



Wasserstoff und dessen Anwendungspotential in der maritimen Wirtschaft

Dr. Alexander Dyck
t.i.m.e. Port 2 in Bremerhaven | 13. Januar 2015

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

EWE-Forschungszentrum NEXT ENERGY

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- Forschungsgebäude mit 4150 m² Gesamtfläche seit August 2009 am Campus Wechloy
- Aktuell 110 Mitarbeiter
- Forschungs-Schwerpunkte: Dünnschicht-Photovoltaik, Brennstoffzellen / KWK, Stromspeicher



NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

Forschung für die Energie von morgen: Drei Leitfragen



Welche Forschung brauchen wir, um das notwendige Wachstum der Erneuerbaren Energien zu sichern?



Welche Forschung brauchen wir, um die Effizienzziele zu erreichen?



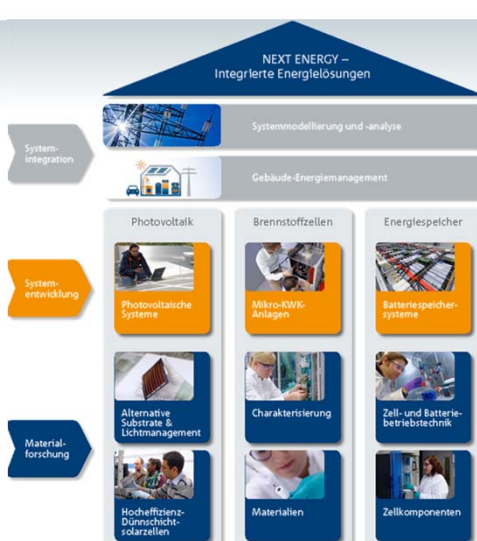
Welche Forschung brauchen wir, um angesichts einer sehr weitgehenden Umstellung auf fluktuierende erneuerbare Energien ein stabiles Energiesystem zu bewahren?

13.01.2015
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff
3

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

NEXT ENERGY – Energieforschung unter einem Dach

**NEXT ENERGY –
Integrierte Energielösungen**



System-integration

System-entwicklung

Material-forschung

Systemmodellierung und -analyse

Gebäude-Energiemanagement

Photovoltaik

Photovoltaische Systeme

Alternative Substrate & Lichtmanagement

Hocheffizienz-Dünnschicht-solarzellen

Brennstoffzellen

Mikro-KWK-Anlagen

Charakterisierung

Materialien

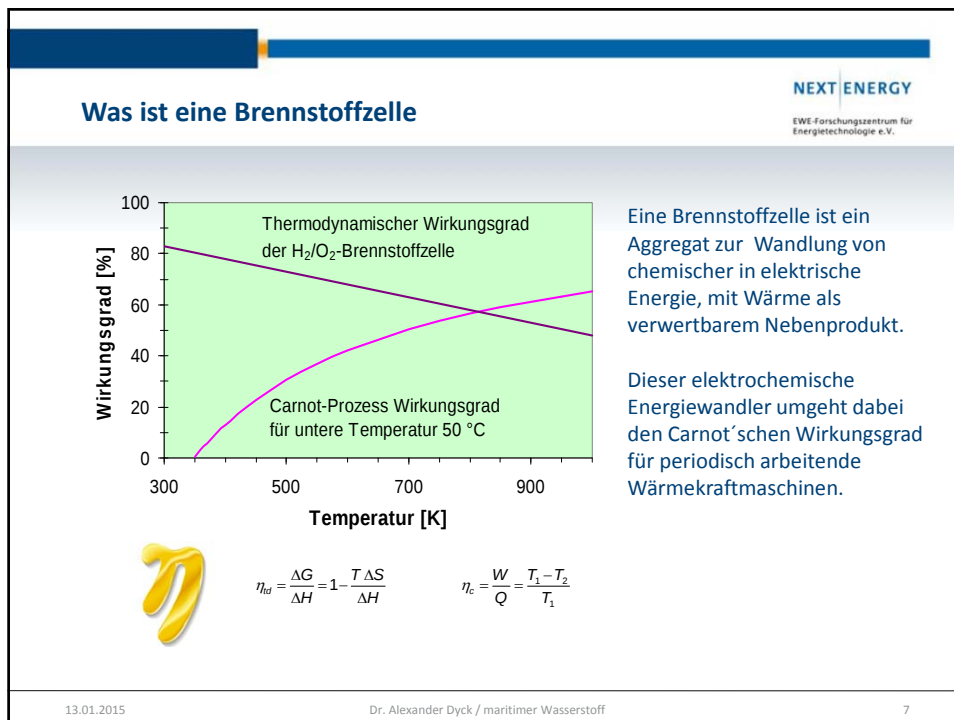
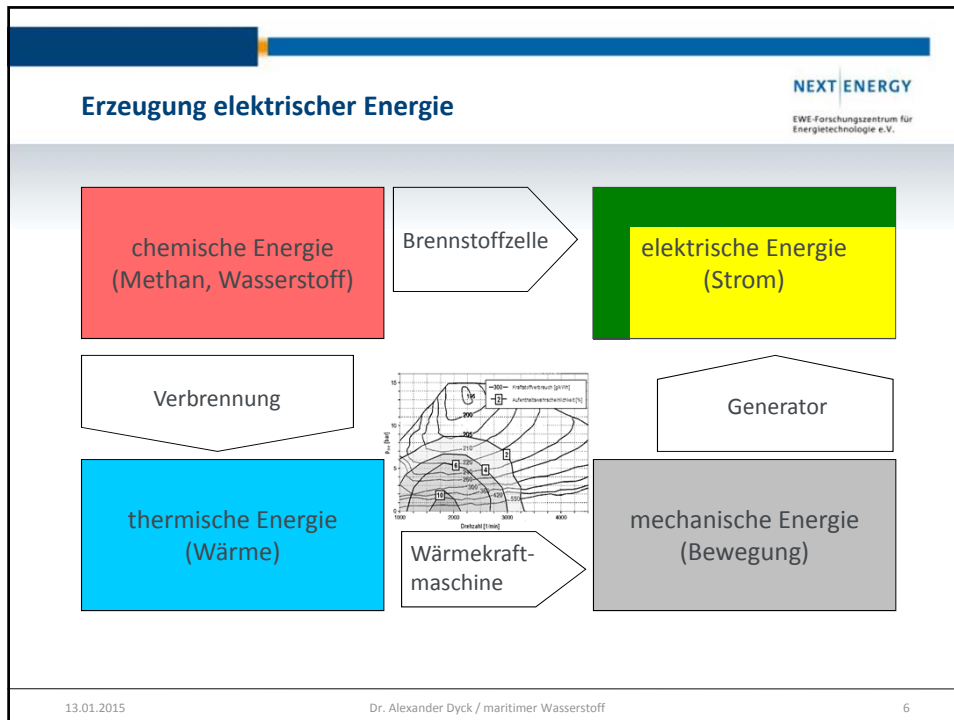
Energiespeicher

Batteriespeichersysteme

Zell- und Batteriebetriebs-technik

Zellkomponenten

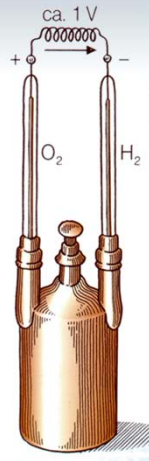
13.01.2015
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff
5



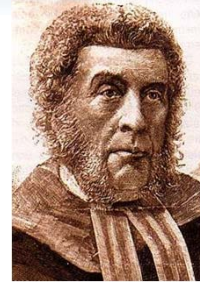
Geschichte der Brennstoffzelle

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.



Das Jahr 1839 gilt als Geburtsjahr der Brennstoffzelle, in diesem Jahr stellte Sir William Robert Grove (1811 bis 1896) die Umkehrung der Elektrolyse mit der Gasbatterie der Öffentlichkeit vor.



Bildquellen: IZE, Frankfurt;
Stromthemen extra- Brennstoffzellen;
aus: W. Oswald, Elektrochemie, Leipzig 1896



Jules Verne schreibt 1874 in seinem Abenteuerroman: "Die geheimnisvolle Insel" mit prophetischer Weitsicht: "Ich glaube, dass eines Tages Wasserstoff und Sauerstoff, aus denen sich Wasser zusammensetzt, allein oder zusammen verwendet, eine unerschöpfliche Quelle von Wärme und Licht bilden werden."

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

8

Geschichte der Brennstoffzellenentwicklung

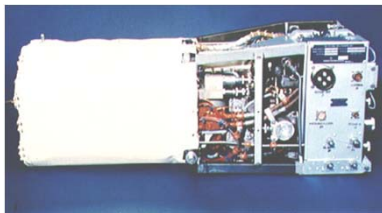
NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- | Werkstoffprobleme geben der Verbrennungskraftmaschine Vorzug
- | Renaissance in der bemannten Weltraumfahrt
- | Umweltvorteile geben Impulse für wiederaufleben der Entwicklung

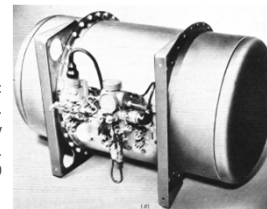
Alkalische Brennstoffzelle (AFC) 1965 2. Bemannte Gemini Mission

1 kW; 32 Zellen; 66 kg;
L = 60 cm; D = 30 cm



Bildquelle: NASA, Bildarchiv im Internet; NASA Photo ID: S83-28219

Bildquelle:
Bochris, J O'M; Srimisan, S.
Fuel Cells. Their Elechemistry
New York u.a.
(Mc Graw-Hill Book) 1969



AFC 1984 Eine der 4 Brennstoffzellen im Orbiter (Space Shuttle)

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

9

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

Vor- und Nachteile der Brennstoffzellen

Vorteile

- + hoher Wirkungsgrad
- + im Teillastbetrieb besonders effizient
- + geräuscharmer Betrieb der Zelle
- + geringe Schadstoffemissionen

Nachteile

- hohe Materialkosten
- hohes Leistungsgewicht
- problematische Brennstoffversorgung

Grundidee:
Kompetenz-Netzwerk
Brennstoffzelle Düsseldorf

13.01.2015
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff
10

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

Brennstoffzellen - Überblick

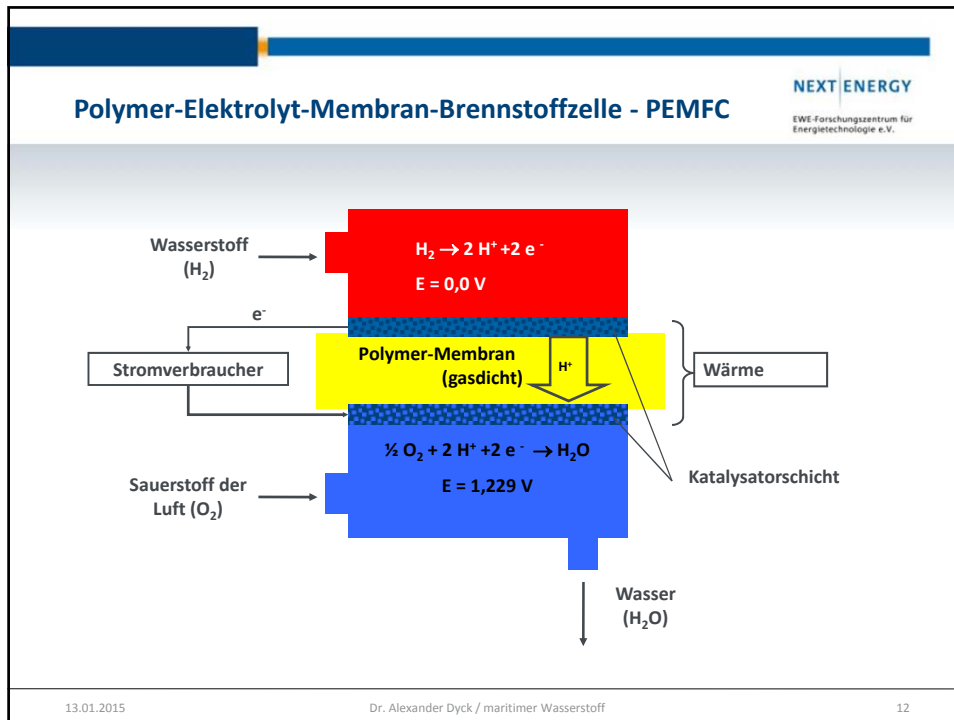
Bezeichnung	Kurzbezeichnung Brenn-/Abgas	Oxidant/Abgas Betriebstemperatur
Alkalische Brennstoffzelle (BZ)	AFC	0 bis 80 °C
Polymer Elektrolyt BZ	PEMFC	0 bis 90 °C
Direkt-Methanol BZ	DMFC	RT bis 130 °C
Phosphorsäure BZ	PAFC	120 - 200 °C
Schmelzcarbonat BZ	MCFC	550 - 650 °C
Festoxid BZ	SOFC	750 - 1000 °C

Wasserstoff

Anode Elektrolyt Kathode

Sauerstoff

13.01.2015
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff
11



Treibstoff / Infrastruktur für Wasserstoff

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

Erfahrungen mit Wasserstoff

- » Entdeckung 1766 vom englischen Physiker bzw. Chemiker Henry Cavendish
- » H₂ stellt 75 % der gesamten Masse bzw. 93 % aller Atome des Sonnensystems
- » Seit 100 Jahren breite Verwendung



Sicherheit ist das Kernthema!

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

15

Verwendung von Wasserstoff (H₂)

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- | Reduktionsmittel H₂: Zur Verhüttung von metallischen Erzen für Reinelemente
- | Traggas (früher Luftschiffe, heute noch Wetterballons)
- | Ammoniak-Synthese: Im Haber-Bosch-Verfahren wird aus Stickstoff und Wasserstoff hergestellt für Düngemittel und Sprengstoffe
- | Kohlehydrierung: Durch H₂ wird Kohle in flüssige Kohlenwasserstoffe wie Benzin und Diesel (Fischer-Tropsch)
- | H₂ als Energieträger: Beim Schweißen und als Raketentreibstoff
- | Fetthärtung: Gehärtete Fette (Margarine) aus Pflanzenöl mittels Hydrierung
- | Lebensmittelzusatzstoff (Treibgas, Packgas, u. ä.)
- | Kühlmittel (sehr hohe Wärmekapazität): Wasserstoff als Kühlmittel (g) in Kraftwerken für Turbogeneratoren
- | (l) Kryogen für sehr tiefe Temperaturen

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

16

Umgang mit Wasserstoff

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

Normung, Regelung:

- » Erfahrungen mit Wasserstoff in der chemischen Industrie (Drücke bis 1300 bar)
- » Einsatz als Chemikalie als Gas und Krypton
- » Wasserstoff fällt als komprimiertes oder tiefkaltes verflüssigtes brennbares Gas unter die entsprechenden einschlägigen Regelwerke.
- » Besondere Gefahren gehen nicht von ihm aus!
Deutschland oder EU haben kein wasserstoffspezifisches Regelwerk
- » Normungsbedarf entsteht durch seine Einführung als Treibstoff in den Verkehr (Zulassungsvorschriften, Tankstellen, Schnittstellen-Definition)
- » Druckbehälter aus faserverstärktem Kunststoff oder anderen neuen Werkstoffen
Andere Sicherheitsfragen als bei herkömmlichen Gasflasche aus Stahl oder Alu
- » Applikationsnormen für verschiedene Anwendungen
- » Wasserstoff (ISO TC 197) , Brennstoffzellen (IEC TC 105),
GL (Richtlinien für den Einsatz von Brennstoffzellen-Systemen an Bord von Wasserfahrzeugen)



13.01.2015

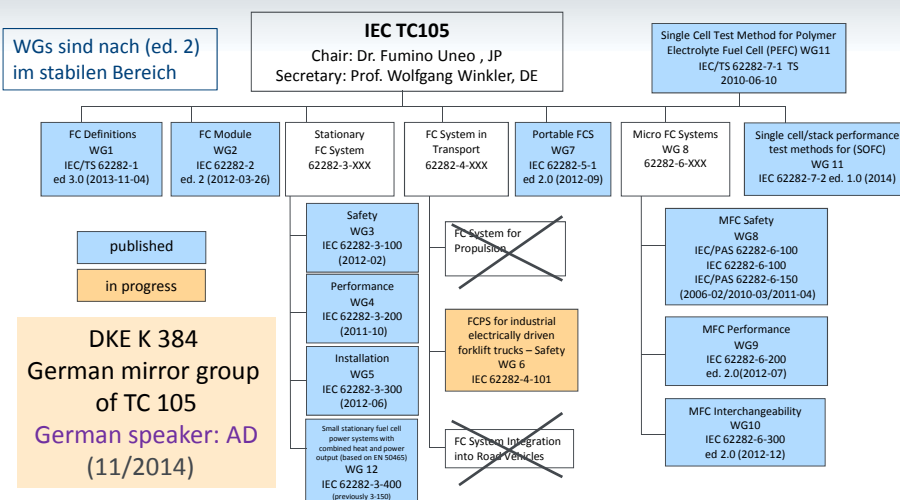
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

17

Normung für Brennstoffzellen - IEC TC 105 WG Structure

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.



13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

19

Brennstoffzellen: Trends und Fakten

- | Brennstoffzellen-Produkte sind kommerziell erhältlich (für portable und stationäre Anwendung) [mcFC] →
- | Markteinführung von Brennstoffzellen-Fahrzeuge ab 2015 für Kalifornien (USA) von Honda, Hyundai und Toyota →
- | Mikro-KWK aus Japan penetrieren in den Deutschen Markt über führende Deutsche Integratoren wie: Bosch Thermotechnik, Baxi-Innotech und Viessmann →
- | Limitierung für die Marktdurchdringung
 - » Fehlende Marktanreize (Eigenstromerzeugung soll beschränkt werden)
 - » Eingeschränkte Treibstoff-Verfügbarkeit (bisher erst 15 von 50 geplanten H₂-Tankstellen bis 2016)






13.01.2015
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff
20

Erstes Brennstoffzellen-Boot „Hydra“ mit Wasserstoff

- | Erste Passagierschiff mit Brennstoffzellenantrieb
- | Jungfernfahrt war am 16. Juni 2000 in Bonn
- | Zulassung vom Germanischen Lloyd für 22 Passagiere
- | Antriebssystem aus Hochstrommotor mit großem Drehmoment und kleinen Drehzahlbereichen
- | Brennstoffzelle (AFC) mit 5 kW Leistung von etaing GmbH
- | Länge von 12m, Tiefgang 0,52m, Gewicht ca. 4 t
- | Boot schont das unbefestigte Ufer



www.diebrennstoffzelle.de/h2projekte/mobil/hydra.shtml
www.hydrogenambassadors.com/h2fair/e/hm01-exhibitors/etaing.html

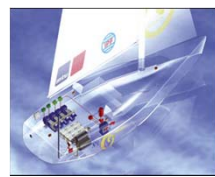
13.01.2015
Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff
21

Segel-Yacht No 1 von MTU

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- Erste zertifizierte Segelyacht mit Brennstoffzellen „-Antrieb“ (2003)
- "No.1" von MTU Friedrichshafen als Technologieträger
- 12 Meter lange Yacht mit Germanische Lloyd (GL) Zertifikat zur Sicherheit des Antriebs sowie der gesamten Segelyacht
- Brennstoffzellen-Antrieb „CoolCell“, zur Bordstromversorgung und Antrieb der Yacht bei Flaute und im Hafen
- Motivation: Strikte Vorgaben am Bodensee wegen der Bedeutung als größte Trinkwasser-speicher Europas



http://www.energieportal24.de/artikel_778.htm
<http://www.diebstoffzelle.de/nachrichten/MTUprsentiertersteYachtmitzertifiziertemBrennstoffzellen-Antrieb.shtml>

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

22

Fahrgastschiff Alsterwasser (Projekt ZEMSHIPS)

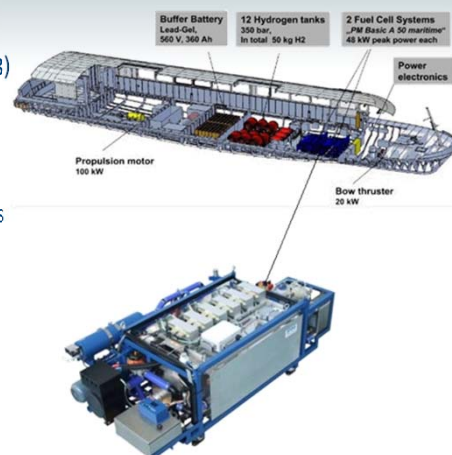
NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- 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



ATG Alster-Touristik GmbH



<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/>

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

23

Wind-Wasserstoff-Produktionsschiff

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- | „Bremerhavener Unternehmen“
Hydrogen Challenger GmbH
entwickelte dieses Schiff mit
vertikaler Windkraftanlagen
- | Der erzeugte Strom wird direkt zur
Wasser-Elektrolyse eingesetzt
- | Mit vollen Gastanks fährt das Schiff
zum Kunden (z.B. Lebensmittel-
verarbeiter in Bremerhaven)
- | Länge 66 Meter, neu ausgerüsteter
Küstentanker Baujahr 1969,
Speicherkapazität beträgt 1.194 m³
- | Unklare Situation!



http://www.diebreinstoffzelle.de/h2projekte/mobil/hydrogen_challenger.shtml
http://de.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_Challenger

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

24

Schiffe mit Wasserstoff und Brennstoffzelle

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- | Wal-Beobachtungsschiff
- | PEM FC: APU power (10 kW)
- | Brennstoff: Druckwasserstoff
- | Zertifiziert vom GL (2008)
- | Näherung an die Wale
mit sehr leisem Betrieb
- | Umweltfreundlicher Tourismus



http://www.elding.is/environmental_policy/smart_h2_project/



<https://www.pinterest.com/pin/87046205269718635/>



13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

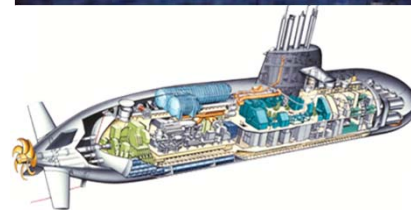
25

U-Bootklasse 212

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- | Von HDW mit Siemens BZ entwickelt
- | Außenluftunabhängigen Antrieb auf der Basis der H_2/O_2 Brennstoffzelle mit 9 bzw. 3 Modulen $\rightarrow \sim 306 \text{ kW}_{el}$
- | Wochenlang unter Wasser in Fahrt bleiben kann vs. zwei Tagen Unterwasserfahrt mit Batterien
- | Brennstoffzellen-System hat keine Geräusch- noch Abgas-Wärme Signatur



<http://www.diebrennstoffzelle.de/nachrichten/BrennstoffzellenU-BootU33beiHDWgetauft.shtml>

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

26

Ausblick auf mögliche Applikationen am und im Wasser

NEXT ENERGY

EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

- | Elektroantrieb mit Batterien und/oder (Wasserstoff-) Brennstoffzellen
- | Antriebssysteme und Bordstromversorgung von Schiffen
- | Logistik im Hafen
 - » Personen- / Waren-Transport
- | Container Transport
 - » Van Carrier
 - » Automated Lift Vehicle (ALV)
- | Elektro-Gabelstapler mit BZ
- | Stromversorgung von Containern
- | Stromversorgung der Schiffe an der Pier (Generatorbetrieb)
- | Gebäude-Versorgung (BHKW)



www.bremenports.de/unternehmen/presse/pressemitteilungen/zwei-neue-elektrofahrzeuge-fuer-den-hafendienstleister-bremenports

www.irisvis.nl/container/processes.html

www.terex.com/port-solutions/en/products/automated-guided-vehicles/lift-agv/

13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

27

Wasserstoff und Brennstoffzelle im Hafen angekommen

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.

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



13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

28

NEXT ENERGY – Forschung für die Energie von morgen

NEXT ENERGY
EWE-Forschungszentrum für
Energietechnologie e.V.



13.01.2015

Dr. Alexander Dyck / maritimer Wasserstoff

29