

Dr. Joachim Hoffmann / September 2015

Emissionsreduzierte Antriebe

- alternative Energieerzeugung an Bord
- Status Brennstoffzelle

Siemens Naval & Commercial

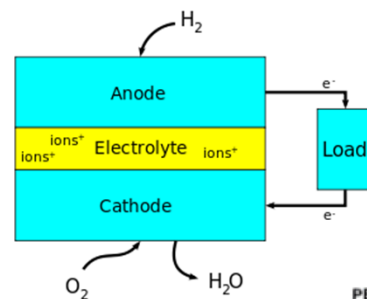


**Hamburg
September 2015**

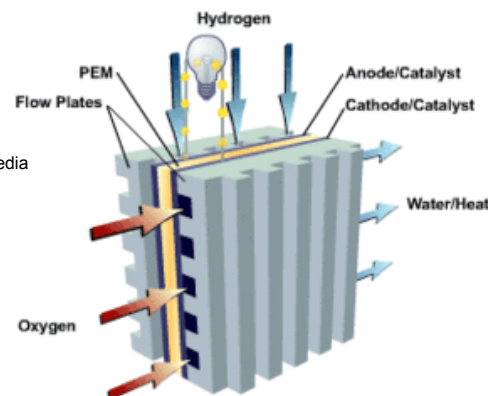
Was ist eine Brennstoffzelle

Elektrochemischer Prozess, bei dem chemische Energie in nutzbare elektrische Energie gewandelt wird

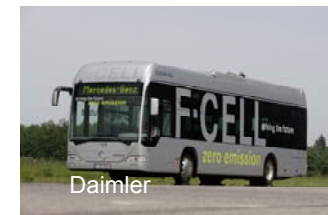
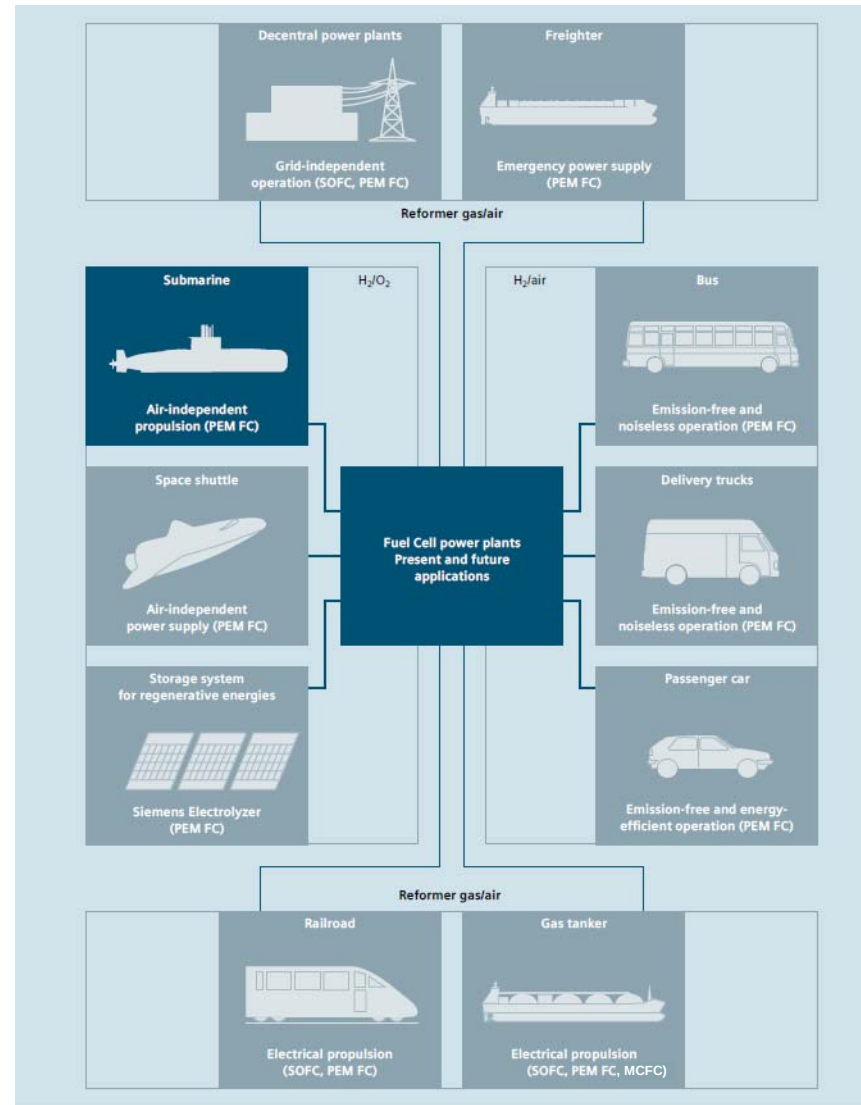
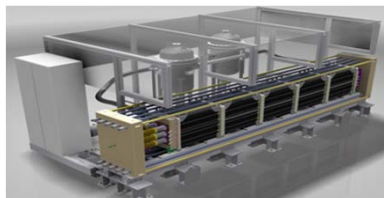
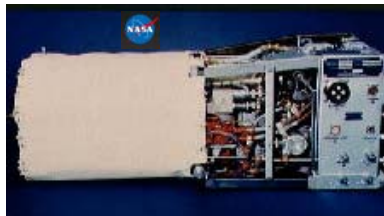
Abgrenzung zur Batterie → Batterie hat einen begrenzten Speicher an chemischer Energie (Gehäuse), während bei einer Brennstoffzelle die Brennstoffe dem elektrochemischen Prozess zugeführt werden und die gebildeten Produkte abgeführt werden



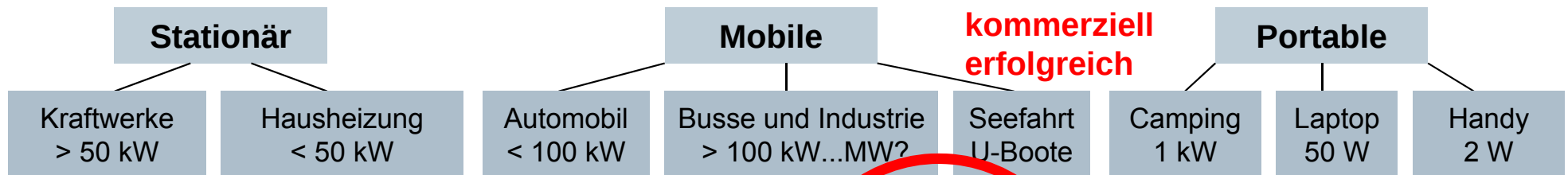
Quelle Wikipedia



Brennstoffzellenanwendungen in Auto – Bahn – Schiff – Raumfahrt



Brennstoffzellen @ Siemens



This block contains a collage of Siemens fuel cell projects, mostly labeled as demos. The projects are organized by category and year:

- Stationär (Stationary):**
 - Seit 1990: Large industrial power plant.
 - 2004: Siemens fuel cell unit.
 - 1997: Industrial facility with a large circular component.
 - 2015: Galileo IBZ/HEXIS unit.
- Mobile:**
 - 2007: Daimler car.
 - 1997: Car with exposed engine.
 - 1997/2000: Siemens bus.
 - 1966: Boat.
 - Seit 1998: U-boat (circled in red).
 - 1997: Forklift.
- Portable:**
 - 2001: Mobile phone with fuel cell.
 - 2015: Camping unit (M10).
 - 2004: NEC laptop.
 - 2015: myFC mobile phone.

The text 'Siemens-Projekte (meist Demos)' is written in large blue letters at the bottom of the collage.

Brennstoffzellen auf Schiffen

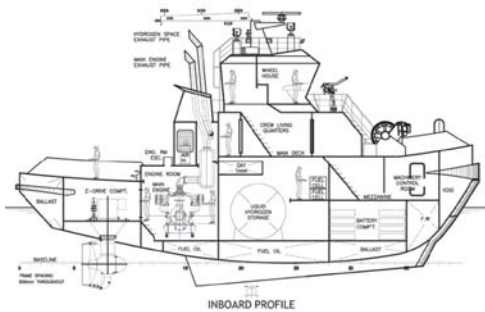
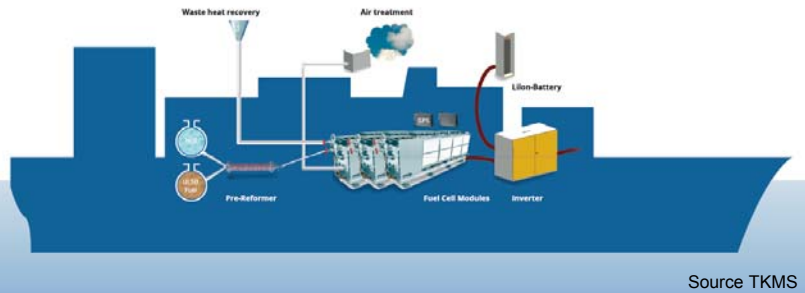
Vorteile von Brennstoffzellen auf Schiffen:

- Geräuscharm
- Geringere Emissionen (verbunden mit der Anforderung nach ultra-sauberen Brennstoffen (bisher Wasserstoff und LNG) → „was nicht reingeht, kann nicht rauskommen“)
- Keine Feinstaub- und NOx-Bildung
- Unterschiedliche H₂-Erzeugungsoptionen
 - Elektrolyseur mit elektrischer Energie aus Windkraftwandlung ($\eta \sim 65-70\%$)
 - Wenn LNG eingesetzt wird, geringere CO₂-Emission, wegen höherem Wirkungsgrad → liegt bei 45 – 60 % elektr. und ca. 90 % total (elektr. und therm.)

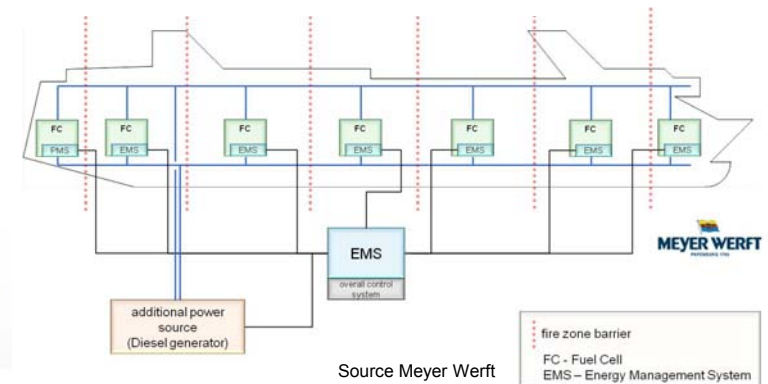
Nachteile

- Immer noch extrem hohe Kosten der Brennstoffzellen
- Sofern Wasserstoff als Brennstoff eingesetzt wird, auch hohe Bereitstellungskosten bzw. Anlagekosten (Reformer/Windrad & Elektrolyseur)
- Emissionen entstehen an anderer Stelle (CO₂ aus Reformer)

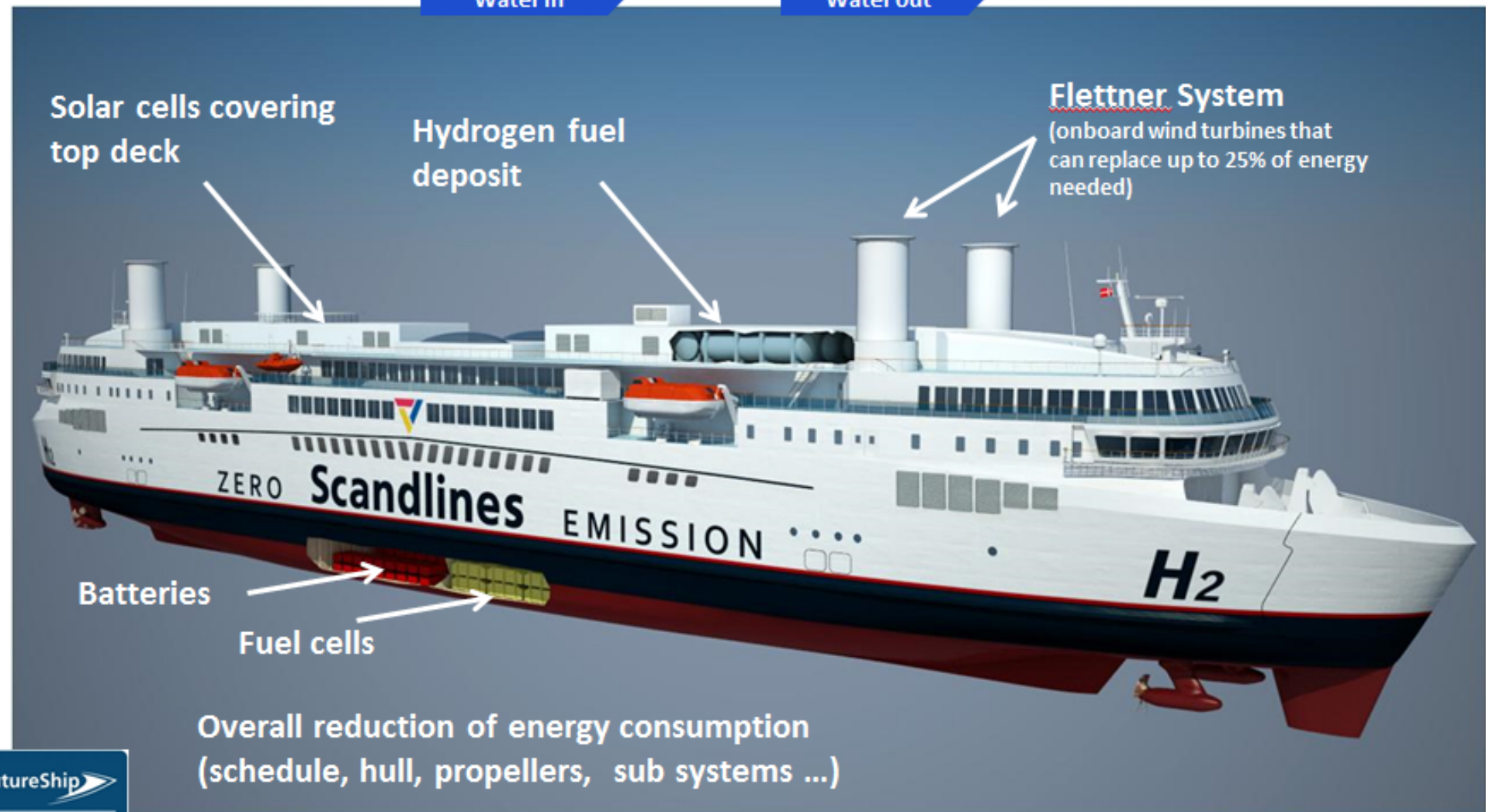
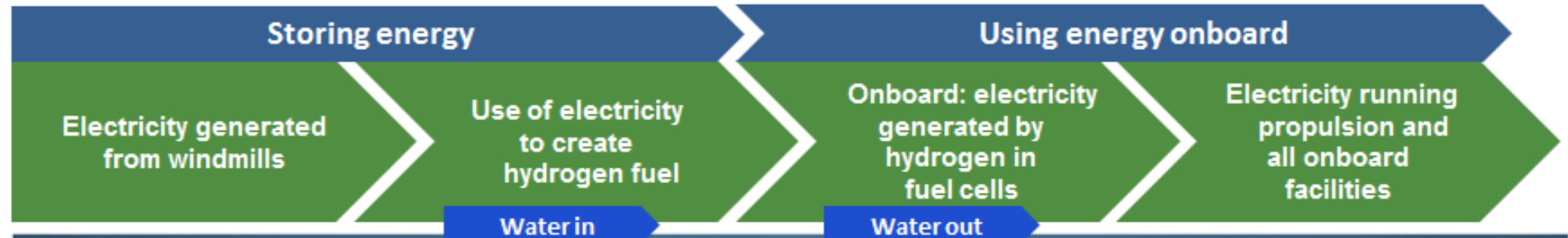
Geplante BZ-Anwendungen auf Schiffen



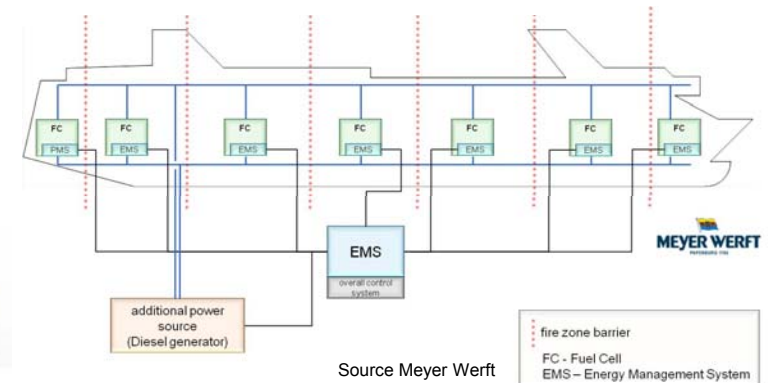
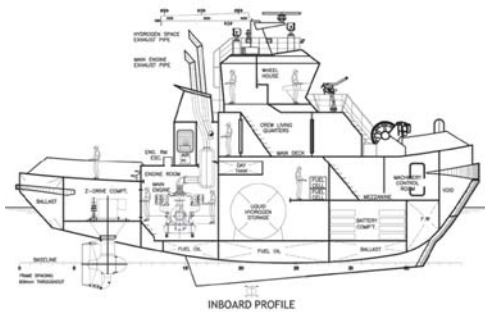
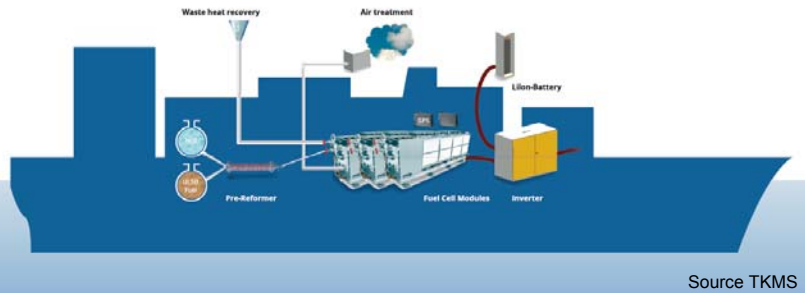
Capilano Maritime Design Ltd's Hybrid Electric Tug – General Arrangement.



Fuel Cell / Hydrogen future



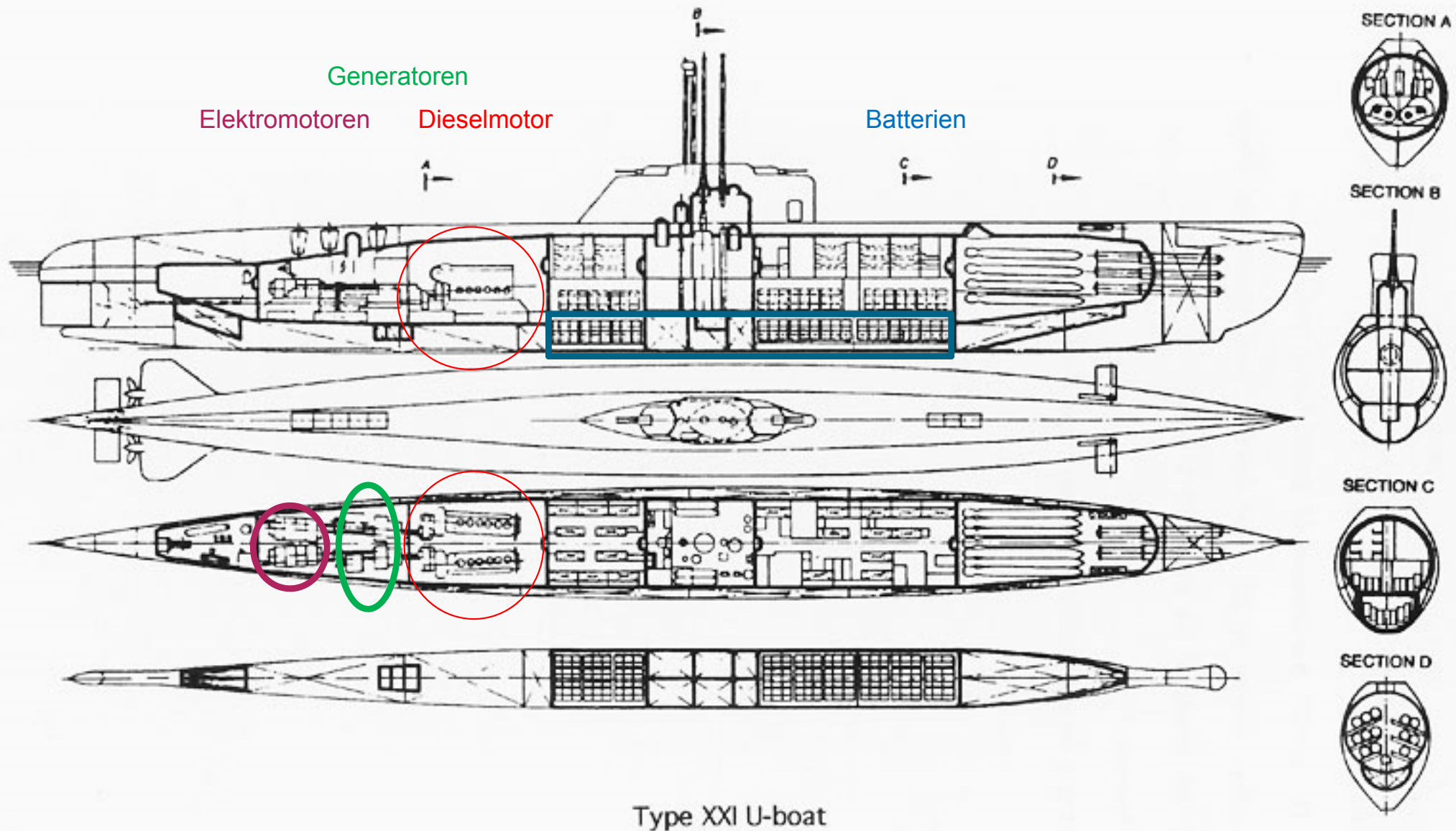
Geplante BZ-Anwendungen auf Schiffen



Capilano Maritime Design Ltd's Hybrid Electric Tug – General Arrangement.



Hybrid – 1 Wilhelm Bauer (Bremerhaven) Dieselantrieb und Elektroantrieb



Hybrid – 2 U-Boot Klasse U212A

Batterie und Dieselgenerator und Brennstoffzelle und Elektroantrieb

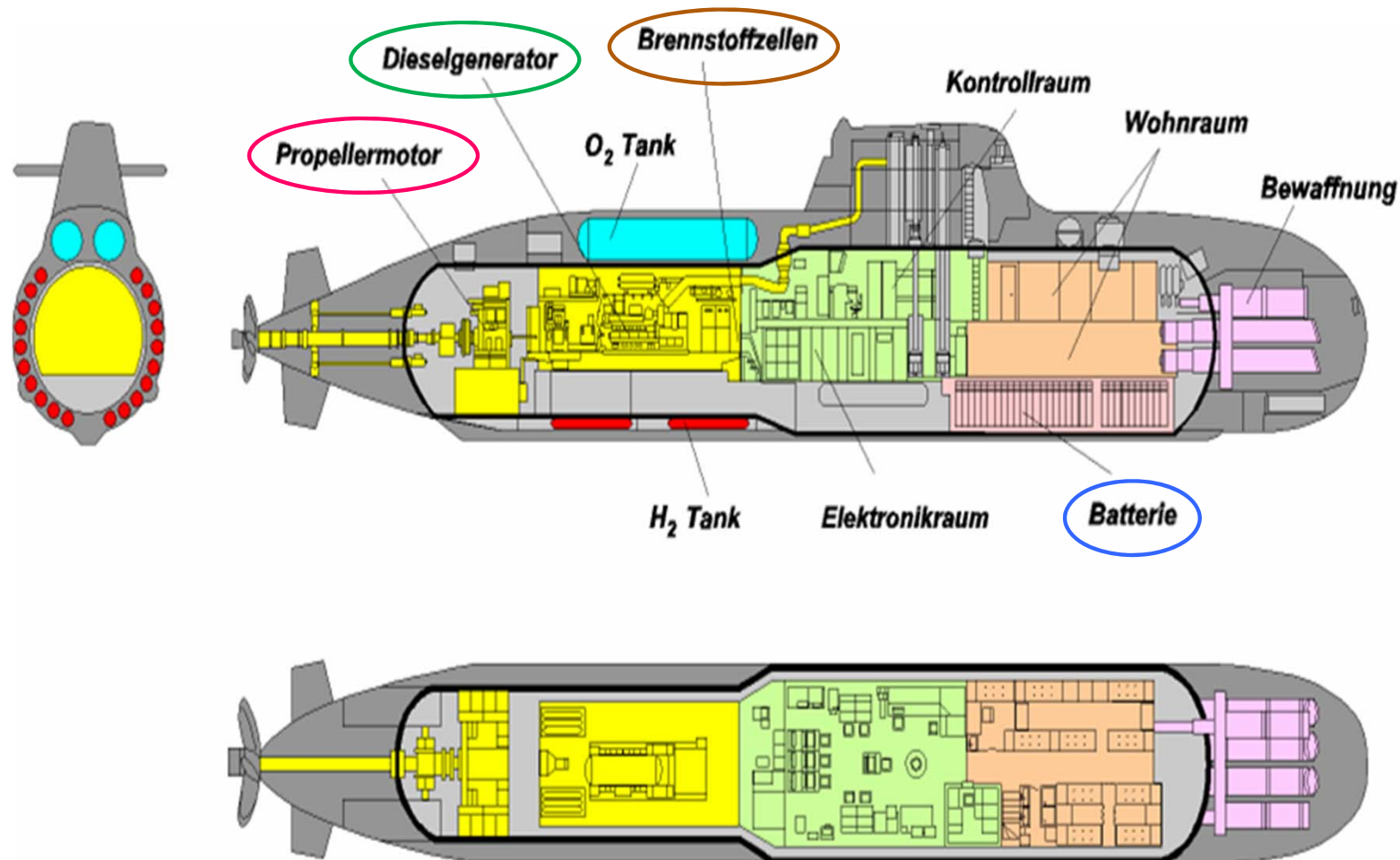


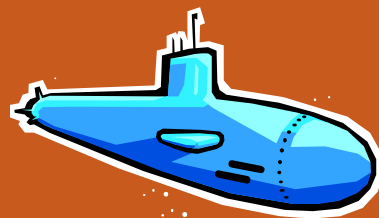
Bild TKMS

Air-Independent Propulsion (AIP) erweitert die Tauchzeit

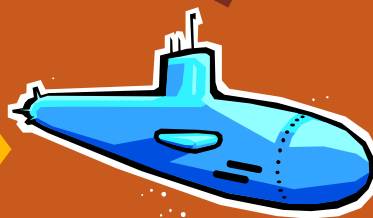


Beschränkte Tauchzeit
wegen begrenzendem
Energiespeicher (Batterie)

Air Independent Propulsion (AIP) System zusätzlich
zum existierenden
Energiespeicher ermöglicht
eine **Verlängerung der Tauchzeit**



~ drei
Tage



~ !!
Wochen



AIP – unterschiedliche Technologien

Muskelkraft – USS Hunley

Walter-Antrieb – Wasserstoffperoxid in Verbindung mit Dieseltreibstoff. Das Wasserstoffperoxid wurde in der Zersetzerkammer über als Katalysator wirkendes Mangandioxid (Braunstein) geleitet, wo es sich rasant unter sehr starker Wärmeentwicklung zersetzte, anschließend wurde in den sauerstoffhaltigen Heißdampf Dieseltreibstoff eingespritzt, der sich sofort selbst entzündete. Das entstehende Gas-Dampf-Gemisch trieb anschließend eine Turbine an. Ähnlicher Antrieb in Torpedos der Kursk → Auslöser der Katastrophe

Kreislauf-Diesel-Antrieb: Der Dieselmotor (bzw. ein anderer Verbrennungsmotor) wird mit einem Sauerstofflieferanten, etwa Flüssigsauerstoff (LOX) oder Wasserstoffperoxid, unter Wasser betrieben. Die Verbrennungsgase werden gewaschen und der fehlende Sauerstoff vor der erneuten Verbrennung wieder zugesetzt. Die CCD-Technologie (Closed Cycle Diesel) wurde Mitte der 1990er Jahre durch TNSW auf Unterseeboot U1 – das auch als Erprobungsträger für die Brennstoffzelle genutzt wurde – erfolgreich erprobt

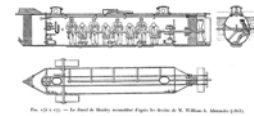
Stirling-Motor: In einigen U-Booten der schwedischen und japanischen Marine, möglicherweise auch in der Marine der Volksrepublik China, kommen außenluftunabhängige Stirlingmotoren zum Einsatz

MESMA-Antrieb: Eine französische Entwicklung stellt dieser Kreislaufdampfturbinenantrieb dar. Der eigentliche Dampfkreislauf ist vom Ethanol-Verbrennungskreislauf, analog zu den großen Kessel-Turbinen-Schiffsantrieben, getrennt. Flüssigsauerstoff (LOX) ersetzt das frühere Wasserstoffperoxid der Walter-Antriebe, die Turbine wirkt nicht mehr direkt auf die Schraubenwelle, ein Generator sorgt für die akustische Entkoppelung. Derartige Anlagen kommen in der spanischen und pakistanischen Marine zur Anwendung.

Brennstoffzellen: Auch bei diesen Booten erfolgt der Antrieb letztlich durch Elektromotoren. In der Brennstoffzelle wird aber die Energie in einem chemischen Treibstoff nicht über den Umweg der Verbrennung erzeugt, sondern katalytisch direkt in elektrischen Strom verwandelt, der dann die Elektromotoren antreibt. Die Entwicklung dieser Technik begann bereits gegen Ende des Zweiten Weltkriegs. Das Interesse, Brennstoffzellen für U-Boote zu benutzen, ist also wesentlich älter als das der Automobilindustrie. Heute stellt diese Antriebsform wohl, mit dem Nuklearantrieb, die fortschrittlichste dar. Sowohl die Unabhängigkeit vom Luftsauerstoff als auch ein Minimum an beweglichen Teilen, die Geräusche verursachen, lange Verweilzeiten unter Wasser und die geringe Abwärme entsprechen den Anforderungen an moderne militärische U-Boote. Mit den Klassen 212 A und 214 wurden mittlerweile in einigen Marinen Brennstoffzellen-U-Boote aus deutscher Konstruktion eingeführt.

(Quelle: Wikipedia)

Extern © Siemens AG 2015



AIP-Systeme

Brennstoffzellen basierende AIP-Systeme – Anbieter:

TKMS (Deutschland)

Navantia (Spanien)

DCNS (Frankreich) – in der Entwicklung

Russische AIP – diverse Publikationen

Koreanische AIP-Aktivitäten – diverse Publikationen

Chinesische AIP-Aktivitäten – ???

Non-Brennstoffzellen-basierende AIP-Systeme – Anbieter:

Saab (Schweden) → Stirling

DCNS (Frankreich) → Closed-Cycle Dampfturbine

Chinesische AIP-Schiffe Typ 041 → Stirling ???

Sinavy SUB Klasse U 212A – Überblick

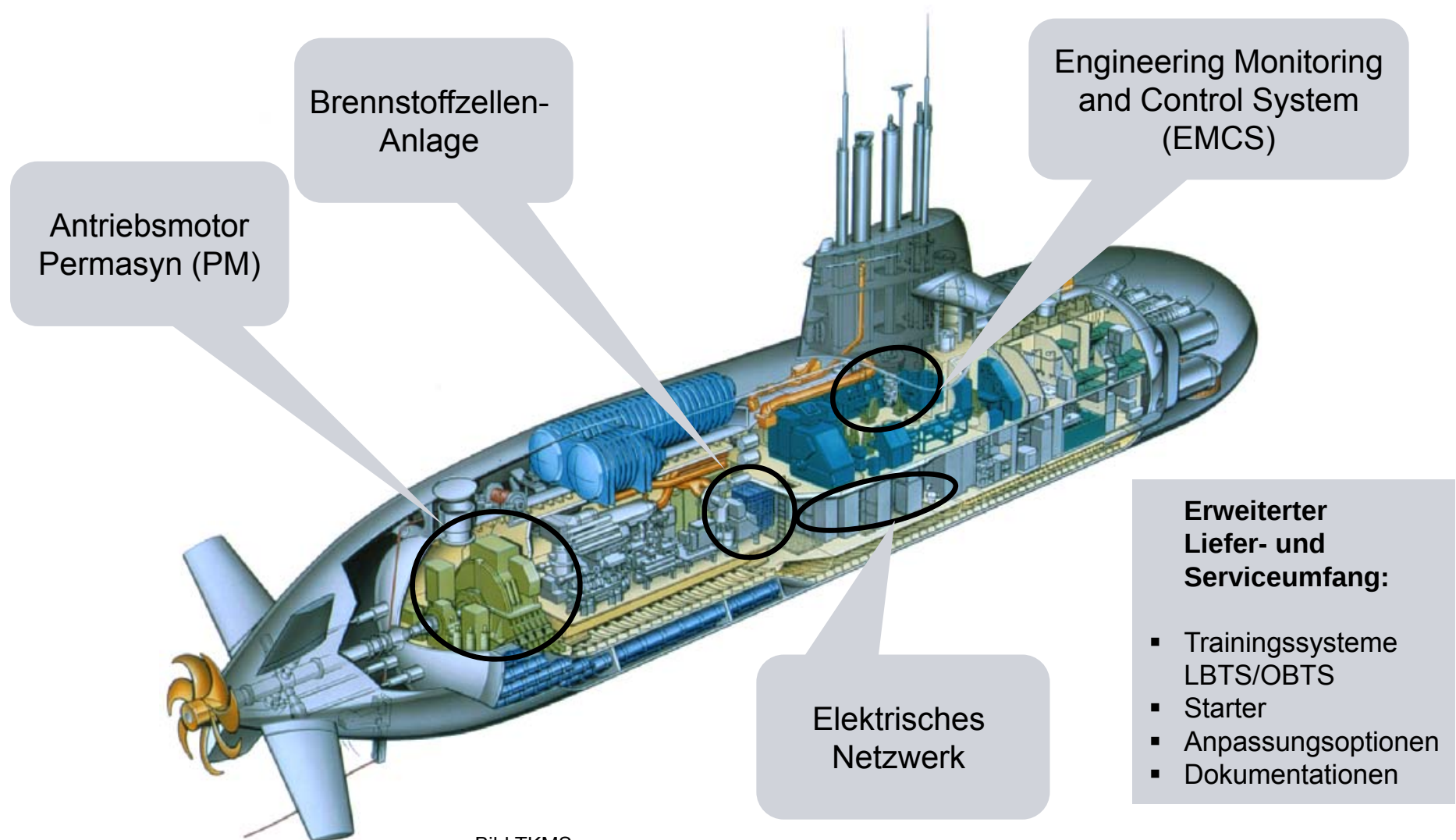


Bild TKMS

Sinavy SUB

Klasse 214 – Überblick

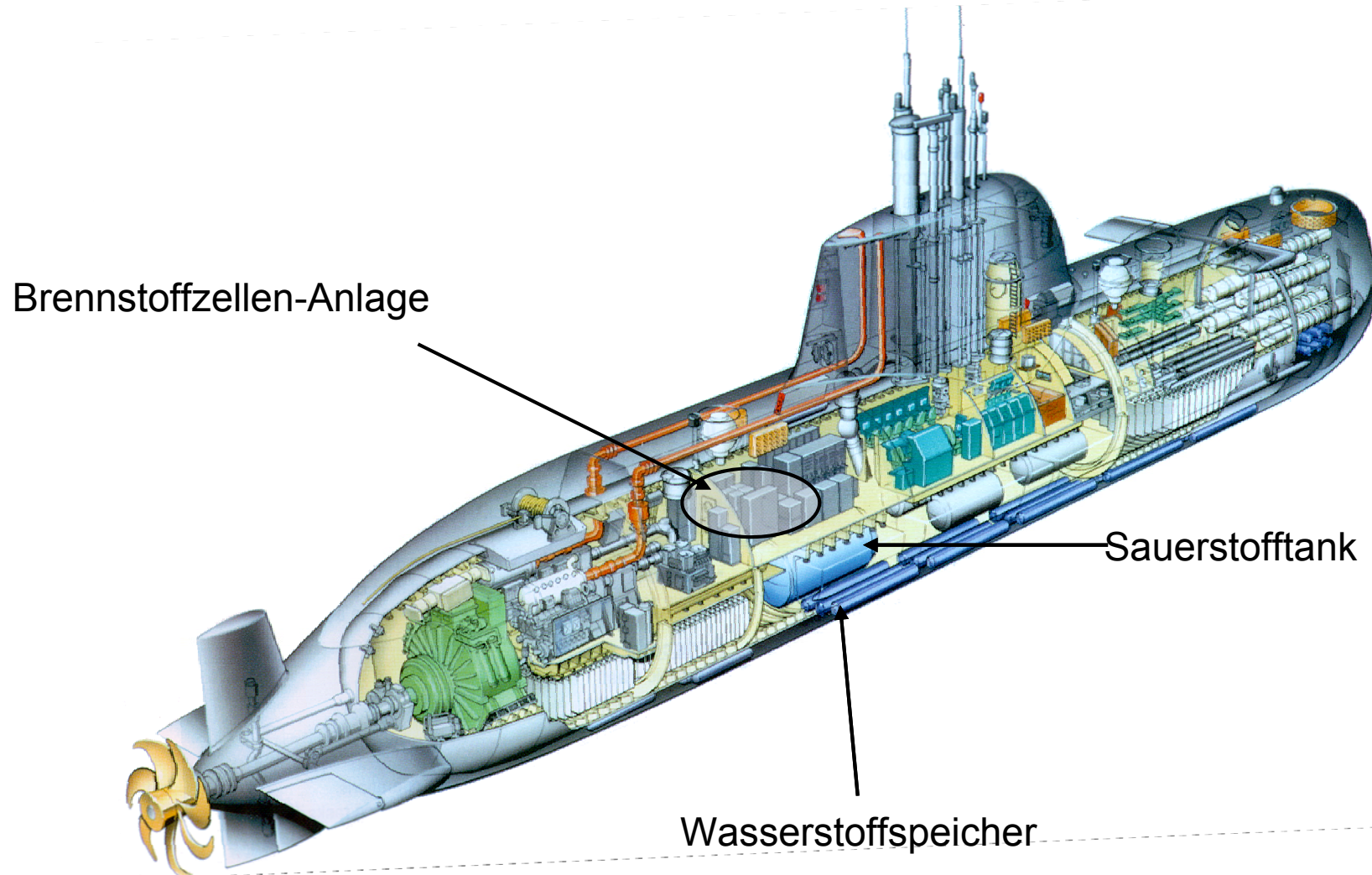


Bild TKMS

Brennstoffzellen-AIP-Sektion

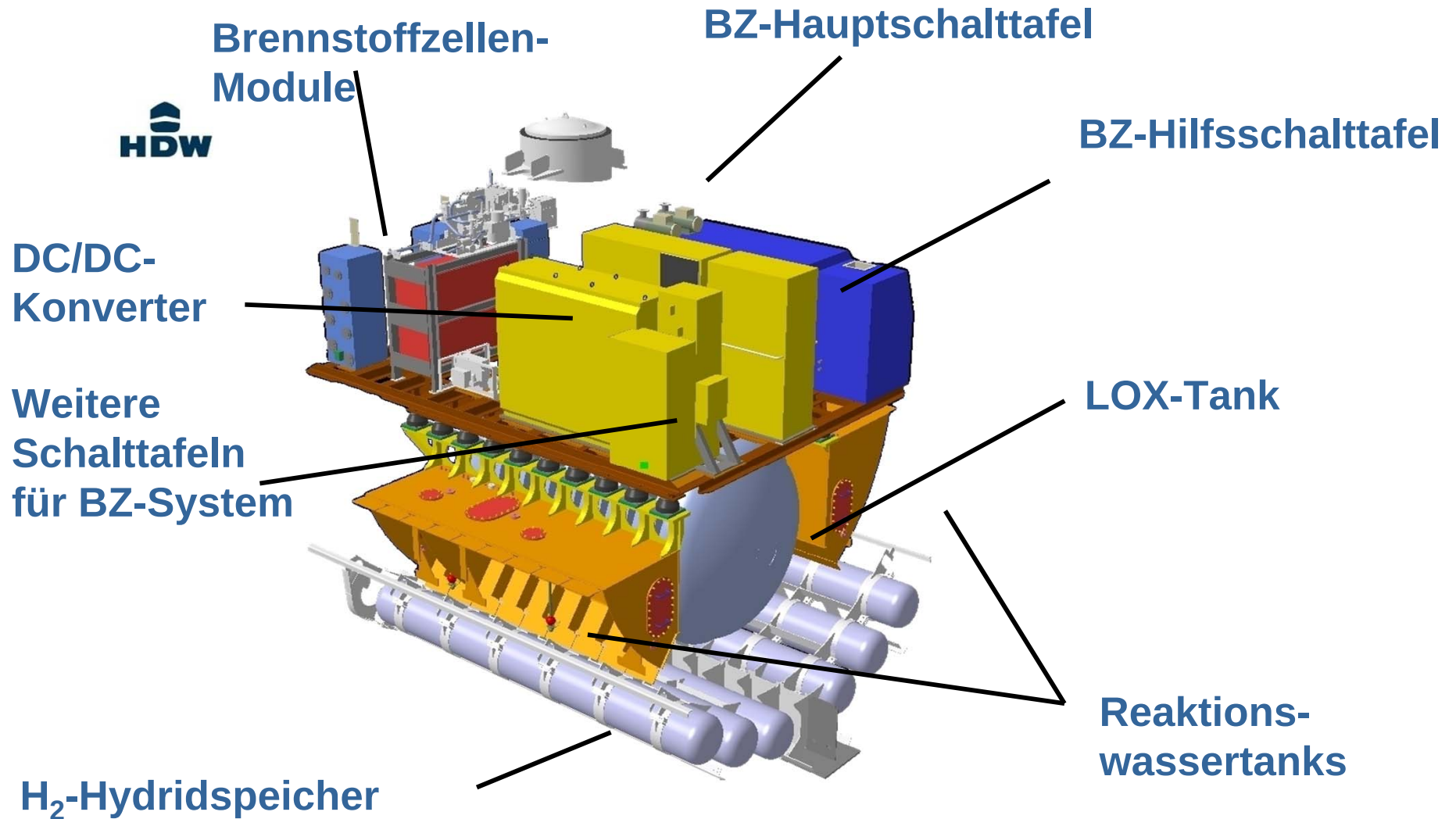
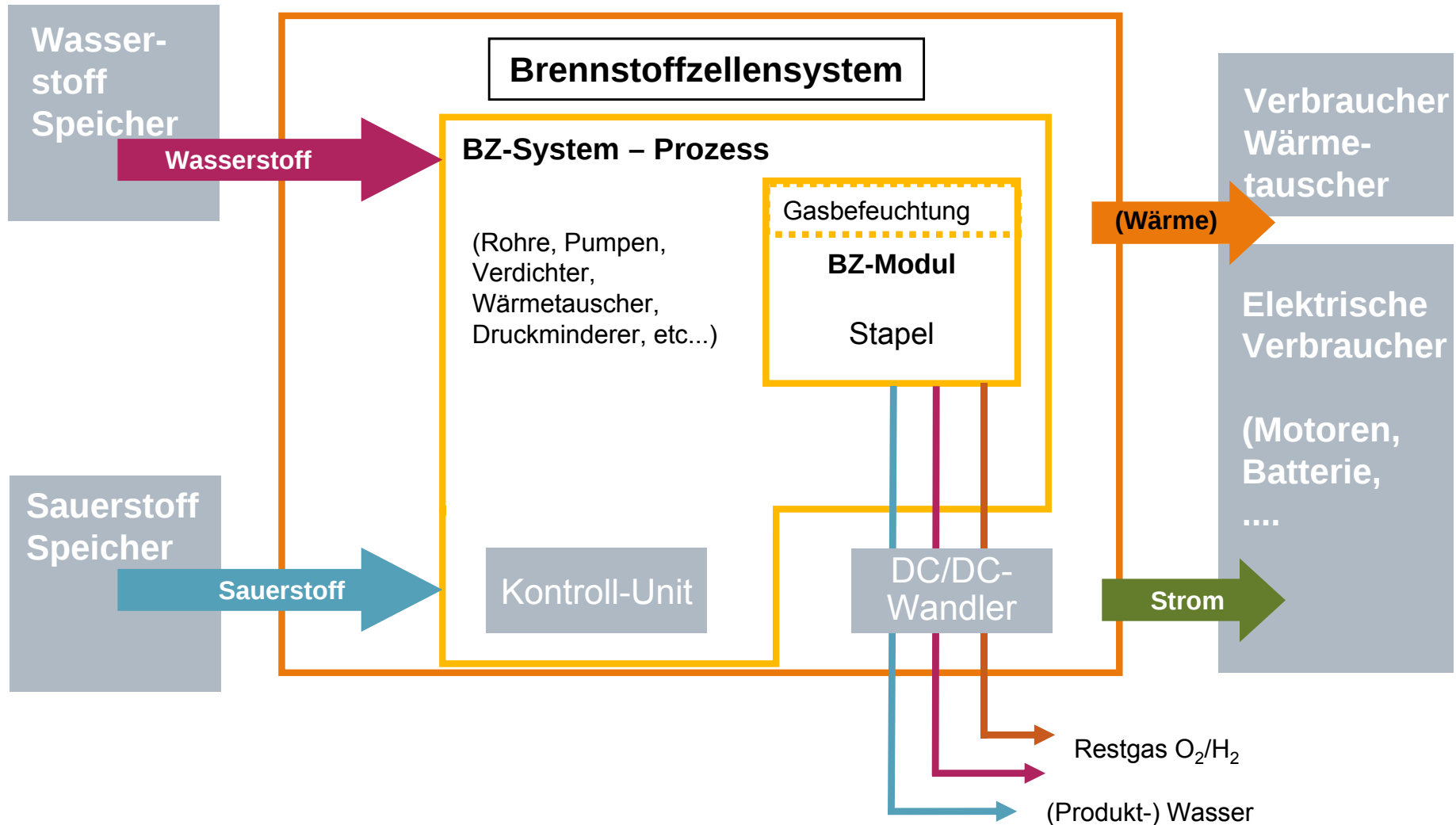
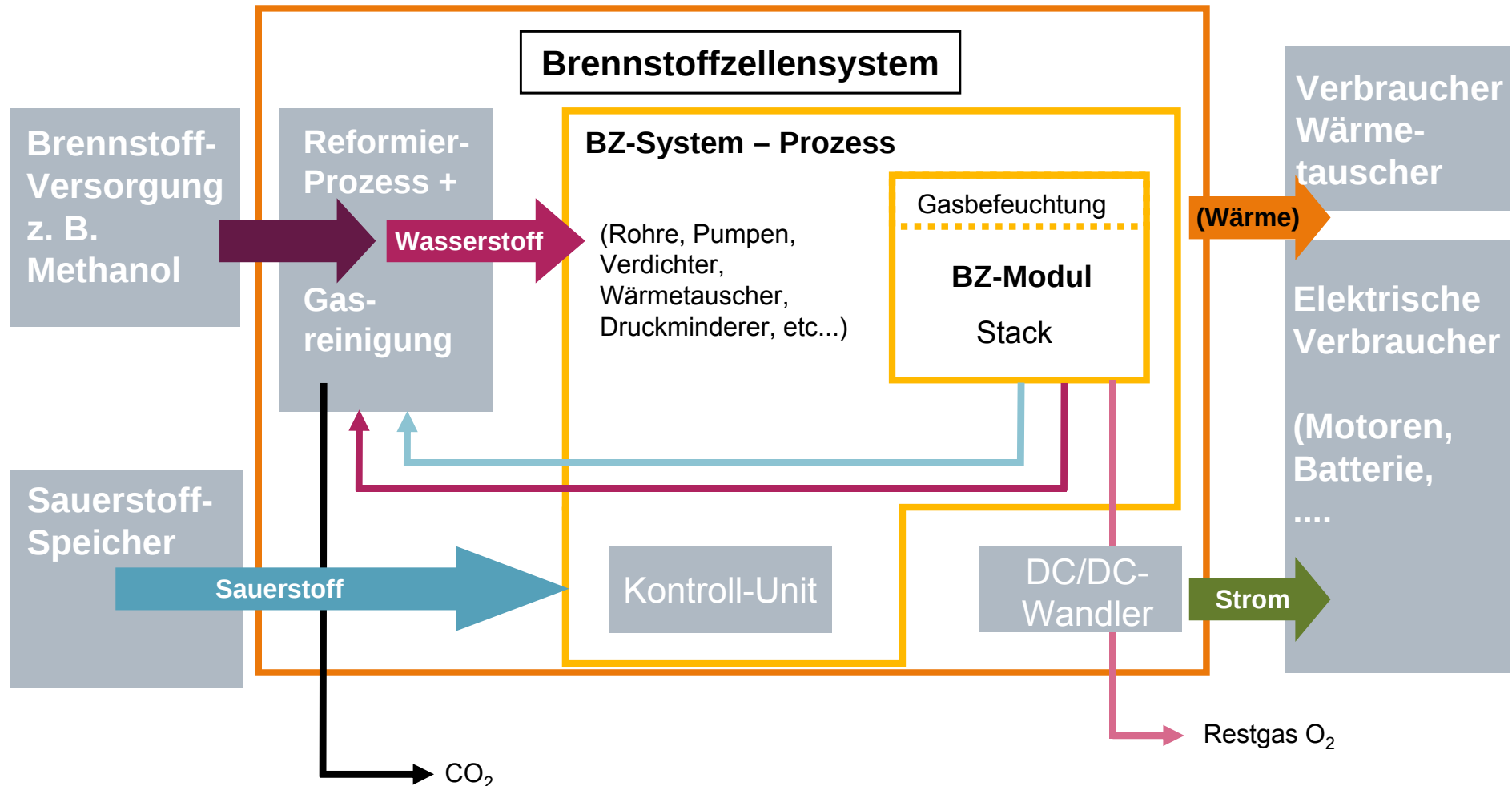


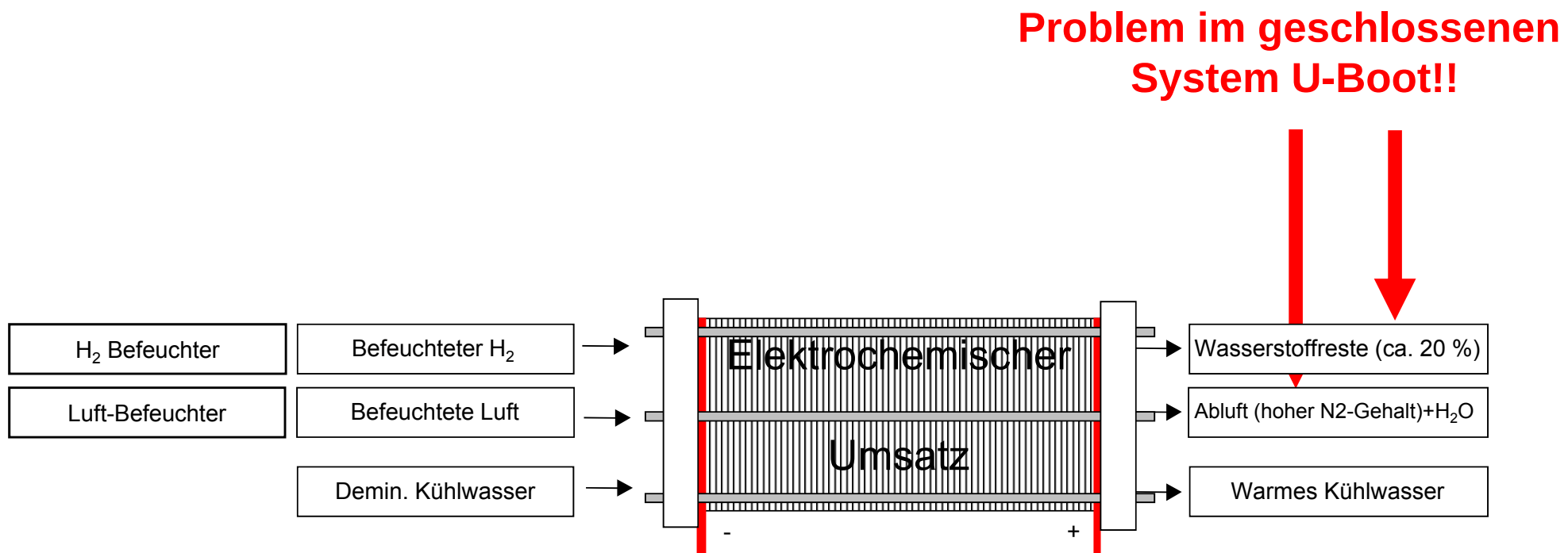
Bild TKMS

Schematisches Prozessschaubild des PEM-Brennstoffzellensystems



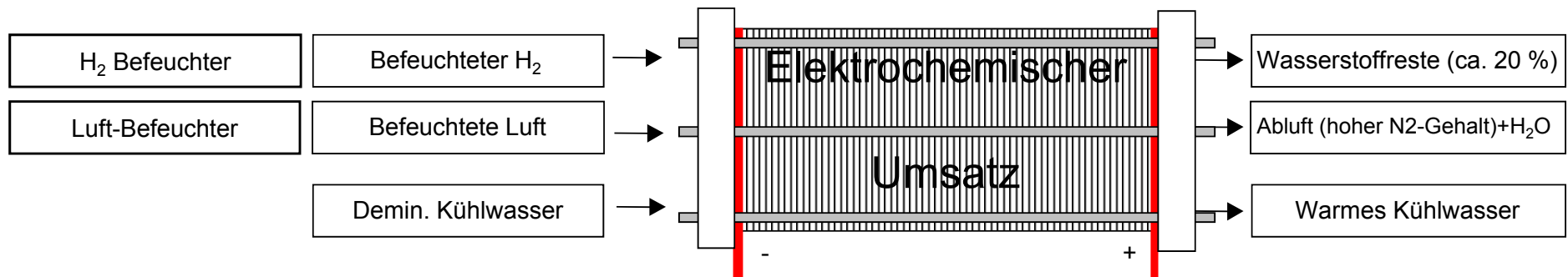


Stapeldesign eines konventionellen PEM-FC-Stacks

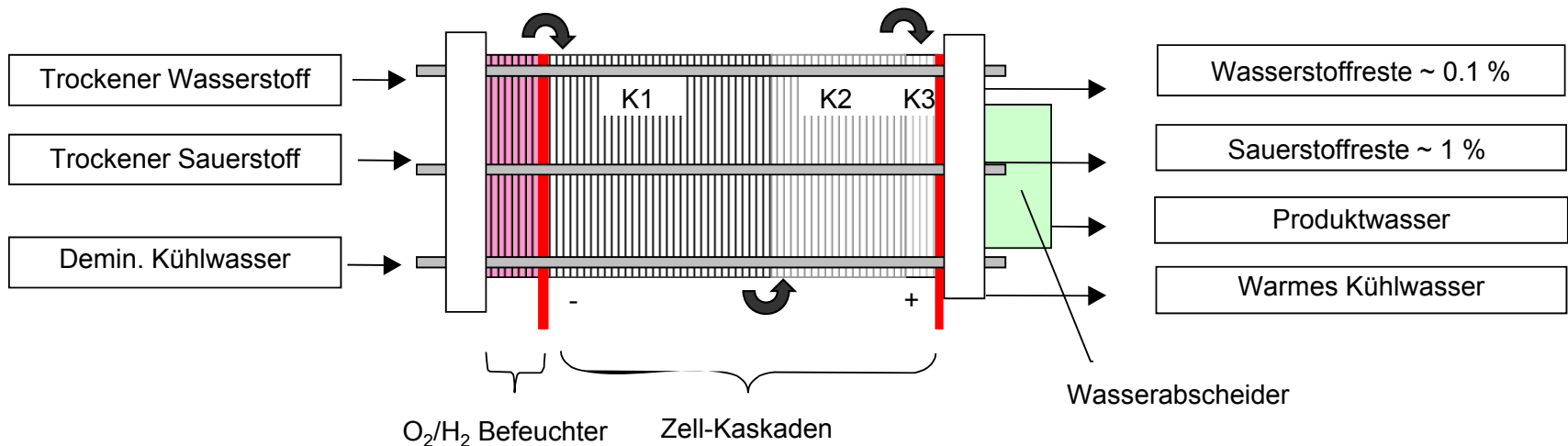


Einfacher Brennstoffzellenstapel zwischen zwei Endplatten

Stapeldesign eines für den U-Bootbetrieb optimierten Stapel



Siemens-Stapeldesign mit integriertem Befeuchter und kaskadiertem Stapel

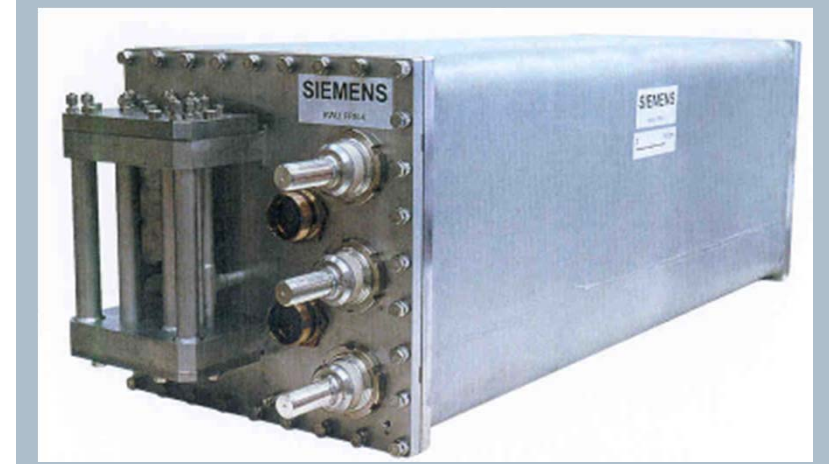
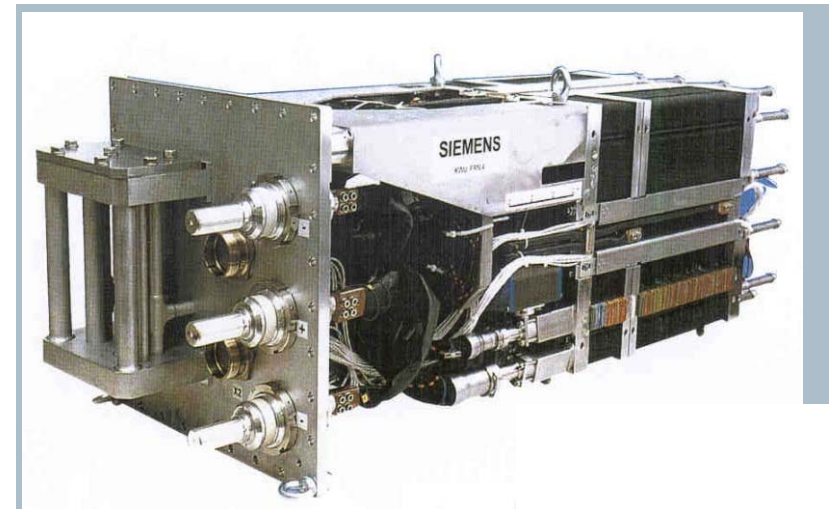


Design-Prinzipien

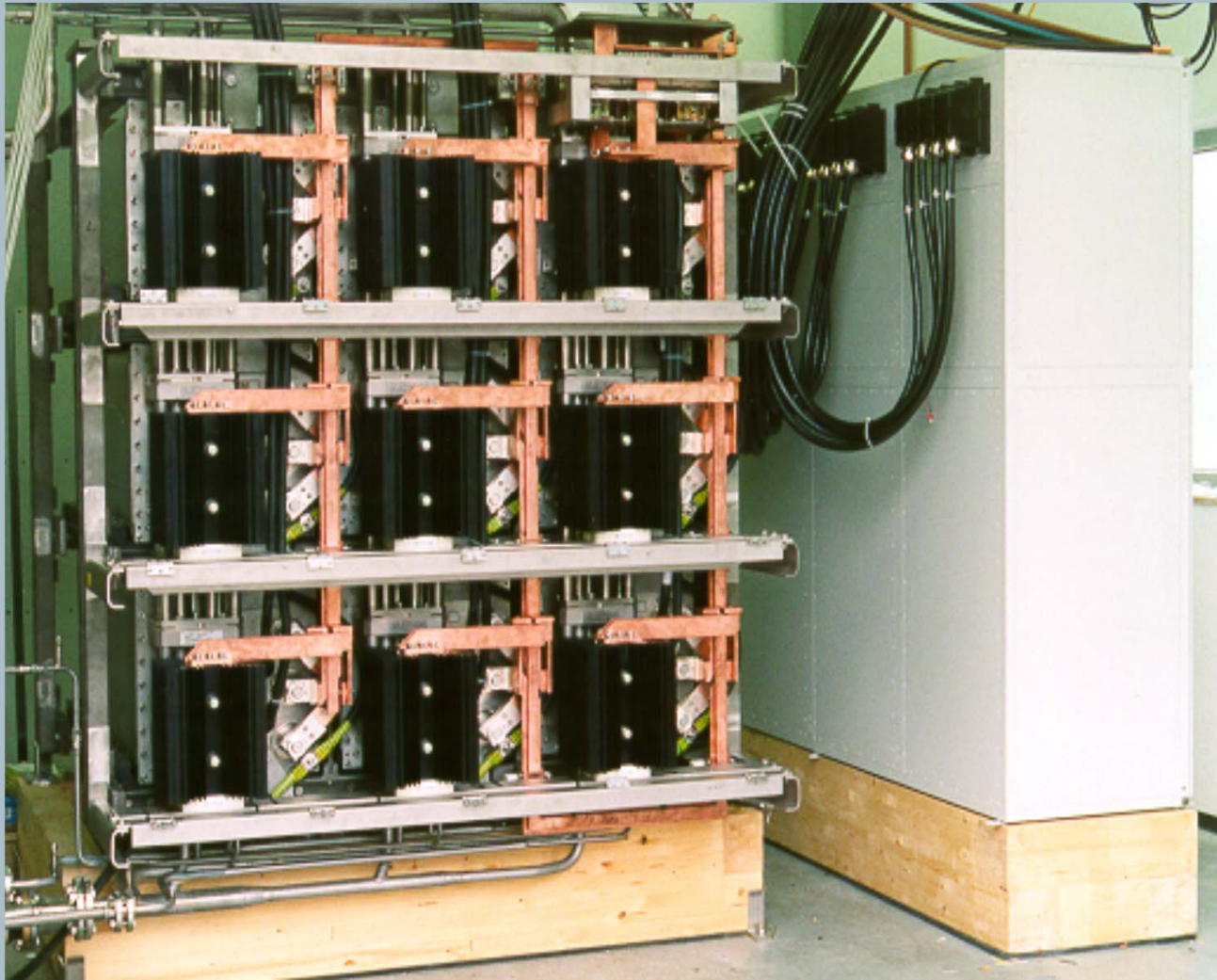
- Hohe Strom- und Leistungsdichte
 - $\sim 600 \text{ mA/cm}^2$ @ $\sim 0,72 \text{ V}$ (BZM 34)
 - $\sim 1000 \text{ mA/cm}^2$ @ $\sim 0,70 \text{ V}$ (BZM 120)
- Direkte Kühlung jeder Bipolarplatte (thermisches Management/Lebensdauer)
- Dicke einer einzelnen Zelle $\sim 2,2 \text{ mm}$ (sehr kompaktes Design)
- Dead-End-System für Wasserstoff und Sauerstoff (keine Gaskreisläufe; höchste Gasnutzung)
- Integration des Gasbefeuchters in den Zellstapel (kompaktes Design)
- Kontrolle der Prozess- und sicherheitsrelevanten Funktionen

Sinavy SUB PEM-Brennstoffzelle BZM 34 für AIP-Betrieb

- Anzahl der Zellen 72
- Nennlast ~ 34 kW
- Nennstrom 650 A
- Nennspannung > 50 V
- Wasserstoffdruck 2,3 bar a
- Sauerstoffdruck 2,6 bar a
- Arbeitstemperatur 70 – 80 ° C
- Abmessungen 47 x 47 x 143 cm
- Gewicht (inkl. Druckbehälter) 630 kg
- Wirkungsgrad
 - @ 20 % Nennlast ~ 71 %
 - @ Nennlast > 58 %

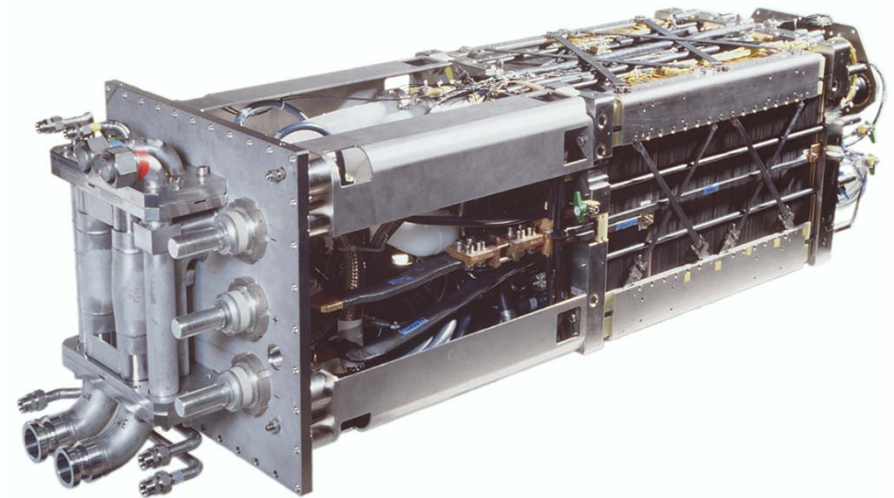


PEM-Brennstoffzellen-Batterie (BZM 34 und Schalttafel eingebaut in U 212A)

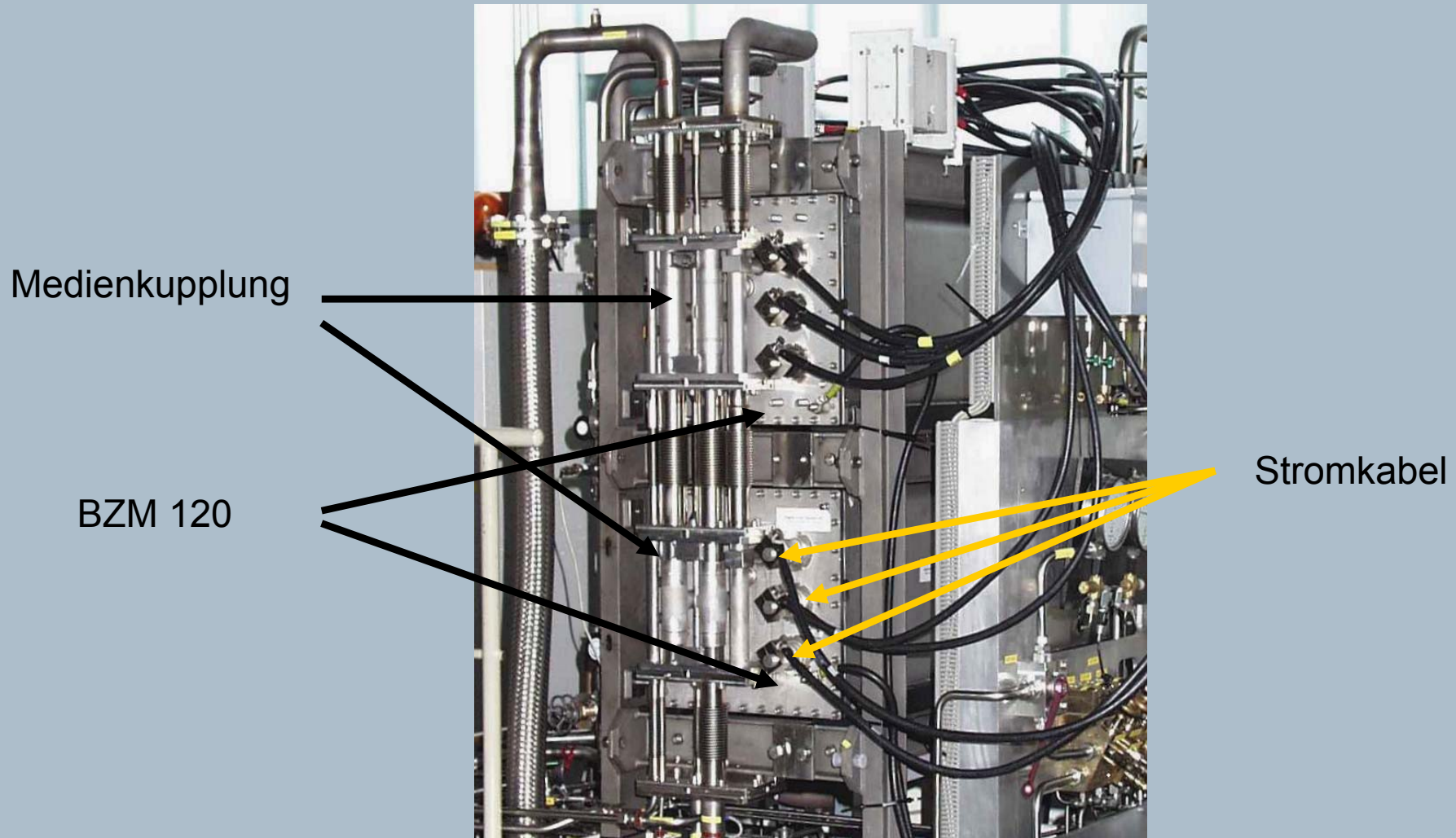


Sinavy SUB PEM-Brennstoffzelle BZM 120 für AIP-Betrieb

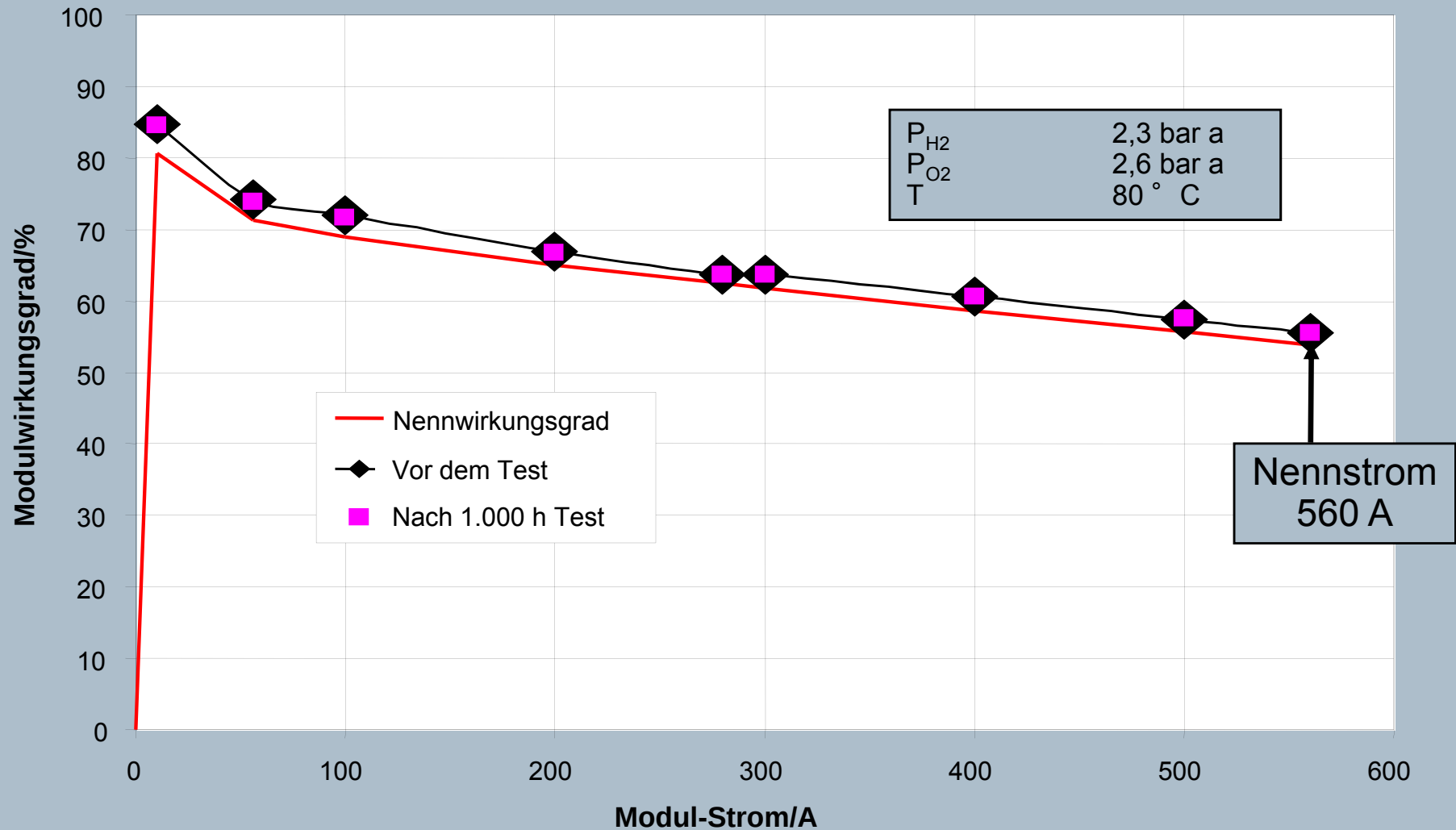
- Nennlast 120 kW
- Betriebsspannung > 215 V
- Wasserstoffdruck 2,4 bar a
- Sauerstoffdruck 2,7 bar a
- Betriebstemperatur 70 – 80 ° C
- Gewicht inkl. Druckbehälter: 930 kg
- Abmessungen 50 x 53 x 176 cm
- Wirkungsgrad
 - @ 20 % Nennlast ~ 68 %
 - @ Nennlast ~ 53 %



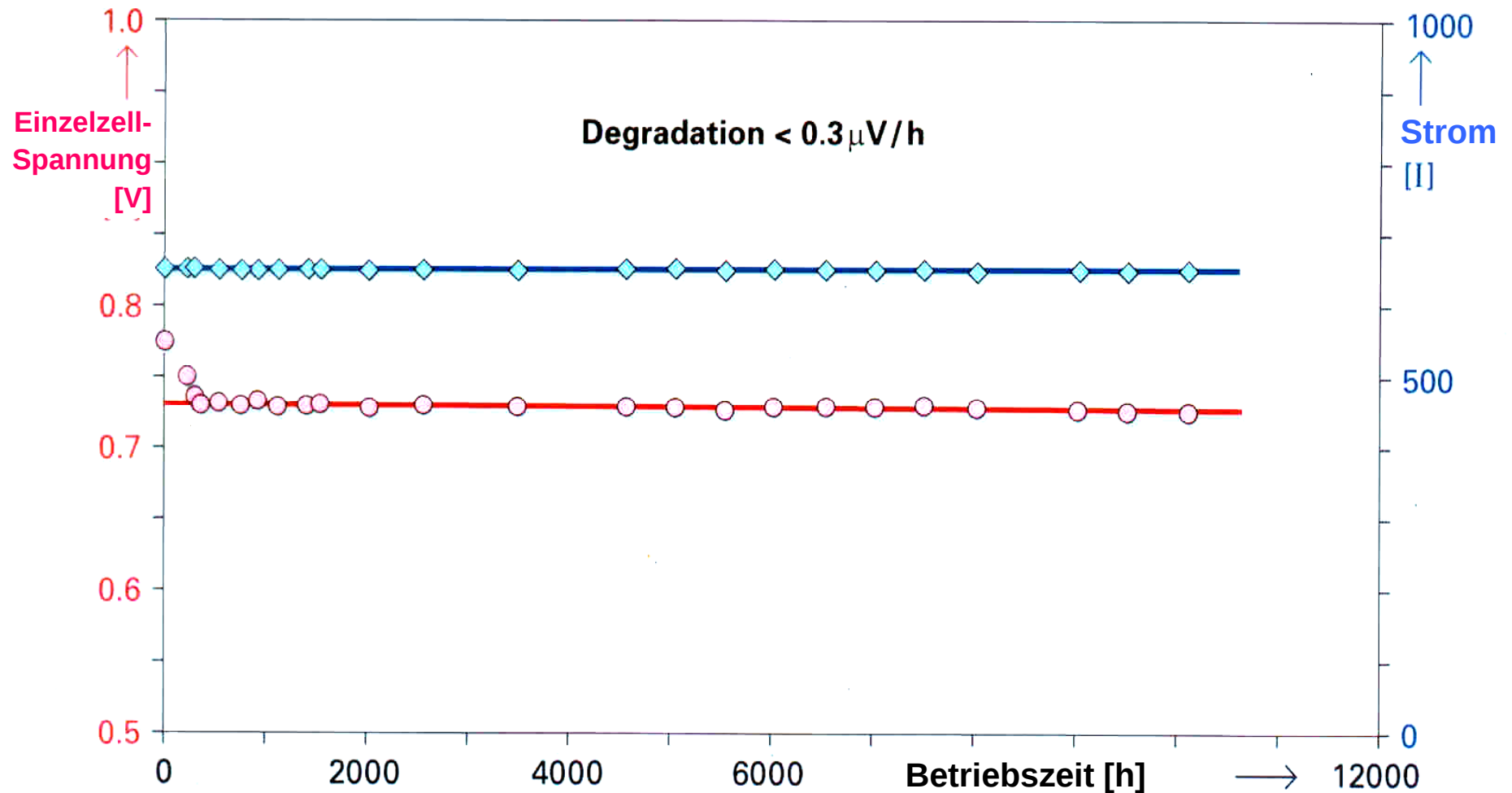
Sinavy SUB PEM-Brennstoffzellen-Batterie BZM 120 eingebaut in Klasse 214 U-Boot



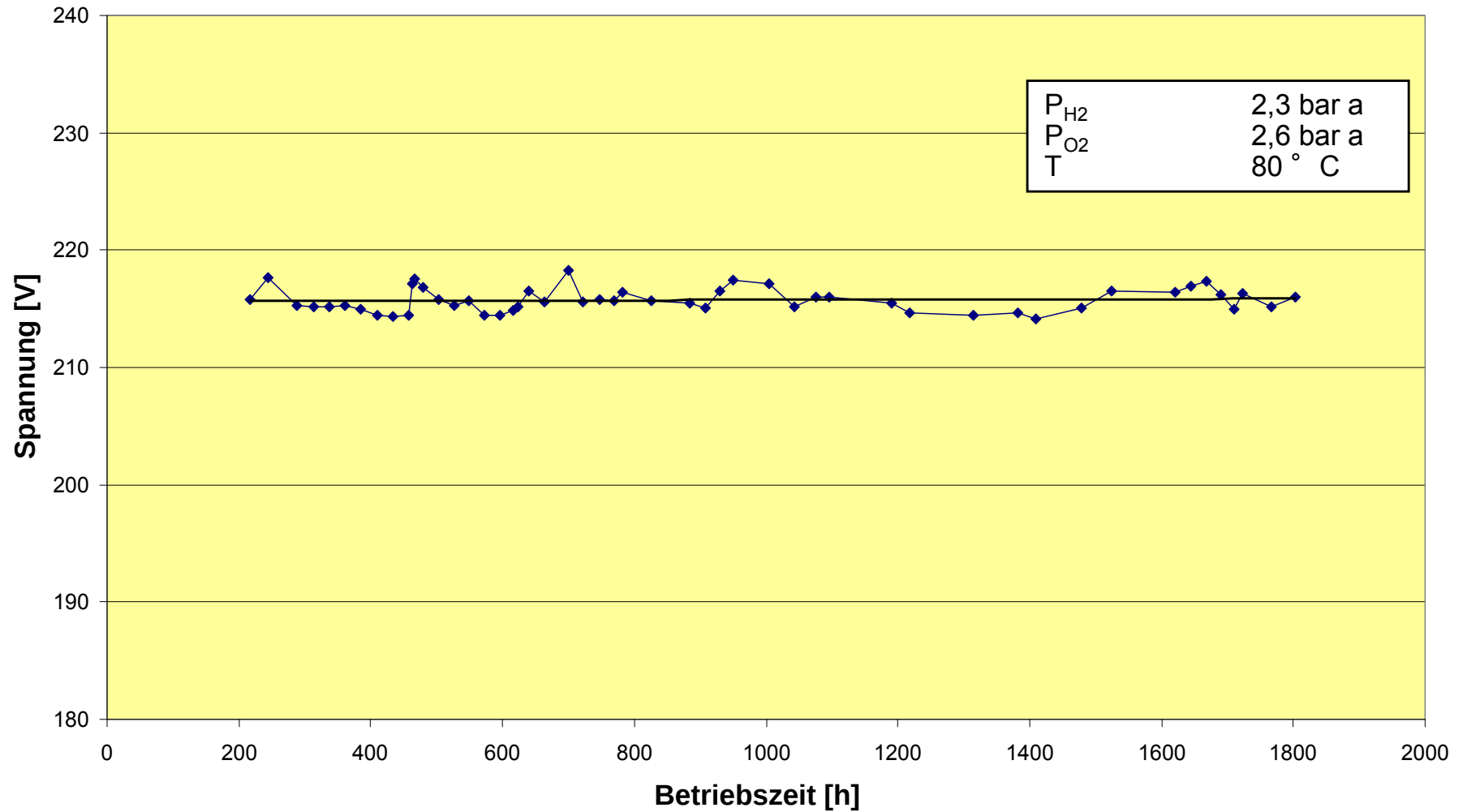
Wirkungsgrad eines BZM 120 (vor und nach 1.000 Betriebsstunden)



Zellspannungsdegradation (BZM 34) als Funktion der Betriebszeit (Einzelzelle 10.000 h)



Modulspannungsdegradation (BZM 120) als Funktion der Betriebszeit @ 120 kW (Nennlast)



Sinavy SUB

Referenz U-Boote mit BZ-AIP

- | | | |
|----------------|---------------------------|---------|
| • Deutschland | U-Boot Klasse U 212A, | 6 Boote |
| • Italien | U-Boot Klasse U 212A, | 4 Boote |
| • Griechenland | U-Boot Klasse 214 | 4 Boote |
| • Süd Korea | U-Boot Klasse 214 | 9 Boote |
| • Portugal | U-Boot Klasse 214 | 2 Boote |
| • Griechenland | U-Boot Klasse 214 | 1 Boot |
| • Israel | U-Boot Klasse Dolphin-AIP | 3 Boote |
| • Türkei | U-Boot Klasse 214 | 6 Boote |

U-Boote in Betrieb/bestellt mit

TKMS-HDW/Siemens Brennstoffzellen-AIP 35 Boote

➔ mehr als 130 Brennstoffzellen-Module im Einsatz

**U-Boote, die während der letzten 50 Jahre mit Sinavy-SUB-Lösungen
ausgestattet wurden >170 Boote**

Zusammenfassung

- Spezielle wasserstoff- und sauerstoffbetriebene Brennstoffzellenmodule wurden für den Betrieb in U-Booten entwickelt
- Typgeprüft und anerkannt für U-Boote
- Brennstoffzellenmodule erfüllen militärische Anforderungen, wie
 - Magnetisches Verhalten
 - Akustische Eigenschaften
 - Geringe Streufelder (EMV)
 - Schockbeständigkeit
 - Sicherheitsstandards
- Kommerziell erhältliche Produkte (34/120 kW Leistung)
- Weit über 100 x BZM 34 und 30 x BZM 120 wurden bereits gefertigt

Deutsches U-Boot erzielt Weltrekorde Längste Unterwasserfahrt ohne Nukleargenerator

Weltrekord: Deutsches U-Boot fährt zwei Wochen unter Wasser

Strecke von Eckernförde bis nach Spanien zurückgelegt – Bisher einmaliger Hybrid-Antrieb erweist sich als erfolgreich

Glücksburg/Eckernförde – Einen Weltrekord hat das neue Unterseeboot U 32 der Deutschen Marine aufgestellt. Als erstes konventionelles Boot war es zwei Wochen lang ohne Unterbrechung abgetaucht unterwegs. Das Boot des Typs U 212 A mit 27 Mann Besatzung habe die Strecke von der Eckernförder Bucht bis vor den spanischen Marinestützpunkt Rota unter Wasser zurückgelegt, teilte ein Marinesprecher im Flottenkommando in Glücksburg mit. Die Tauchfahrt vom 11. bis 25. April sei die längste eines nicht nuklear angetriebenen Bootes in der U-Boot-Geschichte gewesen.

Das Boot unter Kommando von Korvettenkapitän Michael Bornholt (41) habe mit der zweiwöchigen Tauchfahrt „die Leistungsfähigkeit des von Außenluft unabhängigen modernen Brennstoffzellenantriebs eindrucksvoll nachgewiesen“, hieß es bei der Marine. U 32 habe damit „ein weites Feld an taktisch-operativen Möglichkeiten des Einsatzes von U-Booten erschlossen“. Es sei eine neue Dimension für konventionelle U-Boote erreicht worden.

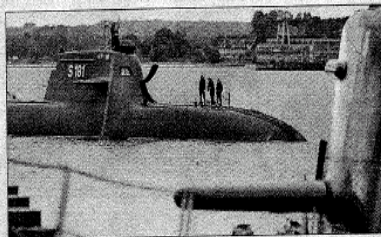
Nach der Zwischenstation im südspanischen Hafen Rota wird U 32 im Mittelmeer im Antiterrorkampf eingesetzt. Das Schiff wurde zusammen mit U 31 im

November 2005 im Heimathafen Eckernförde in Dienst gestellt. Zwei weitere der hochmodernen Boote folgen in die-

sem Herbst. Die vier in Kiel und Emden gebauten Schiffe kosten inklusive Entwicklung und Ausbildung am Gerät 1,4 Milli-

arden Euro. Über den Bau von zwei weiteren U-Booten wird voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte entschieden.

Mit ihrem bisher einmaligen Hybrid-Antrieb sind die 56 Meter langen U-Boote weitgehend unabhängig von Außenluftzufuhr. Das System (4200 PS) setzt sich aus Dieselmotor, Fahrbatterie, einer Brennstoffzellenanlage und Fahrmotor zusammen. Die Brennstoffzelle wandelt Wasser- und Sauerstoff geräuschlos und ohne Abgabe in elektrische Energie um. Dadurch können die Boote mit 45 000 Litern Diesel-Treibstoff wochenlang unter Wasser bleiben.



Vor dem Bug des Unterseebootes U 32 läuft das Schwesterschiff U 31 in den Marinestützpunkt Eckernförde ein. FOTO: DDP/ROLAND MAGNUS

Die Welt 27 April 2006

Jungfernfahrt von U 32 in 2006 → 14 Tage unter Wasser



Konventionelle diesel-elektrisch angetriebene U-Boote: max. 3 – 4 Tage unter Wasser ohne Schnorchelbetrieb

März 2013

U 32 Überfahrt in die USA

18 Tage unter Wasser

Record: German submarine remains submerged for 18 days while crossing Atlantic

From **DEUTSCHE PRESSE-AGENTUR DPA** |

20.03.2013 17:32



While crossing the Atlantic, a German submarine remain submerged for 18 days representing a new record. This is the longest submerged transit of a submarine belonging to the German Navy up to now", was the official comment from the marine command on Wednesday.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

A large submarine is shown on the surface of the water, viewed from a distance. The submarine's conning tower and various masts are visible against a hazy, overcast sky. The water is dark and textured with small waves. The submarine is positioned in the lower half of the frame, with the contact information text overlaid on the upper right portion of the image.

**Dr. Joachim Hoffmann
Produktmanager Sinavy SUB
Schuhstrasse 60
91052 Erlangen**

**Phone: +49 (9131) 7-24772
E-mail: hoffmannjoachim @ siemens.com**