

# Einsatz von Wasserstoff in der Binnenschifffahrt

Georg Dura,

HyLand-Vernetzungstreffen 24.03.2023

# ZBT – The hydrogen and fuel cell center

## Kurzinformationen

- Über 100 Mitarbeitende
- Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung
- Gesellschafter:  
Universität Duisburg-Essen
- Grundförderung  
Land Nordrhein-Westfalen (MKW)

## Unabhängiger F&E Partner

## Wasserstoff und Brennstoffzellen

- Design & Entwicklung
- Qualitätssicherung und Testen
- Standardisierung und Zertifizierung
- Produktions-Entwicklung
- Beratung und Studien



UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



  
MITGLIED Johannes-Rau-  
DER Forschungsgemeinschaft



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



EFRE.NRW  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung

# Wasserstoff als Vehikel zur Dekarbonisierung







# Wo kommen Wir her?

## Was machen Wir?

## Wo wollen Wir mit Ihnen hin?

# Ausgangspunkt

viadonau

provincie  
Gelderland

provincie limburg



  
Metropolregion  
Rhein-Neckar

provincie Overijssel

**Provincie Noord-Brabant**

  
provincie  
ZUID HOLLAND

Ministerium für Verkehr  
des Landes Nordrhein-Westfalen



**Gezamenlijke werkagenda  
voor de samenwerking op het gebied  
van mobiliteit en verkeer**

tussen

het ministerie van Verkeer van de deelstaat  
Noordrijn-Westfalen

en

de provincies Gelderland, Limburg, Noord-  
Brabant, Overijssel en Zuid-Holland

**Gemeinsame Arbeitsagenda  
über die Zusammenarbeit im Bereich  
Mobilität und Verkehr**

zwischen

dem Ministerium für Verkehr des Landes  
Nordrhein-Westfalen

und

den Provinzen Gelderland, Limburg, Nord-  
brabant, Overijssel und Südholland

## Ziele des Programms

- **Grenzüberschreitende Kooperation für einen klimaneutralen Transportkorridor „Rhein-Alpen“**
- **Scale-up von H<sub>2</sub>-Anwendungen**
- **Häfen & Binnenschifffahrt als Accelerator für H<sub>2</sub>-Anwendungen im schweren Güterverkehr**
- **Netzwerk von H<sub>2</sub>-Anwendungen aufbauen (Infrastruktur)**
- **Konkret:**
  - 3 H<sub>2</sub>-Tankstationen;**
  - 10 H<sub>2</sub>-Binnenschiffe,**
  - 12 H<sub>2</sub>-Lokomotiven und**
  - 6 H<sub>2</sub>-Reach-Stacker**





# The RH2INE Network, Participating regions and countries

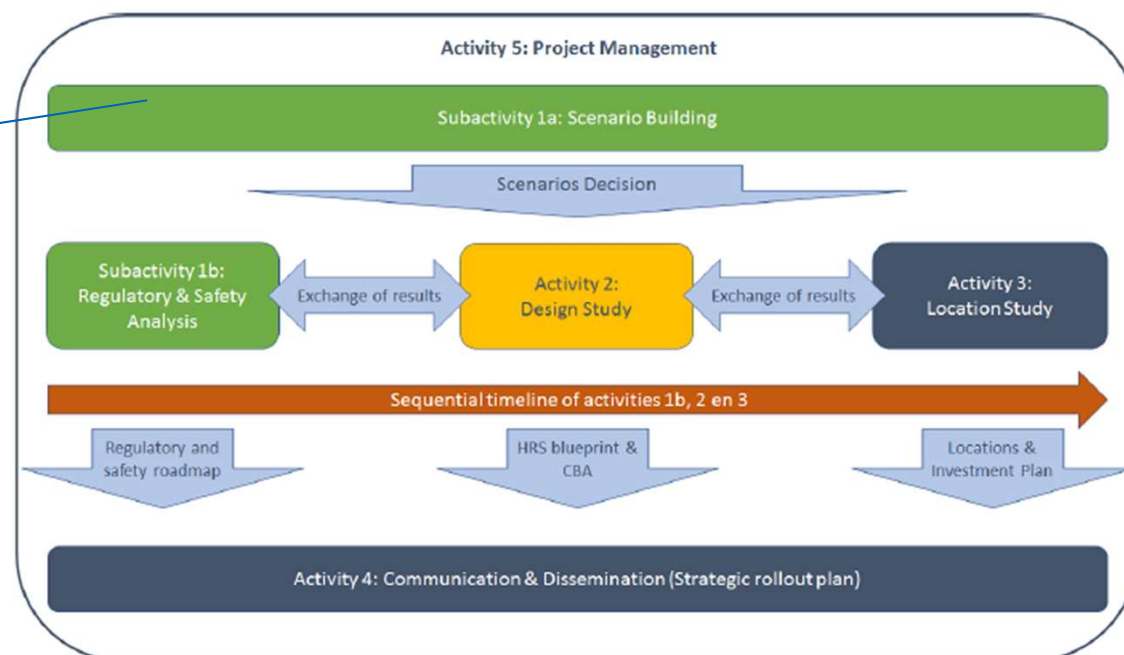


Eine gemeinsame Initiative der **Provinz Südholland** des **MWIDE NRW** zum Aufbau von Wasserstoff-Infrastruktur in den Häfen Rotterdam, Duisburg, Neuss/Düsseldorf und Köln



**“The global aim of the programme is to implement hydrogen as a fuel in the inland waterway transport.”**

Bunker- und Transport-Szenarien für H2 in der Binnenschifffahrt





## Input aus Studie 1a

### Kurzfristig (1-5 Jahre):

Wechselcontainer mit gasförmigem Wasserstoff ( $\text{CH}_2$ )

### Mittelfristig (5-10 Jahre):

Flüssigwasserstoff ( $\text{LH}_2$ ), bunkern per Schlauch (oder Container



### Langfristig (10-20 Jahre):

Wasserstoff in gebundener Form, z.B.  $\text{LOHC}$ ,  $\text{MeOH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NaBH}_4$ ...

## Ziel Designstudie

- **technische Möglichkeiten und Machbarkeit**
- **basierend auf am Markt verfügbaren Lösungen**
- **notwendige technische Upgrades**

# Wechselcontainer

## MEGC - Multi Element Gas Container

20ft-Container	300 bar	300 bar	500 bar
Zylindertyp	Typ 2	Typ 4	Typ 4
Speicher- kapazität	312 kg <sub>H2</sub> (@300 bar)	371 kg <sub>H2</sub> (@300 bar)	518 kg <sub>H2</sub> (10 -500 bar, 15°C)
Leergewicht	21 t	9,25 t	14 t
Preis pro kg <sub>H2</sub>	~ 480€/kg	~ 670€/kg	~ 740€/kg

- Typ 2: metallischer Liner mit Kohlenstofffasern umwickelt (nur Zylinder)
- Typ 4: Kunststoffliner mit Kohlenstofffasern umwickelt (volumwickelt)



Source: NPROXX

## Szenarien für Bedarfsermittlung

Anzahl der Schiffe: 1, 5 und 100

Referenzschiff „Monika Deymann“ (Containerschiff, 135 m lang, 421 TEU) und Umlauf  
Duisburg-Rotterdam

Wasserstoffbedarf (abhängig von Strömung und Tiefgang)

Bergfahrt: ca. 1300 bis 2000 kg H<sub>2</sub>

Talfahrt: ca. 400 bis 700 kg H<sub>2</sub>

großes Schiff und Maximalwert

⇒ auf sicherer Seite für H<sub>2</sub>-Bedarf

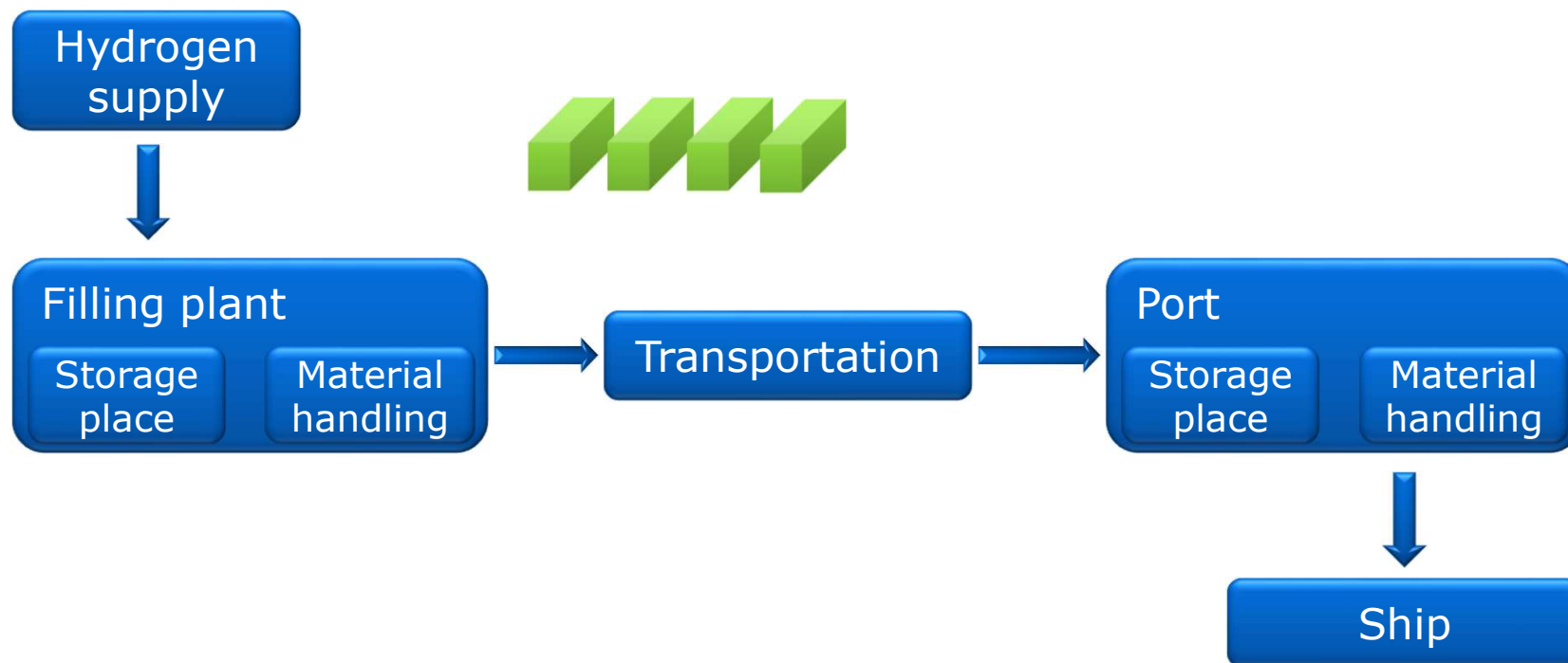


Quelle: <https://reederei-deymann.de/Fracht-undContainerschiffe>



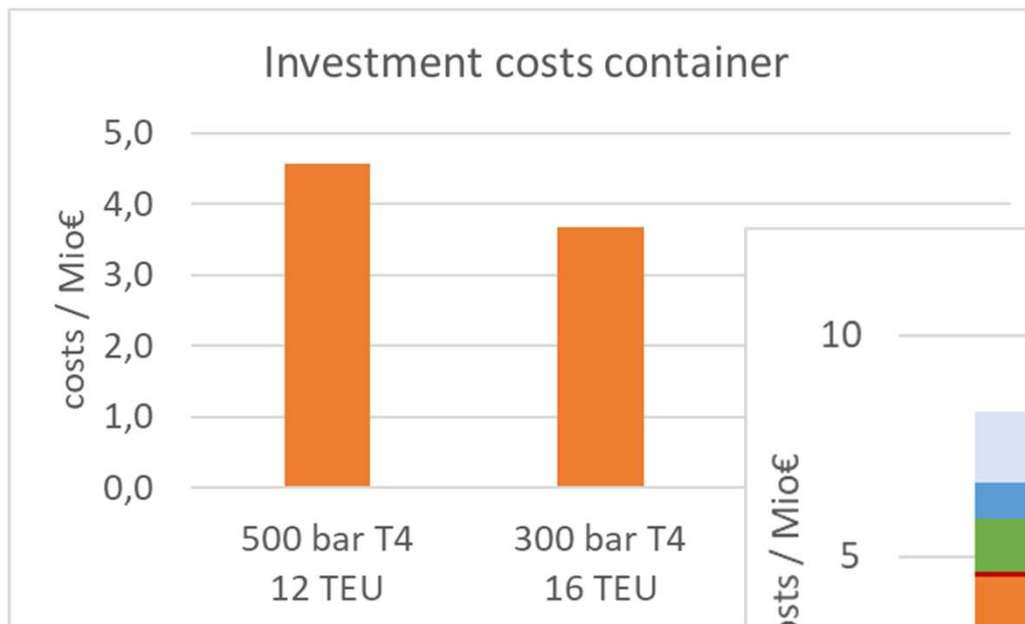
# Wasserstoff-Versorgungskette

- Keine “Tankstelle” bzw. “Bunkerstelle”
- Komponenten für das Bunkern mit Wechselcontainern



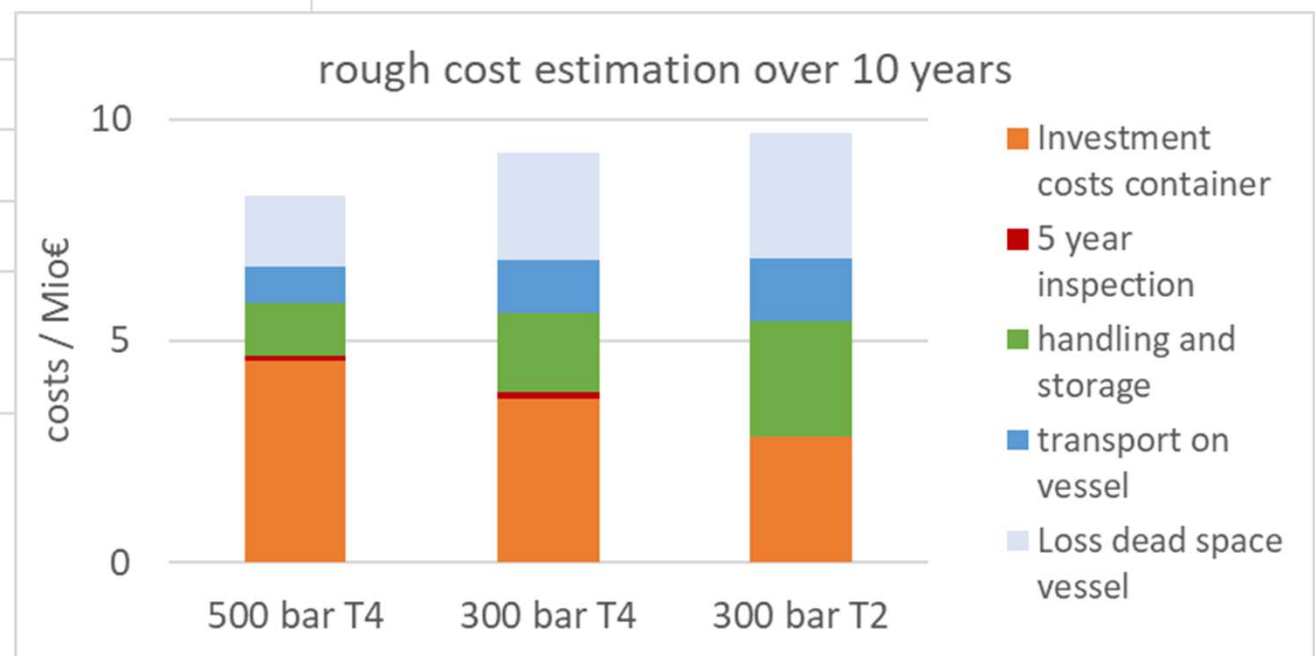
## Druckniveau und Kosten

### Container-Kosten: welches System?

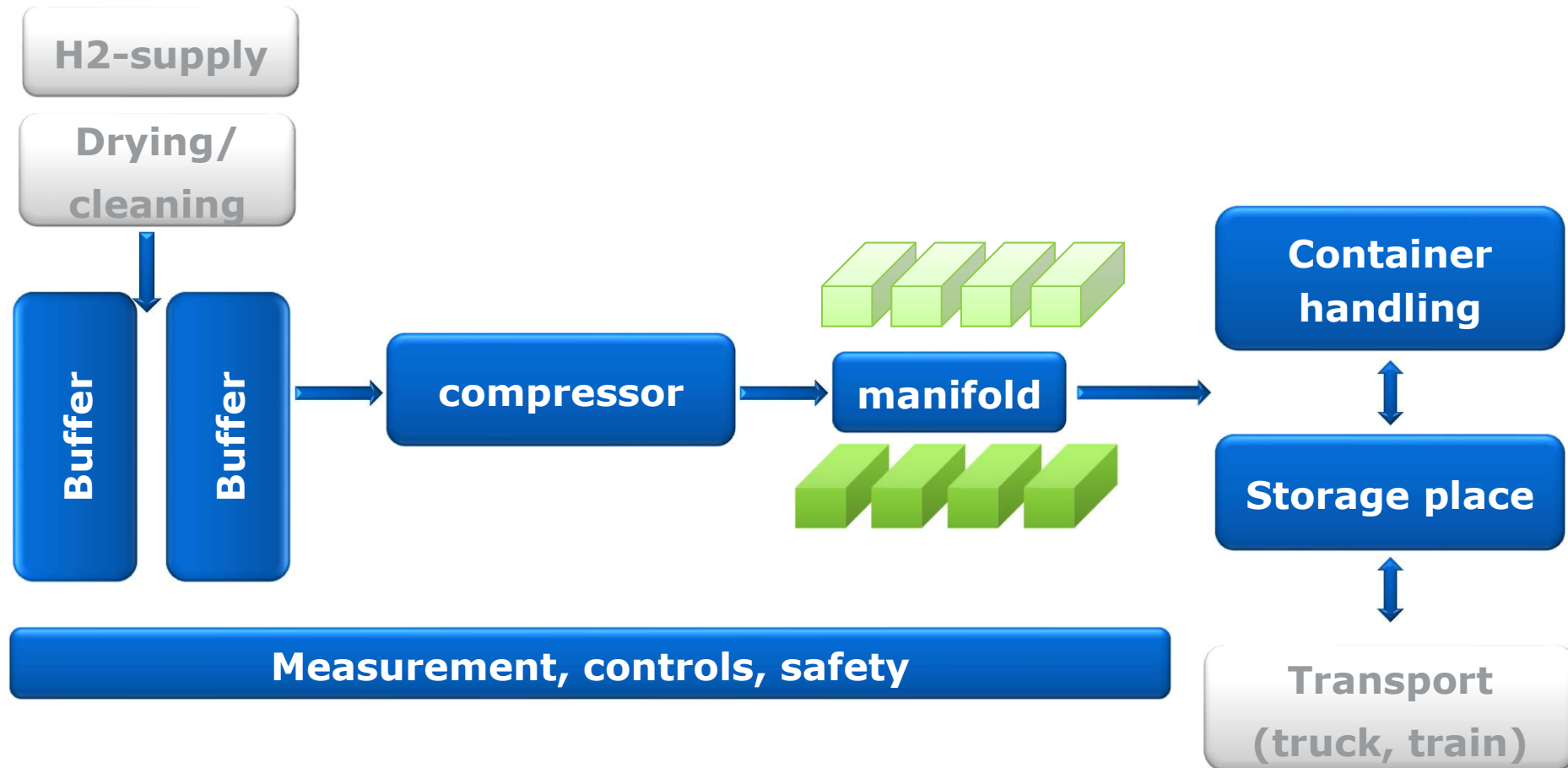


Für 1 Schiff

Folgekosten berücksichtigen!  
z.B. für Kranhub, Lagerplatz...



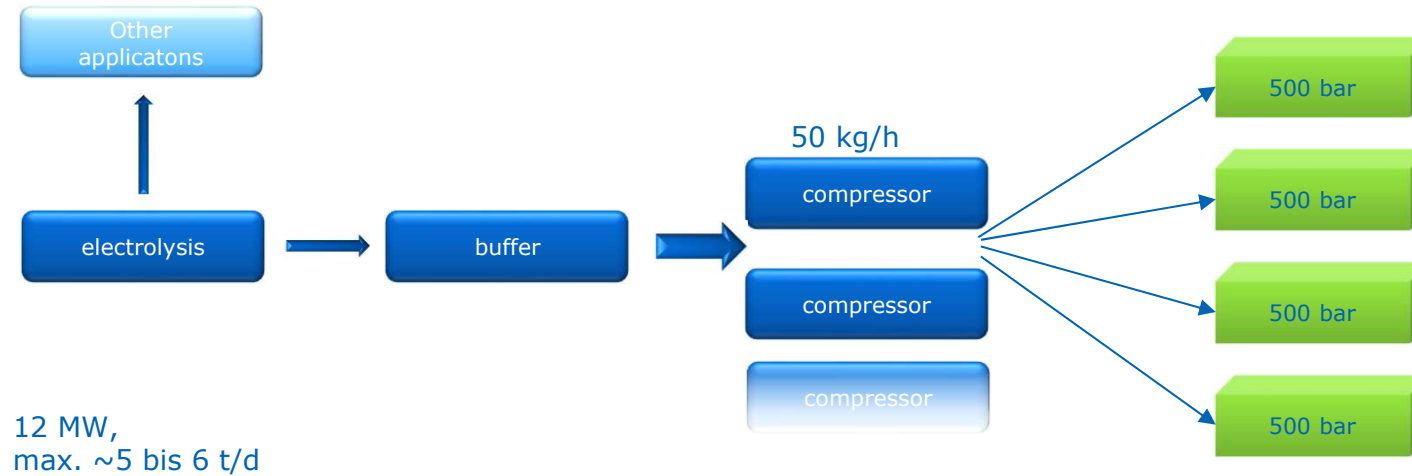
## Füllwerk



- Energetische und wirtschaftliche Optimierung



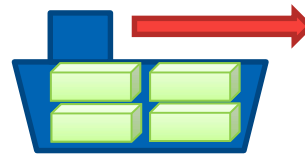
# Beispiel



- 12 MW Elektrolyse und 4 Kompressoren für bis zu 5 t/d
- Anlagendoppelung
- zusätzliche Standorte

## Container-Anzahl - 500 bar, 20ft

 full   
  empty/in use   
  spare



## Containeranzahl und Wasserstoffbedarf

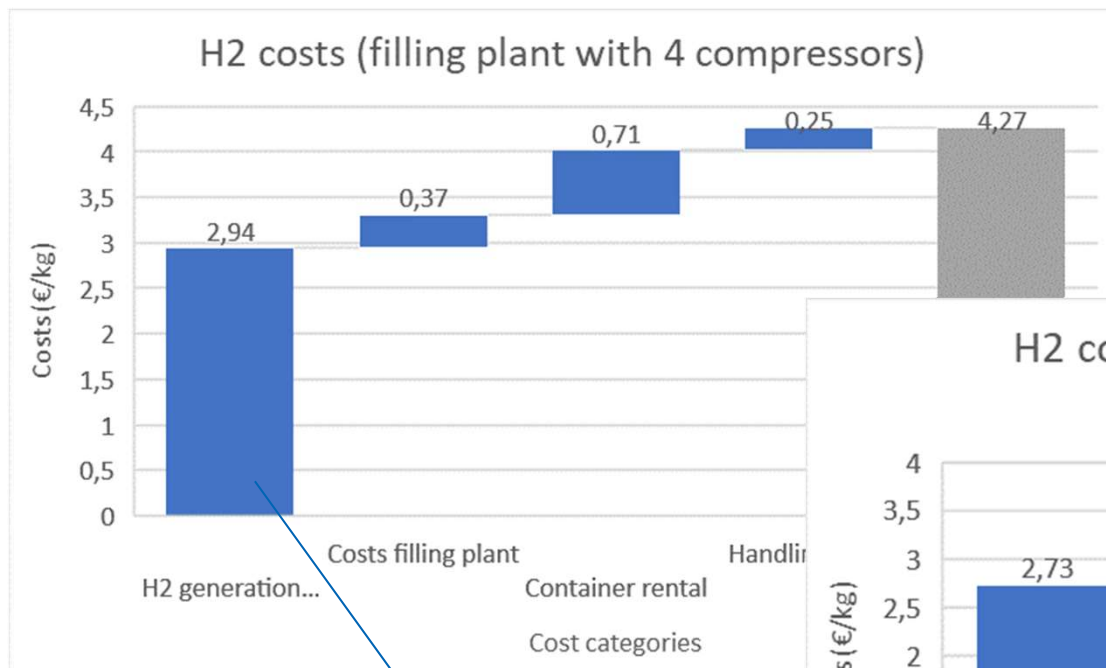
	500 bar, T4	300 bar, T4	300 bar, T2
1 Schiff	12	16 (6 bergauf)	19 (7 bergauf)
5 Schiffe	54	74	89
100 Schiffe	~730	~880	~1230

	Station a	Station b
1 Schiff	0,5 t/Tag	1 t/Tag
5 Schiffe	2,5 t/Tag	5 t/Tag
100 Schiffe	50 t/Tag	100 t/Tag

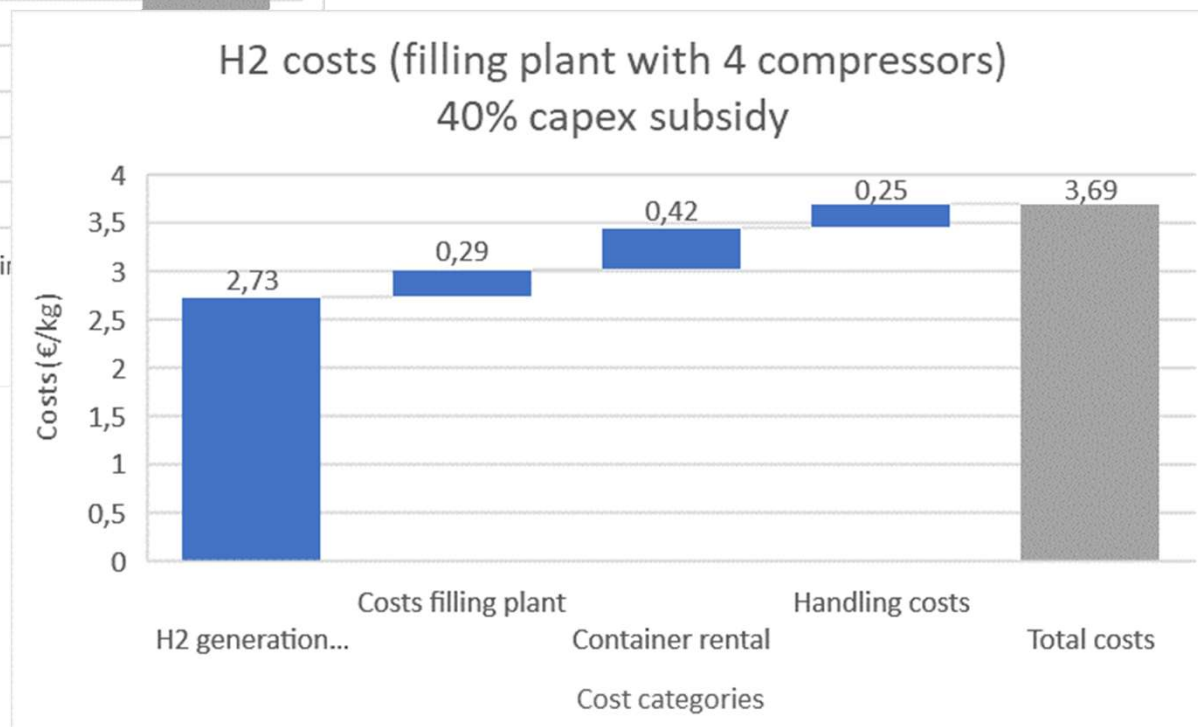


## H2-Kosten gesamt (vor dem Ukraine Krieg)

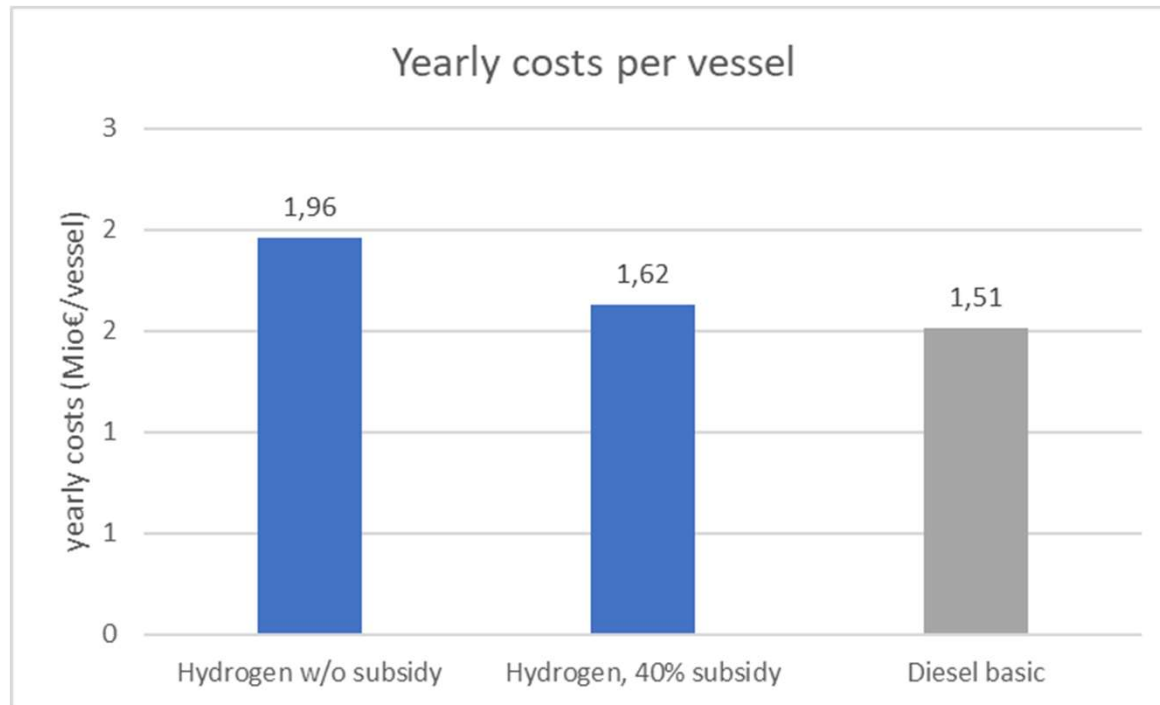
Anlage für 5 Schiffe



Anteil Strom  $\sim 2 \text{ €/kg}$   
bei  $4 \text{ ct/kWh}_{\text{Strom}}$



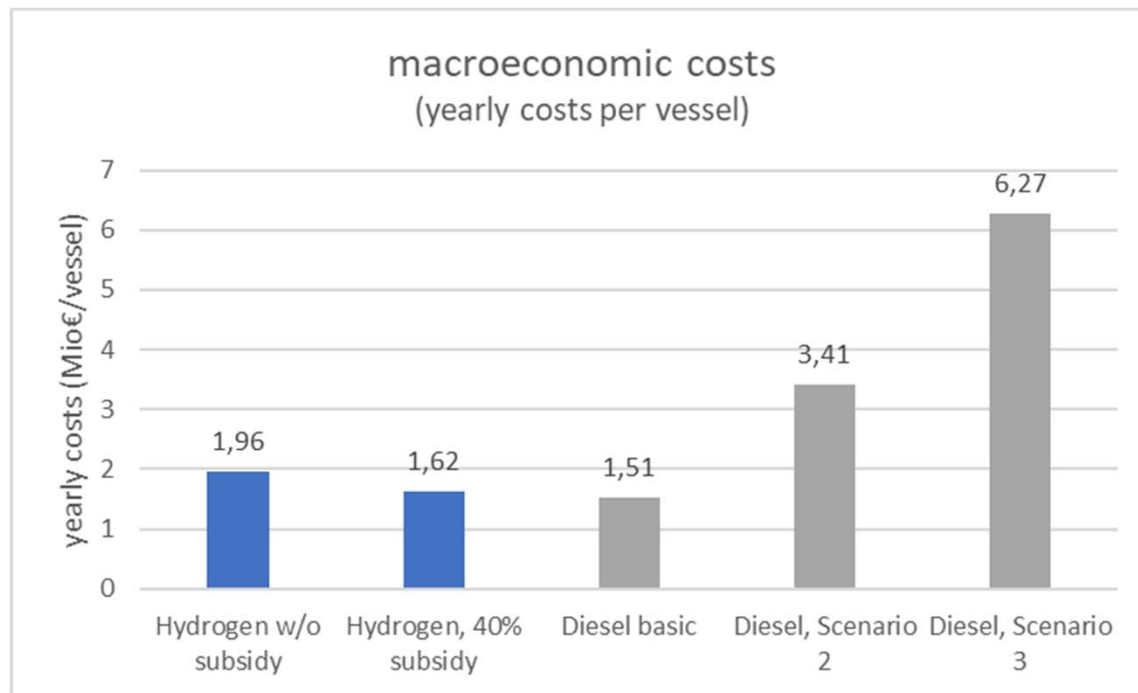
# Kostenvergleich vor dem Ukraine Krieg



## Kostenabschätzung:

- 15 Jahre,
- 144 Umläufe/Jahr,
- Energiebedarf<sub>Prop</sub>/Rundlauf ~ 41 MWh
- Schiffsrumpf 1,1 Mio€
- Motor 400T€
- Brennstoffzelle 1,5 Mio
- ....

# Gesellschaftliche Kosten vor dem Ukrainekrieg



## UBA Empfehlungen für Klimakosten

	Climate costs in € <sub>2020</sub> /t <sub>CO2 eq</sub>	
	2020	2030
1% pure time preference rate	195	215
0% pure time preference rate	680	700

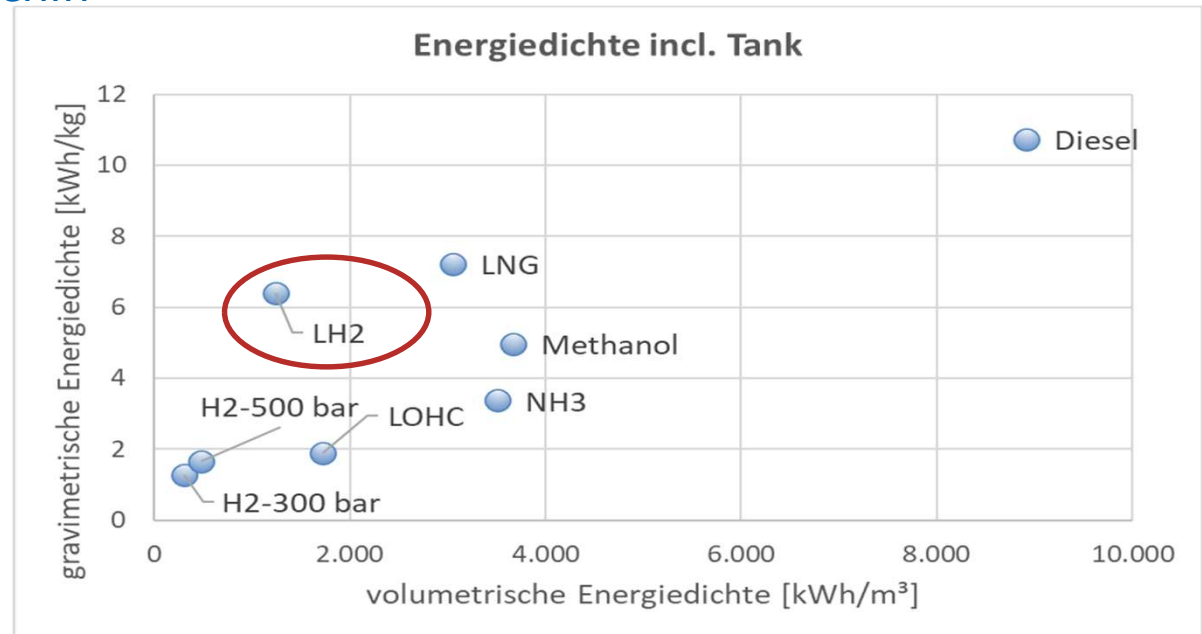
## UBA Kostensätze für Schadstoffemissionen

Emissions	Cost rates for emissions in Germany €/t
PM2.5	61.500
PMcoarse	1.000
PM10	43.000
NOX	19.000

Vergleich für 15 Jahre, 144 Umläufe/Jahr,

## Mittelfristige Option LH2

- Vorteil: höhere Energiedichte
- Nachteil: Energieaufwändige Verflüssigung  
hohe Anlagenkomplexität => zentrale Verflüssigungsanlagen
- Transportleistungen
- LH2 in Tank-Containern (Wechselcontainer?)
- Bei Neubauten Tankintegration ins Schiff
  - Bunkern wie LNG
- Boil-off kein Problem



## Zusammenfassung und Ausblick

- CH<sub>2</sub> in Wechselcontainer: 500 bar, Typ 4
- Infrastrukturkomponenten: H<sub>2</sub>-Erzeugung ☑, Füllwerk ☑, Container ☑, Transport/Handling/Lagerung ☑
- H<sub>2</sub>-Kosten: ~~68~~ bis 74% durch H<sub>2</sub>-Erzeugung
- Gesellschaftliche Kosten zeigen die Vorteile von H<sub>2</sub>-Schiffen

### Und nun?

- Schiff umrüsten
- Elektrolyse und Füllwerk aufbauen

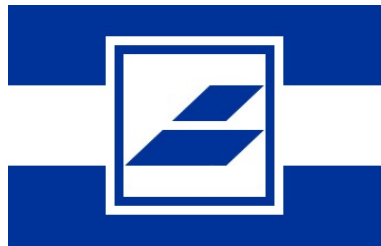
⇒ **H<sub>2</sub> auf dem RH2INE!**



Foto: Lemken



# Konsortium



**HTS Intermodaal**  
Heuvelman Transport Systems



Supported by

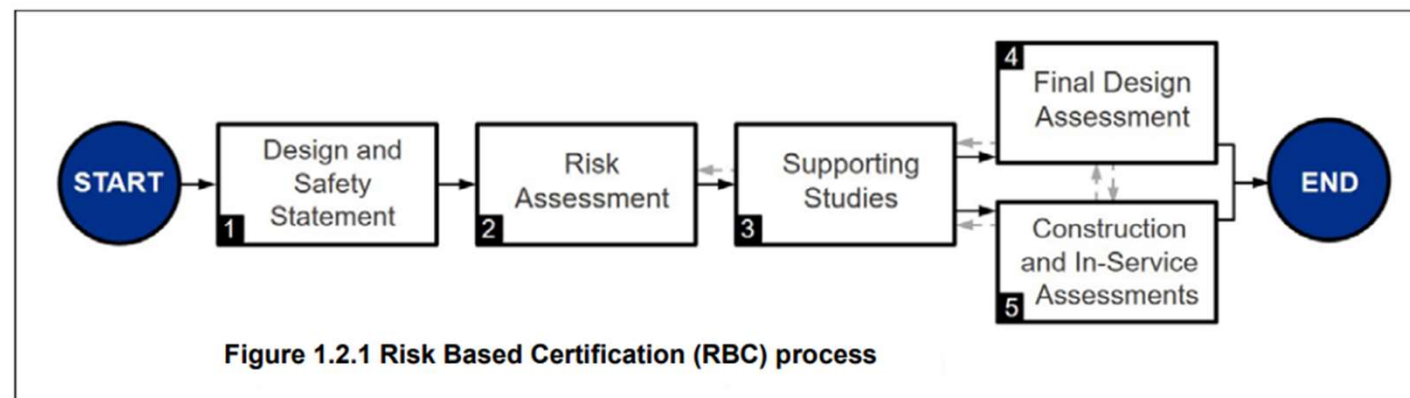
Ministerium für Wirtschaft, Innovation,  
Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



- RBC-1 Design and Safety Statement;
- RBC-2 Risk Assessment;
- RBC-3 Supporting Studies;
- RBC-4 Final Design Assessment; and
- RBC-5 Construction and In-Service Assessments.



© Lloyd's Register Group Limited 2021. All rights reserved.

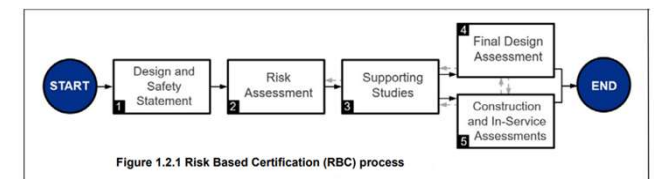
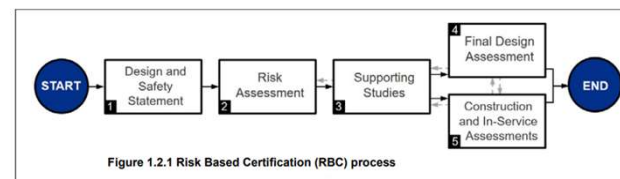
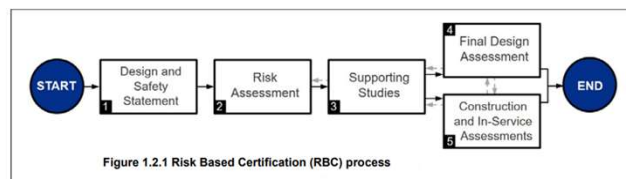
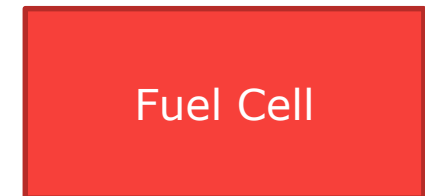
## Part 1



## Part 2



## Part 3



© Lloyd's Register Group Limited 2021. All rights reserved.

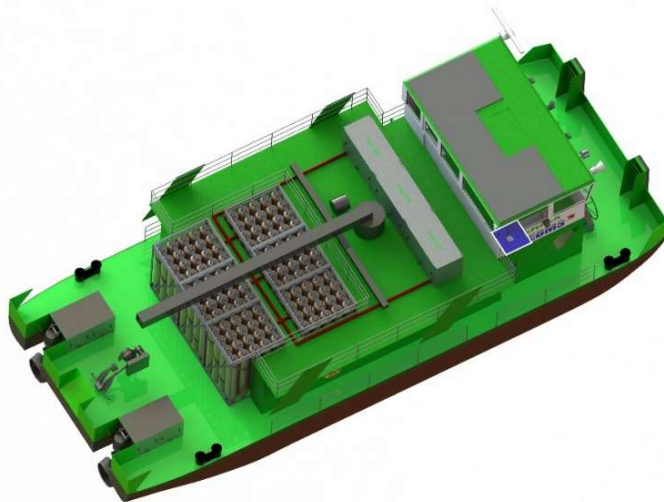
Position of Container ?  
=> = Costs







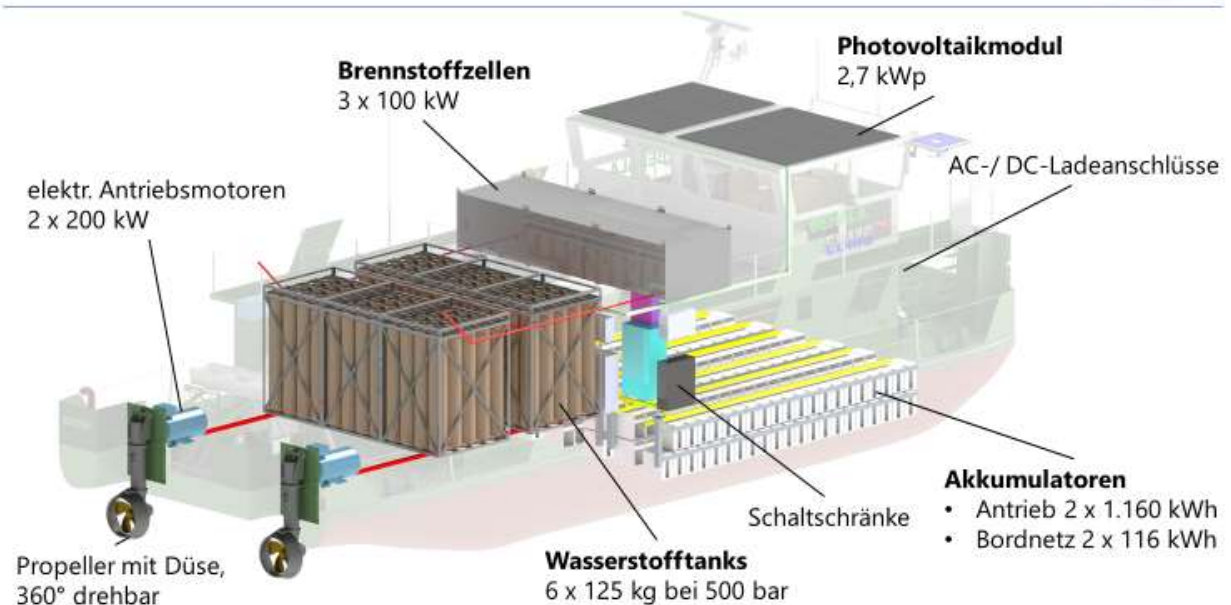
# Project Elektra: H2-Pushboat



Elektra MEGC H2 Tank System  
Modular: 700 kg on bord (6 x 125 kg)  
Module: 125 kg H2 PN 500  
Modules cratable and changeable  
One refuelling station can supply different harbors



## Das innovative Energiekonzept



Elektra – Wasserstoff in der Schifffahrt

Entwurf und Betrieb Maritimer Systeme – Technische Universität Berlin

22.10.2019

© TU Berlin – EBMS

# Wesentliche Komponenten für ein emissionsfreies Schiff

- Wasserstofftanks und Wasserstoffversorgung
- Brennstoffzellen
- Akkumulatoren als Energiespeicher
- umfangreiches Energiemangement

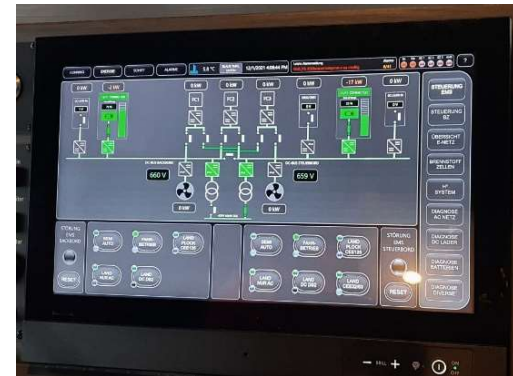


© SER



# Wesentliche Komponenten für ein emissionsfreies Schiff

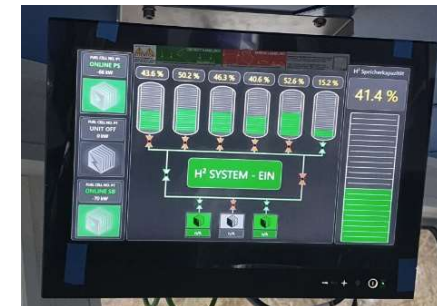
- umfangreiches Energiemanagement
- umfangreiche Anzeigen für die Schiffsführung zum Planen der Routen und Geschwindigkeiten im Fahrassistenzsystem



Energiemanagementsystem



Antriebsleistung,  
Geschwindigkeit, Akkumulatoren



Wasserstoffversorgung

© SER





## ENERGY SYSTEM LAYOUT – HYDROGEN STORAGE SYSTEM



© Schiffswerft Hermann Barthel GmbH

### ANLEG

- MEGCs (Multiple-Element Gas Containers)
- Type IV (carbon) high pressure cylinders, GH<sub>2</sub> 500 bar
- 6 modules on board, 6 in circulation
- individually craneable and fork-lift truck capable
- Transport by truck trailer or rail
- Total mass: approx. 18 t
- 750 kg GH<sub>2</sub> usable on board

### The „hydrogen dilemma“

- Energy content of hydrogen: 33.3 kWh/kg
- Energy content of diesel: 11.95 kWh/kg
- Density of gaseous hydrogen at a pressure of 500 bar: 0.031 kg/l
- Density of diesel: 0.82 kg/l





Die Waal mit 109,8 x 11,40 x 3,53 m FPS sechs FCwave™-Module, Brennstoffzellenkapazität von 1,2 MW von Ballard verfügen. Als weltweit erstes DNV-zertifiziertes Brennstoffzellenmodul für Marineanwendungen





THE HYDROGEN AND FUEL CELL CENTER



**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH**

Carl-Benz-Straße 201 / D-47057 Duisburg

**Georg Dura**

+49 162 1339821 / g.dura@zbt.de

**WWW.ZBT.DE**

**Supported by:**

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



MEMBER Johannes-Rau-  
OF Forschungsgemeinschaft



Rhine Hydrogen Integration  
Network of Excellence