



# AmmoniaMot – Dekarbonisierung von Marinemotoren mittels erneuerbaren Ammoniaks

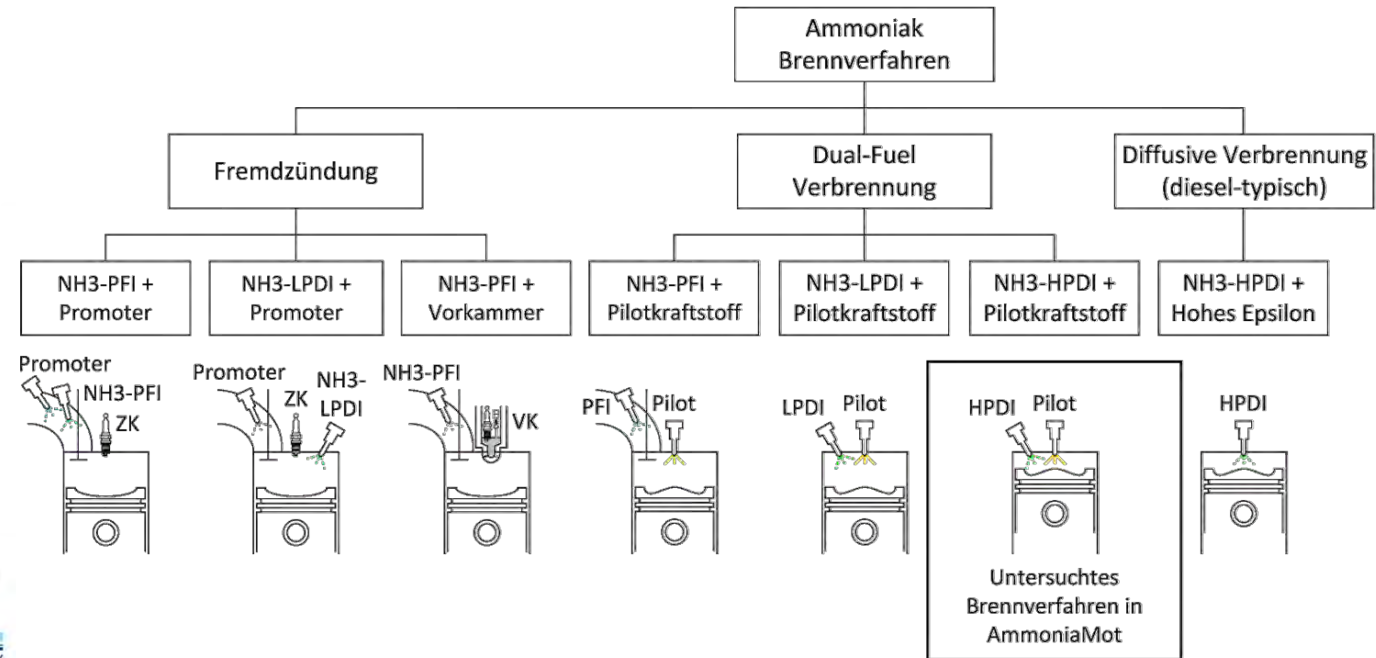
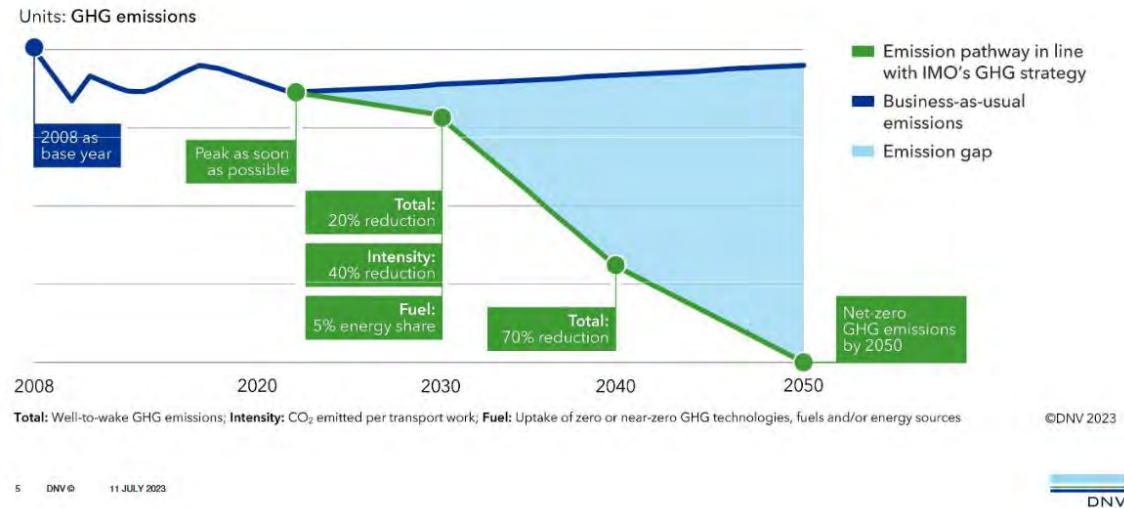
Karsten Stenzel – WTZ Roßlau

Zero Emission Shipping Symposium  
Hamburg, 08.10.2024



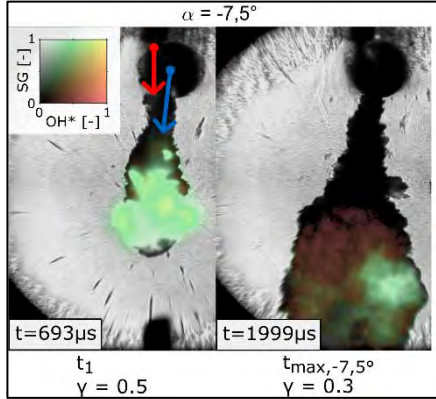
- Grundlegende Transformation in der maritimen Branche → Klimaneutralität bis 2050
- Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe zum Erreichen der Ziele unumgänglich
- Ammoniak ist vielversprechender Energieträger für die Dekarbonisierung! (Speicherung, Kosten, Infrastruktur)
- Untersuchung zum Ammoniak-Dual-Fuel-Brennverfahren mit Hochdruck-Einspritzung
- Ziele:  $\text{NO}_x \leq 2 \text{ g/kWh}$ ,  $\text{NH}_3$ -Anteil  $\geq 85 \%$ , GHG-Reduktion  $\geq 80 \%$ , Leistung und Wirkungsgrad = Diesel

## Strengthened IMO strategy on GHG reductions





# Projektverbund AmmoniaMot



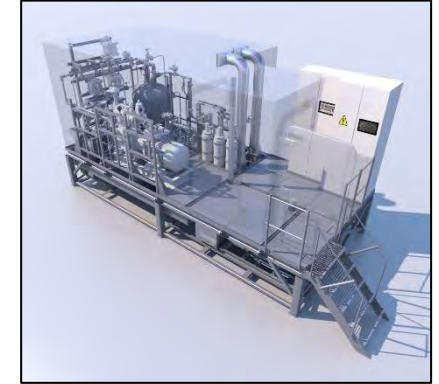
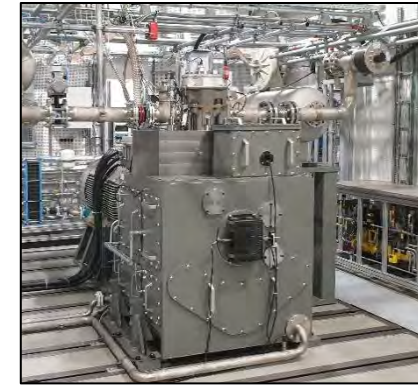
- RCEM-Untersuchungen
- Grundlagenversuche
- Simulationsmodelle



- Einloch-Injektor für RCEM
- HPDF-Injektoren für den Einzylinder



- Benchmark Future Fuels
- Aufbau NH<sub>3</sub> Peripherie
- Ammoniak-Brennverfahren



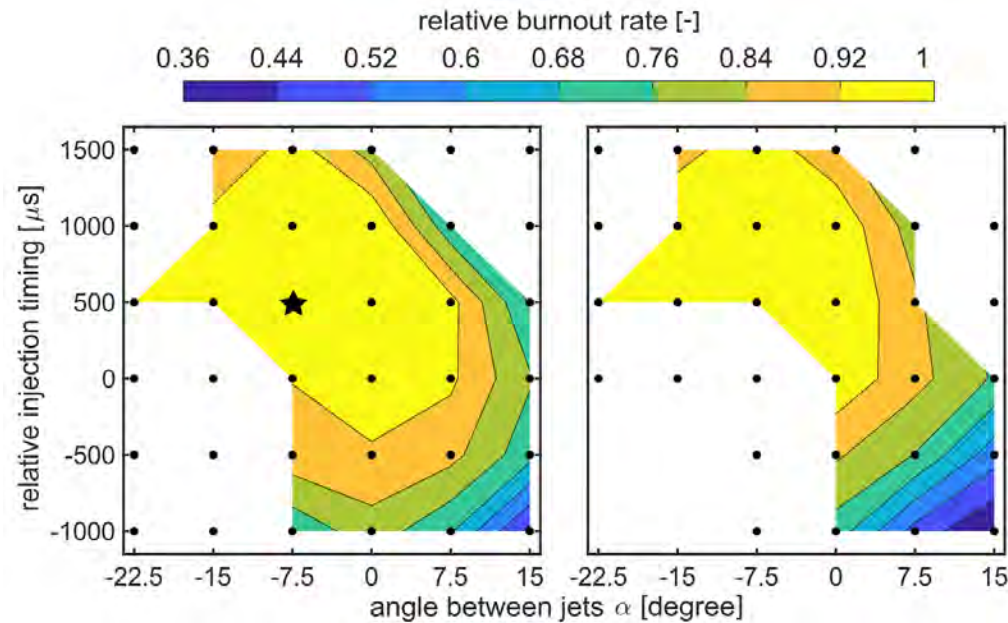
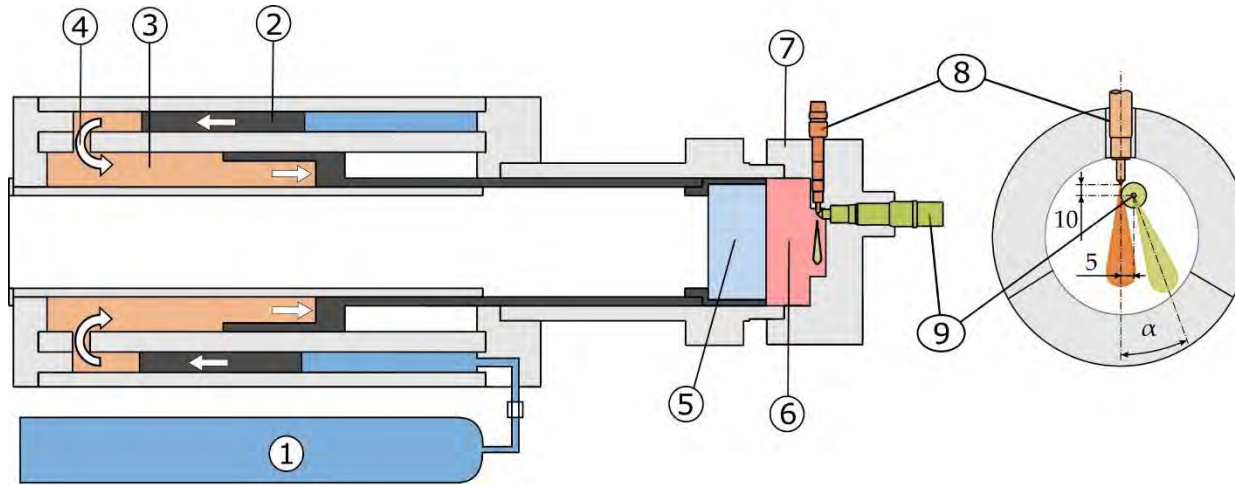
- Entwurf NH<sub>3</sub> Peripherie
- Ammoniak Regulatorik
- Gekapseltes NH<sub>3</sub> Modul



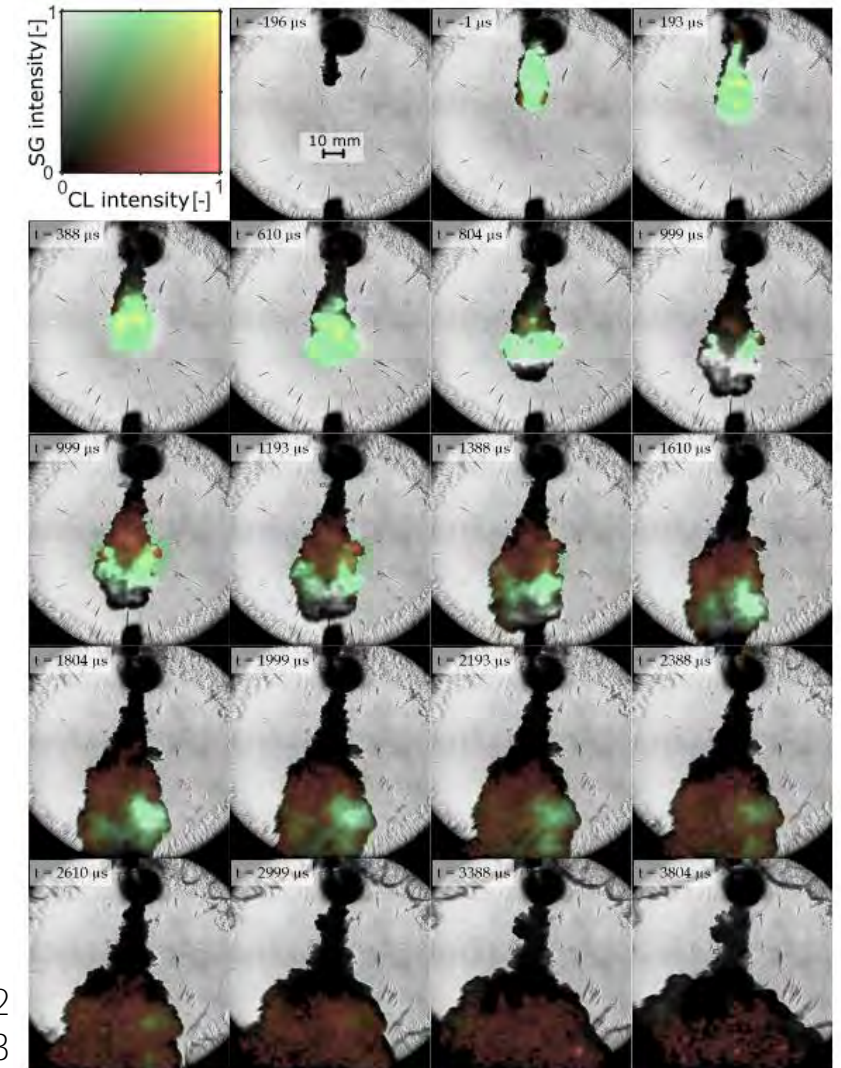
**MAN Energy Solutions**

- Motorkomponenten
- Randbedingungen
- Transfer Medium-Speed

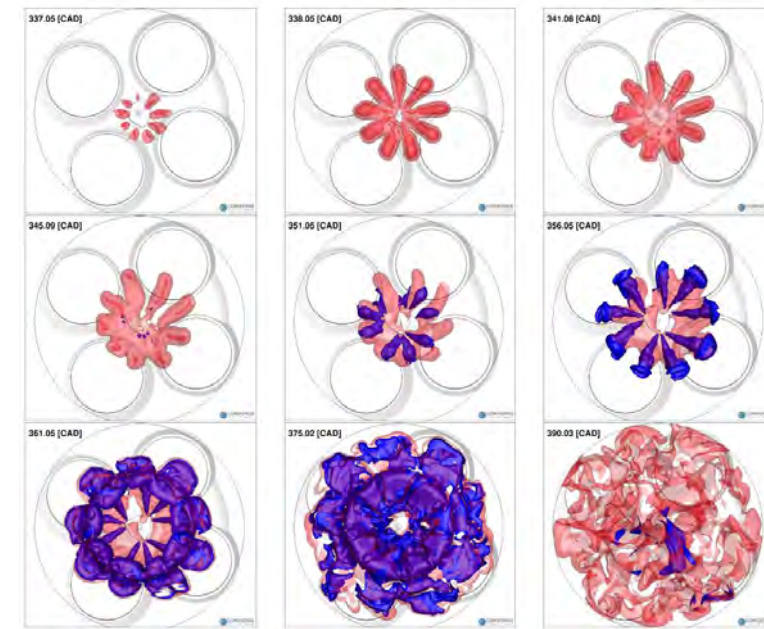
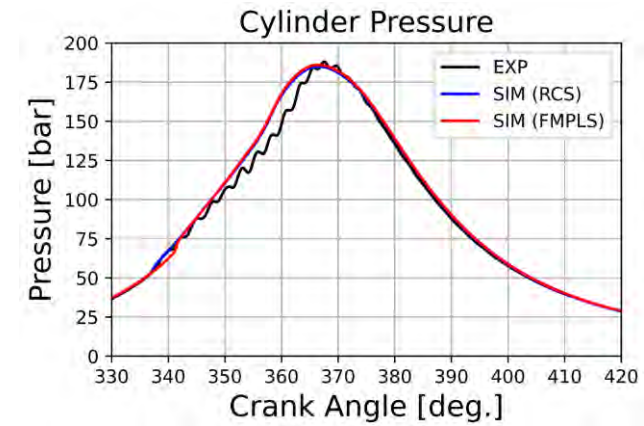
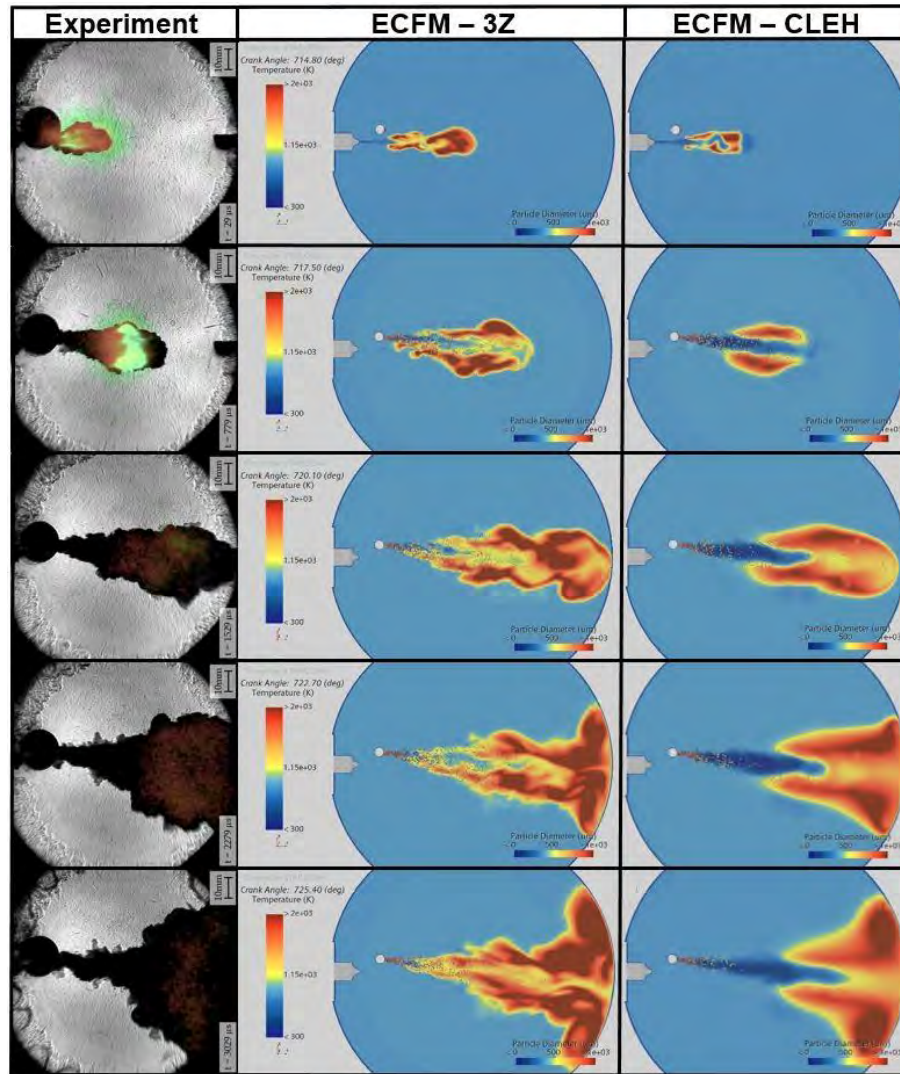
# Rapid Compression Expansion Machine (RCEM)



- (1) Scharl et al. 2022
- (2) Scharl et al. 2023

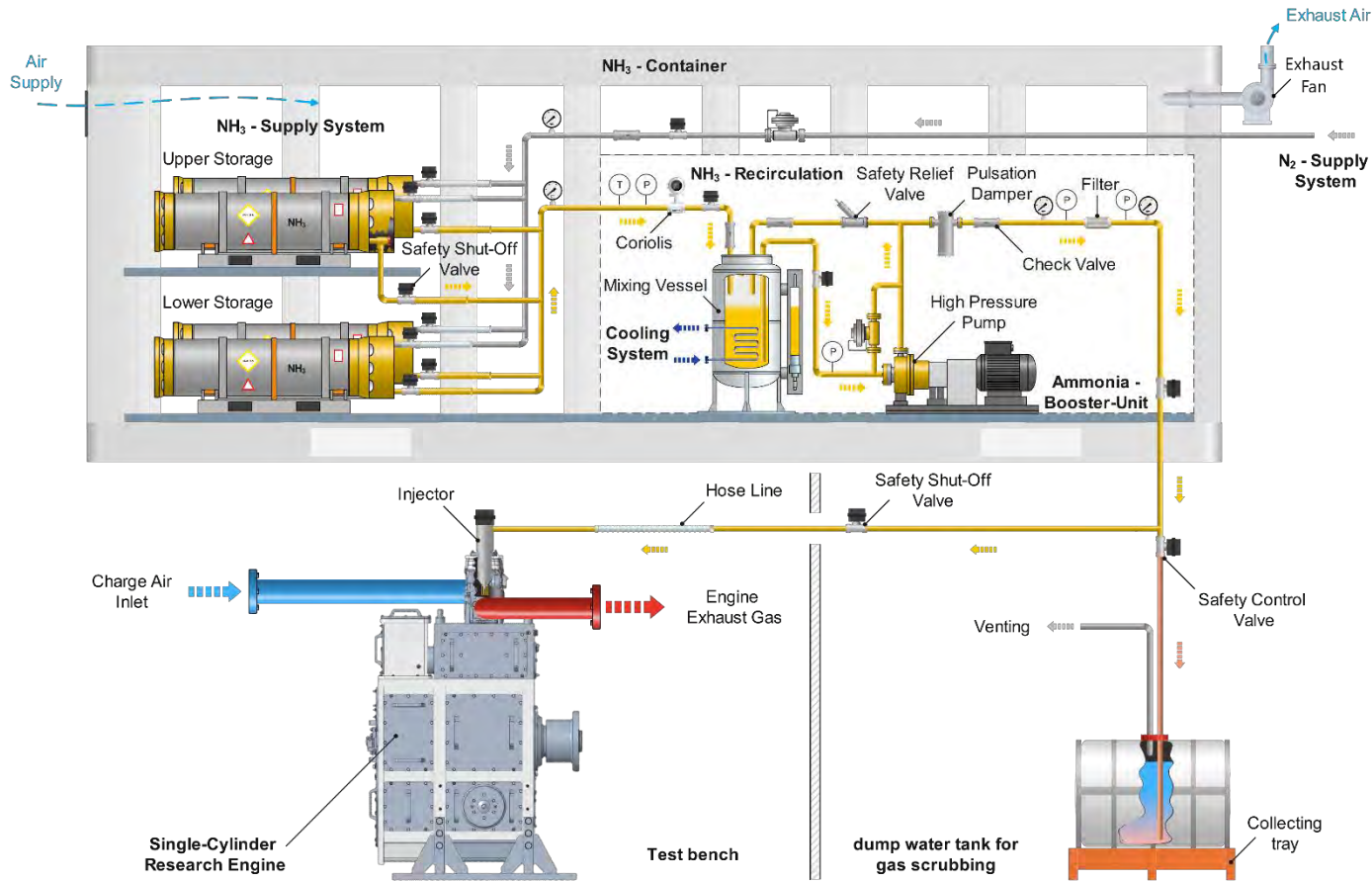






(3) Krnac et al. 2023

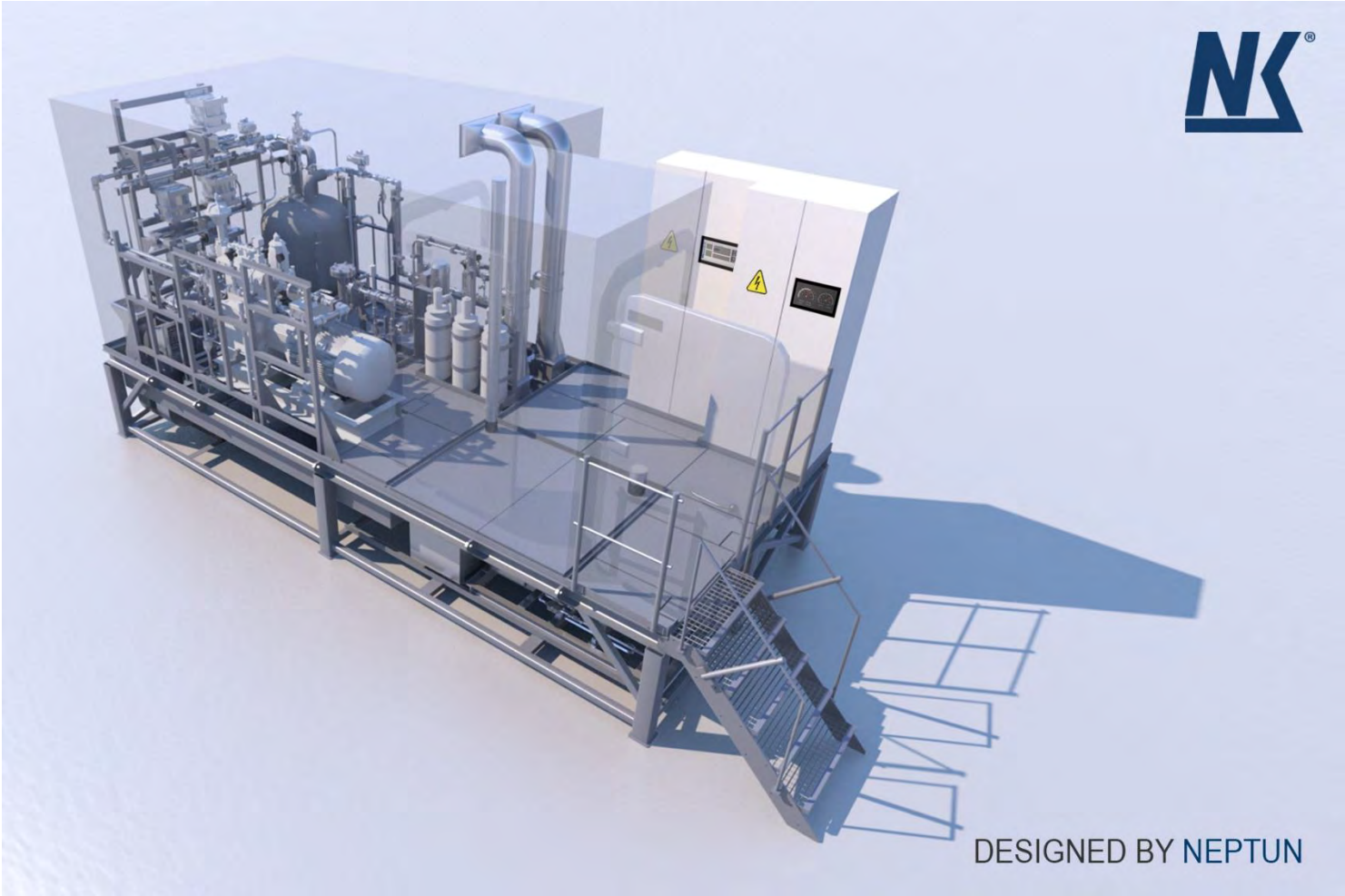




- 4 x 500 kg Ammoniak in austauschbaren Druckbehältern
- Ammoniak-Einspritzdruck bis zu 550 bar (flüssig)

(4) Stenzel et al. 2022





Node #	Key system level HAZID nodes	Unmitigated Risk Ranking				Mitigated Risk Ranking			
		L	M	H	E	L	M	H	E
1	General Arrangement (including CAPSAM space)	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Ammonia Fuel Storage System Onboard	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Ammonia Fuel Supply System/Piping (ship storage to CAPSAM module)	-	-	-	-	-	-	-	-
4	CAPSAM Module - Inlet to E01 Mixing Tank	5	17	17	0	31	8	-	-
5	CAPSAM Module - E01 Mixing Tank	0	5	-	0	2	3	-	-
6	CAPSAM Module - CAPSAM Module - Inlet to E01 Mixing Tank	4	34	16	0	24	30	-	-
7	Double Wall Piping from VH04 to Engine	0	7	26	1	22	12	-	-
8	System Output to Engine	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Depressurizing System	3	23	5	0	11	20	-	-
10	CAPSAM Module - Ammonia Refrigeration System	2	1	0	0	2	1	-	-
11	CAPSAM Module - Ventilation System	-	-	-	-	-	-	-	-
12	CAPSAM Module - Venting System	-	-	-	-	-	-	-	-
13	CAPSAM Module - Inerting System	-	-	-	-	-	-	-	-
14	CAPSAM Module - Control/Automation System	-	-	-	-	-	-	-	-
15	CAPSAM Module - Safety Systems (ESD, Isolation, Pressure Relief, F&G Detection, CAPSAM Locking System)	-	-	-	-	-	-	-	-
16	CAPSAM Module - Firefighting Systems	-	1	-	-	-	1	-	-
17	CAPSAM Module - Structures	-	-	-	-	-	-	-	-
18	System Operating Modes	-	-	-	-	-	-	-	-
19	System Maintenance & Inspection	-	-	-	-	-	-	-	-
20	System Installation On Marine Vessels	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		14	88	64	1	92	75	0	0

(1): L=Low, M= Medium, H = High and E = Extreme

- Konzeptionierung und Design eines CAPSulated Ammonia Module (CAPSAM) für die Seeschifffahrt

## Results of the SCE tests

Was ist das Ziel der Ammoniak-Brennverfahrensentwicklung?

- Möglichst hoher Ammoniak-Anteil (Größte Diesel-Substitution)
- Geringe Lachgasemission ( $\text{N}_2\text{O}$ :  $\text{GWP}_{100} = 265$ )
- Ammoniak- $\text{NO}_x$ -Verhältnis ( $\text{ANR}$ )  $\leq 1$  (Komplexität AGN  $\downarrow$ )
- Stabile Verbrennung ( $\text{COV}_{\text{IMEP}} < 3\%$ )
- Leistung und Wirkungsgrad analog zum Diesel
- Senkung Treibhausgasemission (GHG-Reduktion  $\geq 80\%$ )

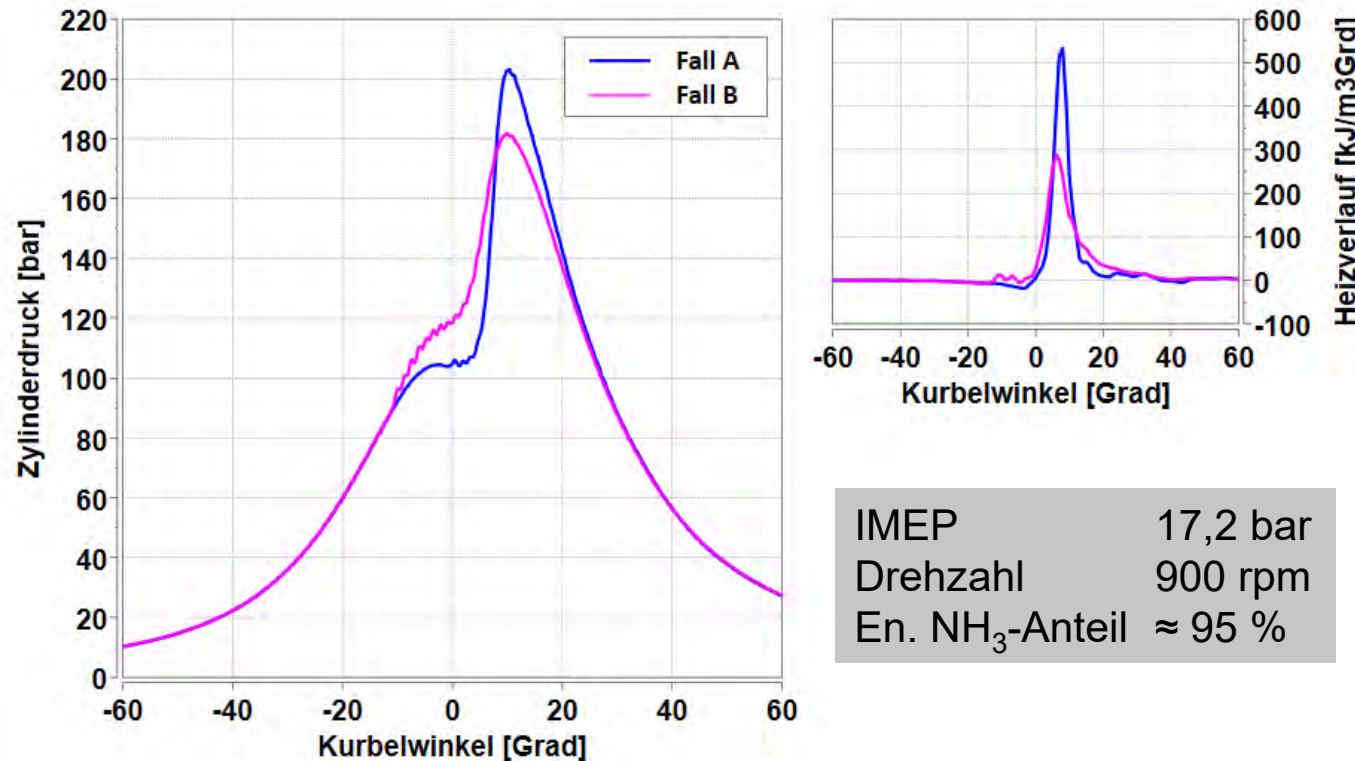
» Different combustion and emission characteristics for different nozzle designs

1 / 14  
Thorau WTZ

(5) Thorau et al. 2023  
(6) Stenzel et al. 2024  
(7) Thorau et al. 2024



# Brennverfahrensuntersuchung am Einzylinder



Motorische Ergebnisse			
Parameter	Einheit	Fall A	Fall B
Verbrennungsstabilität (COV <sub>IMEP</sub> )	%	0,9	0,6
Lachgaskonzentration im Abgas	ppm	24	8
Ammoniak-NO <sub>x</sub> -Verhältnis (ANR)	-	0,49	1,15

Was ist das Ziel der Ammoniak-Brennverfahrensentwicklung?

- Möglichst hoher Ammoniak-Anteil  
≈ 95 % energetisch
- Geringe Lachgasemission  
< 25 ppm
- Ammoniak-NO<sub>x</sub>-Verhältnis ≤ 1  
Bestwert 0,49 (Fall A)
- Stabile Verbrennung  
COV<sub>IMEP</sub> < 1 %
- Diesel-Motorperformance  
Leistung und Wirkungsgrad = Diesel
- Treibhausgassenkung  
GHG-Reduktion<sub>CO2+N2O</sub> ≥ 80 %



# Ausblick: AmmoniaMot 2



- NH<sub>3</sub>-Brennverfahren
- Injektor-Erprobung

- Bau und Testung CAPSAM-Demonstrator mit Klasse

- Doppelwandige NH<sub>3</sub>-Hochdruck-Rohrleitungen

- Konstruktion CAPSAM
- AIP durch Klassifikation



- Spray-Charakterisierung
- 0D/1D-Zylindermodelle



- 3D-CFD-Simulationen
- Validierung der Modelle



**MAN Energy Solutions**

- Motorische Demonstration
- Entwicklungswerkzeuge



- HPDF-Einspritztechnik
- Ammoniak-Gasventile



Vielen Dank!



Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag



- (1) V. Scharl, T. Sattelmayer, Ignition and combustion characteristics of diesel piloted ammonia injections, Fuel Communications 11 (2022) 100068. doi:10.1016/j.jfueco.2022.100068.
- (2) V. Scharl, T. Lackovic, T. Sattelmayer, Characterization of ammonia spray combustion and mixture formation under high-pressure, direct injection conditions, Fuel 333 (2023) 126454. doi:10.1016/j.fuel. 2022.126454.
- (3) D. Krnac, B. Manickam, P. Holand, V. Scharl, T. Sattelmayer, Ammonia-diesel dual-fuel combustion simulation using a tabulated chemistry approach, in: 19th Symposium Sustainable Mobility, Transport and Power Generation, Graz, Austria, 2023.
- (4) K. Stenzel, H. Arndt, P. Thorau, V. Scharl, T. Sattelmayer, Ammoniamot - experimental investigations of an ammonia dual-fuel combustion process for decarbonization of the maritime sector, in: 7th Rostock Large Engine Symposium, Rostock, Germany, September 2022.
- (5) P. Thorau, K. Mahler, K. Stenzel, C. Reiser, Analysis of requirements for turbocharging systems of future ammonia engines, in: 27th Supercharging Conference 2023, Dresden, Germany, September 2023.
- (6) K. Stenzel, P. Thorau, V. Scharl, D. Krnac, S. Rösler, H. Arndt, Regenerativ erzeugtes Ammoniak für Marine-Verbrennungsmotoren, in: Schiff&Hafen, Ausgabe März 2024.
- (7) P. Thorau, K. Stenzel, C. Reiser, Fundamental investigation of an ammonia HPDF combustion process on high-speed engines, in: 8th Rostock Large Engine Symposium, Rostock, September 2024.