

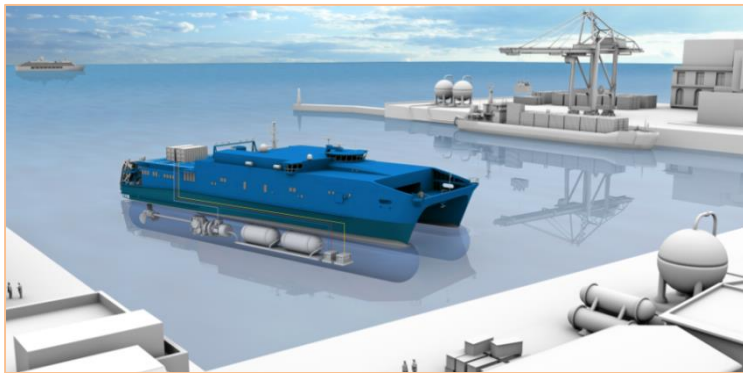


Brennstoffzellen-Systeme auf Basis von Wasserstoff als Treibstoff für Maritime Energiesysteme

Alternative Antriebe von See- und Binnenschiffen

Vortrag von Dr. Alexander Dyck beim VHT / GDV Seminar 2011

am 08.11.2021 in der Glocke in Bremen



VHT

GDV

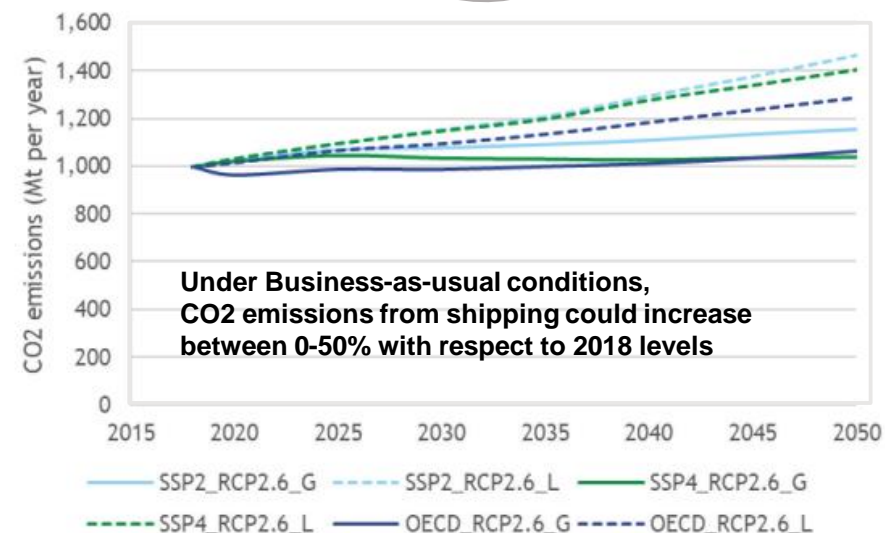
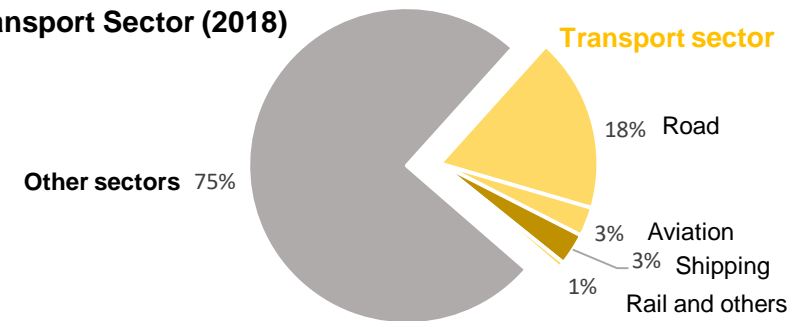
Wissen für Morgen

Motivation zur Dekarbonisierung der Schifffahrt

Übernahme einer führenden Rolle für die Technologieentwicklung zur CO₂ Reduktion

- Beitrag zur Erreichung des CO₂-Ziels aus Pariser Abkommen
- Reduzierung des Emissionsanteils der Schifffahrt (3% -> ~ 0%)
- Identifikation der Forschungsschwerpunkte zur CO₂ Reduktion
- Evaluierung von innovativen Technologien zur Implementierung und Stärkung der Deutschen maritimen Wirtschaft
- Aufbau und Betrieb von Teststand und Schiff zur Erprobung modularer Energiekonzepte
- Entwicklung von Konzepten und Technologien zur zukünftigen Versorgung mit nachhaltigen Brennstoffen durch und für Schiffe

Global GHG Emissions - Transport Sector (2018)



Source: IEA (2020, 2019), IMO 4th GHG Study (2020), IPCC. (2018)

https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en



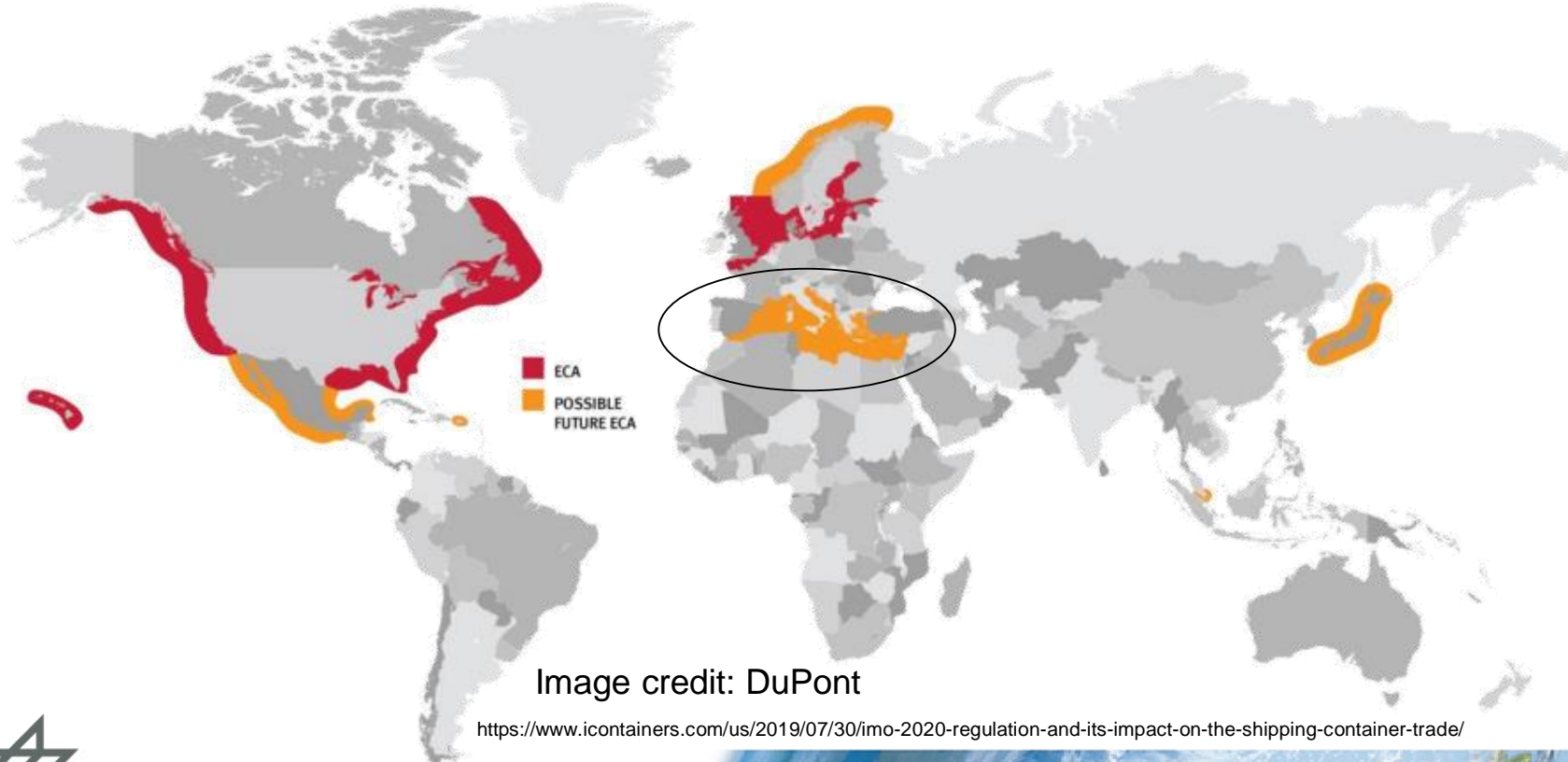
Herausforderung: Reduktion der Emissionen

- Weltweite Schifffahrtsrouten mit globalen Emission von CO₂ (3%), SO₂ (13%), NO_x (15%) und Ruß

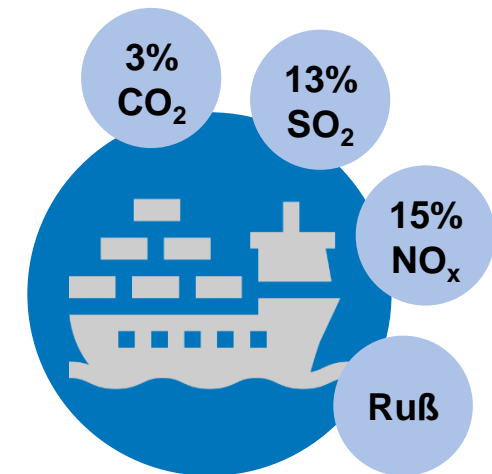


Zufahrtsbeschränkte Regionen und Areale

- Der Bewegungsradius des emissionsfreien Schiffsbetriebs muss in Zukunft deutlich erhöht werden
- Zugang wird teilweise aus Emissionsfrei definiert, was nur über elektro-chemische Speicher und Wandler zu realisieren sein wird.



Beitrag zu den globalen Emissionen durch die Schifffahrt

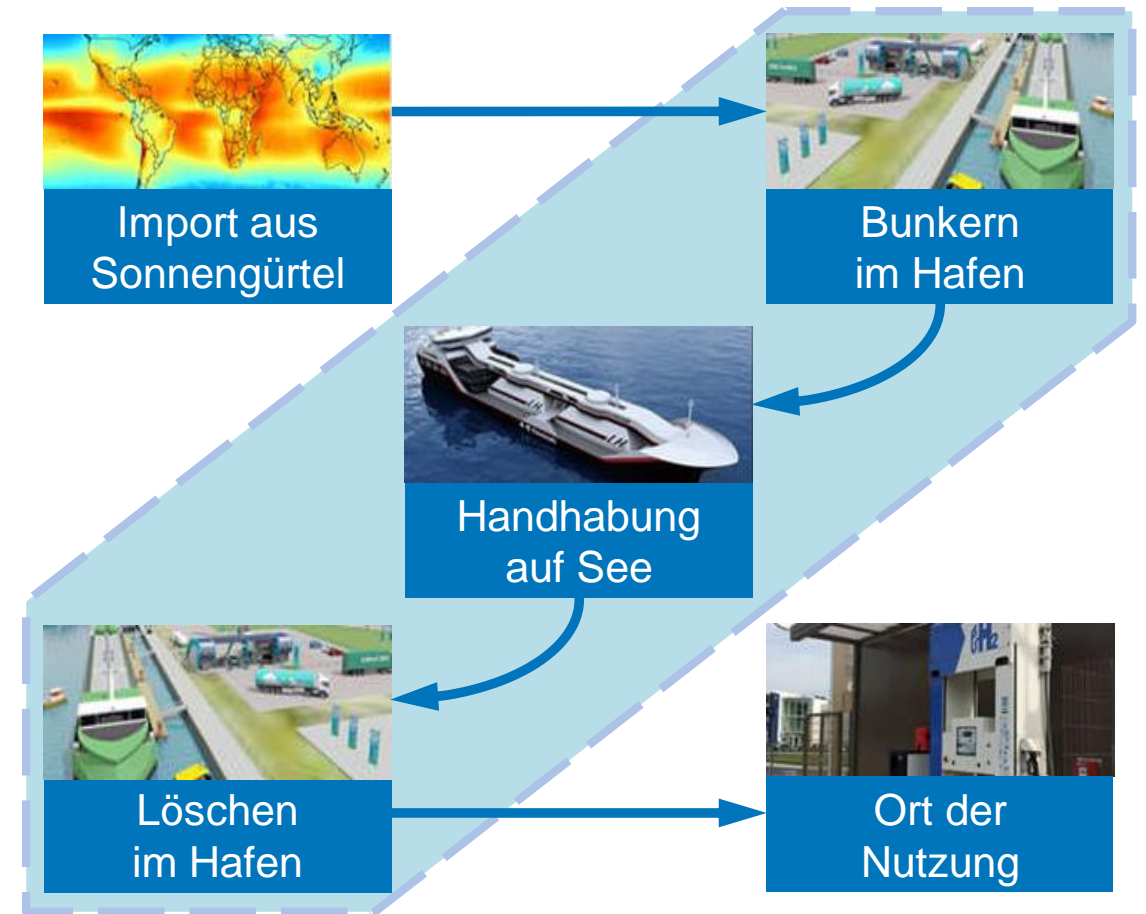


Einfluss der Emissionen auf Klima, Gesundheit, Umwelt

DLR-Institut für Maritime Energiesysteme

Fachliche Ziele / Forschungsschwerpunkte

- **CO₂ freie** Energiesysteme in der **Schifffahrt**
 - Treibstoffe an Bord bringen und bevorraten
 - Konverter einsetzen
 - Energienetze an Bord von Schiffen entwickeln
 - Strom, Wärme, Kälte bereitstellen
 - Manövrierfähigkeit garantieren
- **Import** alternative Treibstoffe
- **Synergien im Hafen-Betrieb**
- **Versorgungsinfrastruktur** für Treibstoffe an Land
- **Digitalisierung** mittels Digitalem Zwilling



Forschungs-Bedarf

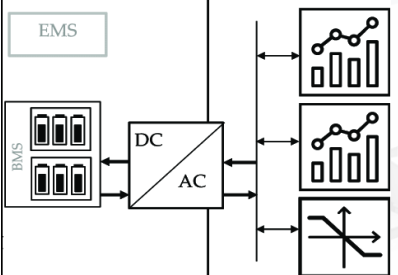
Ganzheitlicher Ansatz zur Versorgung maritimer Infrastrukturen



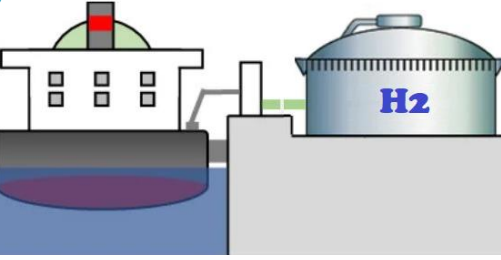
Virtuelles Schiff (VIS)



Energiekonverter und Systeme (EWA)



System-Demonstration (SYD)

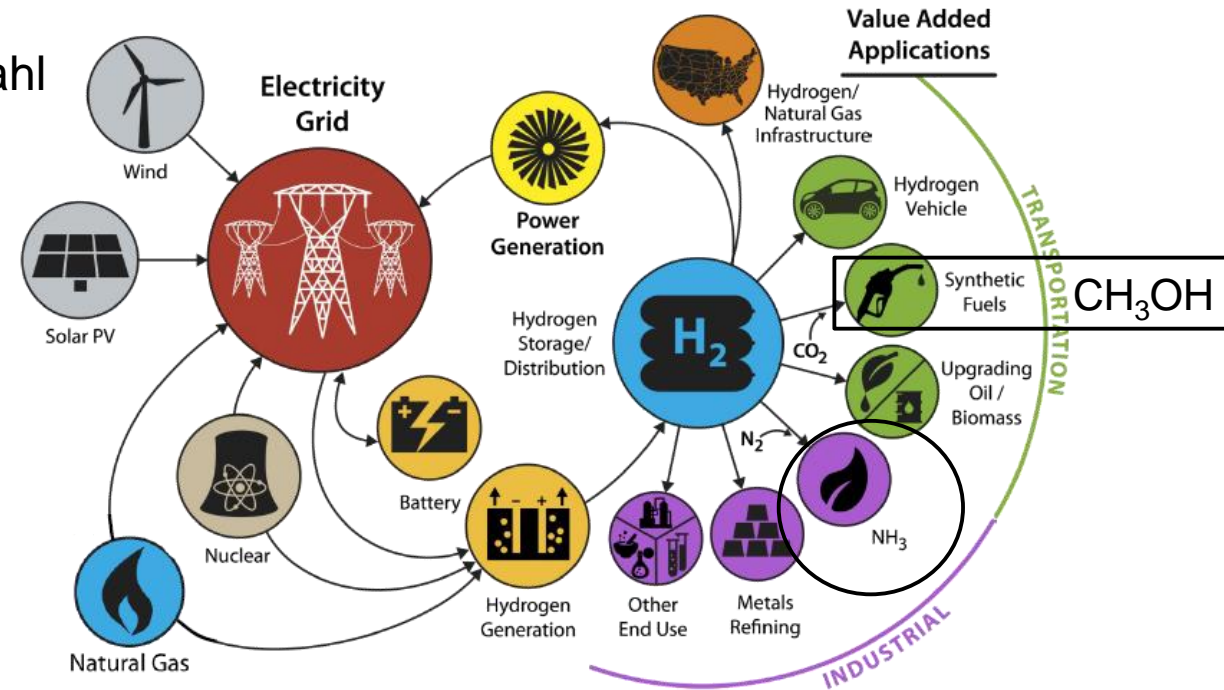


Energie-Infrastruktur (EIN)

Welcher Treibstoff auf Basis erneuerbarer Energien eignet sich?

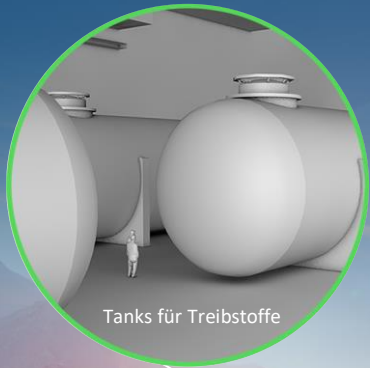
- Die folgenden Energieträger sind in der engeren Auswahl
 - Liquefied Natural Gas (LNG)
 - Methanol (CH_3OH)
 - Ammoniak (NH_3)
 - Wasserstoff (H_2 , verflüssigt oder verdichtet, MH)
 - Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)
 - ❖ Batterien (zur Reduktion des CO_2)

- Folgende Kriterien und Optimierungen sind wichtig
 - Speicher-Dichte und System-Energiedichte
 - GHG Emissionen und Gefährdungspotential
 - Regularien für neue Treibstoffe (IMO)
 - Ausdauer in maritimer Umgebung

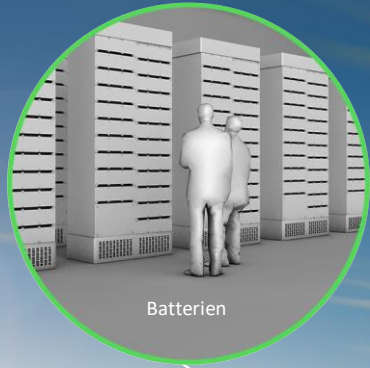


*Illustrative example, not comprehensive

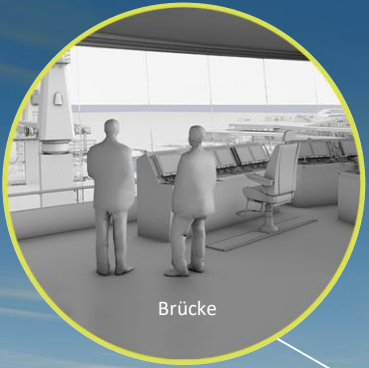
Bryan Pivovar, Status of AMFC Technology and Advances in NREL's Perfluorinated Anion Exchange Membranes (PFAEM) , EMEA 2017 on June 26



Tanks für Treibstoffe



Batterien



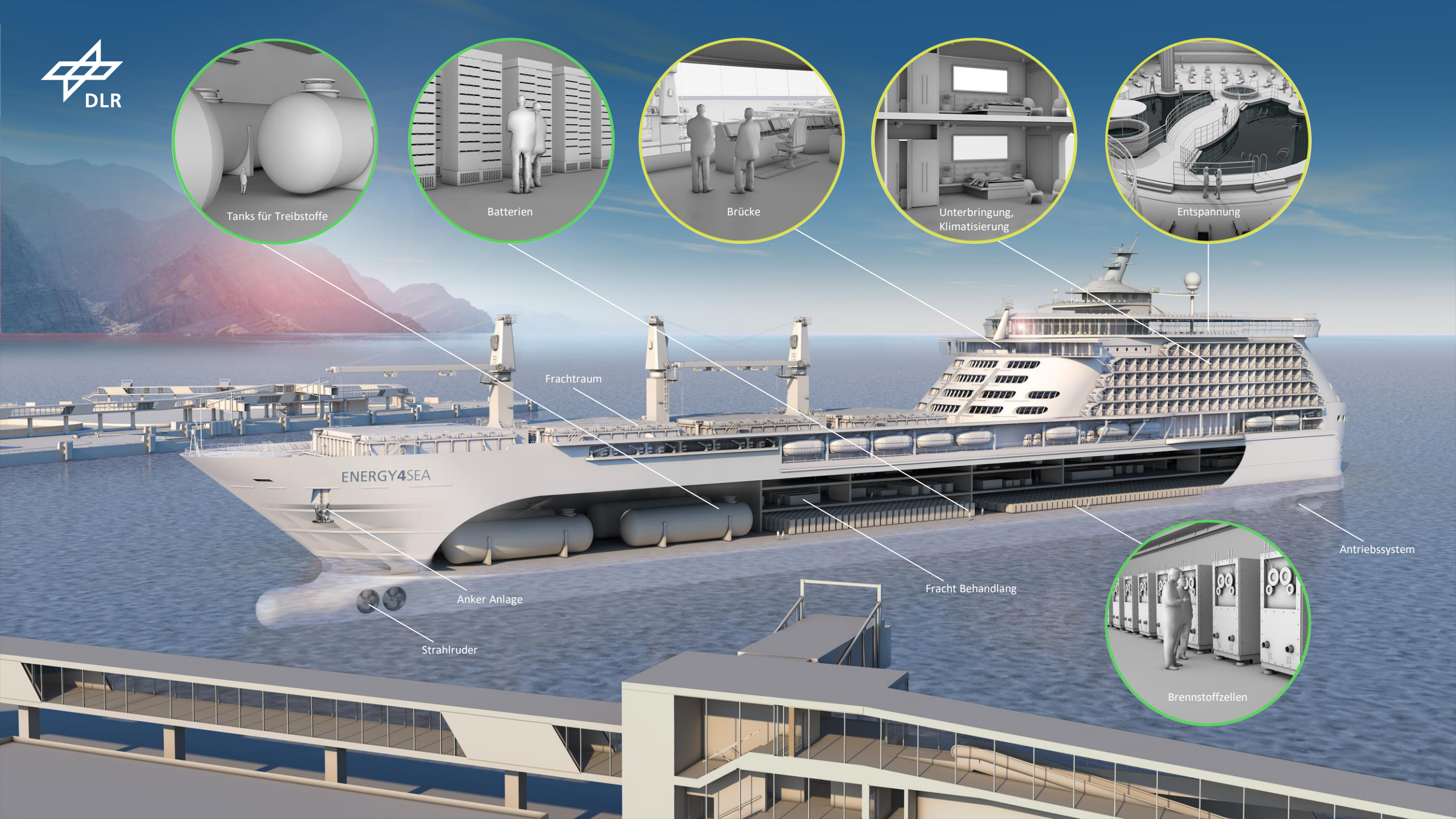
Brücke



Unterbringung,
Klimatisierung



Entspannung



Frachtraum

ENERGY4SEA

Anker Anlage

Strahlruder

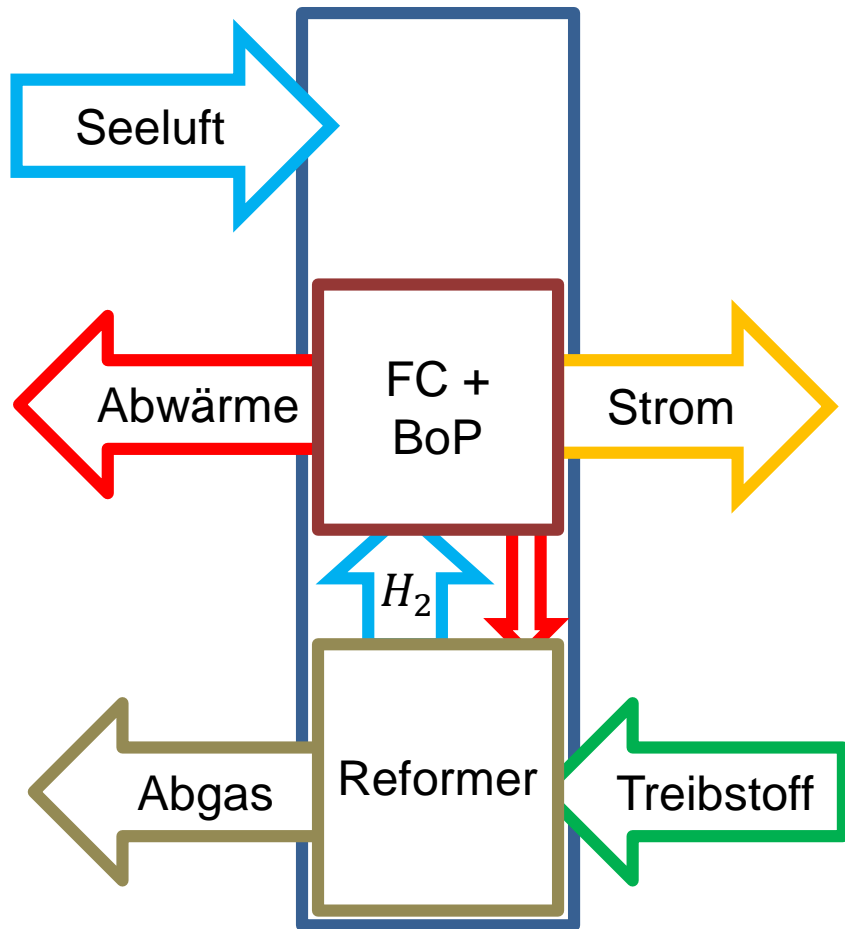
Fracht Behandlung

Antriebssystem



Brennstoffzellen

Energiewandler und –Systeme mit Brennstoffzellen



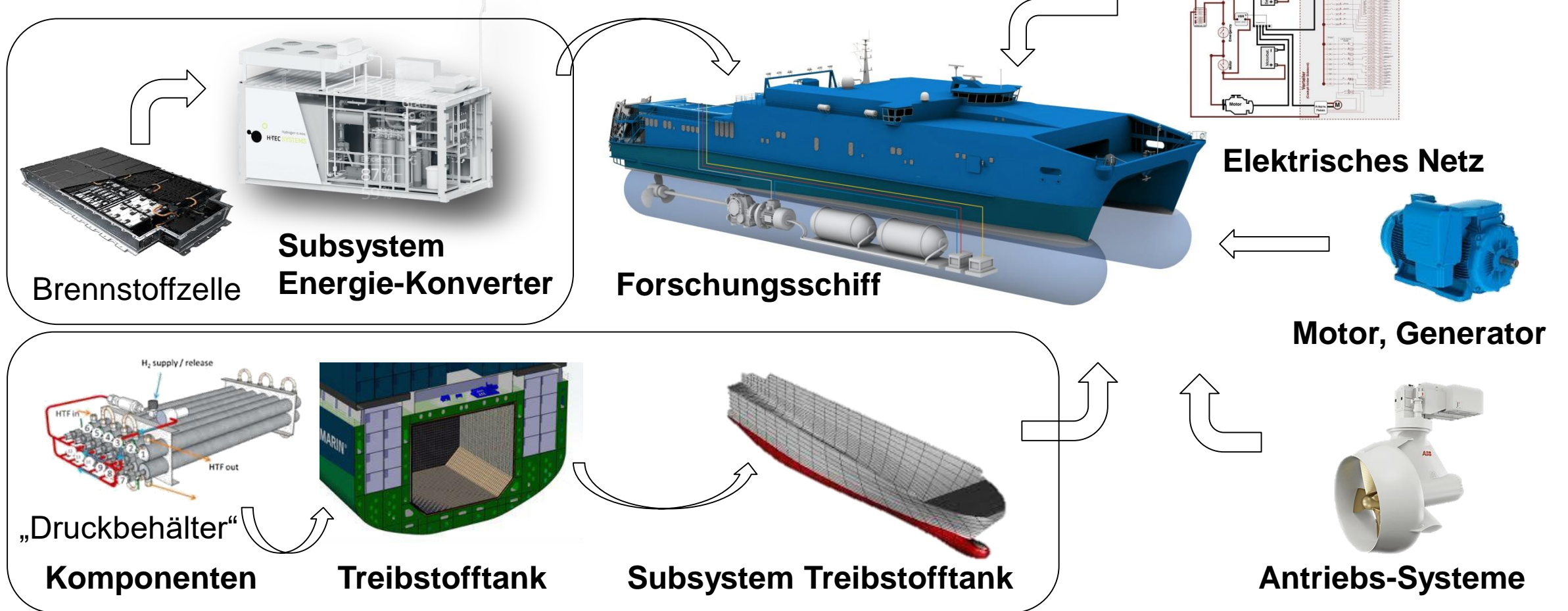
- Entwicklung von hoch effizienten und skalierbaren Energiewandler Systemen
 - Optimierte Nutzung der Abwärme
 - Retrofit Potential
 - Minimierung der Kosten
- Nachweis der Eignung zum Erproben von Energiewandlern von bis zu 1,5 MWel
- Diagnose der energetischen Anforderungen für unterschiedliche Schiffstypen



Schiffsintegration

Komponenten und Strukturen mit Nachweis der gesicherten Betriebsweise

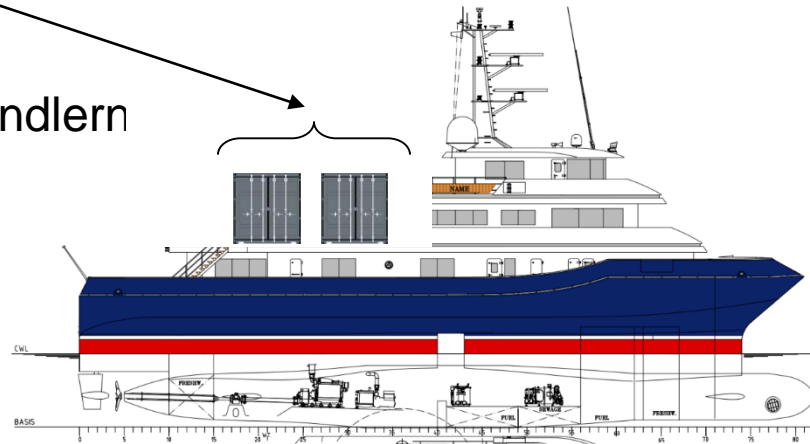
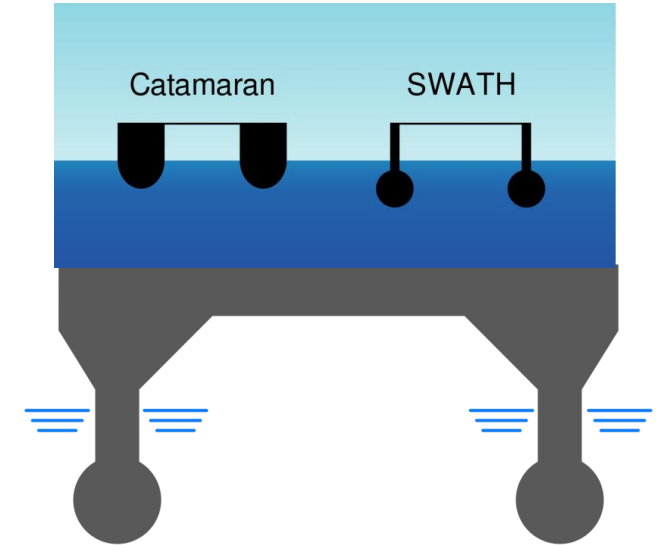
Schiffs und Systemintegration für Energiesysteme an Bord von Schiffen



Demonstrator Schiff

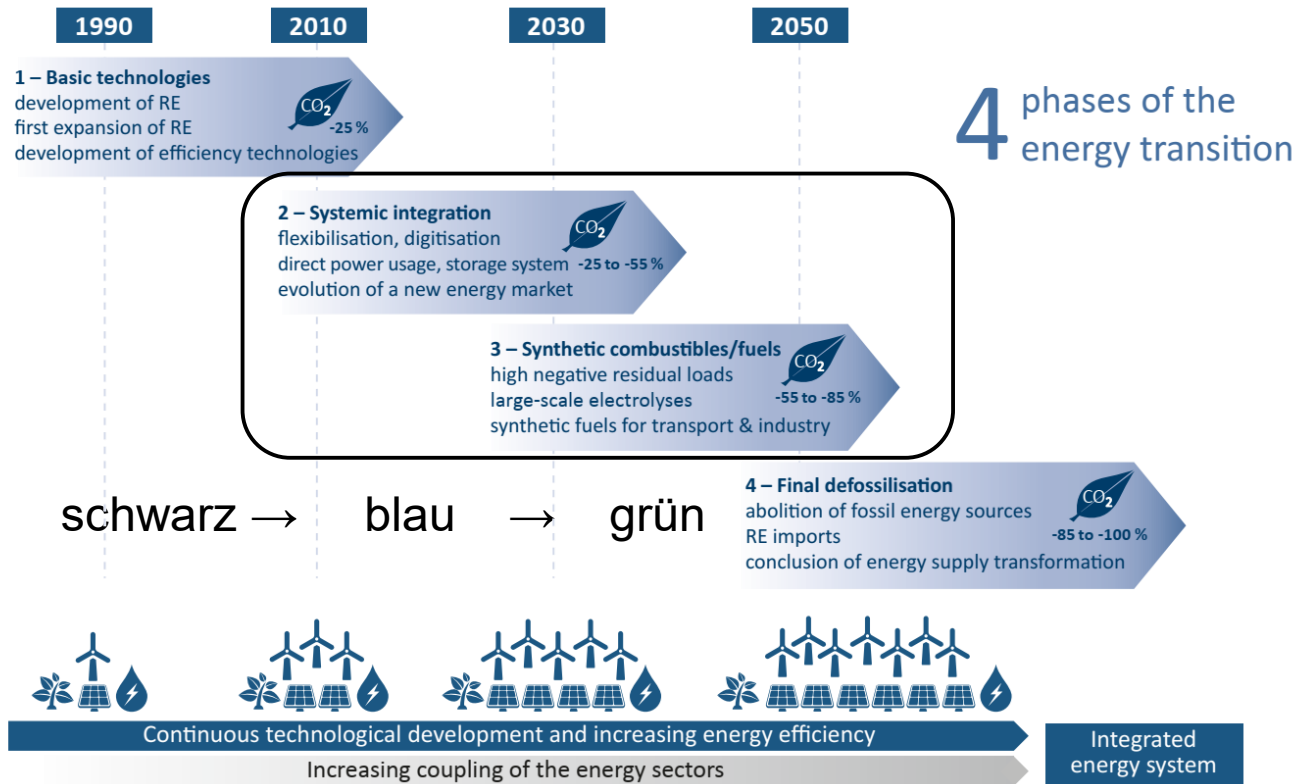
Verfügbar ab 2024

- Diesel-elektrisches Energiesystem
 - Digitale zweite Brücke (autonomer Betrieb)
 - Stimulation von Betriebsbedingungen bei schwerer See (Rollen, Stampfen)
 - Deck Installation von 2 x 20“ ISO Containern
 - 1 x Brennstoffzelle
 - 1 x Treibstoff Container
 - Temporäre Seeerprobung von Energiewandlern
 - Batterien fest installiert
 - Einbindung von Brennstoffzellen im Bereich von: 200 kW - 1500 kW
- ❖ **Motorenprüfraum**



Zukünftige Entwicklungen in der Schifffahrt

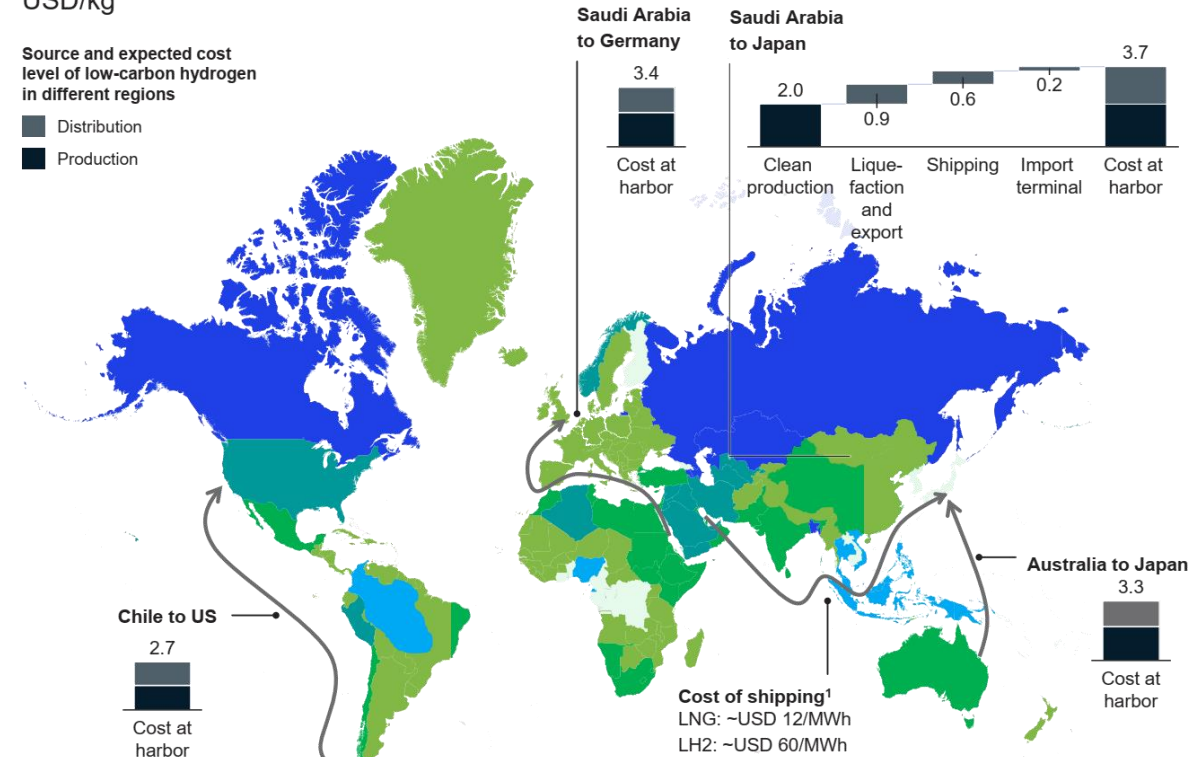
• Die Phasen des Übergangs zu regenerativen Energien



[Coupling the different energy sectors – options for the next phase of the energy transition \(Series on Science-Based Policy Advice\), 2018. ISBN: 978-3-8047-3673-3](#)

• Versorgungspfade mit Energie als “Wasserstoff”

Cost of shipping liquid hydrogen across regions, 2030
USD/kg

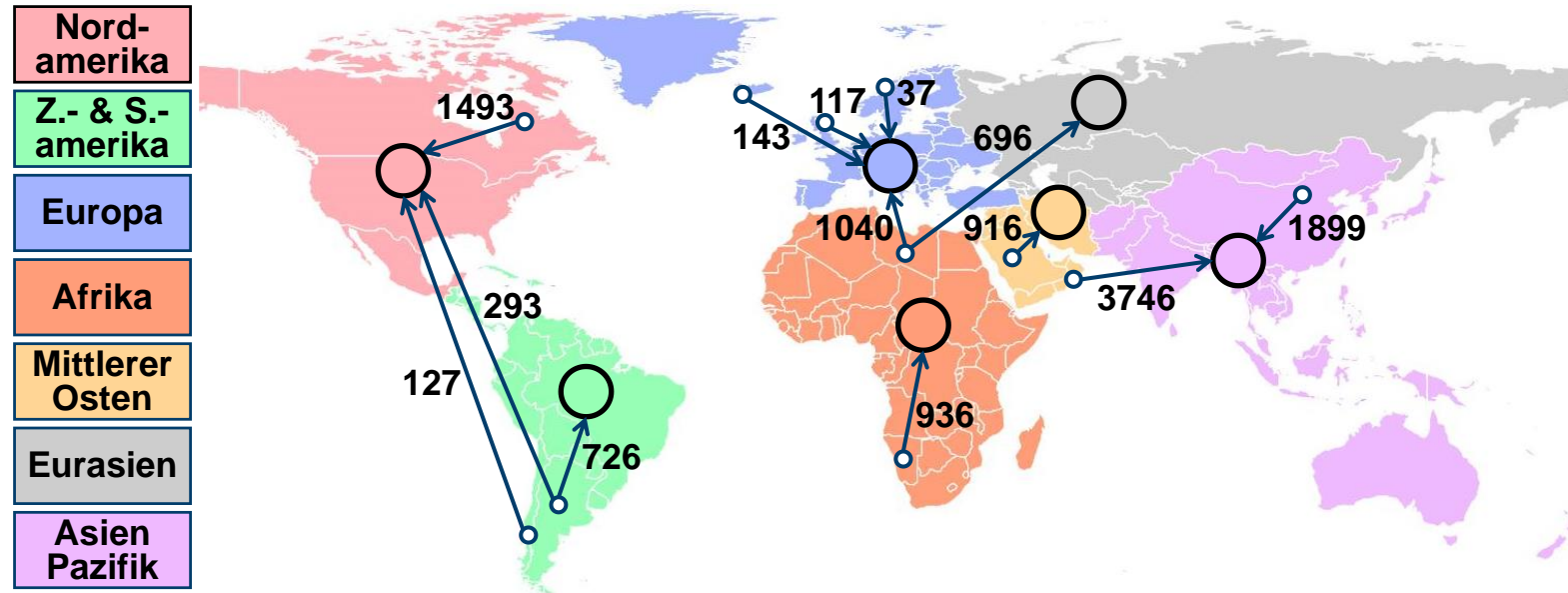


1. Includes liquefaction, terminals, and shipping

SOURCE: McKinsey Energy Insights

[Hydrogen Council, Path to hydrogen competitiveness, - A cost perspective, 20/01/2020, 27](#)

Globale Transportwege für Grünen H₂



Heuser, P.; Grube, T.; Heinrichs, H.; Robinius, M.; Stolten, D. Worldwide Hydrogen Provision Scheme Based on Renewable Energy. Preprints 2020, 2020020100.

Robinius et al. (2020) Wege für die Energiewende, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Energie&Umwelt Bd. 499.

- Grüner Wasserstoffaustausch basierend auf globaler Kostenminimierung
- Vergleichsweise großer Anteil an kontinentalem grünem H₂ Austausch aufgrund der Transportkosten via Schiff
- Für kostenoptimale 95% Treibhausgasreduktion in Deutschland sind grüne Wasserstoffimporte erforderlich



Anlandung von flüssigem Wasserstoff in Kobe (Japan)

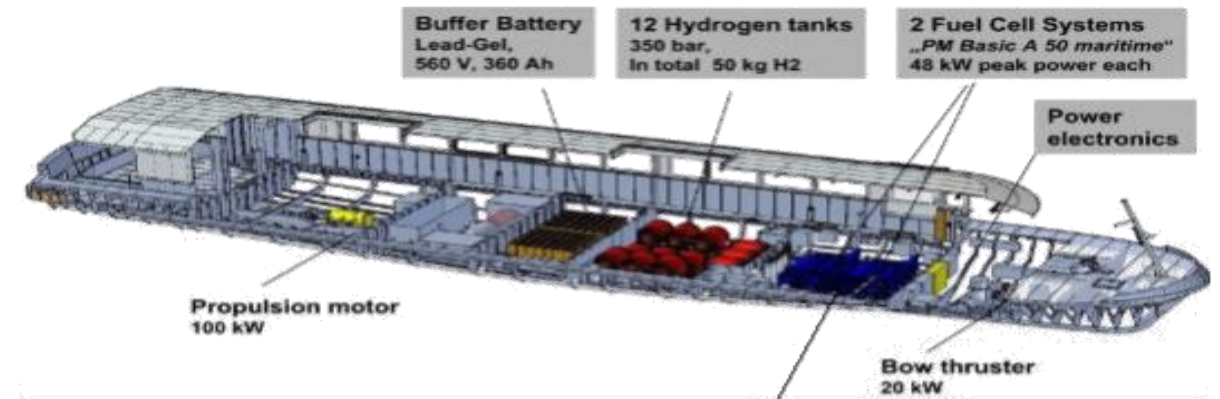


Credit: Kawasaki Heavy Industries
<https://safety4sea.com/worlds-first-liquefied-hydrogen-receiving-terminal-completed/>



Fahrgastschiff Alsterwasser (Projekt ZEMSHIPS)

- Weltweit ersten Fahrgastschiff mit Brennstoffzellenantrieb (2008) (2 x 48 kW) im Fahrplaneinsatz
- Länge ca. 25 m, 100 Fahrgäste
- 100 kW Elektromotor
- Wasserstoff in 12 Hochdrucktanks mit 350 bar und bis zu 50 kg



<http://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/article1467409/Brennstoffzellen-werden-seetuechtig.html>

<http://www.greenmotorsblog.de/brennstoffzellenauto/clean-energy-partnership-%E2%80%93-multitalent-brennstoffzelle/14268/>

Aktuelle Wasserstoff-Schiffe

- Wasserstoff-Fähren
 - Im Bau
 - Indienststellung geplant für Q1/2022

- RoRo Fähren in Planung
 - 24 MW Brennstoffzellen
 - Geplant für 2027 in der Ostsee

- LH2 als Tank-System
 - Zugelassen von mehreren Klassen



<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/norwaysquos-first-hydrogen-powered-car-ferries-take-shape-55559>



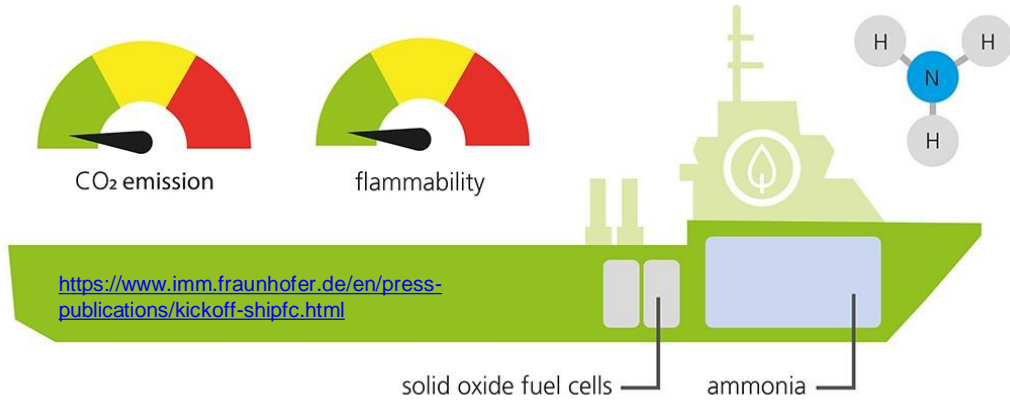
<https://www.cruiseandferry.net/articles/dfds-to-develop-pioneering-hydrogen-powered-ferry>



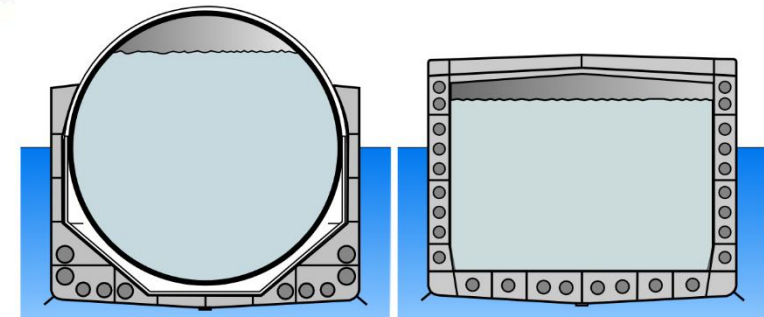
<https://www.man-es.com/company-releases/press-details/2020/11/10/man-cryo-announces-series-of-hydrogen-projects>



Ammoniak als maritimer Treibstoff



<https://bioage.typepad.com/a/6a00d8341c4fbe53ef01a73d990241970d-popup>



<https://de.wikipedia.org/wiki/Tanker>



Forschungsfragen zur „richtigen“ Energieinfrastruktur

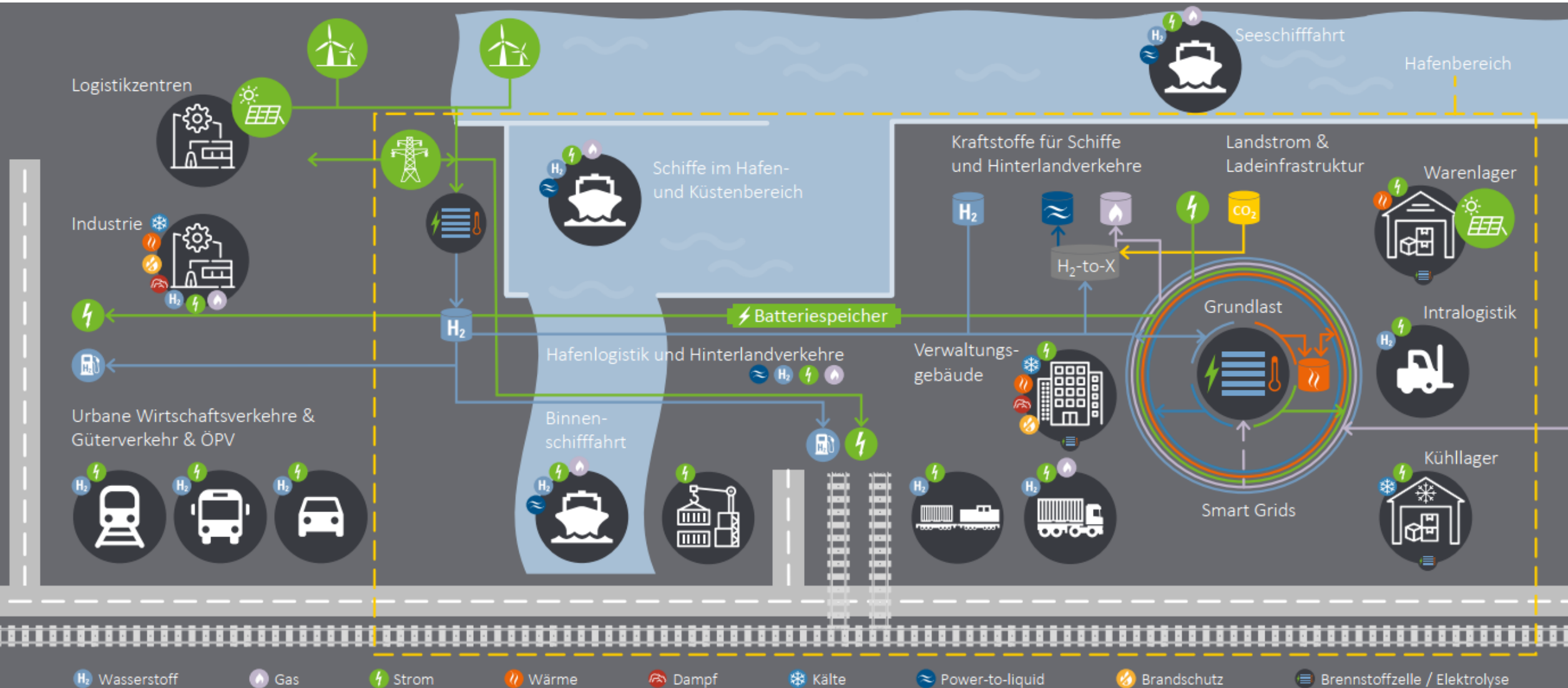
- Eingrenzung der verschiedenen Energieträger auf 2-3 potentielle Treibstoffe
- Betrachtung der kompletten Wirkungsgradkette (Well-to-wake)
- Die Art der Energiewandlung auf Schiffe wird sich in den kommenden Jahren verändern (müssen), um die gesetzten Klimaziele einzuhalten
- Praktische Umsetzung indem die Energiewandler samt Subsystem zunächst an Land und später an Bord des Forschungsschiffes



Quelle: fathom.world by Samantha Fisk



Vernetzung im Hafen (NOW Schaubild)



Wasserstoff und Brennstoffzelle sind schon im Hafen angekommen

- Anwendungen wurden schon erfolgreich demonstriert
- Brennstoff-Versorgung über zentrale Infrastruktur
- Klare Vorteile durch weniger Emissionen
- Minderverbrauch möglich (Hybridisierung)
- Technische Vorteile sind realisierbar (Wärmenutzung)
- Rechtliche Rahmenbedingungen sind prinzipiell vorhanden
- Welche Applikationen wollen Sie umrüsten, betreiben, versichern?



ATG Alster-Touristik GmbH

Vorteile von der Symbiose von Hafen und Anwendungen mit EE Versorgung

- Drängenden Herausforderungen unserer Zeit widmen
 - Energieverbrauch
 - Schadstoffe
- Industrie eine leistungsfähigen Hafen-, Infrastruktur verbinden
- Entwicklung der Regionen Hafen mit regionaler Wertschöpfung
- Synergieeffekte von anderen Marktteilnehmern
 - Hafenbetreiber
 - Industrieunternehmen am Hafen
 - Technologieaffine System-Hersteller
 - F&E Einrichtung aus der Region
 - Einbindung in Versorgungsstrukturen



Fahrplan in die Zukunft

- Weltweiter Waren- und Gütertransport erfolgt auch zukünftig per Schiff
- Um das IMO Ziel von -50% CO₂ Äquivalent zu erreichen, dürften ab 2035 nur noch Zero-Emissionen Schiffe vom Stapel laufen
- Dafür müssen neue Energiesysteme in Hard- und Software ab 2034 zur Verfügung stehen
- Alle relevanten Komponenten müssen 2032 zur Erprobung verfügbar sein
- Zugelassene erneuerbare Treibstoffe müssen als Infrastruktur ab 2035 vorhanden sein
- Die Regeln für alternative Treibstoffe müssen bis 2030 auf IMO Ebene verabschiedet sein
- Alternative Treibstoffe verändern den Schiffbau, eine Fokussierung auf mögliche Treibstoffe sollte bis 2024 erfolgen





<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Schiff>

WATER TRANSPORTATION—DEVELOPMENT OF MERCANTILE MARINE

- 1—Fijian Boat. 2—Spanish Caravel Santa Maria: Flag Ship of Christopher Columbus. 3—Indian Canoe.
- 4—“Savannah,” the First Steamship to Cross the Atlantic, 1819. The paddle-wheels could be unshipped when the wind was fair. 5—The Clermont, the First Steamboat, invention of Robert Fulton, 1807.
- 6—Ship in Full Sail. 7—Chinese Junk. 8—Canard Liner “Mauretania.” 9—A Modern Yacht.

Zukunft gestalten!

Wie sehen die Schiffe 2040 aus?

Ruder, Segel, Dampfmaschine bestimmten, wie Schiffe gebaut wurden. Anwendungen veränderten dies. Energieträger beeinflusst die Zukunft!



<https://www.dvz.de/rubriken/see/detail/news/hyundai-merchant-marine-will-22000-teu-schiffe-ordern.html>



<https://www.golem.de/news/autonome-schiffe-und-abends-geht-der-kapitaen-nach-hause-1812-137986.html>

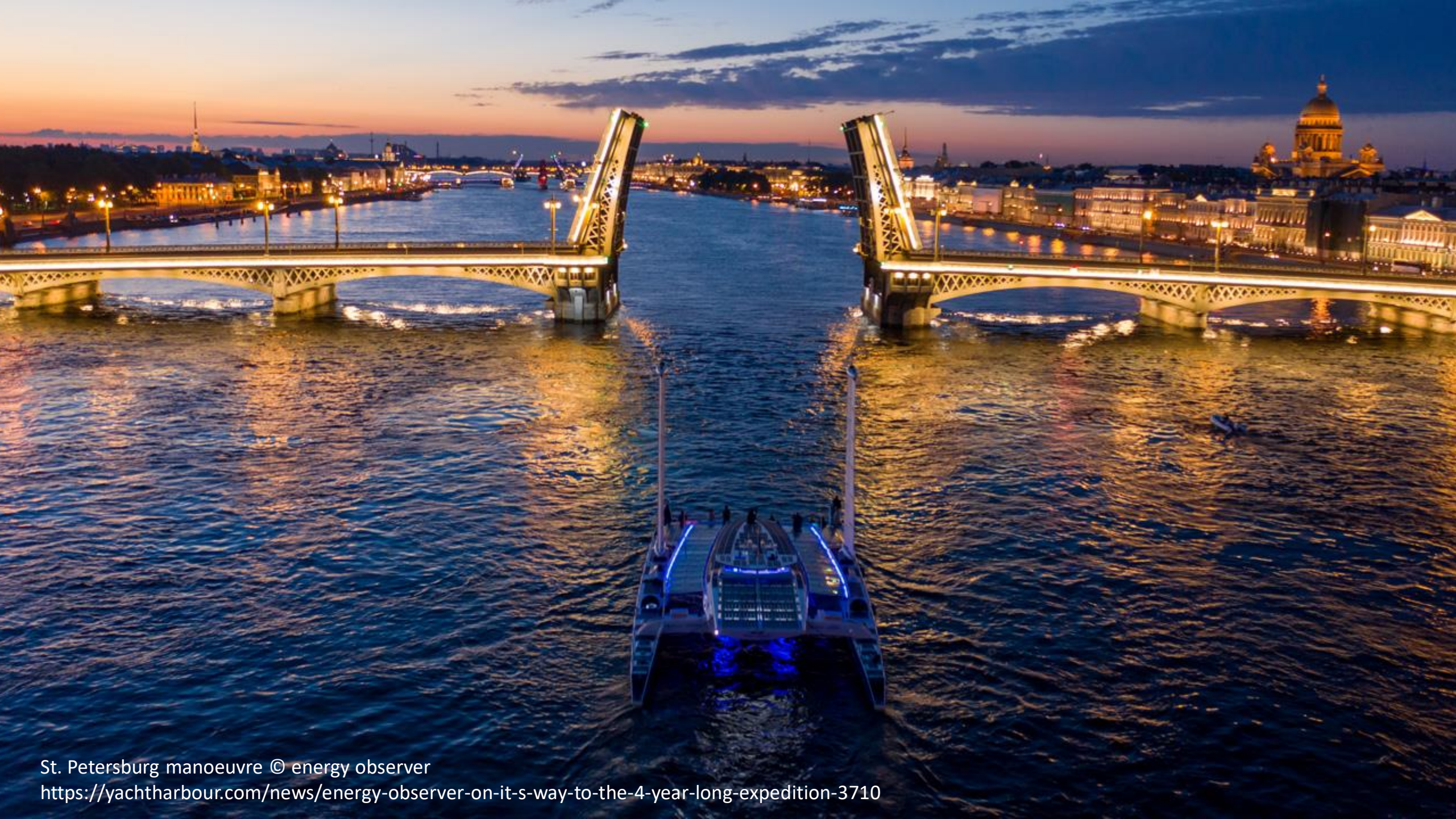


<https://schiffsradar.org/msc-cruises-neue-schiffe-erhalten-wartsila-motoren/>



<https://www.dvz.de/rubriken/see/detail/news/wilhelmsen-und-kongsberg-gruenden-erste-reederei-fuer-autonome-schiffe.html>





St. Petersburg manoeuvre © energy observer
<https://yachtharbour.com/news/energy-observer-on-it-s-way-to-the-4-year-long-expedition-3710>

Kontakt zum DLR-Institut für Maritime Energiesysteme



Kommissarischer wissenschaftlicher Institutsleiter

Dr. Alexander Dyck

alexander.dyck@dlr.de

+49 441 99906-310

