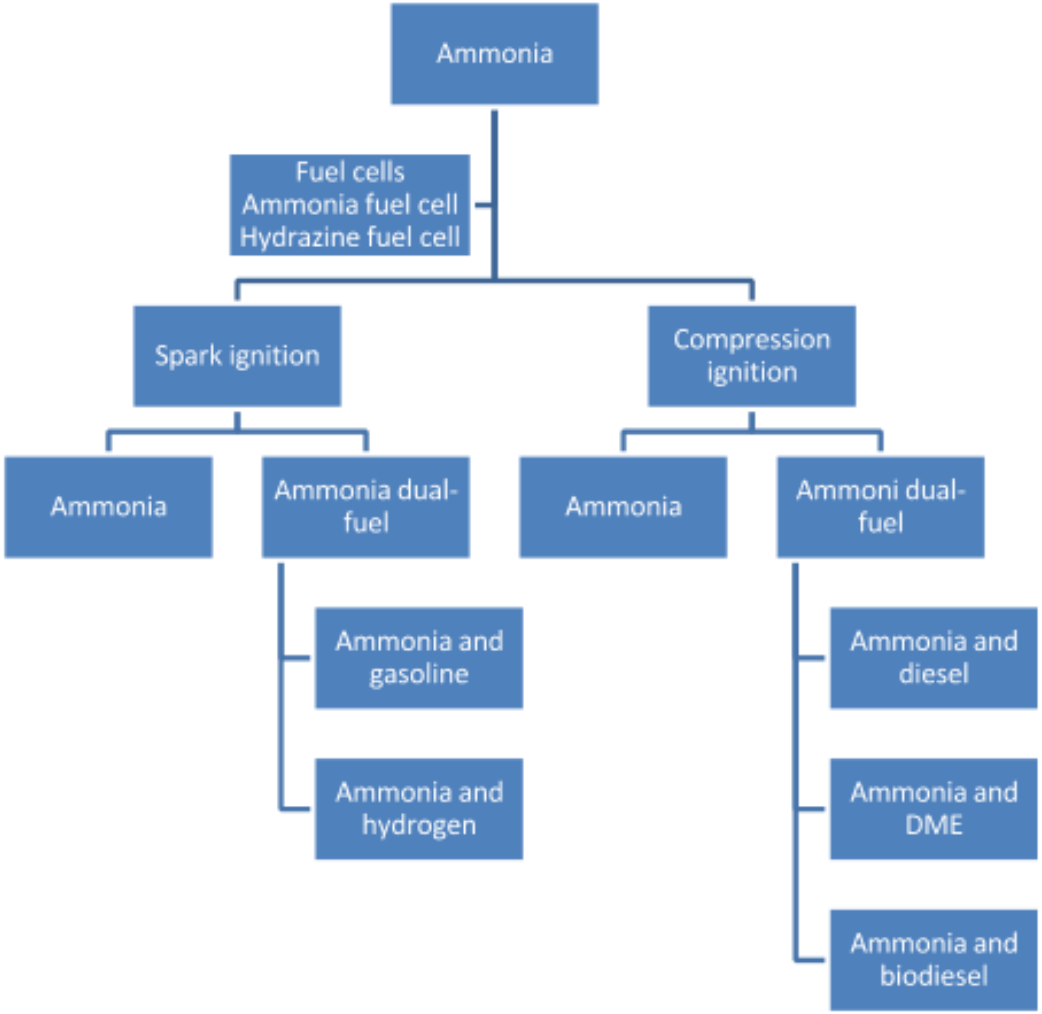


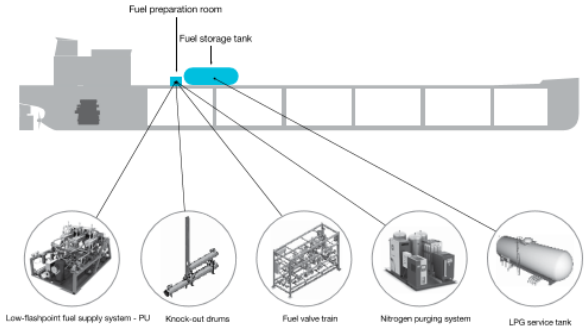
- effiziente **Produktion auf kleiner Skale,** hohe Lebensdauer
- H_2O-Dampf kann auch direkt eingesetzt werden
- Herausforderungen:
  - NH_3-Zersetzung bei T > 450°C (Prozess-Temperatur 500-750°C)

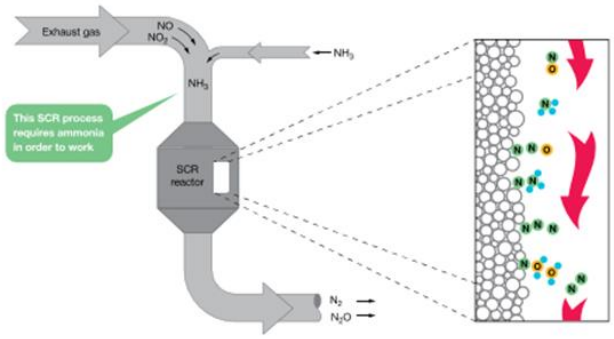
➔ gute Protonenleitfähigkeit muss bei 250 - 450°C erzielt werden



CAMPFIRE Technologien

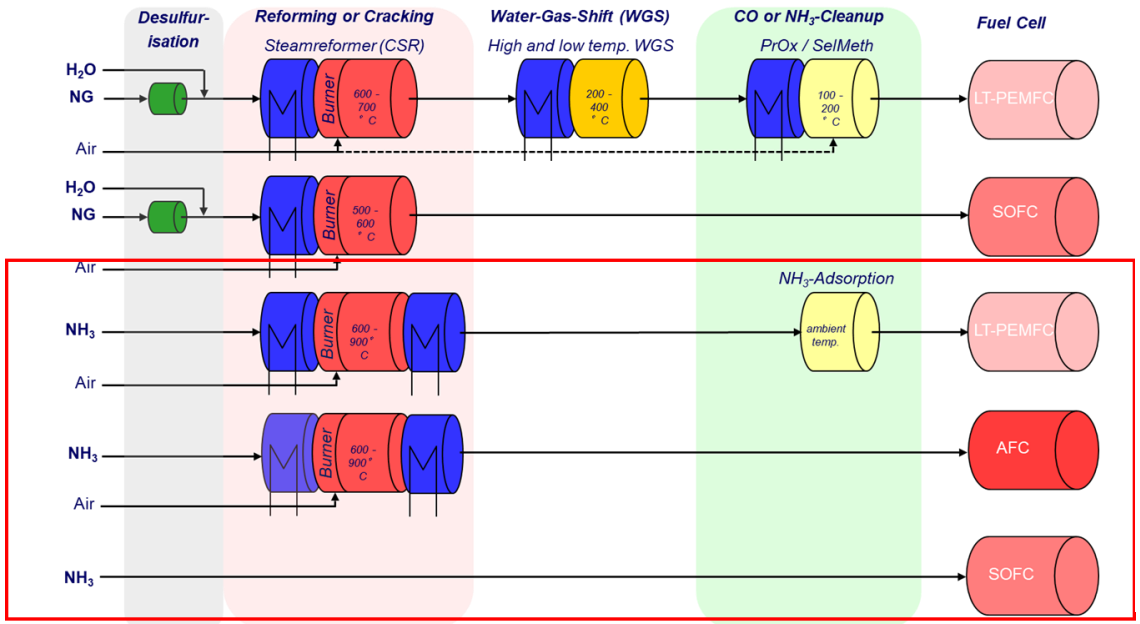






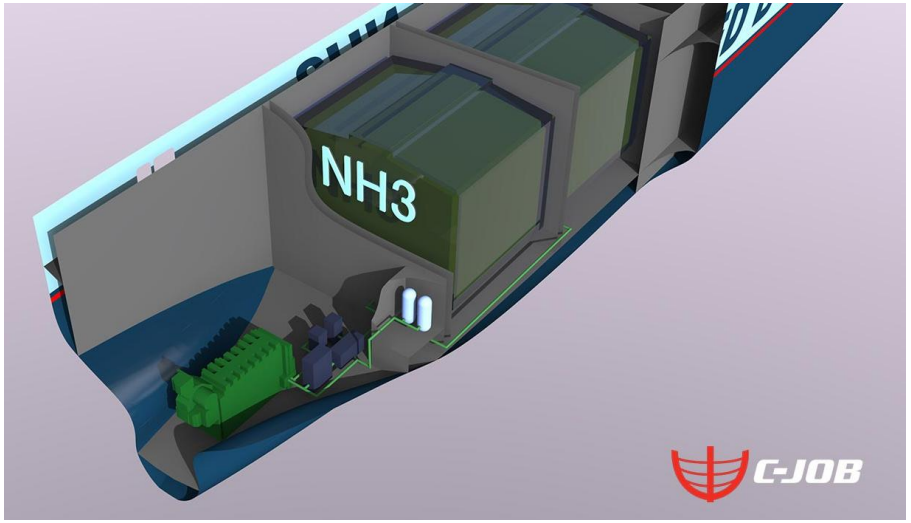
CAMPFIRE Technologien

Verstromung in der Brennstoffzelle



Large PEM Power Plant
Nedstack fuel cell technology, BV, Arnhem, NL

Schiffsdesign



- Sicherheitsanforderungen
- Sicherheitssysteme
- Handling
- Training

- Antriebsystem
- Tanksystem
- Speicherung
- Korrosion
- Gewicht
- Volumen

Gliederung

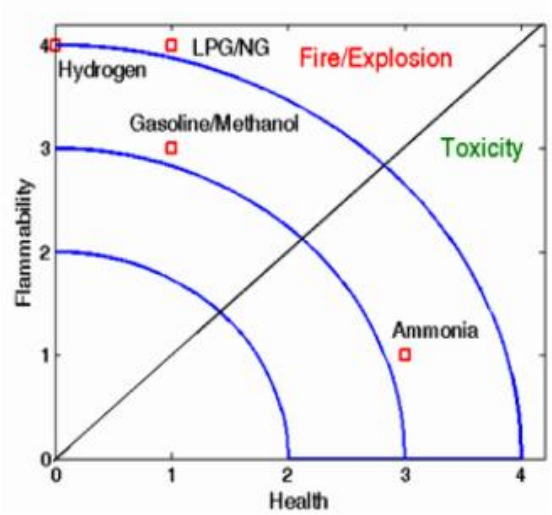
- Ammoniak als neuer Energieträger
- CAMFIRE Technologien für die neue Ammoniakwirtschaft
- **Sicherer Umgang mit Ammoniak**

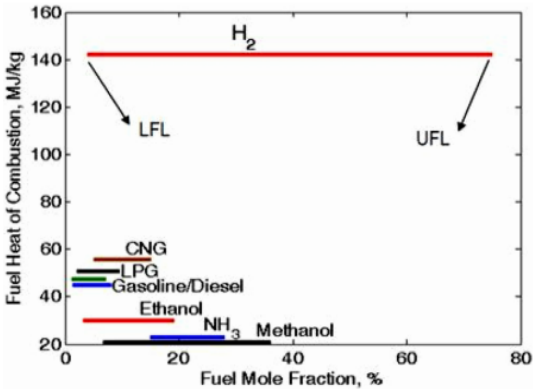
Sicherer Umgang mit Ammoniak

RTC – Railway Tank Cars

ACNE WECO 6000psi Screw coupling

- **weniger entflammba**r und **brennt bei niedrigerer Temperatur** als andere neue Kraftstoffe
- Bedenken hinsichtlich der Toxizität können mit **sicherheitstechnischen Mitteln** adressiert werden
- über 150 Jahre **sichere Handhabung** aufgrund der großen Erfahrung in der chemischen Industrie (180 Millionen Tonnen/Jahr für Düngemittelproduktion / Kältemittelproduktion, etc)





Europaen Fertilizers Manufacturers Association, Guidance for Transporting Ammonia by Rail (2007)

A. V-Medina et al, Progress in Energy and Combustion Science, (2018) 63-102

Sicherer Umgang mit Ammoniak

Nutzung der guten Wasserlöslichkeit von Ammoniak für Hydro-Shielding

Hydro shields im BASF Ammoniak-Loading Array

UN no.	Name and description	Class	Labels	Tank code	Transport category	Hazard identification number
1005	AMMONIA, ANHYDROUS	2	2.3+8(+13)	PxBH (M)	1	268
3318	AMMONIA SOLUTION, relative density less than 0.880 at 15°C in water, with more than 50% ammonia	2	2.3+8(+13)	PxBH (M)	1	268
2073	AMMONIA SOLUTION, relative density less than 0.880 at 15°C in water, with more than 35% but not more than 50% ammonia	2	2.2(+13)	PxBN (M)	3	20
2672	AMMONIA SOLUTION, relative density between 0.880 and 0.957 at 15°C in water, with more than 10% but not more than 35% ammonia	8	8	L4BN	3	80

Bündnispartner

CAMPFIRE | ENDE

GEFÖRDERT VOM

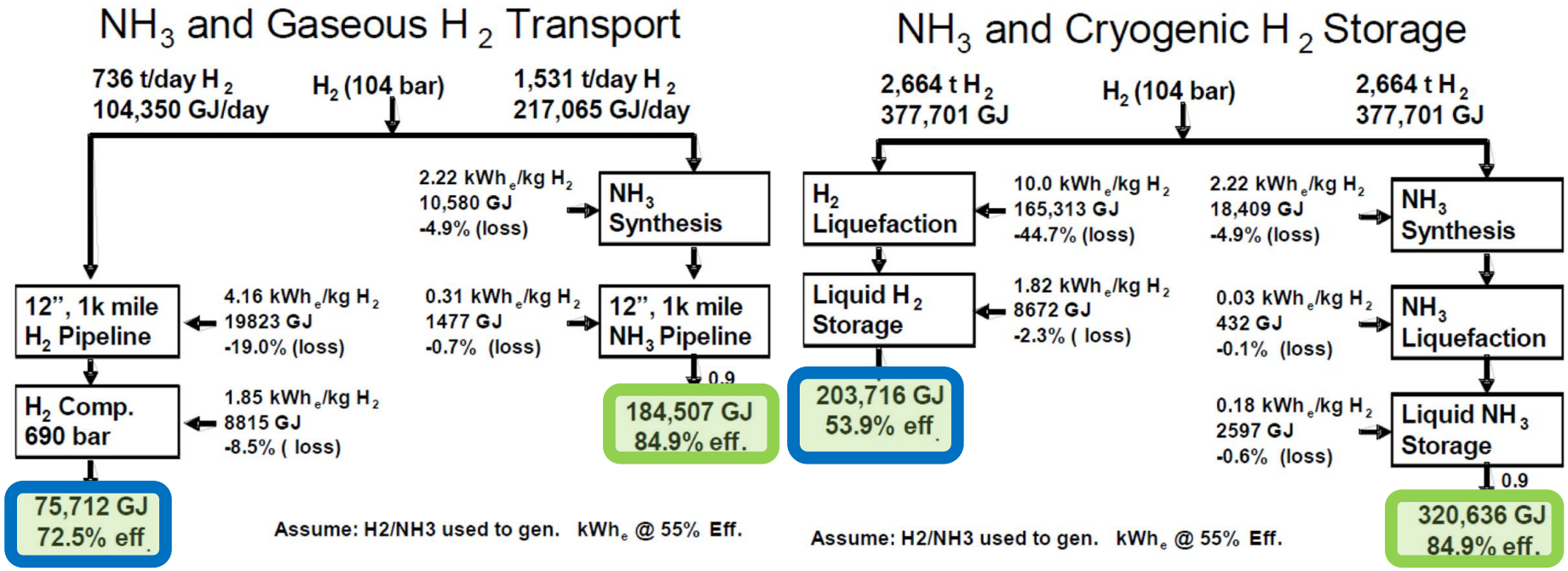
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

wir! Wandel durch
Innovation
in der Region

Kontakt:

Dr. Angela Kruth
Sprecherin und Koordinatorin CAMPFIRE
email: angela.Kruth@inp-greifswald.de

www.wir-campfire.de

Ammoniak als Energiespeicher und Kraftstoff

Effizienzen von Transport and Speicherung von H_2 und NH_3