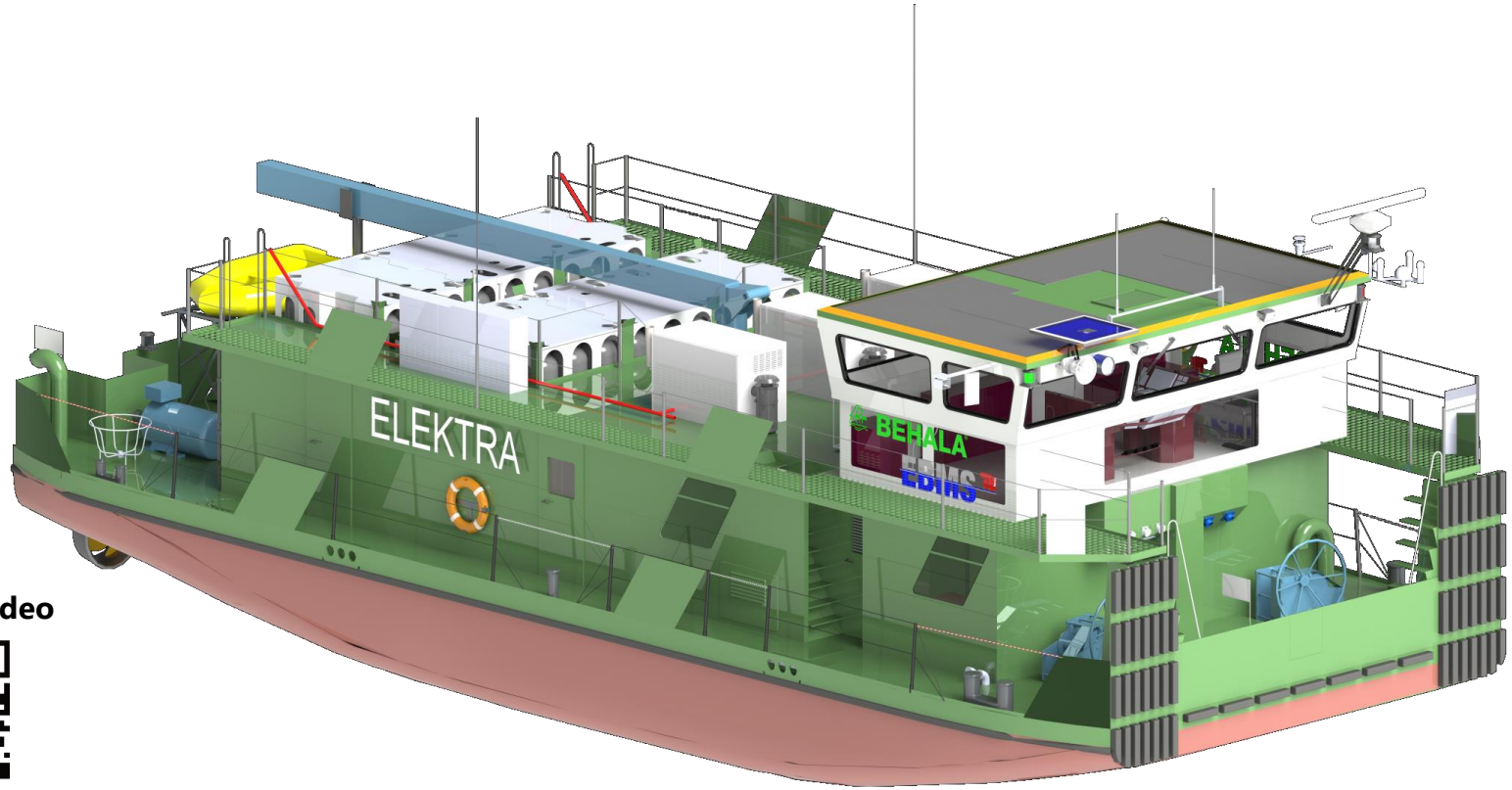
ELEKTRA

Elektromobilität auf dem Wasser mittels Brennstoffzelle und Wasserstoff



ELEKTRA-Video

Dr.-Ing. Anna Loewe
15. Master Class Course Conference "Renewable Energies"
Eberswalde, den 30. November 2020

Gefördert durch:
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:
NOW nip Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
ptj Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich

ANLEG Advanced Technology
BEHALA
BALLARD
Schiffswerft HERMANN BARTHEL GMBH
EST-Floattech Intelligent Energy Storage Solutions
HGK SHIPPING
SER
EBMS

© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. **Anforderungen und Randbedingungen**
2. **Partner**
3. **Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin**
4. **Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA**
5. **Infrastruktur und Energieversorgung**
6. **Zulassungsprozess**
7. **Zusammenfassung - Ausblick**

© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. **Anforderungen und Randbedingungen**
2. Partner
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin
4. Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA
5. Infrastruktur und Energieversorgung
6. Zulassungsprozess
7. Zusammenfassung - Ausblick

© TU Berlin - EBMS

1. Anforderungen und Randbedingungen – lokal und global emissionsfrei

Realisierung des Kanalschubbootes ELEKTRA

- Beteiligung des Verkehrsträgers **Binnenschiff** an **den klima- und umweltpolitischen Zielen** der Bundesrepublik Deutschland
- **Realisierung eines emissionsfreien hybrid-elektrisch angetriebenen maritimen Versuchsträgers** für den Einsatz in der Region Berlin-Brandenburg und zwischen Berlin und Hamburg
- Erreichen eines **Alleinstellungsmerkmals in Bezug auf den Hauptantrieb und die Energieversorgung** an Bord beim Frachttransport
- **Vorbildfunktion als emissionsfreies Arbeitsschiff** hinsichtlich ökologischer Anforderungen innerhalb sensibler Regionen
- **Übertragbares Energiekonzept für die Fracht-, Personen-, Fähr- und Sportschifffahrt**
- Sicherstellung der **Verfügbarkeit von Wasserstoff als Energiespeicher und einer Landinfrastruktur** für die Binnenschifffahrt

© TU Berlin - EBMS

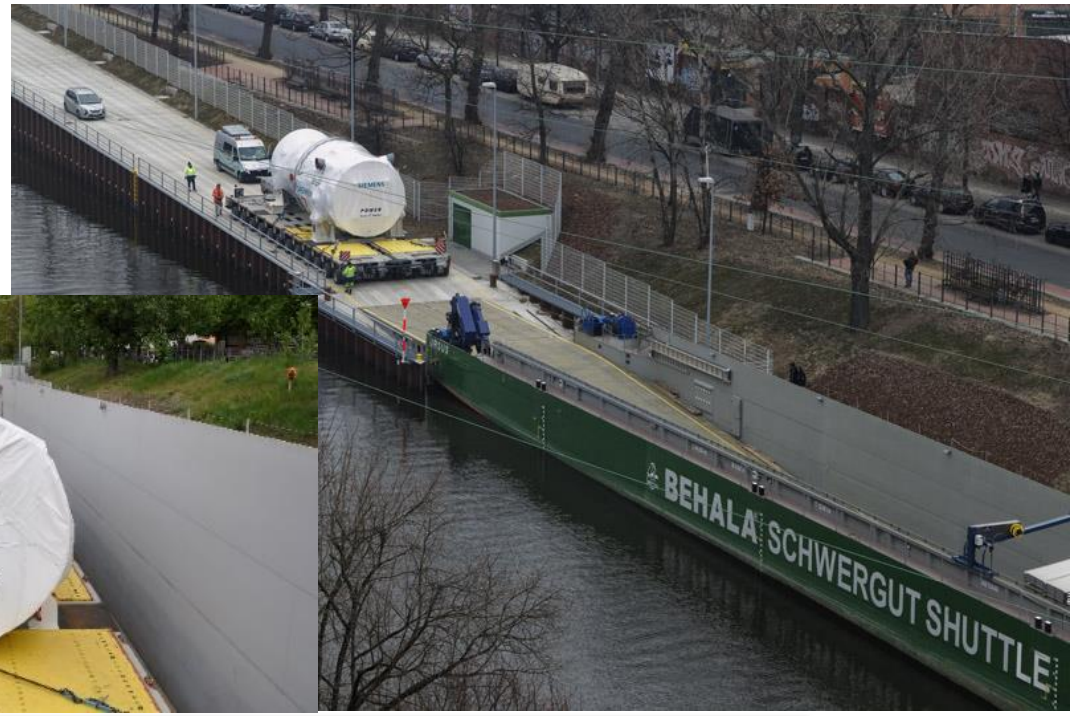
1. Anforderungen und Randbedingungen – lokal und global emissionsfrei

Hauptaufgabe der „ELEKTRA“ in Verbindung mit Schwergutleichter „URSUS“:

- RoRo – Projekt- / Schwergutladungen
  regionaler & überregionaler Transport von Gas Turbines der Siemens AG / Werk Berlin
  Huttenstrasse

Schwergut RoRo-Leichter „URSUS“
Länge 64,50 m / Breite 9,50 m
Verdrängung 1.400 t / Tiefgang 1,30 m – 3,06 m

Rampe “Neues Ufer”
Länge 265 m



© TU Berlin - EBMS

1. Anforderungen und Randbedingungen – lokal und global emissionsfrei

Regionaler Betrieb

- Max. Schublast 1.400 t
- Tagesreichweite ca. 65 km
- Fahrgebiet: Zone 4
- Betriebszeit 8 Stunden täglich
- Dienstgeschw. 8 km/h, min. 10 km/h
- Energie: vorrangig Akku-elektrisch

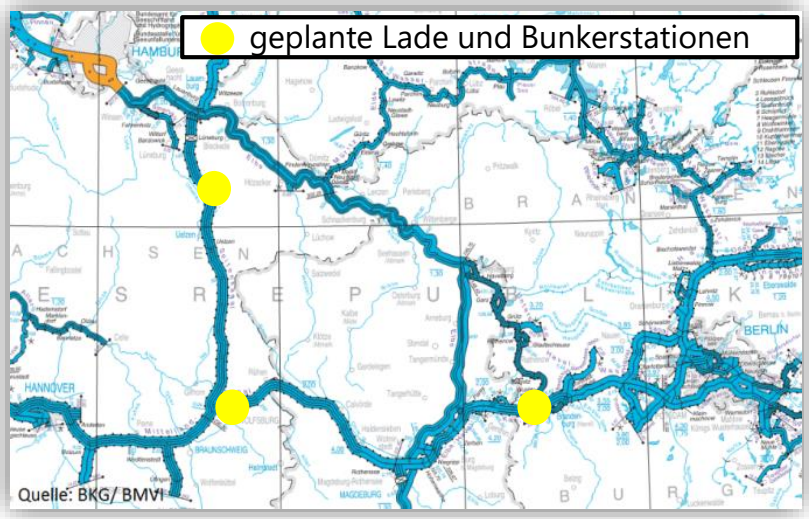
© TU Berlin - EBMS

1. Anforderungen und Randbedingungen – lokal und global emissionsfrei

Regionaler Betrieb

- Max. Schublast 1.400 t
- Tagesreichweite ca. 65 km
- Fahrgebiet: Zone 4
- Betriebszeit 8 Stunden täglich
- Dienstgeschw. 8 km/h, min. 10 km/h
- Energie: vorrangig Akku-elektrisch

Überregionaler Betrieb



- Berlin ↔ Hamburg
- Max. Schublast 1.400 t
- Tagesreichweite ca. 100 – 130 km
- Fahrgebiet: Zone 3+4 (excl. Rhein)
- Betriebszeit bis 16 Std. täglich
- Dienstgeschw. 8,5 km/h, min. 10 km/h
- Energie: hybrid-elektrisch (Akku + BZ)

© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. Anforderungen und Randbedingungen
2. **Partner**
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin
4. Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA
5. Infrastruktur und Energieversorgung
6. Zulassungsprozess
7. Zusammenfassung - Ausblick

© TU Berlin - EBMS

2. ELEKTRA Familie

2015- 2016

EBMS

BEHALA

Ergebnis:
technische und kommerzielle Machbarkeit nachgewiesen

© TU Berlin - EBMS

2. ELEKTRA Familie

2015- 2016

EBMS

BEHALA

Ergebnis:
technische und kommerzielle Machbarkeit nachgewiesen

+

2017- 2019

SER

HGK SHIPPING

Ausschreibungsreife technische und kaufmännische Unterlagen

© TU Berlin - EBMS

2. ELEKTRA Familie

2015- 2016

EBMS

BEHALA

Ergebnis:
technische und kommerzielle Machbarkeit nachgewiesen

+

2017- 2019

SER

HGK SHIPPING

Ausschreibungsreife technische und kaufmännische Unterlagen

+

2019 - 2024

Schiffswerft HERMANN BARTHEL GMBH

BALLARD

ANLEG Advanced Technology

EST-Floattech Intelligent Energy Storage Solutions

Bau des Versuchsträgers, Zulassung, technische Erprobung

© TU Berlin - EBMS

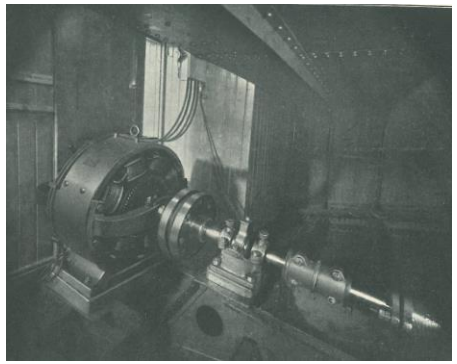
Übersicht

1. Anforderungen und Randbedingungen
2. Partner
3. **Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin**
4. Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA
5. Infrastruktur und Energieversorgung
6. Zulassungsprozess
7. Zusammenfassung - Ausblick

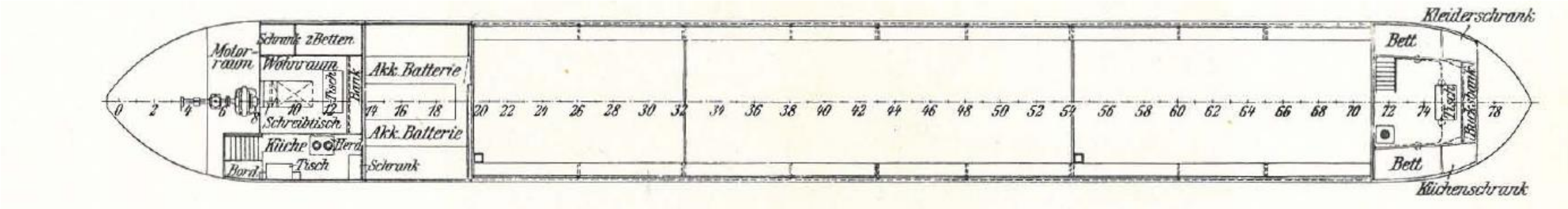
© TU Berlin - EBMS

3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin

Transportaufgabe: Ziegeltransport von Zehdenick *(nördlich Berlins) nach* Berlin
Basis: Finow-Maßkahn 40,0 x 4,6 x 1,3 m, 150 dwt
Power unit: DC 7 kW
Akkumasse: 9,5 t (**6%!** vom dwt, **Blei**akkumulatoren)
Reichweite: **90 km**
Flottengröße: ca. **120 Schiffe** *1908 im kommerziellen Betrieb*



Deutsches Reich 1908,
Antriebsleistung bis zu ca. 500 PS

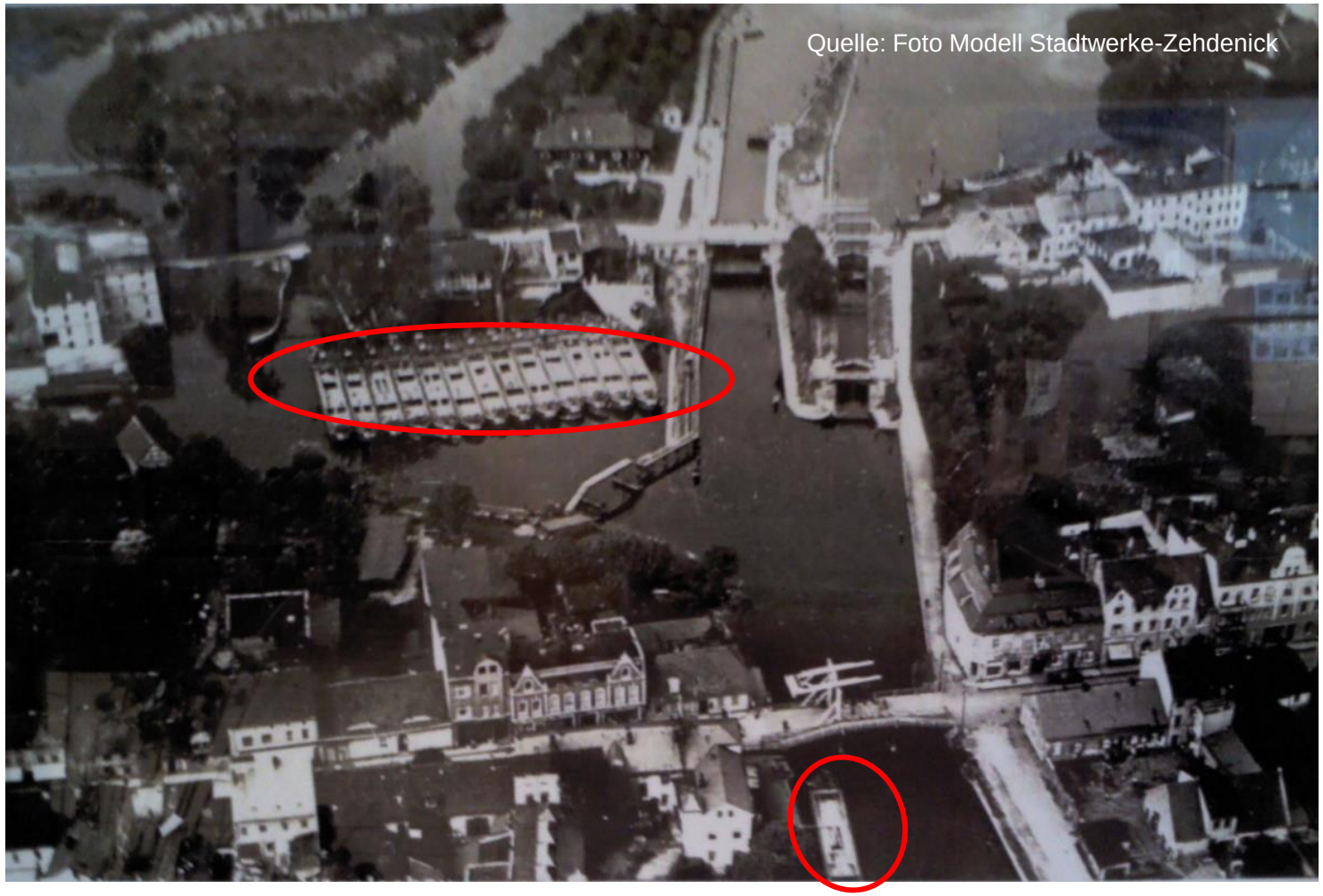


Quelle: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1908

© TU Berlin - EBMS

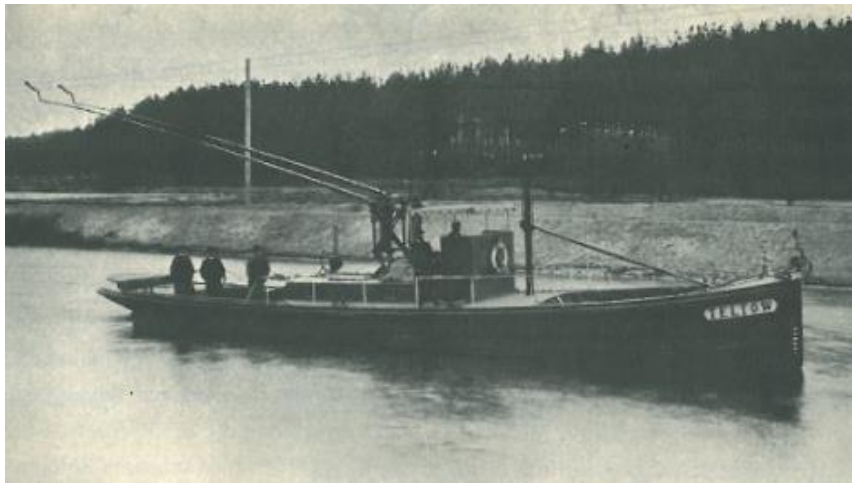
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin

„Erneuerbare Energie“ elektrische Ladestationen in Zehdenick ca. 1910

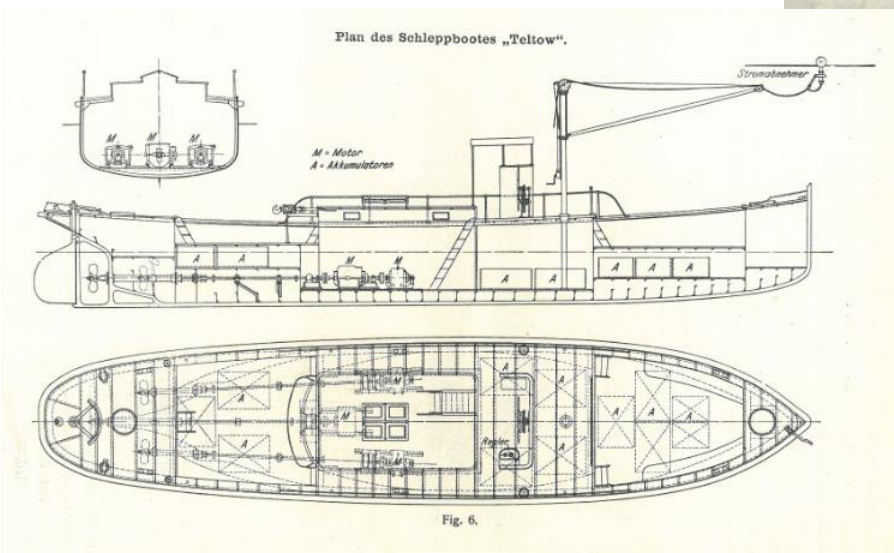


© TU Berlin - EBMS

3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin



Schleppboot „ Teltow“ 1906
- *Schleppzüge bis 250 m Länge und Fahrzeugen mit Einzelantrieb*
- *Oberleitungsanschluß*
- *Hybridantrieb*
- *Versuchsträger (Daten leider verschollen)*



© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. Anforderungen und Randbedingungen
2. Partner
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin
4. **Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA**
5. Infrastruktur und Energieversorgung
6. Zulassungsprozess
7. Zusammenfassung - Ausblick

© TU Berlin - EBMS

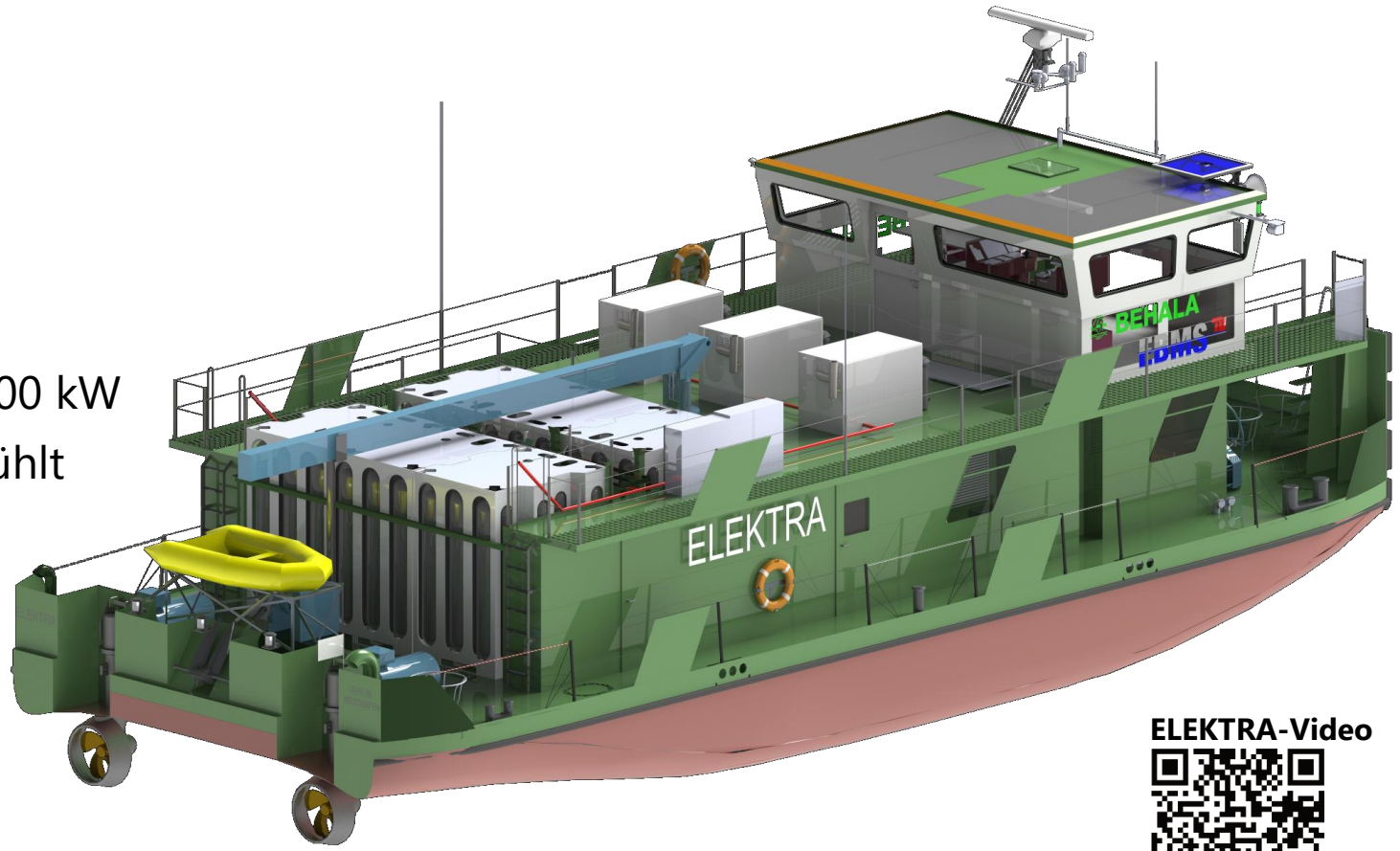
4. Layout – Schiff

Hauptabmessungen

- Länge 20,00 m
- Breite 8,20 m
- Tiefgang 1,25 m
- Verdrängung ca. 140 t

Antrieb

- Ruderpropeller: Schottel - 2 x 200 kW
- E-Motoren: Ramme, wassergekühlt

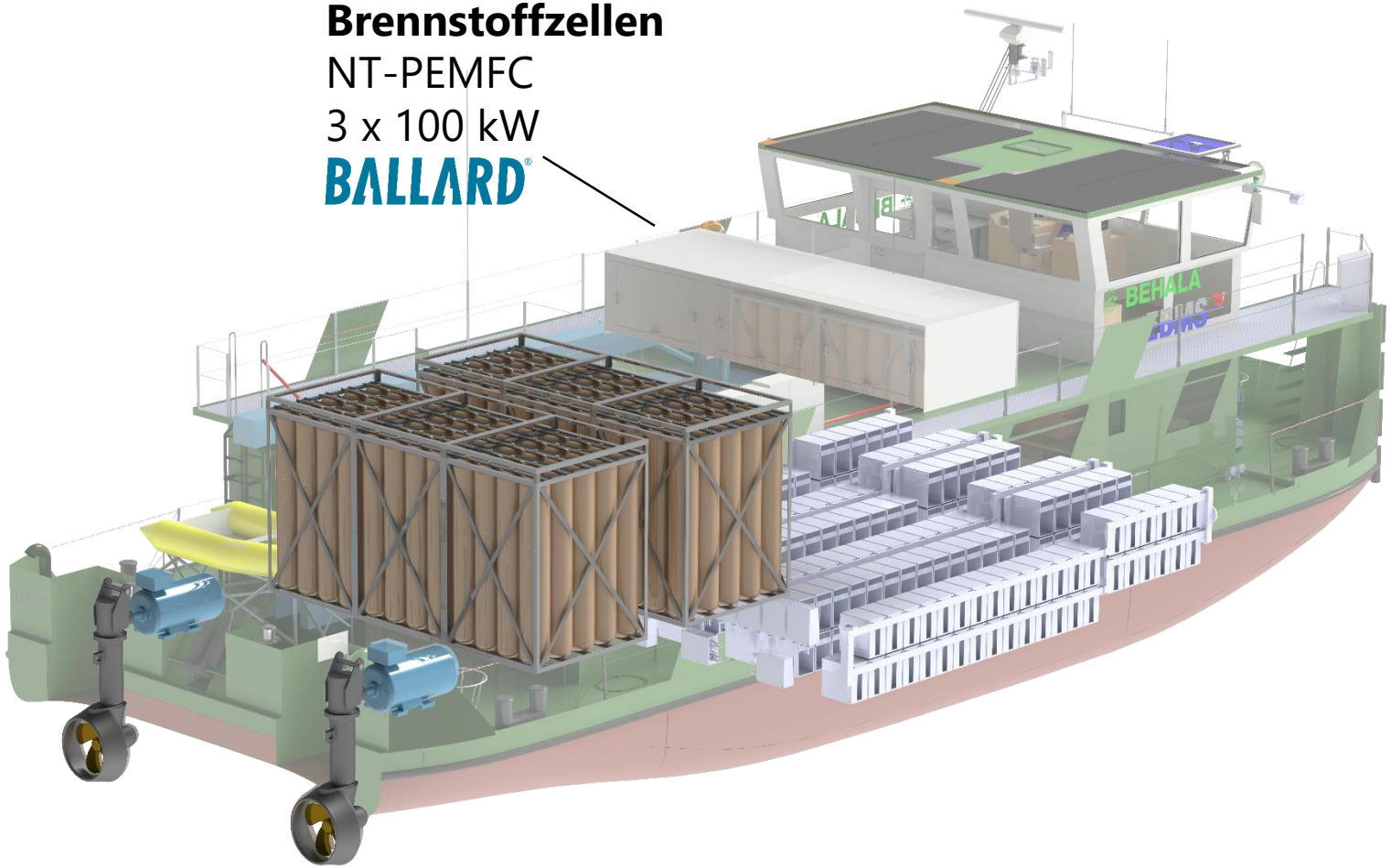


ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS

4. Layout – Energiesystem

Brennstoffzellen
NT-PEMFC
3 x 100 kW
BALLARD®

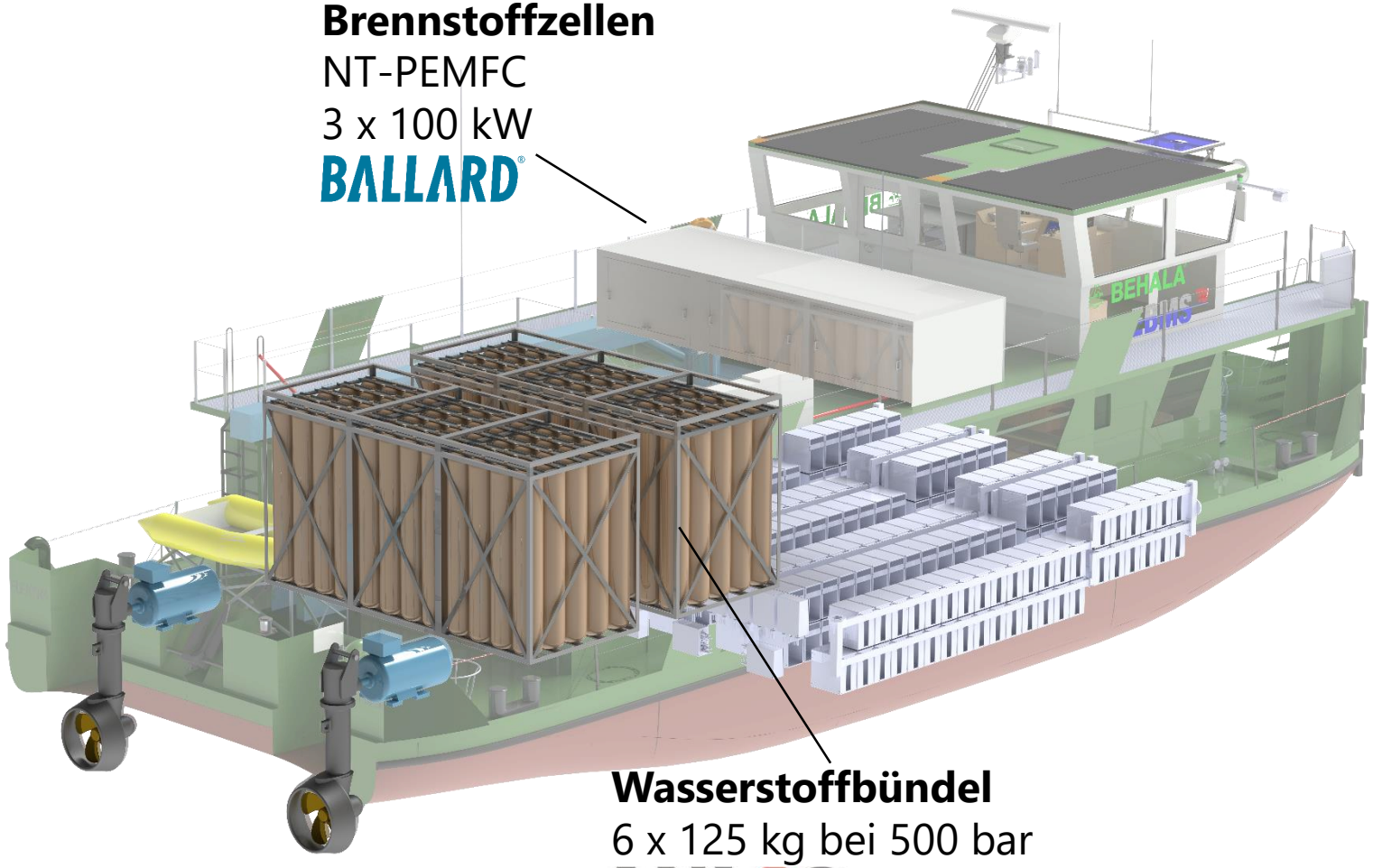


ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS

4. Layout – Energiesystem

Brennstoffzellen
NT-PEMFC
3 x 100 kW
BALLARD®



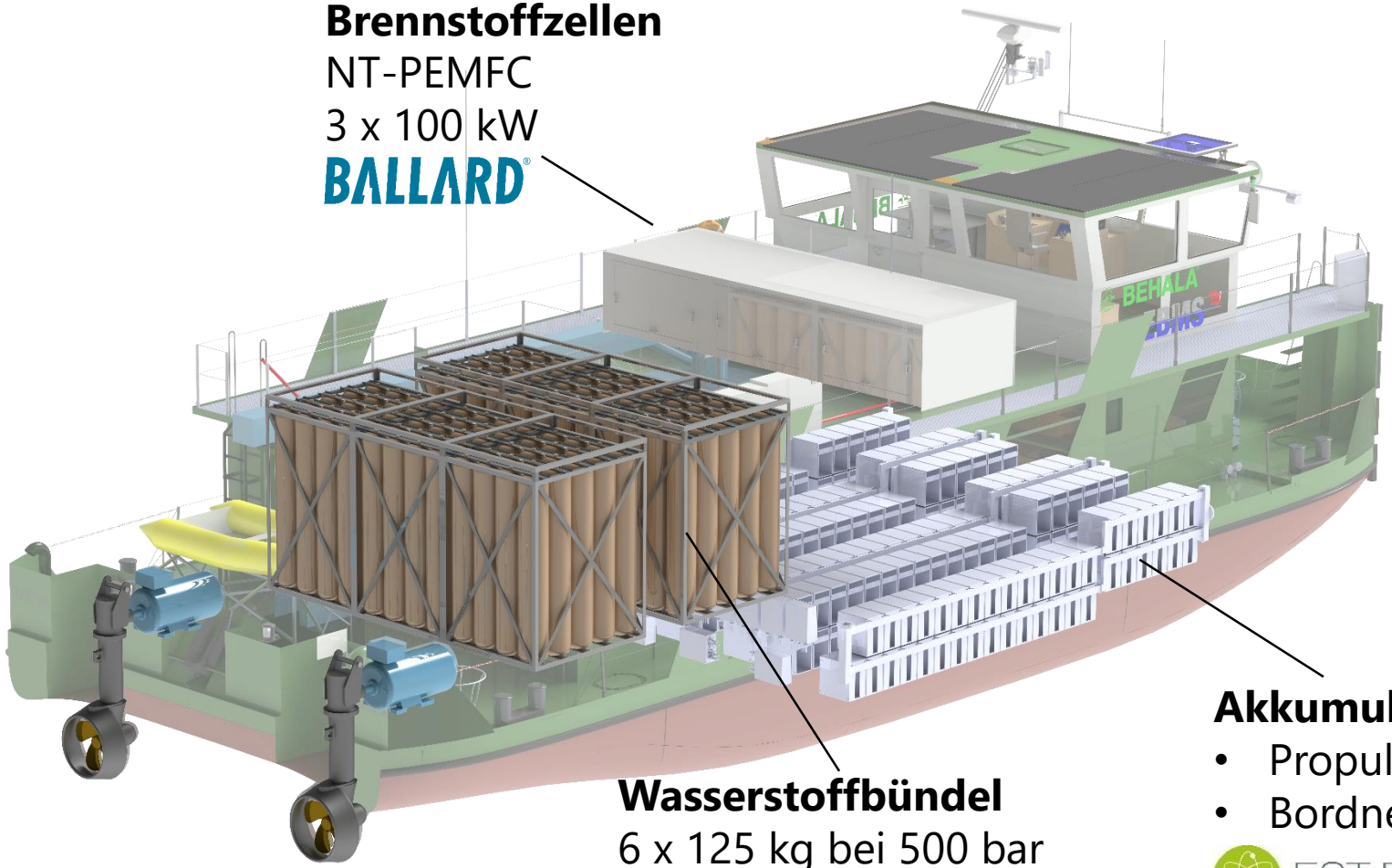
Wasserstoffbündel
6 x 125 kg bei 500 bar
ANLEG Advanced Technology

ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS

4. Layout – Energiesystem

Brennstoffzellen
NT-PEMFC
3 x 100 kW
BALLARD



Wasserstoffbündel
6 x 125 kg bei 500 bar
ANLEG Advanced Technology

Akkumulatoren Li-NMC
- Propulsion 2 x 1.160 kWh
- Bordnetz 2 x 116 kWh

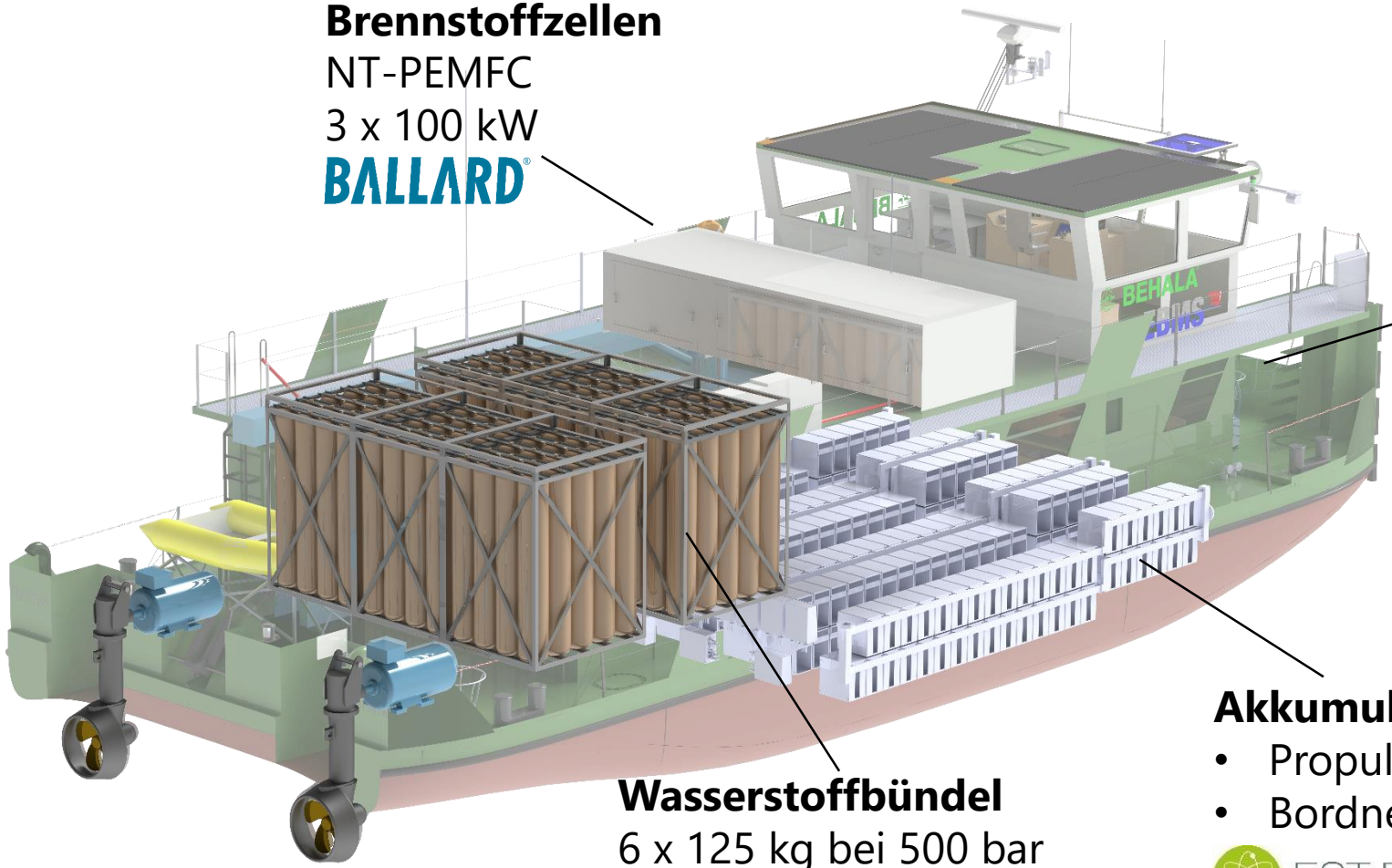
EST-Floattech
Intelligent Energy Storage Solutions

ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS

4. Layout – Energiesystem

Brennstoffzellen
NT-PEMFC
3 x 100 kW
BALLARD



AC-/ DC-Landanschluß
SER

Akkumulatoren Li-NMC
- Propulsion 2 x 1.160 kWh
- Bordnetz 2 x 116 kWh

EST-Floattech
Intelligent Energy Storage Solutions

Wasserstoffbündel
6 x 125 kg bei 500 bar
ANLEG
Advanced Technology

ELEKTRA-Video

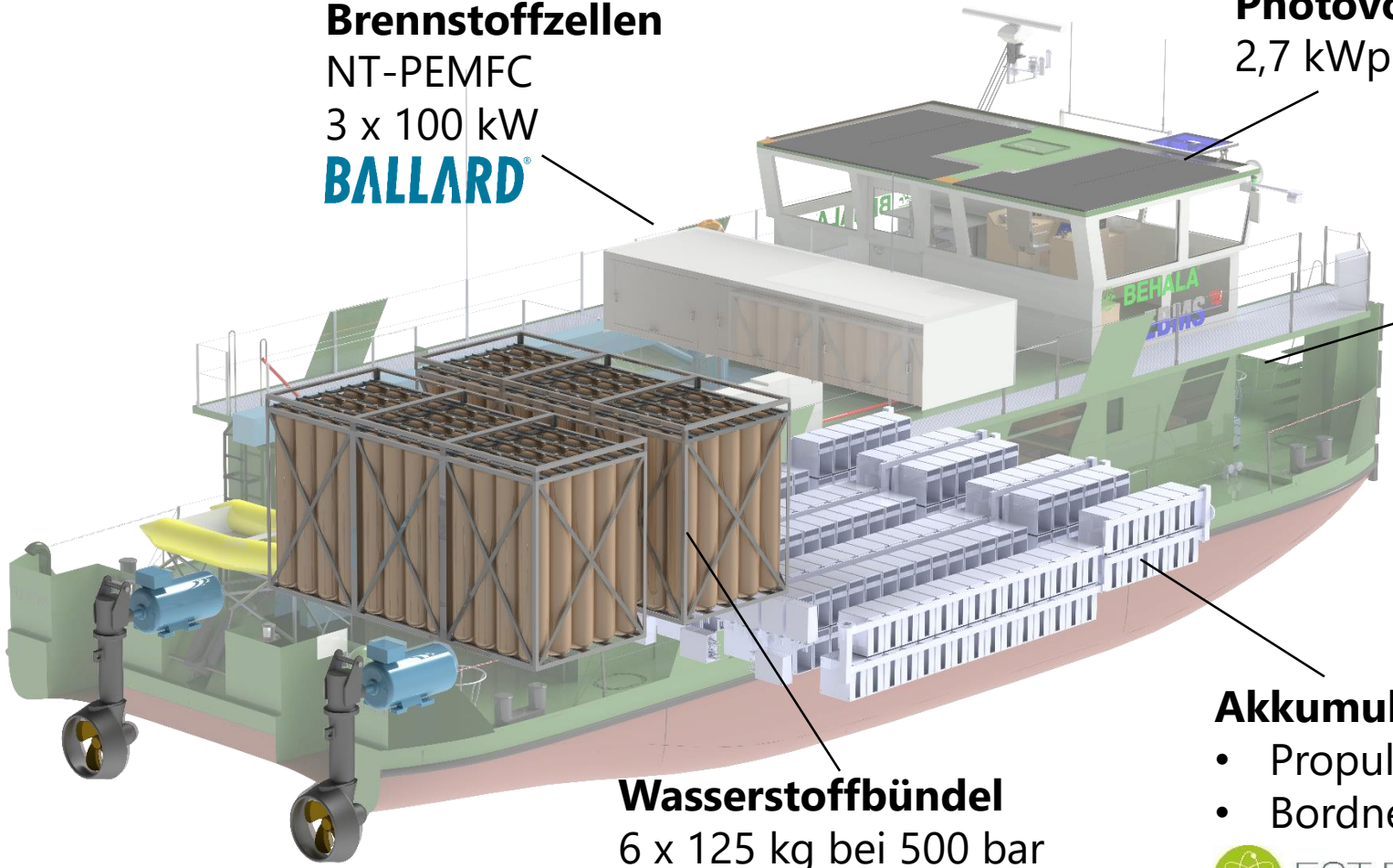
© TU Berlin - EBMS

4. Layout – Energiesystem

Brennstoffzellen
NT-PEMFC
3 x 100 kW
BALLARD

Photovoltaik
2,7 kWp

AC-/ DC-Landanschluß
SER



Akkumulatoren Li-NMC
- Propulsion 2 x 1.160 kWh
- Bordnetz 2 x 116 kWh

EST-Floattech
Intelligent Energy Storage Solutions

Wasserstoffbündel
6 x 125 kg bei 500 bar
ANLEG
Advanced Technology

ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS

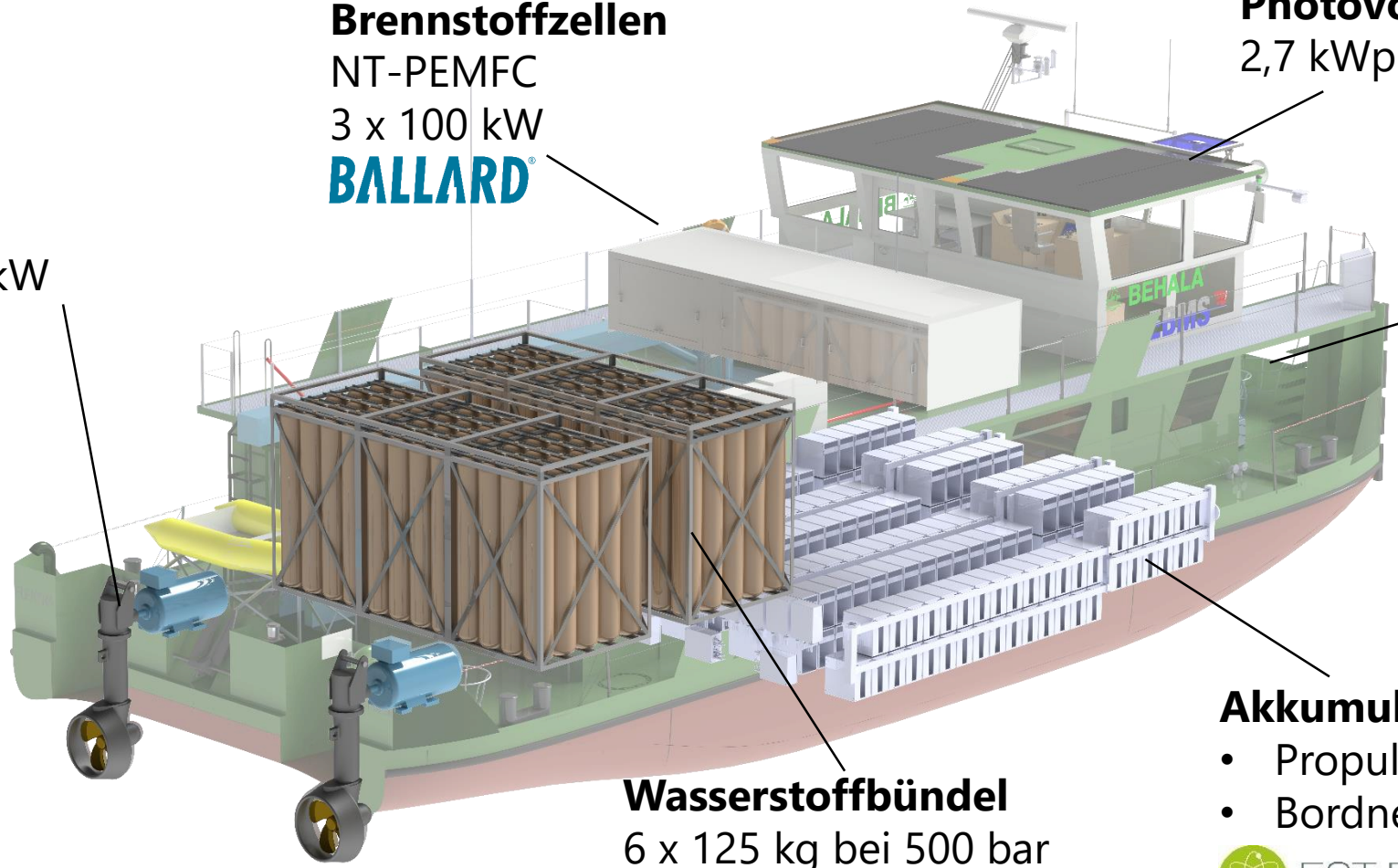
4. Layout – Energiesystem

Brennstoffzellen
NT-PEMFC
3 x 100 kW
BALLARD

Photovoltaik
2,7 kWp

Antrieb
2 x 200 kW

AC-/ DC-Landanschluß
SER



Akkumulatoren Li-NMC
- Propulsion 2 x 1.160 kWh
- Bordnetz 2 x 116 kWh

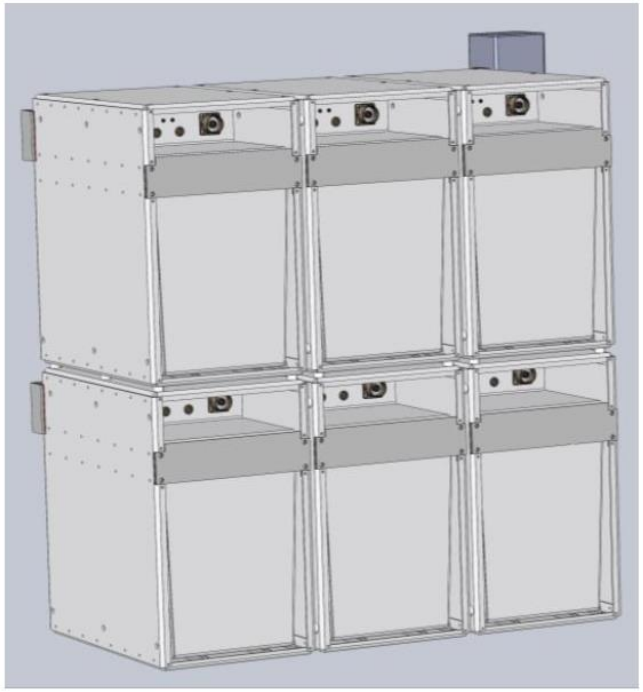
EST-Floattech
Intelligent Energy Storage Solutions

Wasserstoffbündel
6 x 125 kg bei 500 bar
ANLEG
Advanced Technology

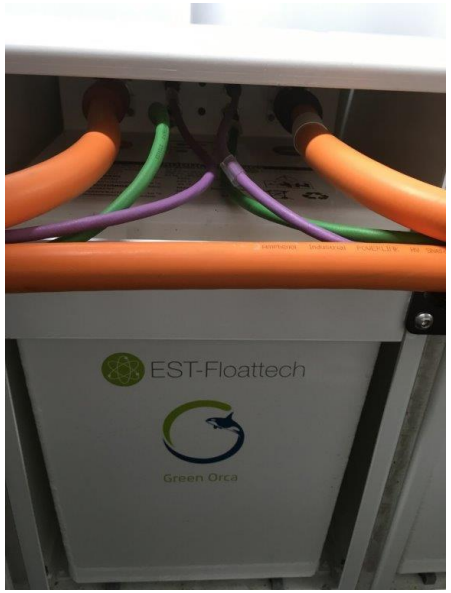
ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS

4. Layout – Energiesystem - Akkumulatoren



EST-Floattech
Intelligent Energy Storage Solutions



Akkumulatoren

Zellchemie: NMC (nickel manganese cobalt oxide)

- **Gesamtkapazität:**
  - ca. 2.250 kWh (nutzbar)
  - ca. 1.800 kWh @EoL (theoretisch ~15-20 Jahre)
- **Gesamtsystemmasse:** ca. 25 t
  (15 % des Gesamtgewichtes der ELEKTRA, *ELEKTRA-spezifisch)*
- incl. **Temperaturmanagement**
- **Integriertes Feuerschutzsystem**
- vollständige **Ladung** über Landanschluss in 7 bis 8 Stunden

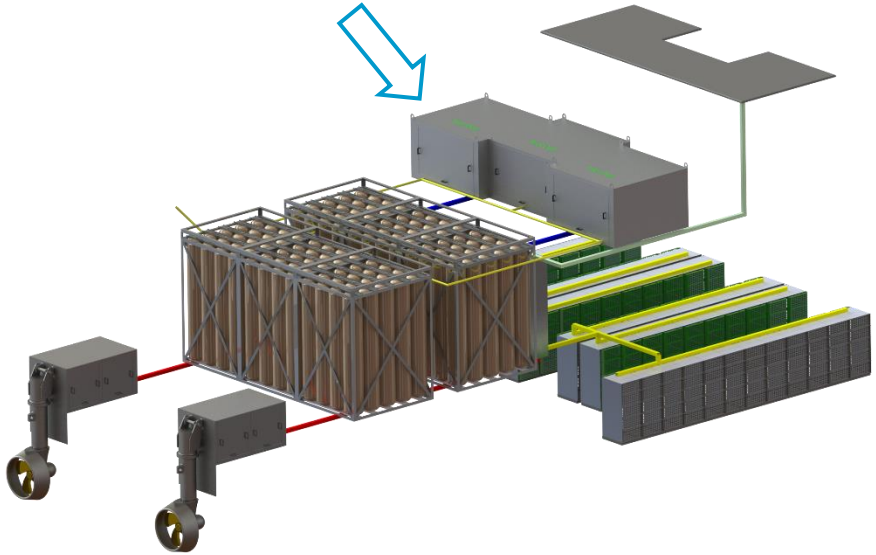
© TU Berlin - EBMS

Brennstoffzellensystem

Dauerlast ca. 200 kW

~ stationäres Betriebsverhalten

- kleines Lastbetriebsfenster
- ~16 Std. Dauerbetriebsfenster



Anordnung der Brennstoffzellen und der H_2-Druckspeicher an Bord der ELEKTRA

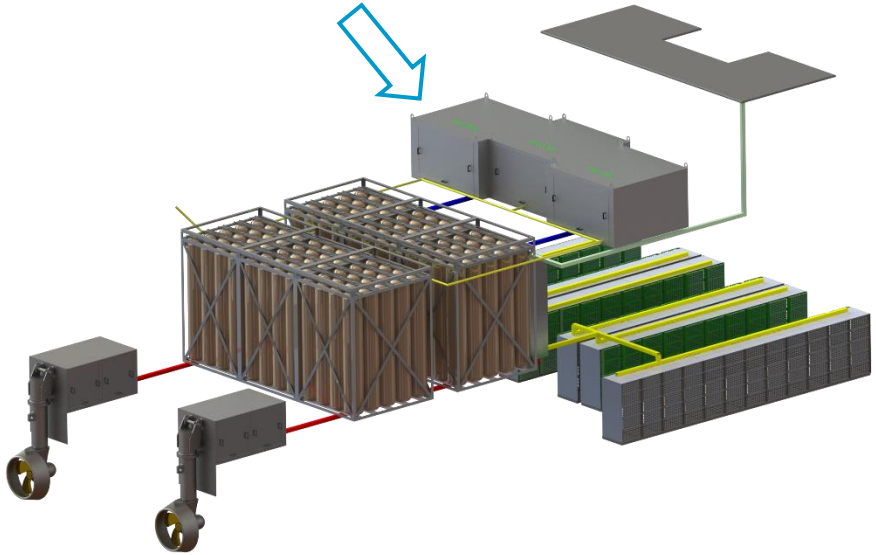
© TU Berlin - EBMS

Brennstoffzellensystem

Dauerlast ca. 200 kW

~ stationäres Betriebsverhalten

- kleines Lastbetriebsfenster
- ~16 Std. Dauerbetriebsfenster



Anordnung der Brennstoffzellen und der H_2-Druckspeicher an Bord der ELEKTRA

BALLARD®

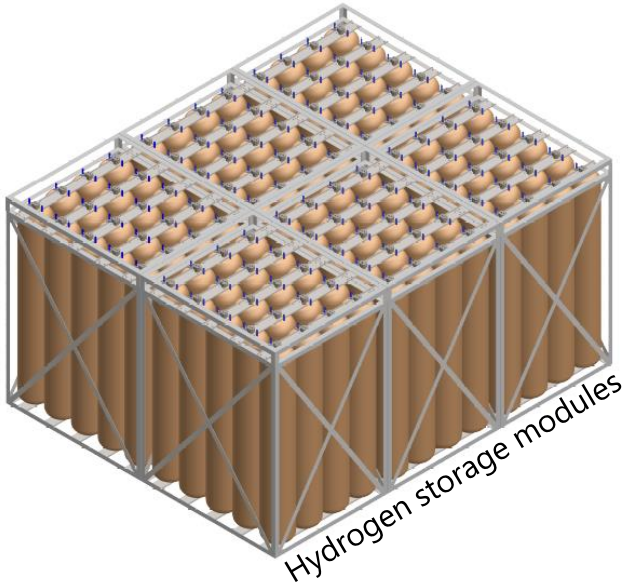
FCveloCity®-HD 100

- NT-PEM incl. Kühlsystem (Wasser)
- **3 x 100 kW** Einheiten an Bord installiert
- individuell unabhängiger Betrieb möglich
- frostsicher
- ferndiagnosefähig
- integrierte H_2-Sensor Überwachung
- Lebensdauer bis zu 15 Jahre, dann ggf. Refit.

© TU Berlin - EBMS

Wassertsoffspeichesystem (Wechselbündel)

- Type IV (carbon) Hochdruckflaschen, GH_2 500 bar
- 6 Module, individuell kran- und gabelstaplerfähig
  - Transport durch LKW-Trailer oder Bahn
  - Gesamtmasse: ca. 20 Tonnen
  - 750 kg GH_2 nutzbar



ANLEG

© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. Anforderungen und Randbedingungen
2. Partner
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin
4. Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA
5. **Infrastruktur und Energieversorgung**
6. Zulassungsprozess
7. Zusammenfassung - Ausblick

© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Leistungsbedarf

Untersuchungen

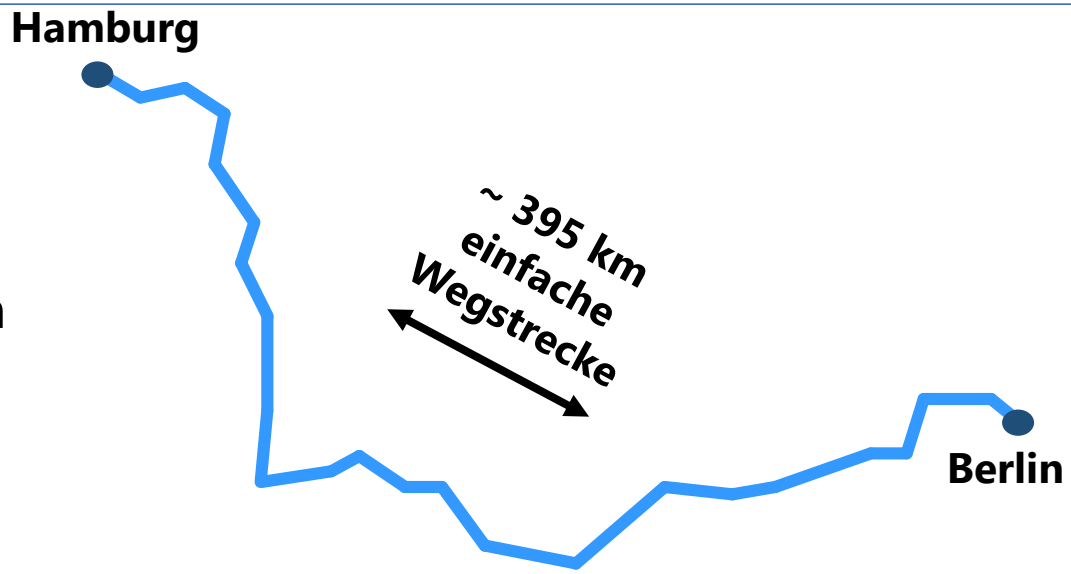
- Distanzenermittlung
- Geschwindigkeit über Grund
- Minimalgeschwindigkeit im Verband 10 km/h
- Betriebs- und Fahrzeiten
- Fließgeschwindigkeitseinfluß
- Energiebedarf in Schleusen
- . . .

© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Leistungsbedarf

Untersuchungen

- Distanzenermittlung
- Geschwindigkeit über Grund
- Minimalgeschwindigkeit im Verband 10 km/h
- Betriebs- und Fahrzeiten
- Fließgeschwindigkeitseinfluß
- Energiebedarf in Schleusen
- . . .

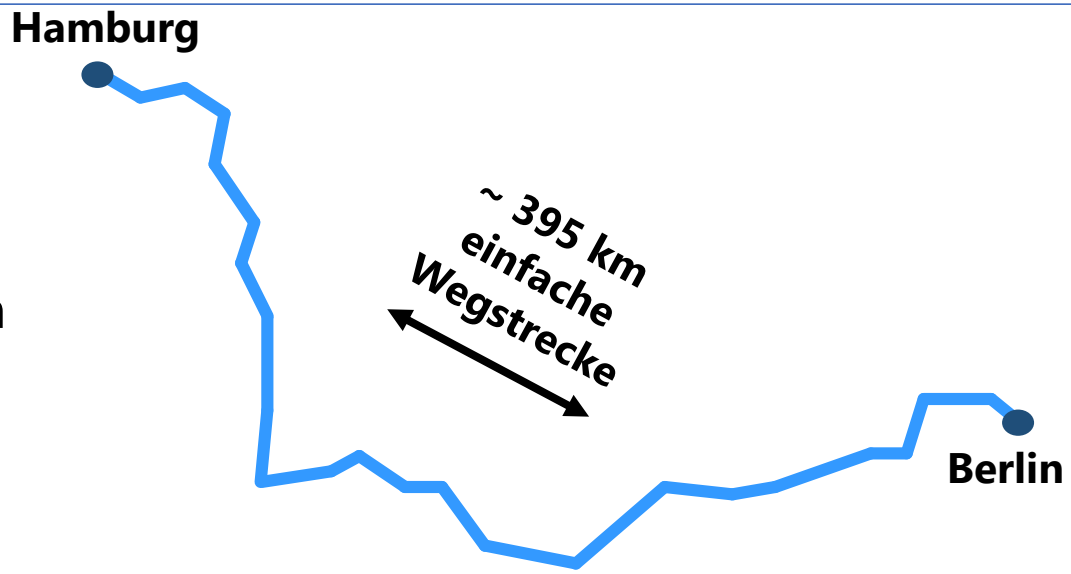


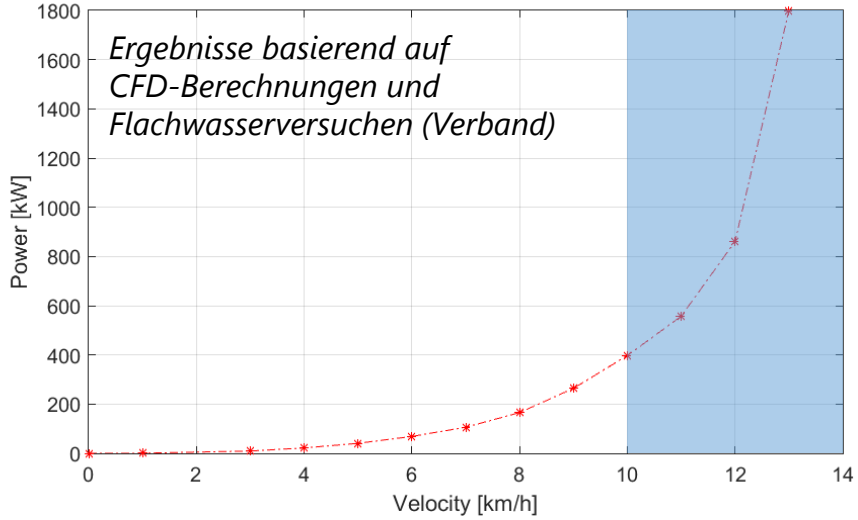
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Leistungsbedarf

Untersuchungen

- Distanzenermittlung
- Geschwindigkeit über Grund
- Minimalgeschwindigkeit im Verband 10 km/h
- Betriebs- und Fahrzeiten
- Fließgeschwindigkeitseinfluß
- Energiebedarf in Schleusen
- . . .



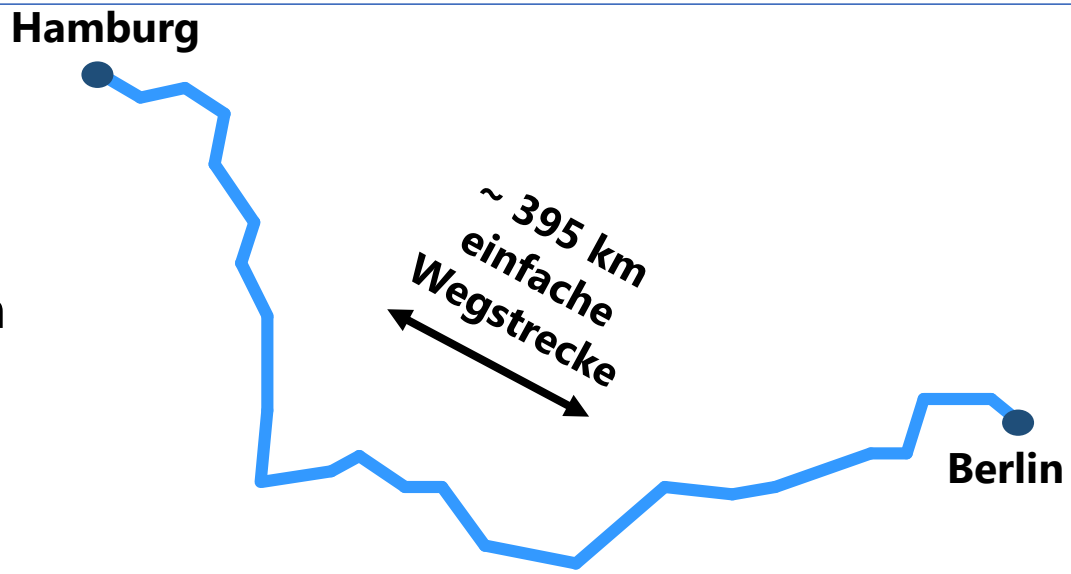


© TU Berlin - EBMS

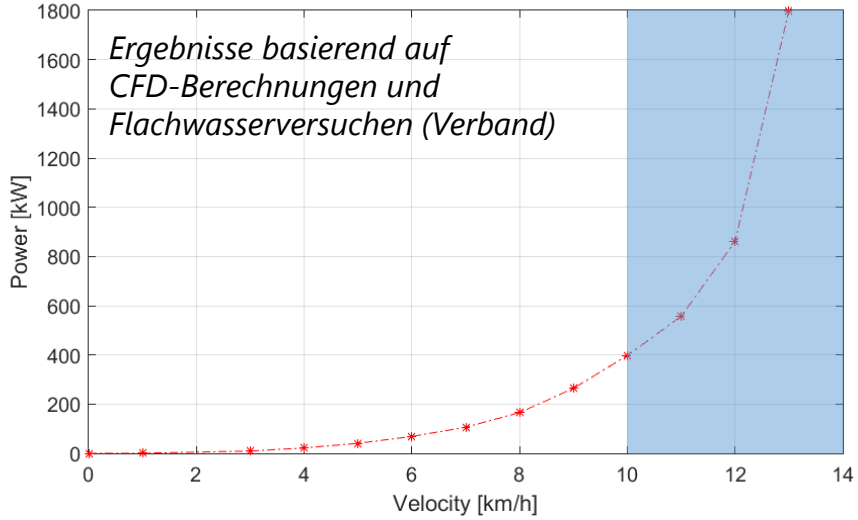
5. Infrastruktur und Energieversorgung – Leistungsbedarf

Untersuchungen

- Distanzenermittlung
- Geschwindigkeit über Grund
- Minimalgeschwindigkeit im Verband 10 km/h
- Betriebs- und Fahrzeiten
- Fließgeschwindigkeitseinfluß
- Energiebedarf in Schleusen
- . . .

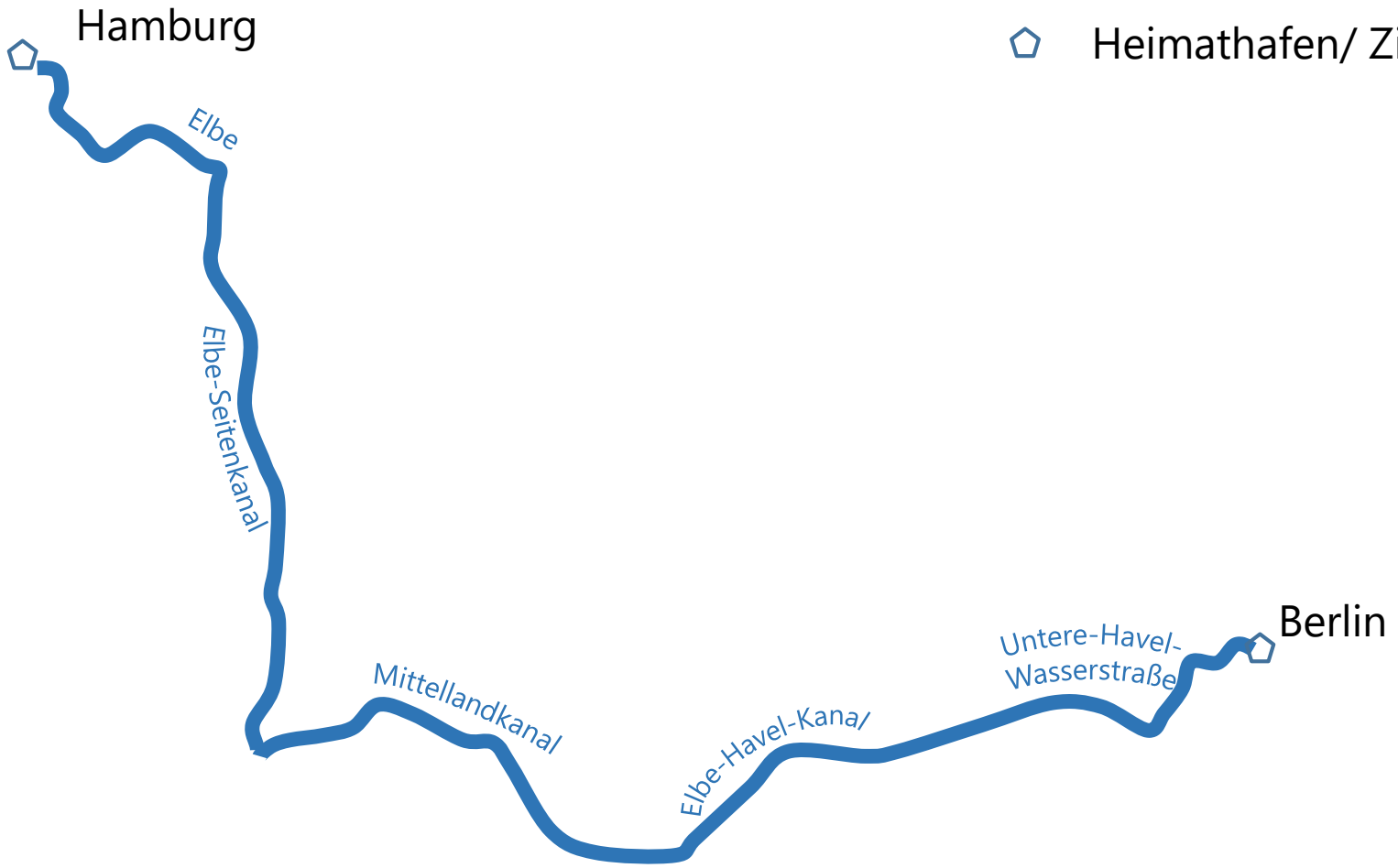


Energiebedarf - Antrieb	
Antriebsenergiebedarf (Rundfahrt)	**~ 21.200 kWh**
Antriebsenergiebedarf (einfache Wegstrecke)	~ 10.600 kWh



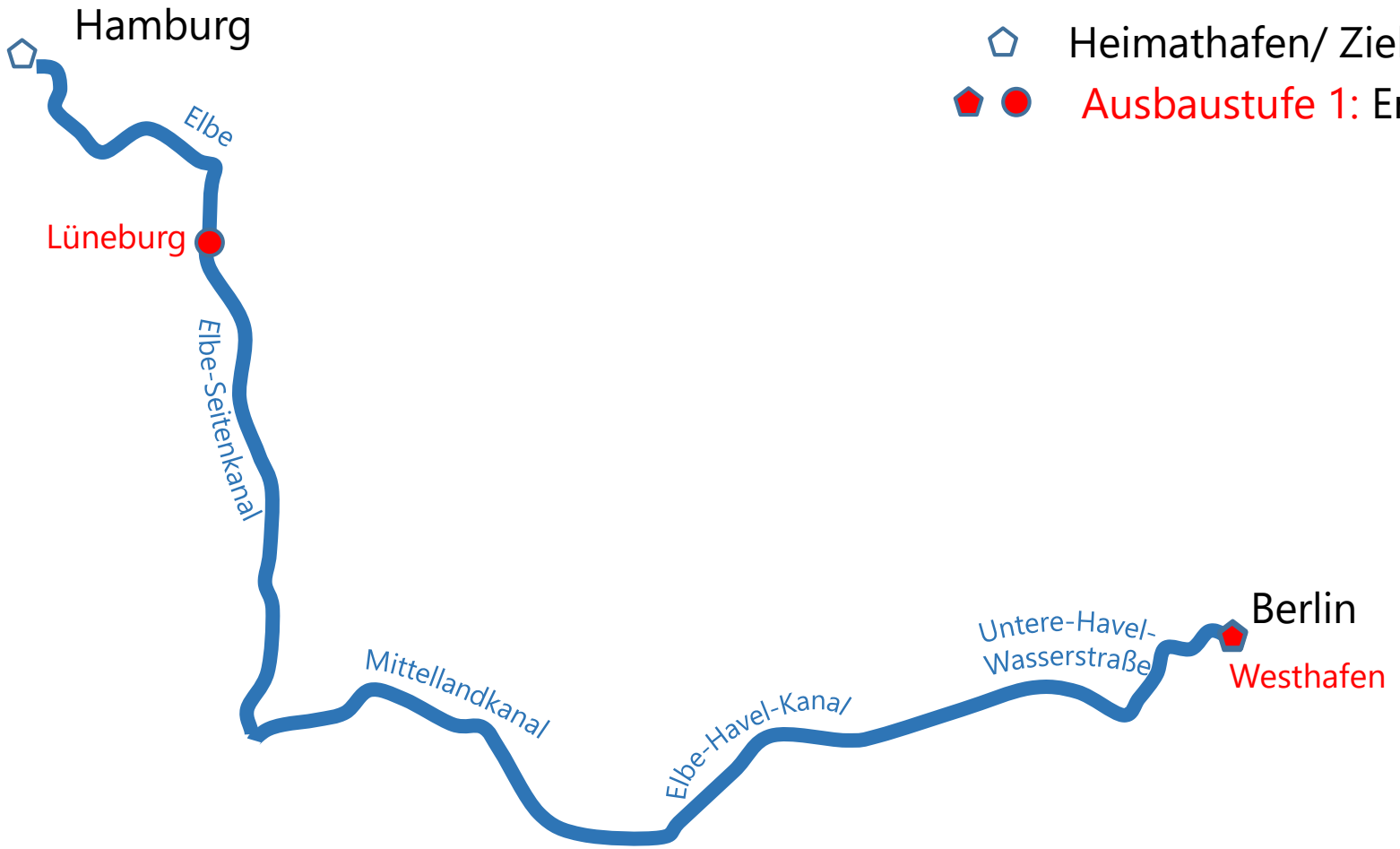
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Bunker- und Ladestationen



© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Bunker- und Ladestationen

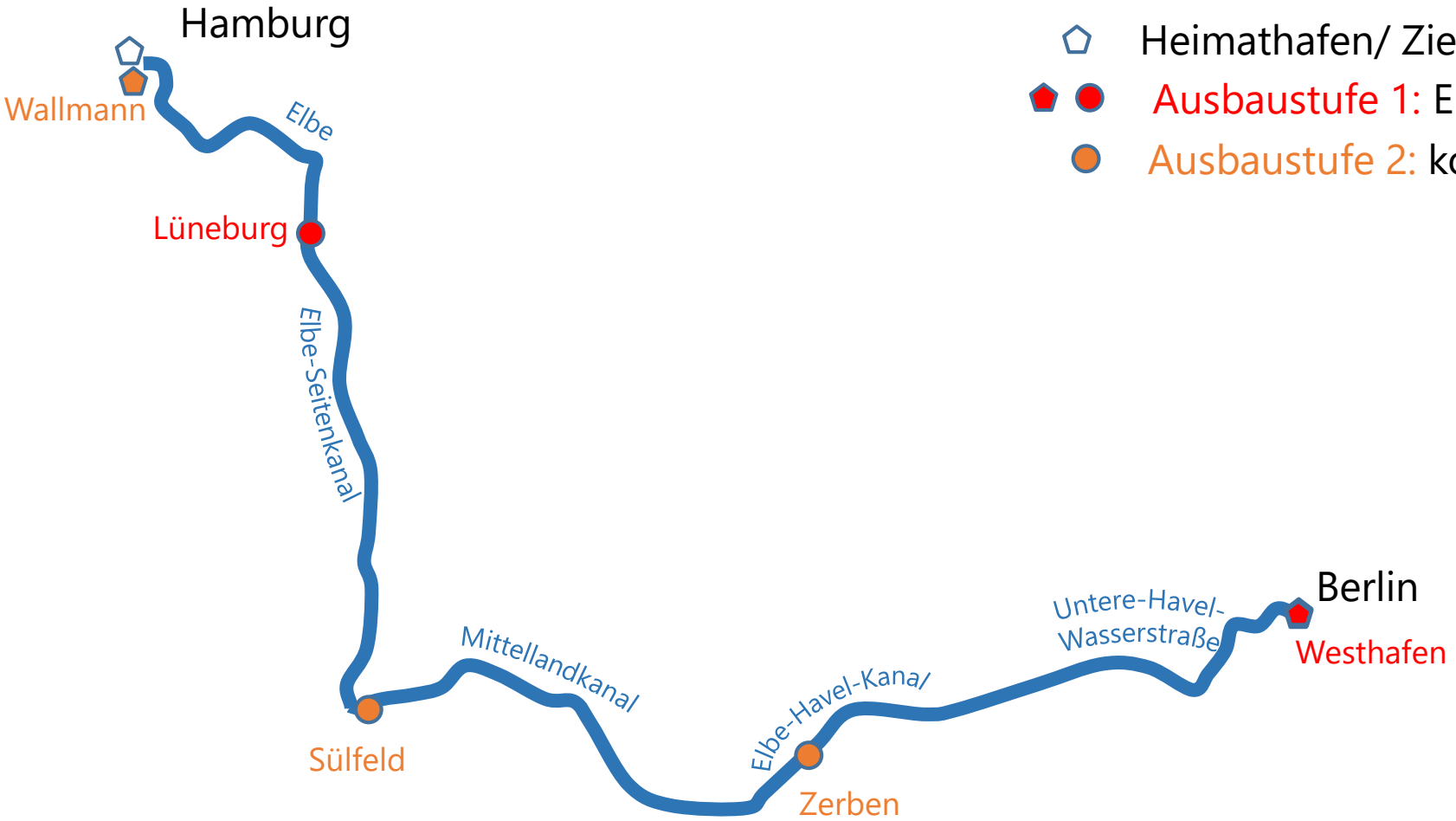


Heimathafen/ Zielhafen

Ausbaustufe 1: Erprobung, Alleinbetrieb

© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Bunker- und Ladestationen



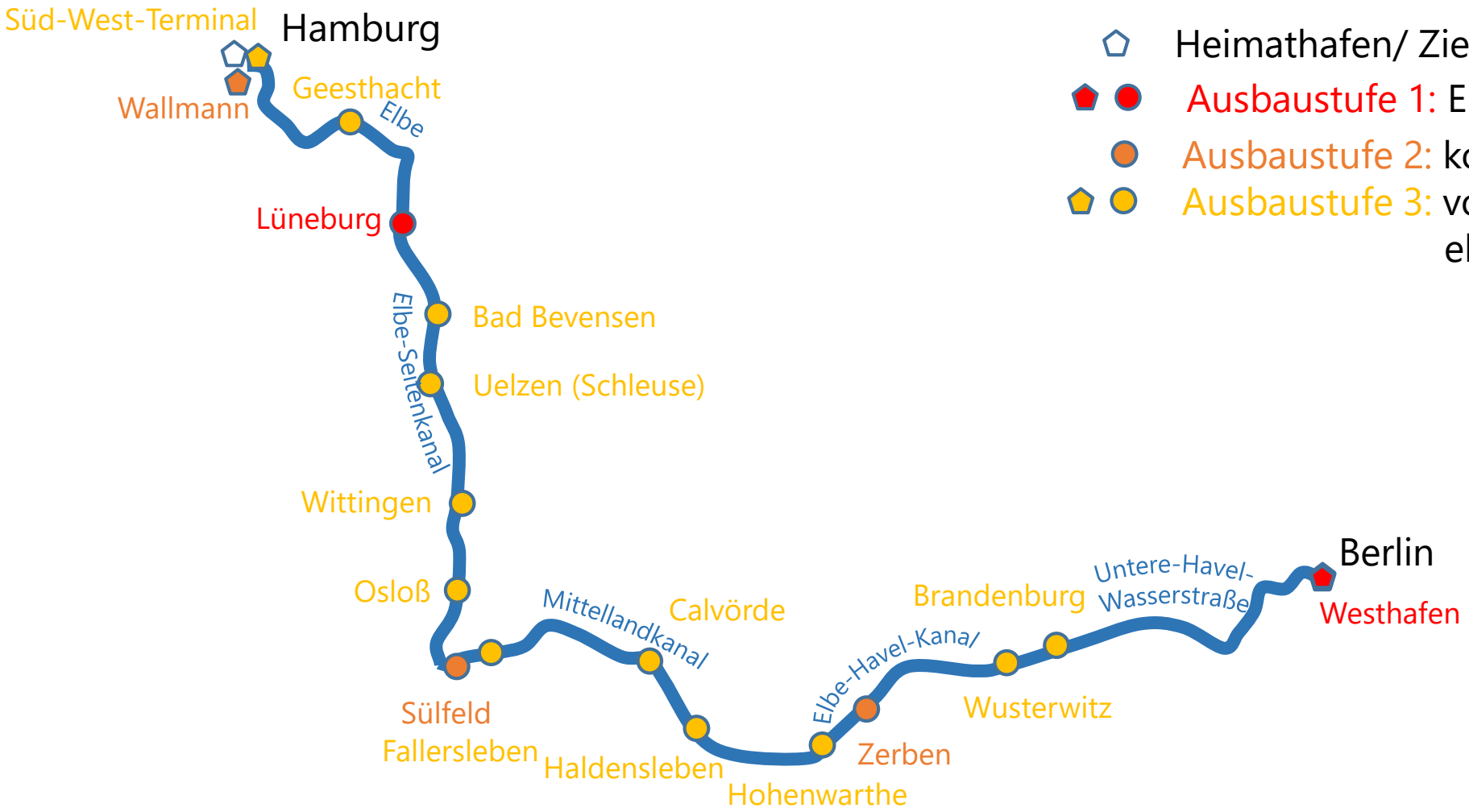
Heimathafen/ Zielhafen

Ausbaustufe 1: Erprobung, Alleinbetrieb

Ausbaustufe 2: kommerzieller Betrieb

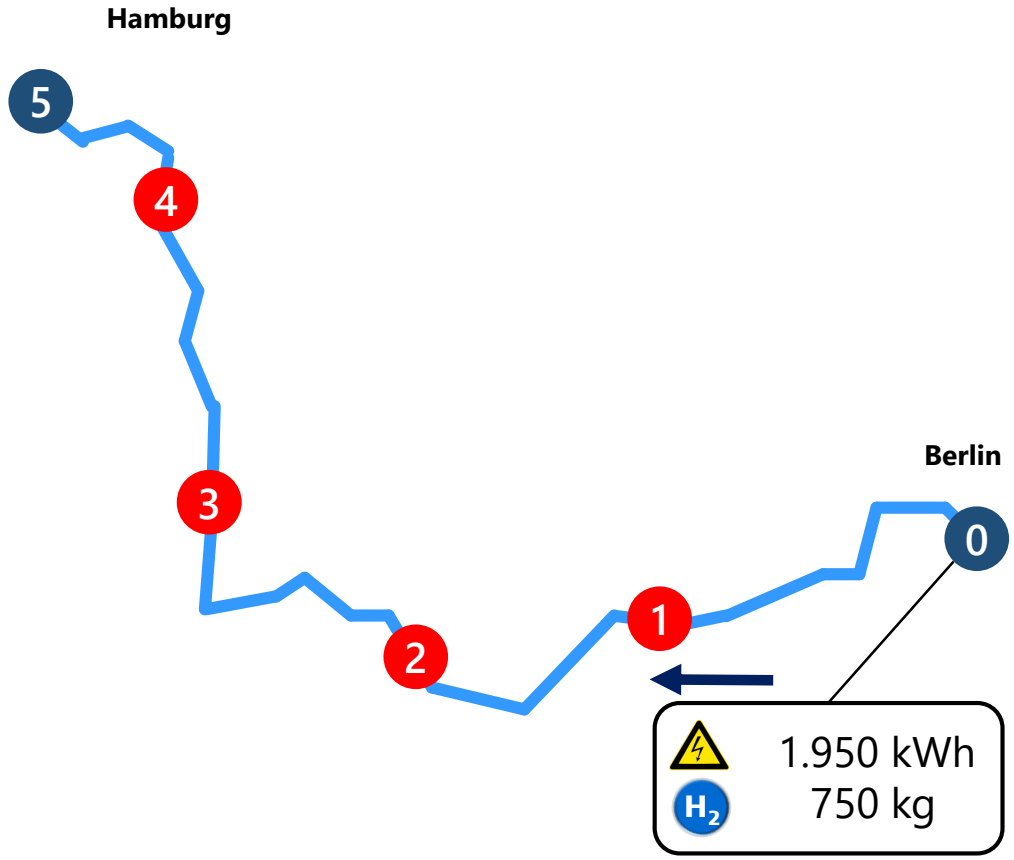
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Bunker- und Ladestationen



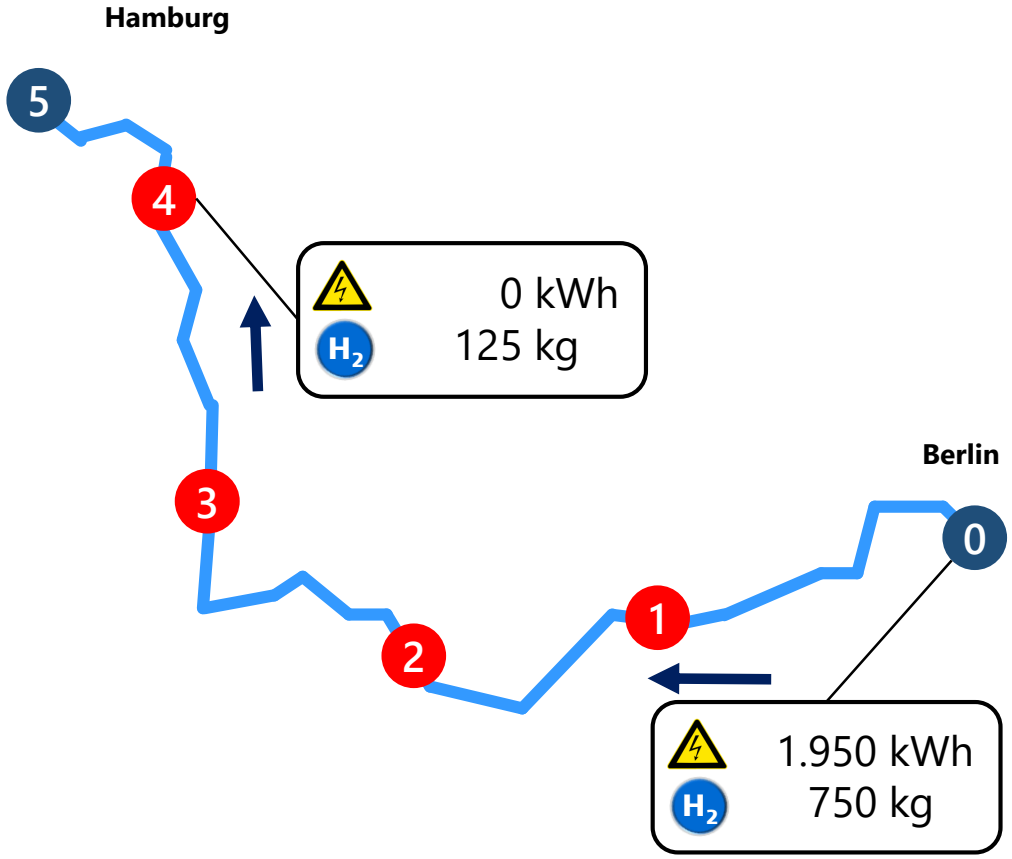
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien



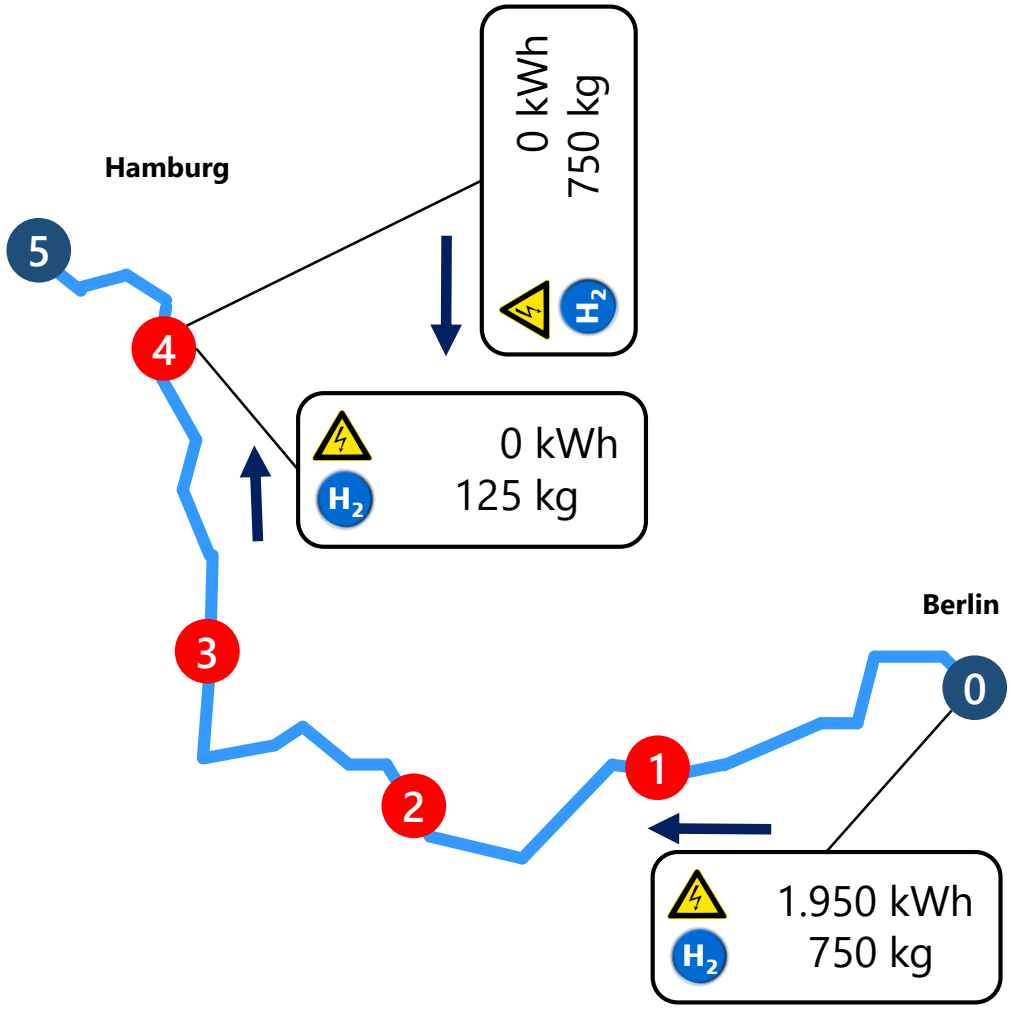
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien



© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien



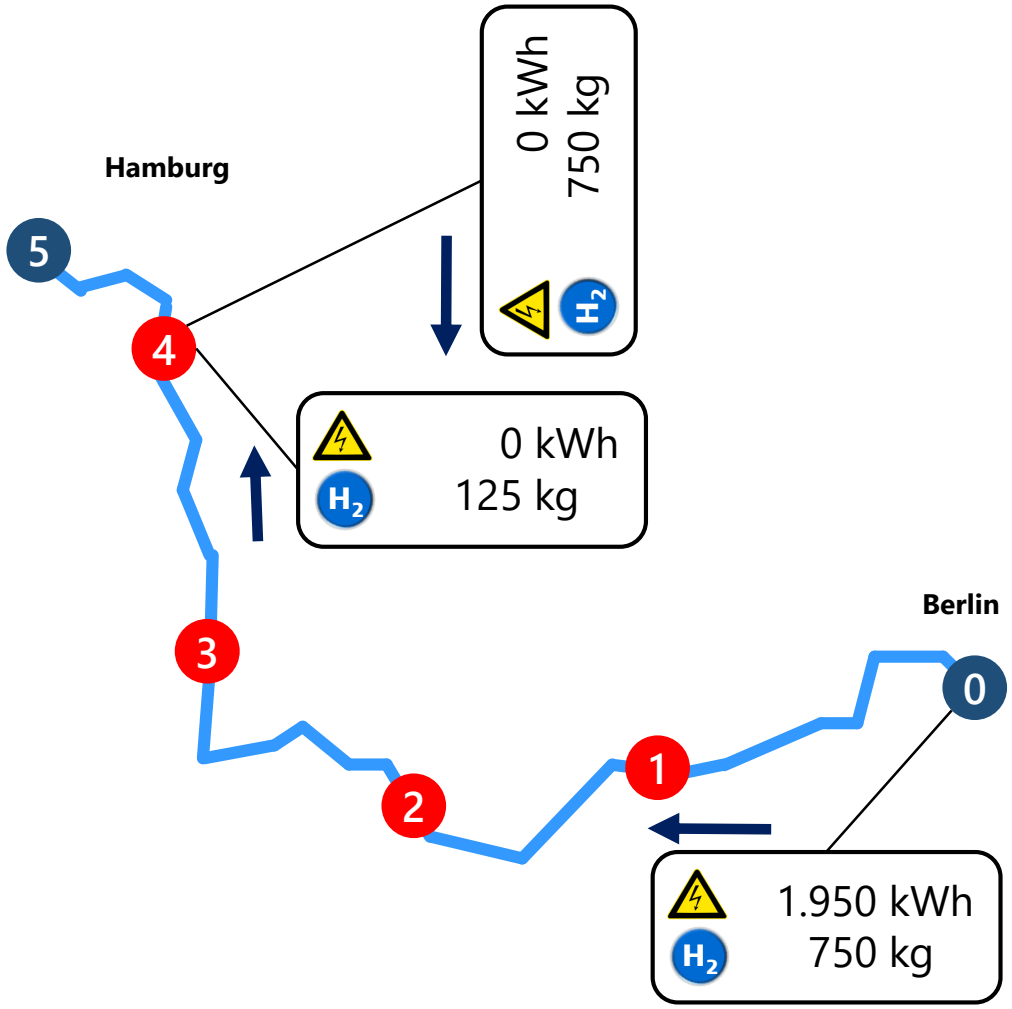
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien

Szenario A

~ 10 %

H_2 ~ 90 %



© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien

Szenario A

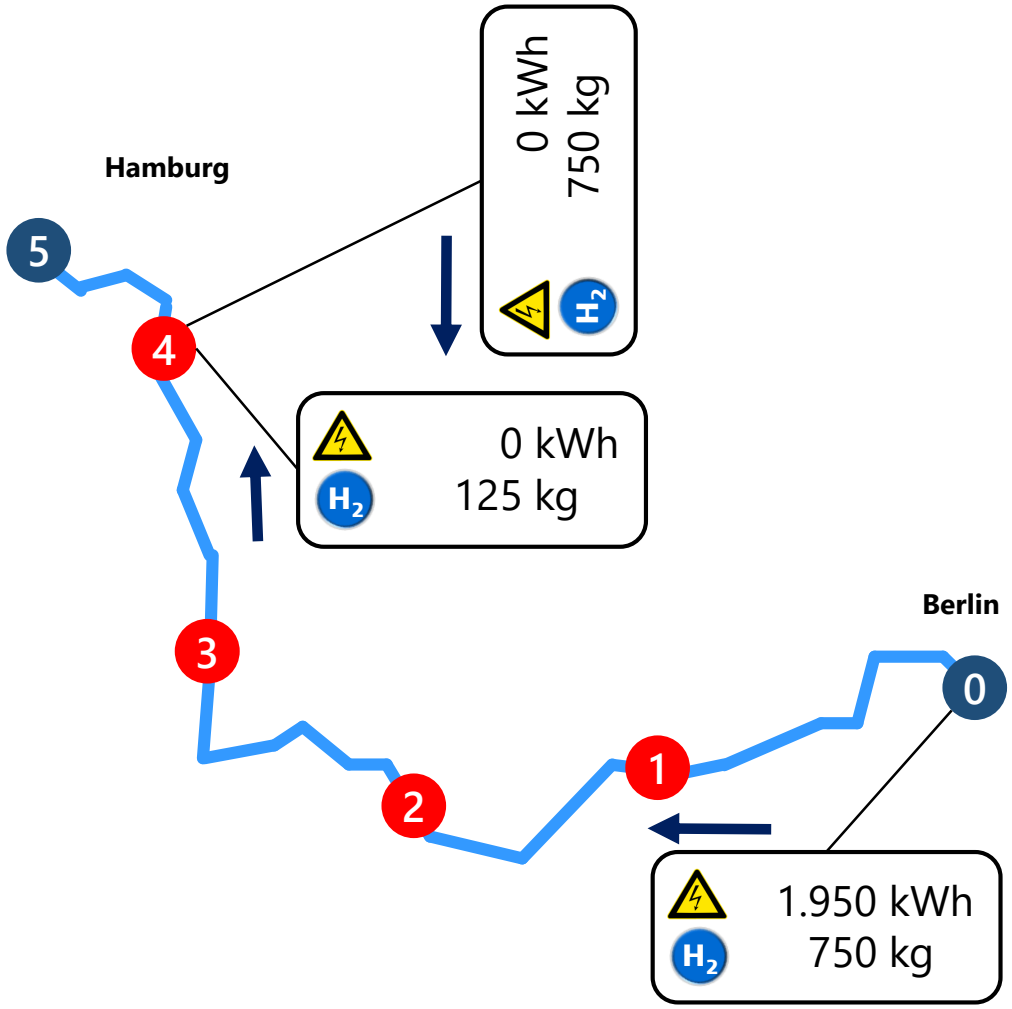
~ 10 %

H_2 ~ 90 %

Szenario B

~ 25 %

H_2 ~ 75 %



© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien

Szenario A

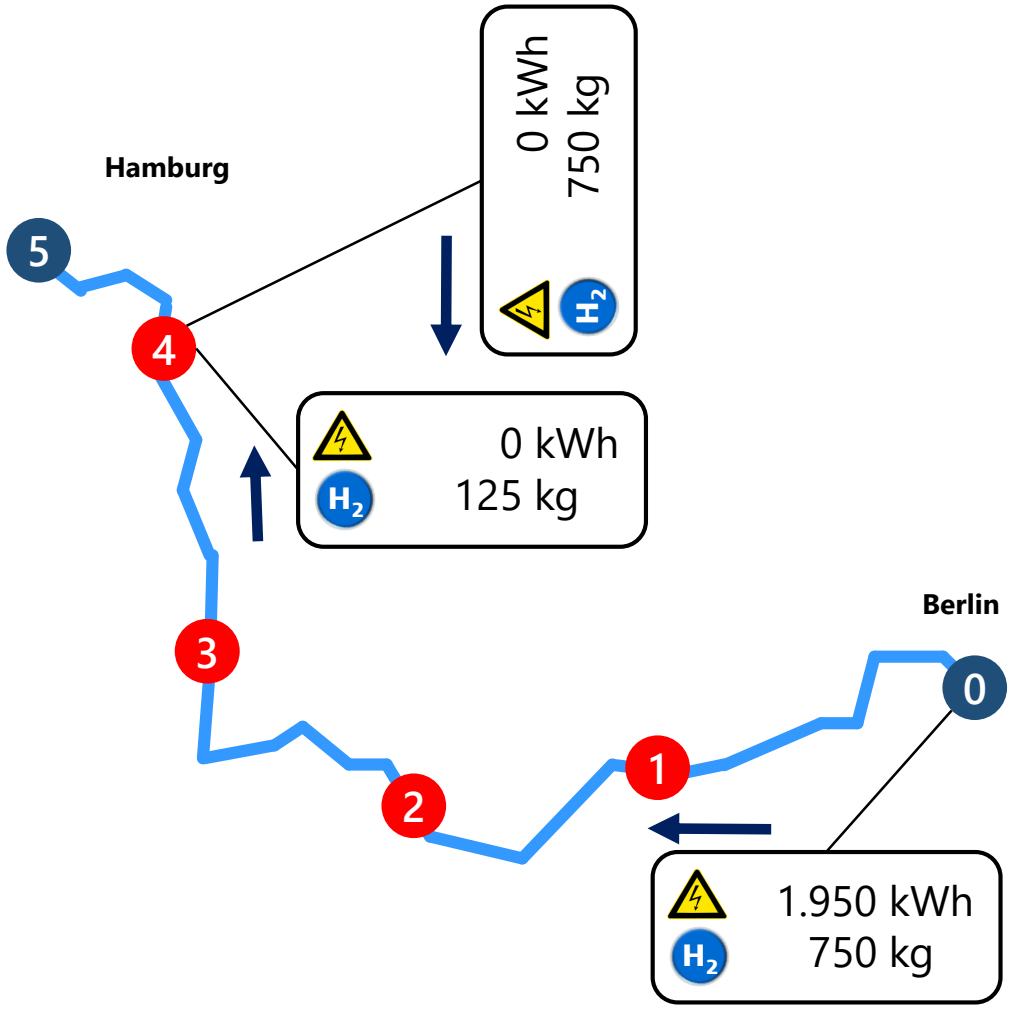
~ 10 % H_2 ~ 90 %

Szenario B

~ 25 % H_2 ~ 75 %

Szenario C

~ 40 % H_2 ~ 60 %



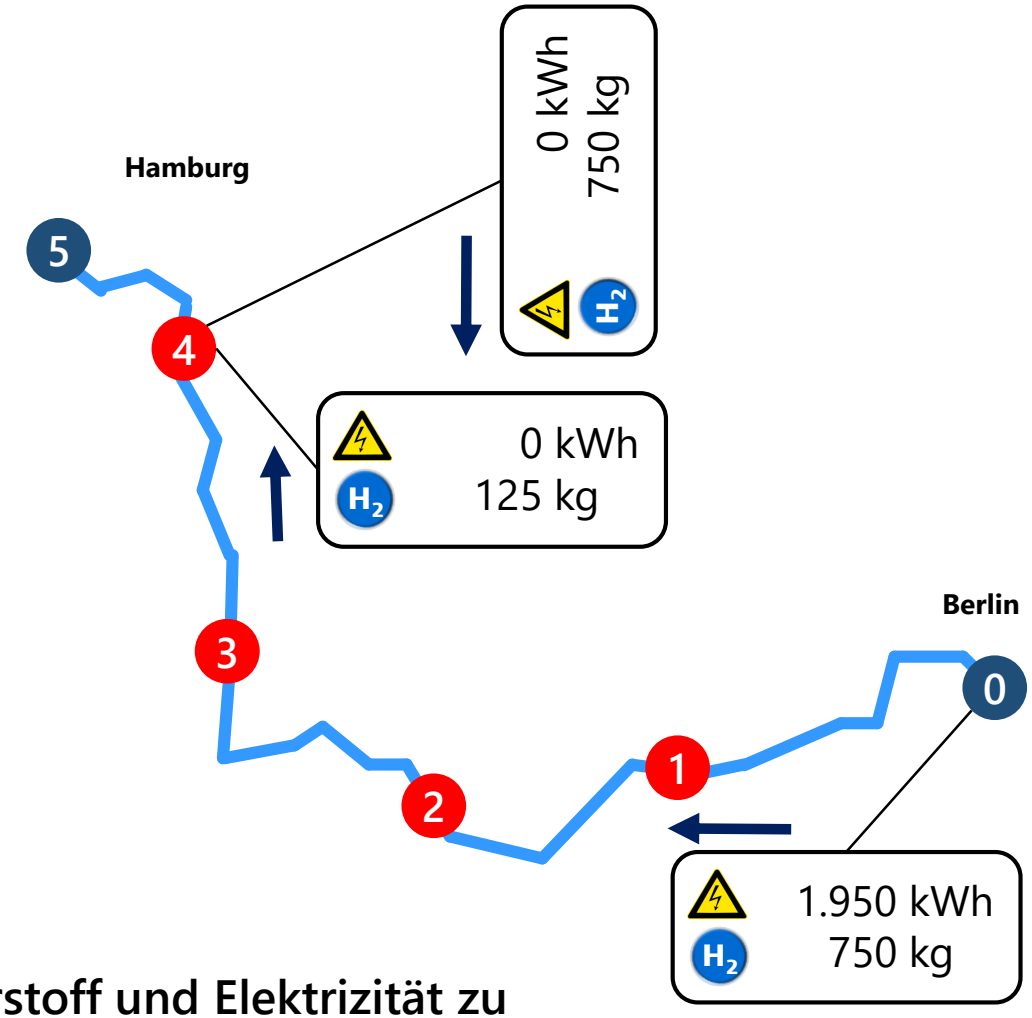
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Betriebsszenarien

Szenario A ~ 10 % H_2 ~ 90 %

Szenario B ~ 25 % H_2 ~ 75 %

Szenario C ~ 40 % H_2 ~ 60 %



Die Flexibilität auf den Preis und die Verfügbarkeit von Wasserstoff und Elektrizität zu reagieren steigt mit jeder Ausbaustufe.

© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Beispiel Berliner Westhafen

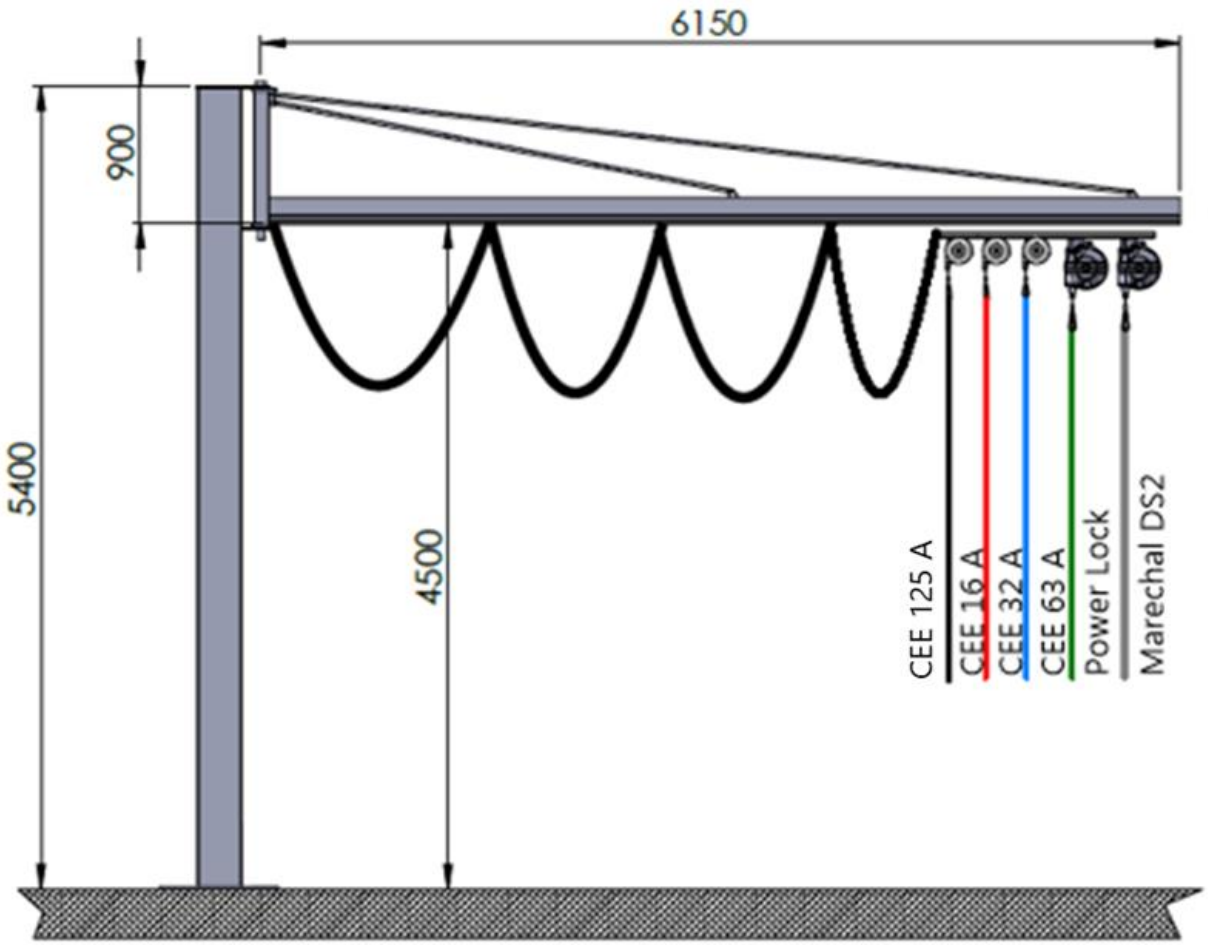
© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Beispiel Berliner Westhafen

Position Pegelturm im Berliner Westhafen - Quelle: Google Maps

© TU Berlin - EBMS

5. Infrastruktur und Energieversorgung – Beispiel Elektrizität



Ladegalgen

Mit folgenden Verbindungsarten

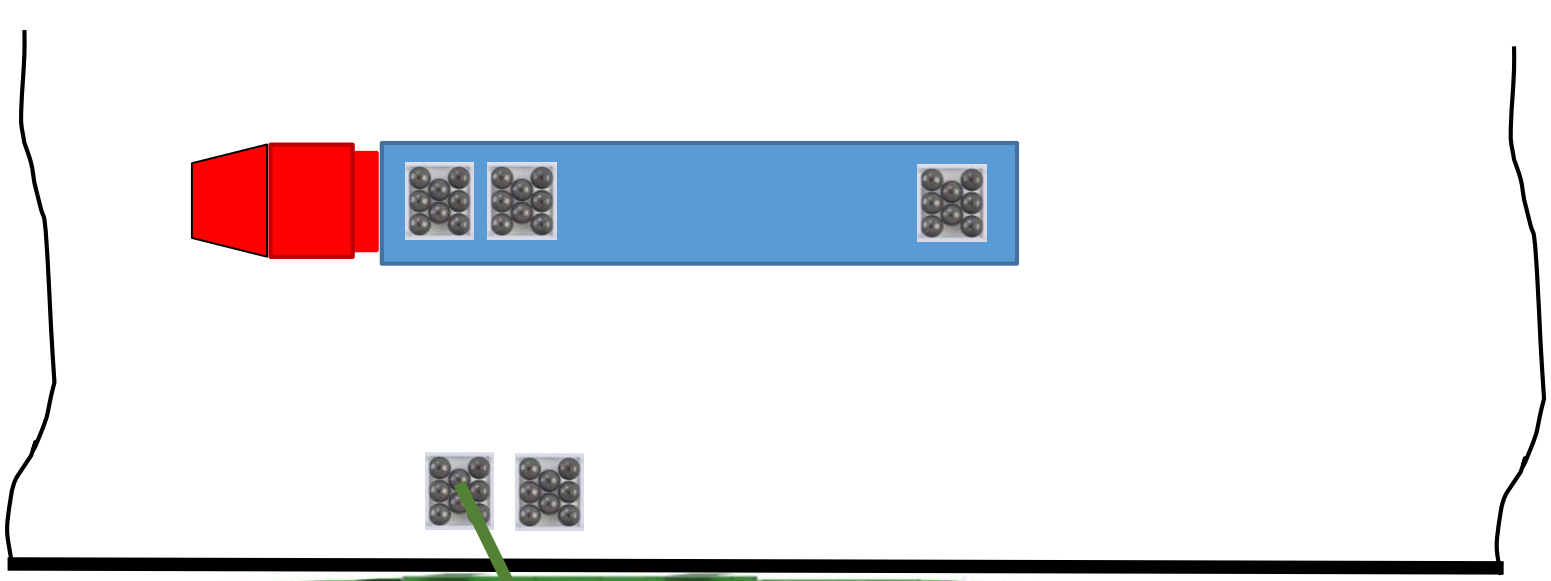
a) CEE 16 A
b) CEE 32 A
c) CEE 63 A
d) CEE 125 A
e) Powerlock-System (400 V_{AC})
f) Marechal DS2 (700 V_{DC})

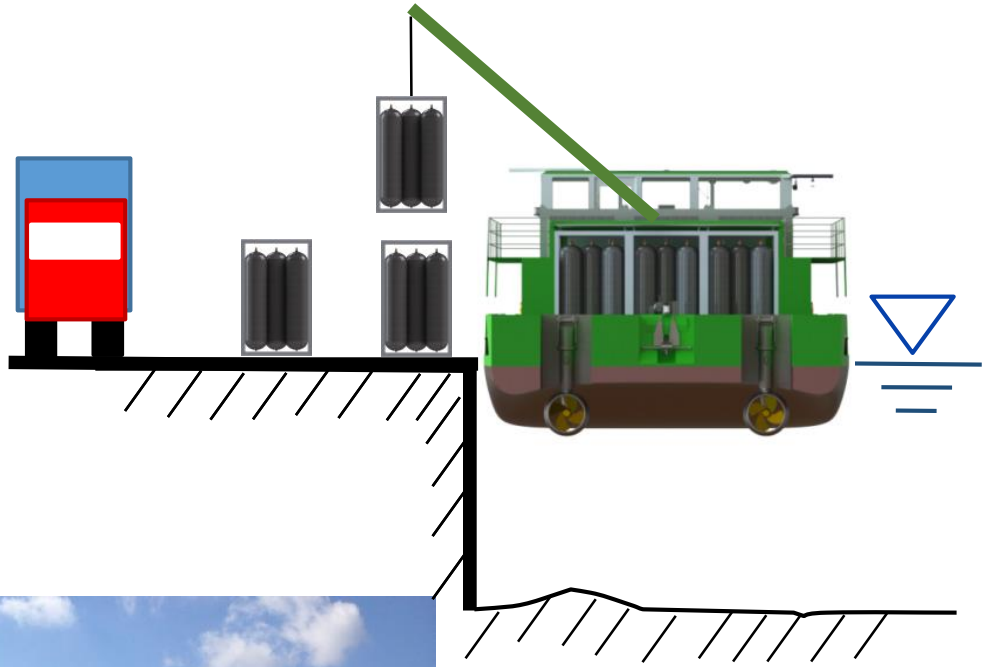
Laden von bis zu zwei Schiffseinheiten je Galgen denkbar

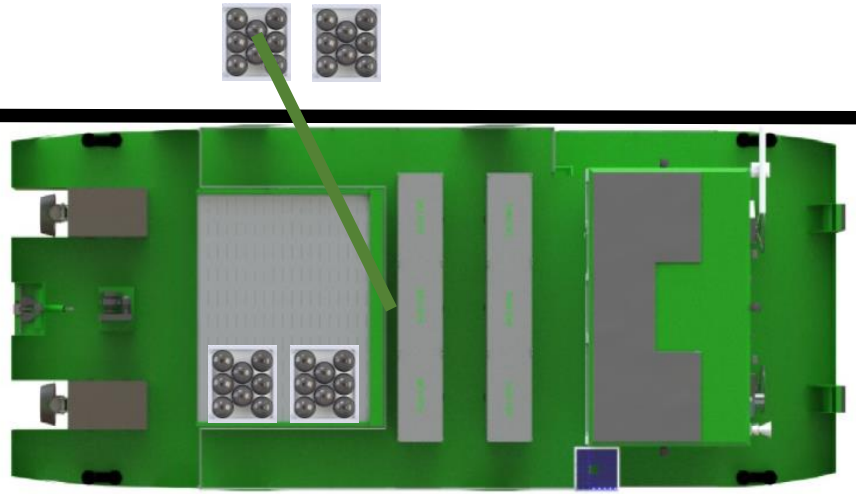
© TU Berlin - EBMS

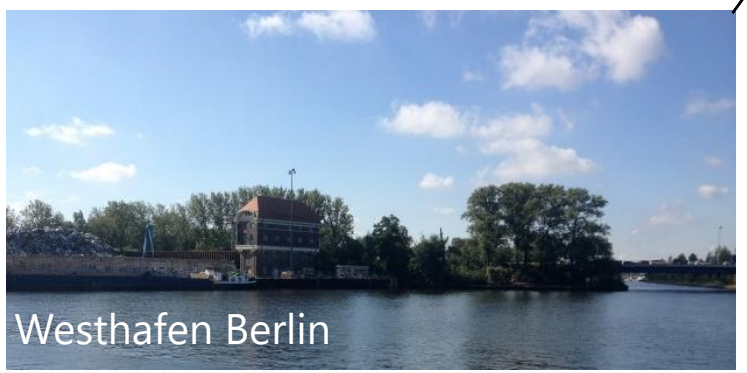
Austauschbare H_2-Tankbündel

- H_2-Anleiferung mittels LKW-Trailer oder Bahn aus der Region









© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. Anforderungen und Randbedingungen
2. Partner
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin
4. Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA
5. Infrastruktur und Energieversorgung
6. **Zulassungsprozess**
7. Zusammenfassung - Ausblick

© TU Berlin - EBMS

6. Zulassungsprozess – Wer nicht will, findet Gründe, wer will, findet Lösungen

Lloyd's Register

Working together
For a safer world

Elektra Project

HAZID Study

Marine Consultancy

1804-0013 Version 5, May 2019

A Lloyd's Register Technical report for Technische Universität Berlin

Primary contact

Alex Pedgrift
Lead Risk Specialist
Lloyd's Register EMEA

T: +44 (0) 330 41 40475
Email: alex.pedgrift@lr.org

© TU Berlin - EBMS

6. Zulassungsprozess – Wer nicht will, findet Gründe, wer will, findet Lösungen

CESNI

CESNI/PT (18) 80 rev. 1
14. Juni 2018
Or. de/en fr/de/nl/en, Anl. de/en

ARBEITSGRUPPE FÜR TECHNISCHE VORSCHRIFTEN

Empfehlung für die Verwendung von Wasserstoff als Brennstoff Schubschiff „Elektra“

EUROPÄISCHE KOMMISSION

EMPFEHLUNGEN AN DIE SCHIFFSUNTERSUCHUNGSKOMMISSIONEN ZUR RICHTLINIE (EU) 2016/1629

EMPFEHLUNG Nr. 1/2019
vom 4. Juni 2019

ELEKTRA

Das Schubboot „Elektra“, einheitliche europäische Schiffsnummer (noch nicht vergeben - GDWS-Aktennummer 13230), darf abweichend von der Richtlinie (EU) 2016/1629 unter Einsatz von Wasserstoff als Brennstoff für ein Brennstoffzellensystem zur Versorgung des Schiffs mit elektrischer Energie zu dessen Betrieb und Antrieb zugelassen werden.

© TU Berlin - EBMS

Übersicht

1. Anforderungen und Randbedingungen
2. Partner
3. Emissionsfreie Schifffahrt – Ursprünge im Kaiserreich in Berlin
4. Energiesystem und Schiffslayout der ELEKTRA
5. Infrastruktur und Energieversorgung
6. Zulassungsprozess
7. **Zusammenfassung - Ausblick**

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick

- **Lokal emisionsfreie in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist heute möglich**

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick

- **Lokal emisionsfreie in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist heute möglich**
- **Global emissionsfreier Transport (grüner Wasserstoff und grüne Elektrizität) in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist möglich**

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick

- **Lokal emisionsfreie in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist heute möglich**
- **Global emissionsfreier Transport (grüner Wasserstoff und grüne Elektrizität) in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist möglich**
- **Weitere Entwicklungen im Bereich Wasserstoffinfrastruktur/Erzeugung und elektrischer Ladestellen sind notwendig**

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick

- **Lokal emisionsfreie in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist heute möglich**
- **Global emissionsfreier Transport (grüner Wasserstoff und grüne Elektrizität) in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist möglich**
- **Weitere Entwicklungen im Bereich Wasserstoffinfrastruktur/Erzeugung und elektrischer Ladestellen sind notwendig**
- **Kosten für grünen Wasserstoff und grüne Elektrizität müssen sinken**

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick

- **Lokal emisionsfreie in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist heute möglich**
- **Global emissionsfreier Transport (grüner Wasserstoff und grüne Elektrizität) in der Binnen- und Küstenschifffahrt ist möglich**
- **Weitere Entwicklungen im Bereich Wasserstoffinfrastruktur/Erzeugung und elektrischer Ladestellen sind notwendig**
- **Kosten für grünen Wasserstoff und grüne Elektrizität müssen sinken**
- **Verbindliche Regelwerke mit Augenmaß zur Schaffung von Investitionssicherheit sind erforderlich**

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung – Ausblick – emissionsfreier Hafen

Weitere Abnehmer: E-Hafen- und hafennahe Fahrzeuge

- E-LKW, E-PKW
- E-Flurförderfahrzeuge
- Containerhebekran
- E-Bagger
- E-Radlader
- E-Lok
- Hebebühnen
- Gleisschiebfahrzeuge
- . . .

© TU Berlin - EBMS

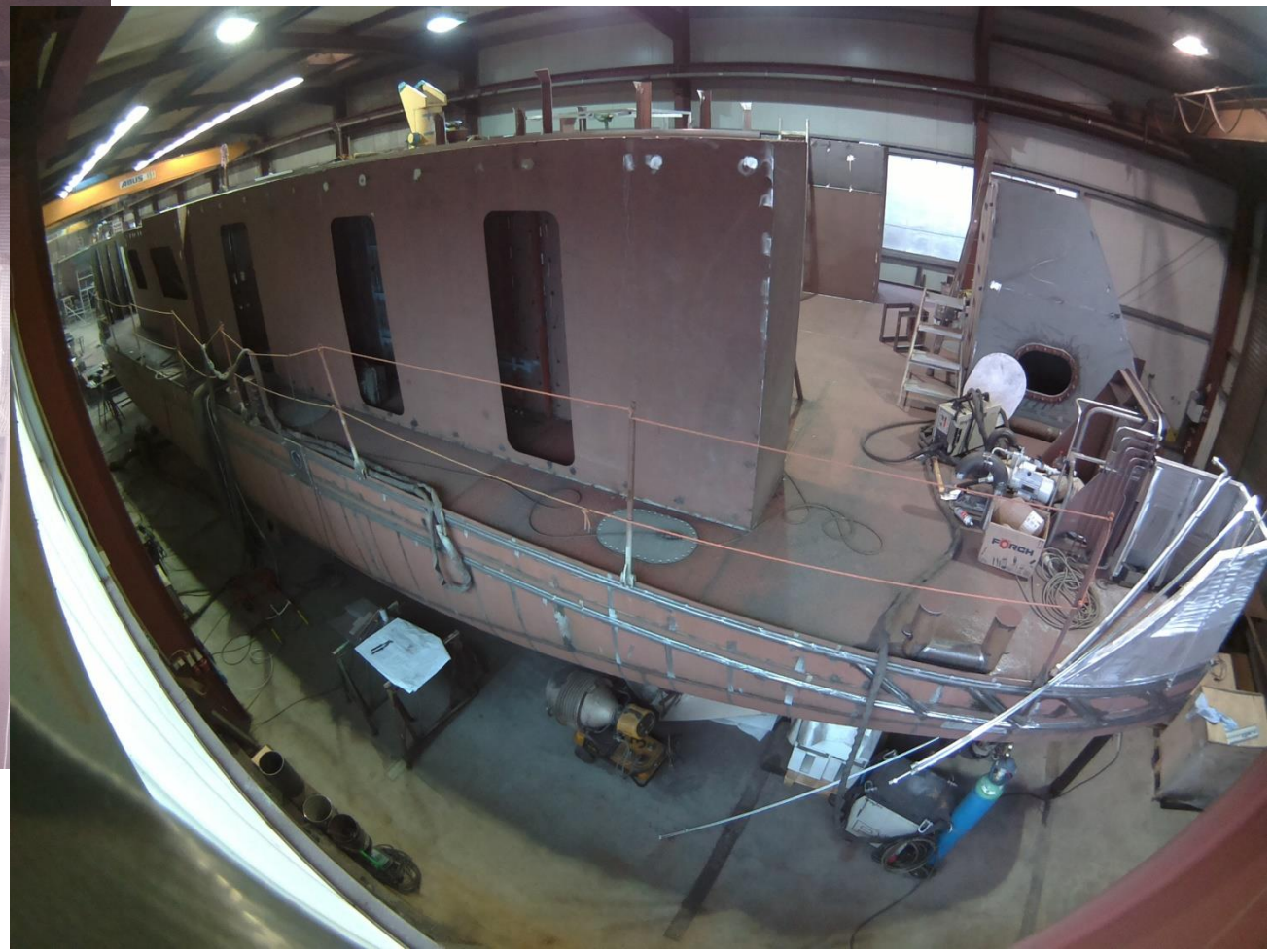
7. Zusammenfassung - Ausblick – Kiellegung 4. November 2019

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick – Januar 2019

© TU Berlin - EBMS

7. Zusammenfassung - Ausblick – November 2020



© TU Berlin - EBMS

Die ELEKTRA mit dem Schwergutleicher URSUS vor der Einfahrt in den Berliner Westhafen 2021

Ausblick:

10/2019	**Baubeginn**
03/2021	**Ablieferung in Berlin**
03/2021	**Beginn ausführliche Erprobung**

Technische Universität Berlin

Entwurf und Betrieb Maritimer Systeme

Sekretariat SG 6, Gebäude SG 1
Salzufer 17-19
10587 Berlin
http://www.marsys.tu-berlin.de

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Gerd Holbach
T: +49 (0) 30 314 214 17
E: gerd.holbach@tu-berlin.de

Dr.-Ing. Anna Loewe
T: +49 (0) 30 314 229 02
E: anna.loewe@tu-berlin.de

ELEKTRA-Video

© TU Berlin - EBMS