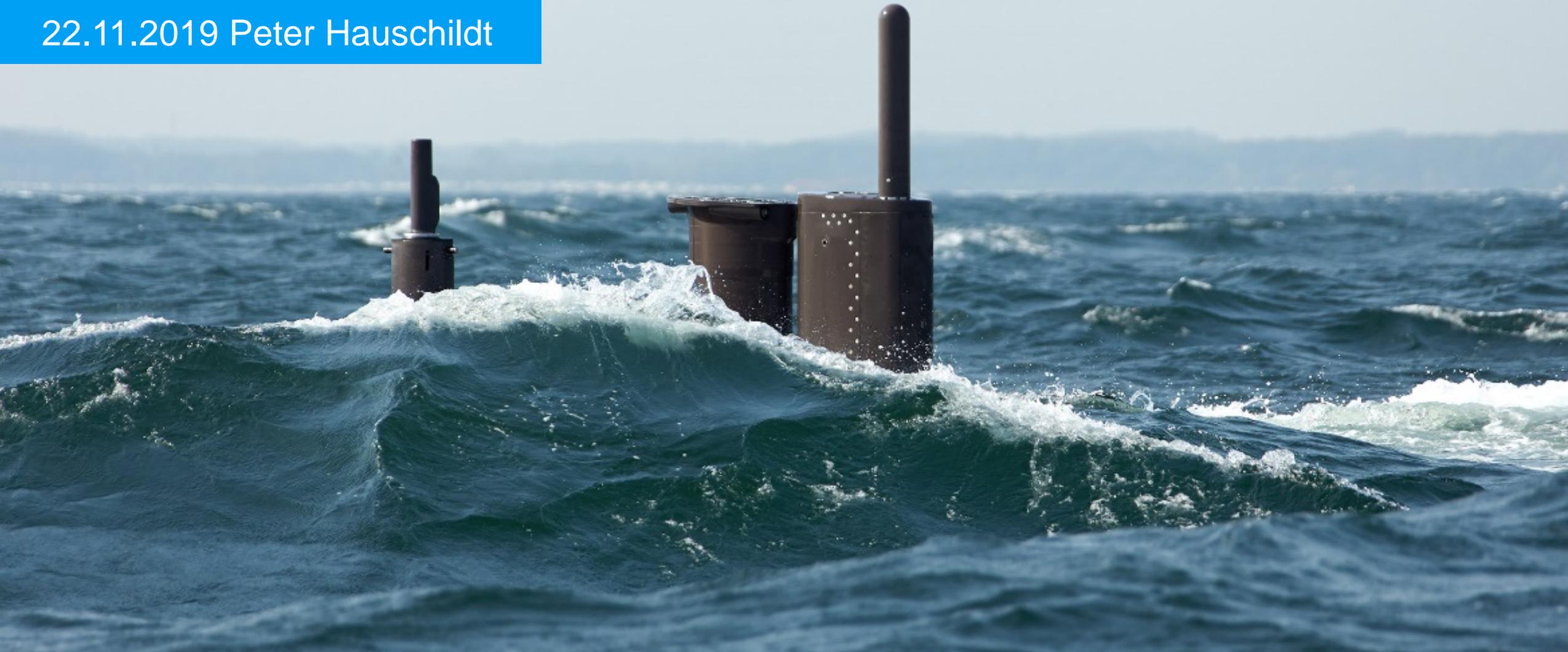


Die Energiewende fährt schon zur See  
Erfahrungen aus der Praxis und darauf basierende Sichtweisen

thyssenkrupp Marine Systems

22.11.2019 Peter Hauschildt



# Das Uboot ist seit Anbeginn ein Plug-In Hybrid



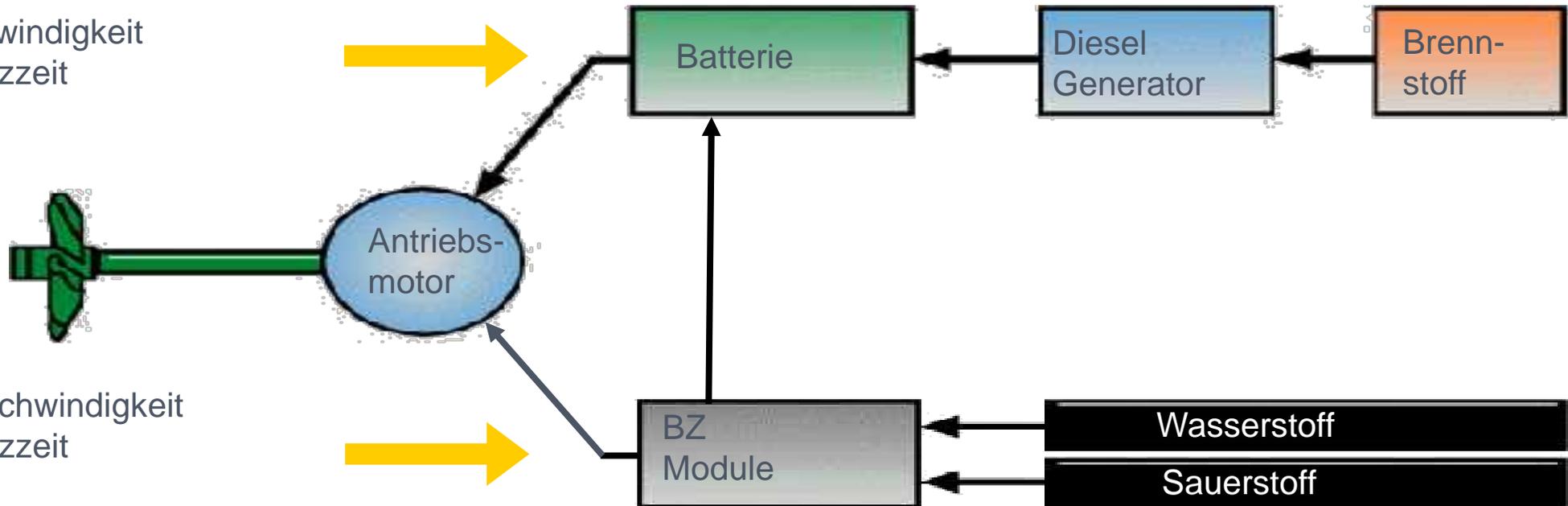
Und seit den 90ern fahren wir mit Wasserstoff



# Das diesel-elektrische Antriebssystem

... wird zum Hybrid-System

Hohe Geschwindigkeit  
Kurze Einsatzzeit



Niedrige Geschwindigkeit  
Lange Einsatzzeit  
Schleichfahrt

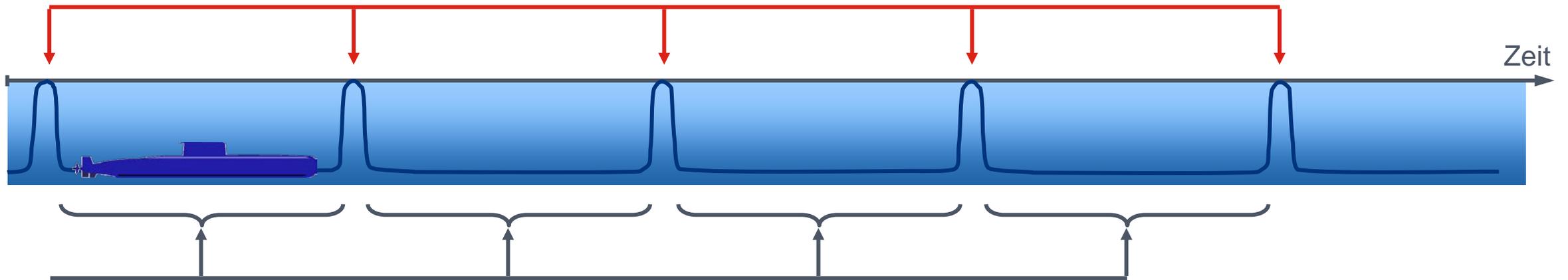


# Warum AIP (Air Independent Propulsion) ?

Ausgangssituation: Fahrprofil moderner konventioneller Uboote

---

Schnorcheln (Aufladen der Batterie)  $\Rightarrow$  Zeiten größter Gefährdung



Tiefgetauchte Fahrt (Entleeren der Batterie)  $\Rightarrow$  nahezu undetektierbar

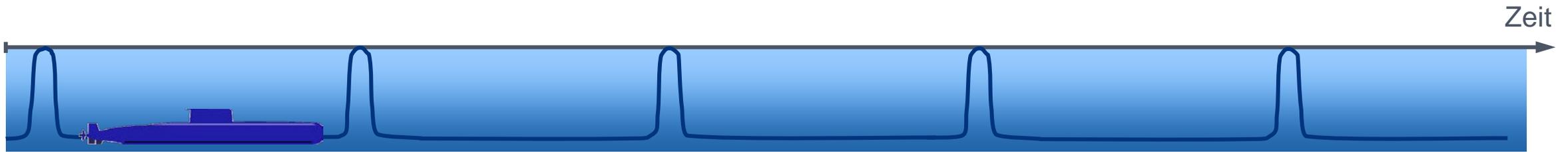
Problem: Batteriekapazität entwurfstechnisch begrenzt

$\Rightarrow$  Unterwasserausdauer: jeweils nur wenige Tage

$\Rightarrow$  Unterwasserreichweite: jeweils unter 500 Seemeilen

# Warum AIP (Air Independent Propulsion) ?

Idee: Außenluftunabhängiger Brennstoffzellenantrieb

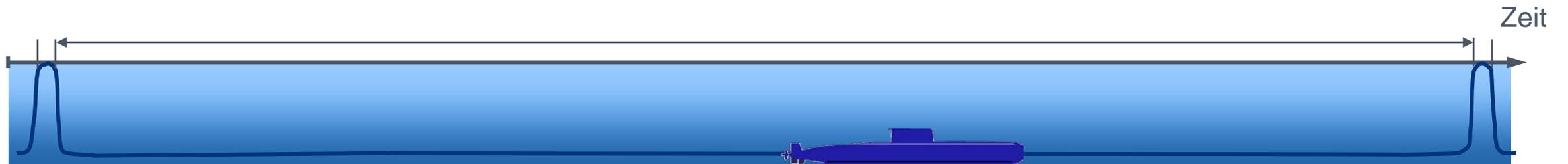


konventionell



- weiterhin nahezu undetektierbar
- Unterwasserausdauer: mehrere Wochen
- Unterwasserreichweite: erhöht um Faktor 4-5

mit Brennstoffzellenantrieb

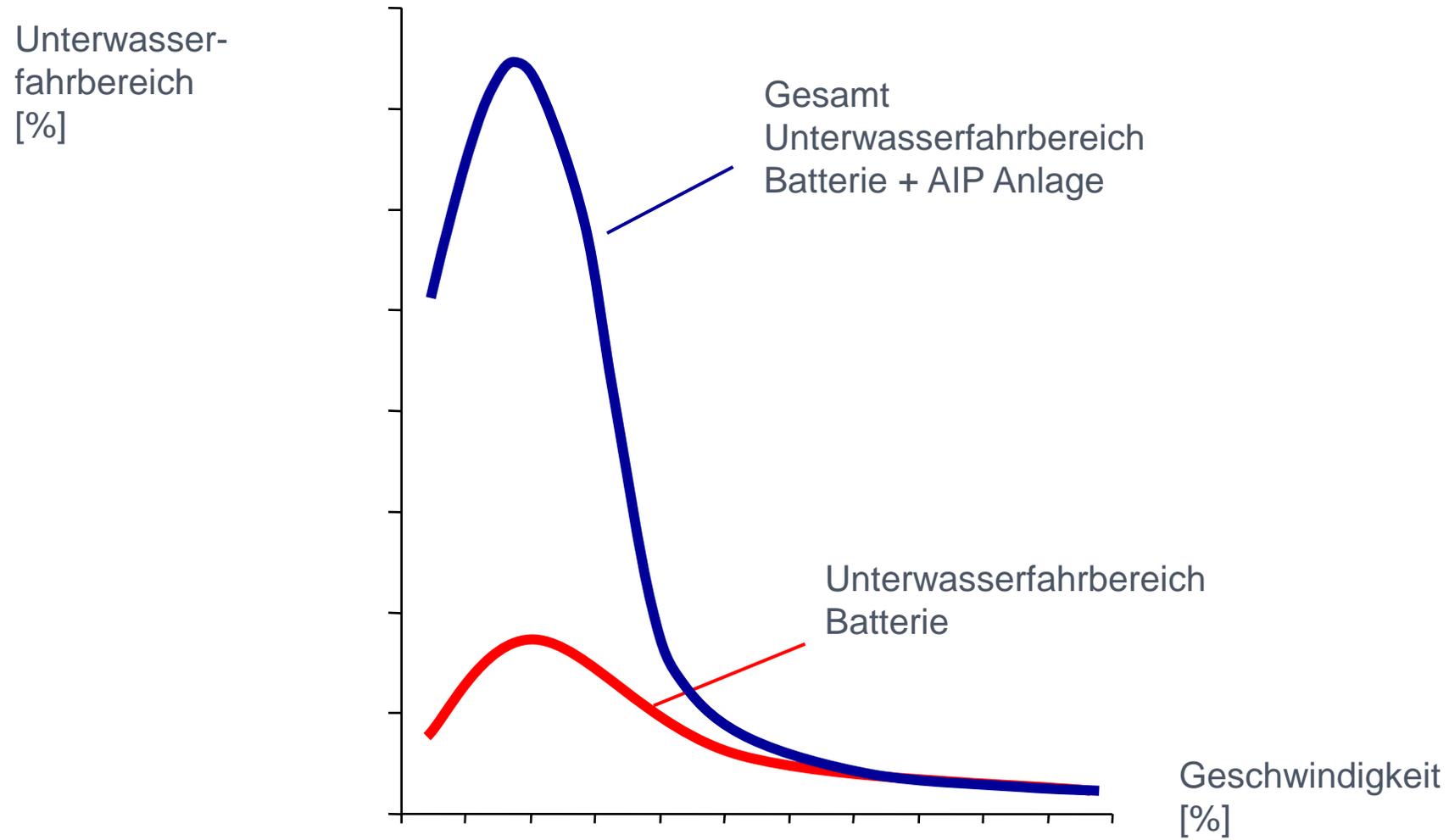


# Warum AIP (Air Independent Propulsion) ?

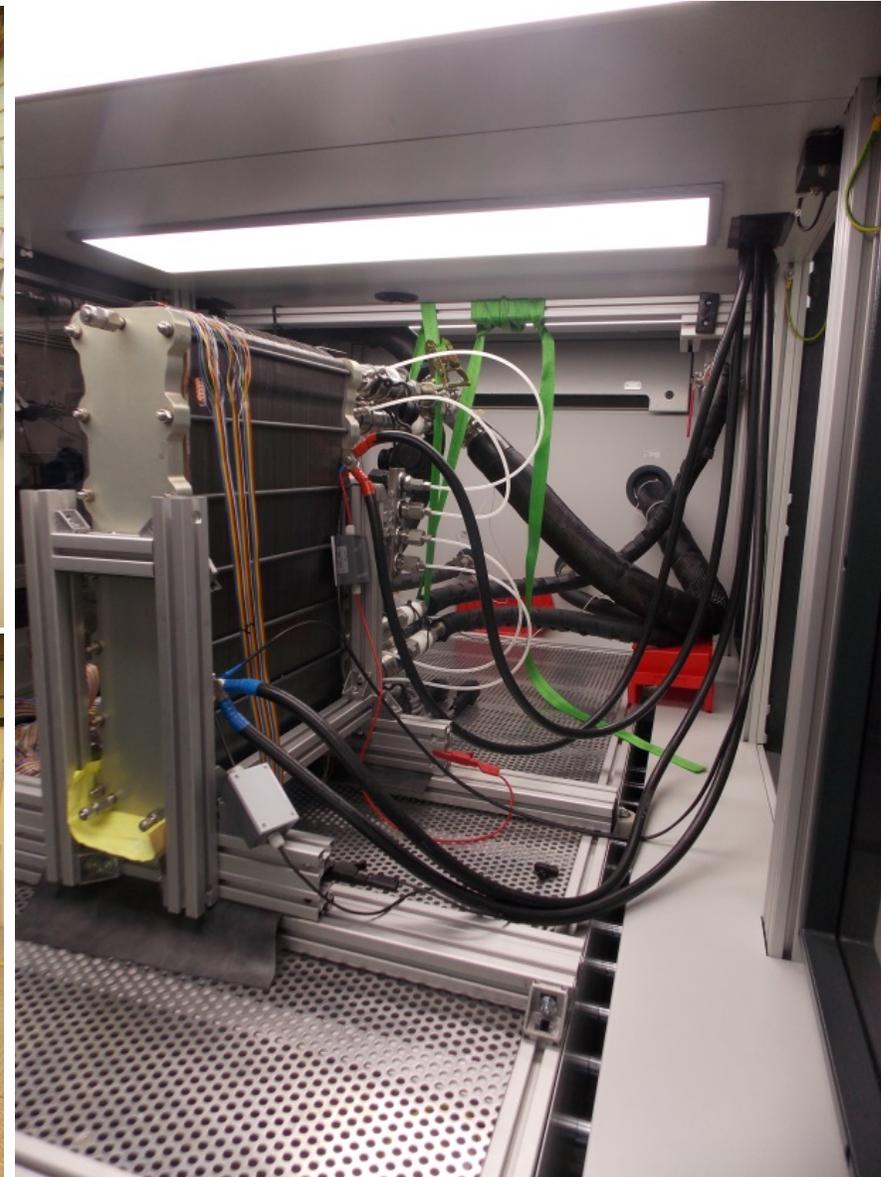
Signifikante Erweiterung  
der möglichen  
Missionsprofile und Missionsziele



# AIP Unterwasserfahrbereich



# ASFC - Advanced Submarine Fuel Cell – wo stehen wir heute?



Quelle: tkMS Testlab in Kiel



# Technischer Status

Prototypmodul (80 kW)



## Status:

- In Betrieb seit 08/2019
- 52h im beaufsichtigten Dauerbetrieb
- Vorbereitung unbeaufsichtigter Dauerbetrieb

Serienmodul (80 kW)

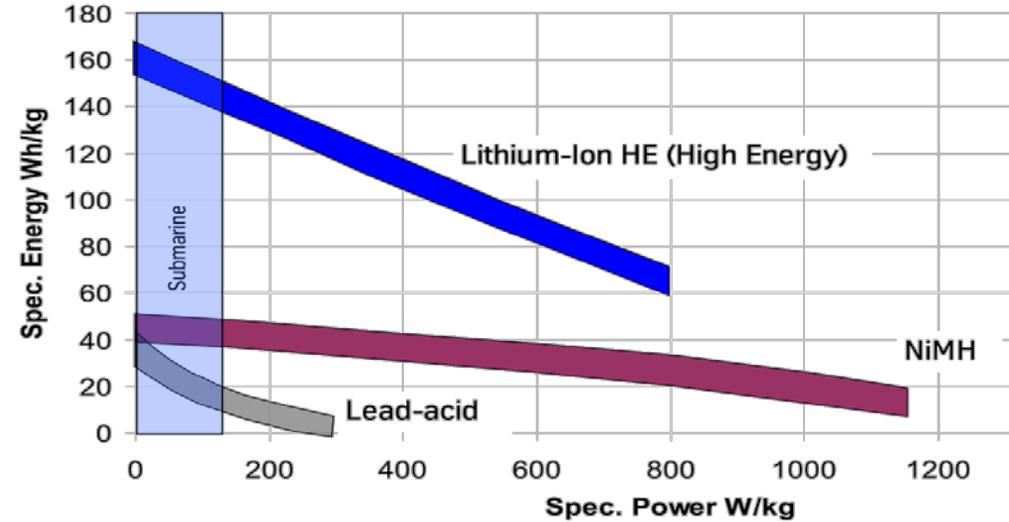


## Status:

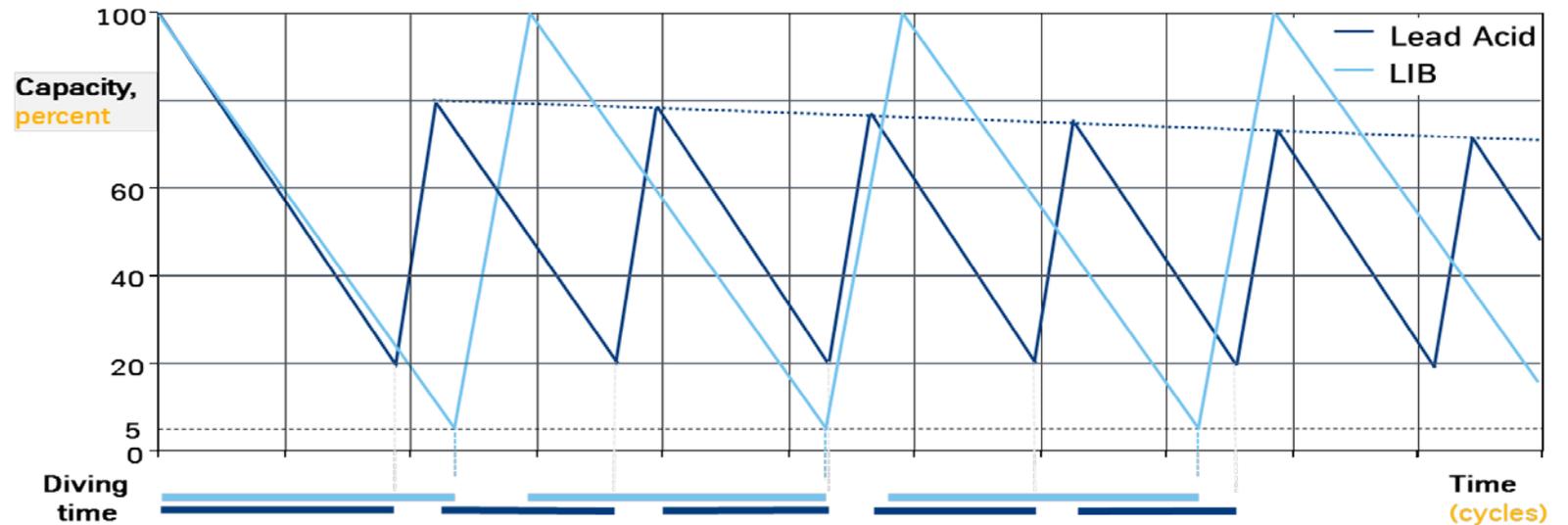
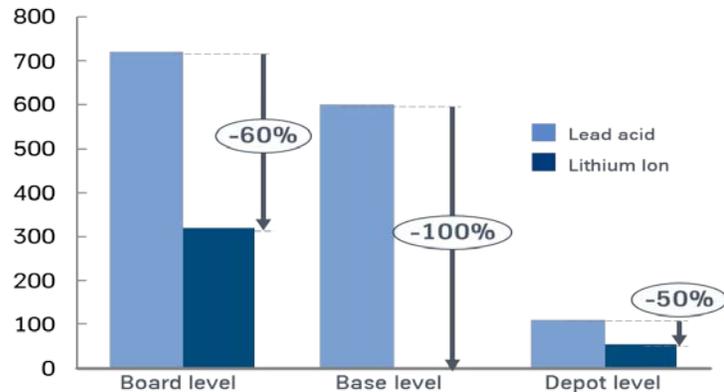
- Alle Komponenten sind bestellt
- Kritische Entwicklungskomponenten in Vorbereitung auf TLR6
- Bauunterlagen in Erstellung
- Vorfertigung von Bauteilen hat begonnen

# Lithium Ionen Batterien ersetzen Blei-Säure

- Tauchzeiten verlängert
- Maximalgeschwindigkeit unabhängig vom Ladezustand
- Schnorchelrate verringert
- Keine Ladestufen, keine Gasladung
- Keine Degradation während des Einsatzes
- Längere Lebensdauer
- Erhöhte Verfügbarkeit



Servicing expenditures, hours/year



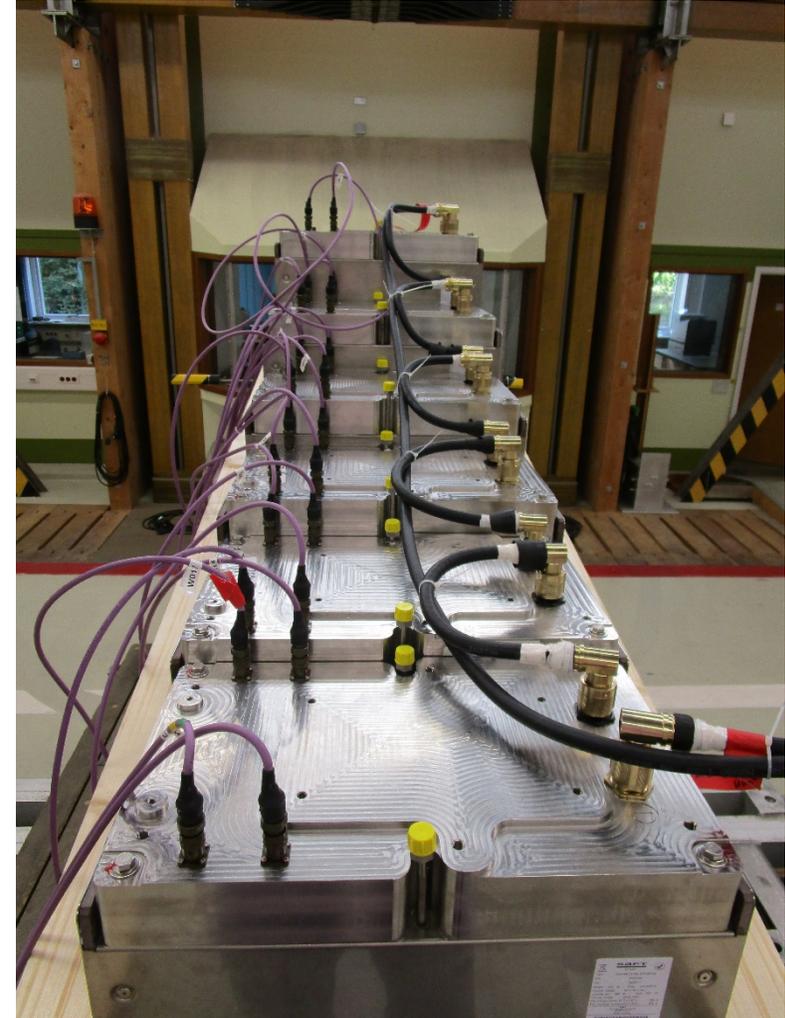
# Herausforderungen bei der Systementwicklung

## Sicher

- Inherent sichere Zellchemie
- Hochverfügbare, redundante Überwachungs- und Schutzelektronik (SIL 3)
- Ausschluss von Kettenreaktionen
- Mechanisches Unterbrechungssystem bei öffnen von Zellen
- Begrenzen von Kurzschlussströmen

## Hochverfügbar

- Möglichst einfacher Aufbau aus hochverfügbaren Bauteilen
- Fehlertolerante Architektur
- “Design for maintenance”



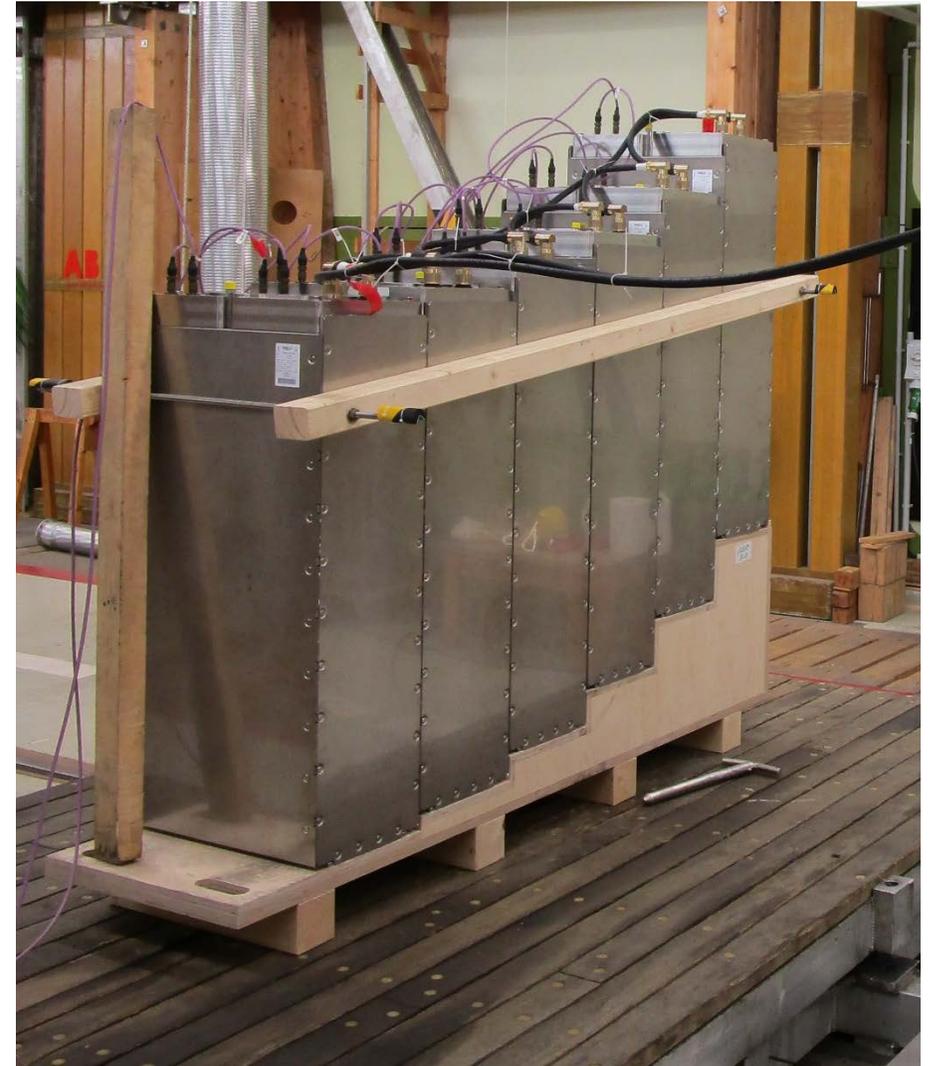
# Herausforderungen bei der Systementwicklung

## Performant

- Optimale Auslegung im Paradoxon Sicherheit-Energiedichte
- Optimales Temperaturmanagement für lange Lebensdauer
- Batteriemanagement System gewährleistet Zell-Balancing, kurze Ladezeiten und optimale Lastverteilung und überwacht Ladezustand und State Of Health

## Flexibel

- Anpassbar auf verschiedene Bootstypen (Bauhöhe, Systemspannung)



# Aktueller Stand der Entwicklung – Modul

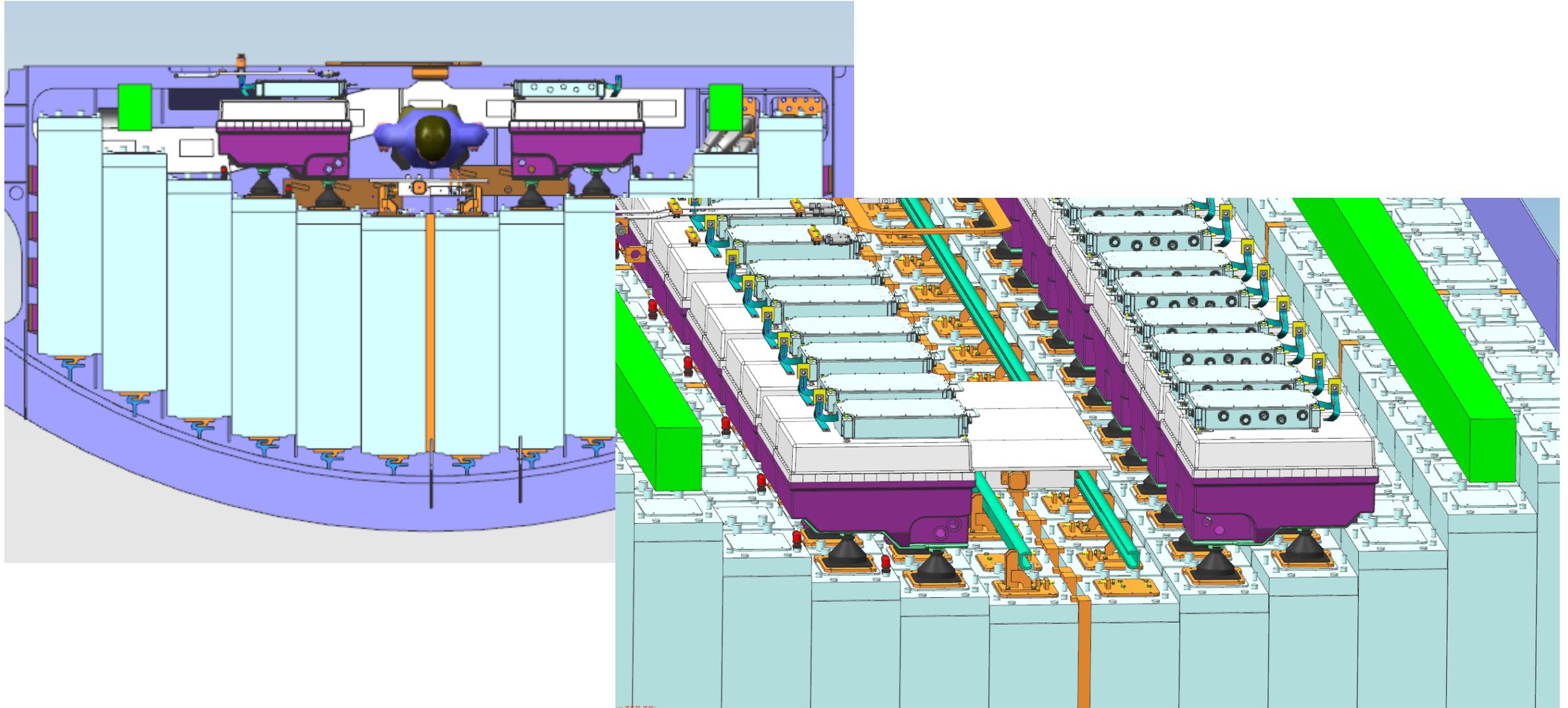


Innerer Aufbau



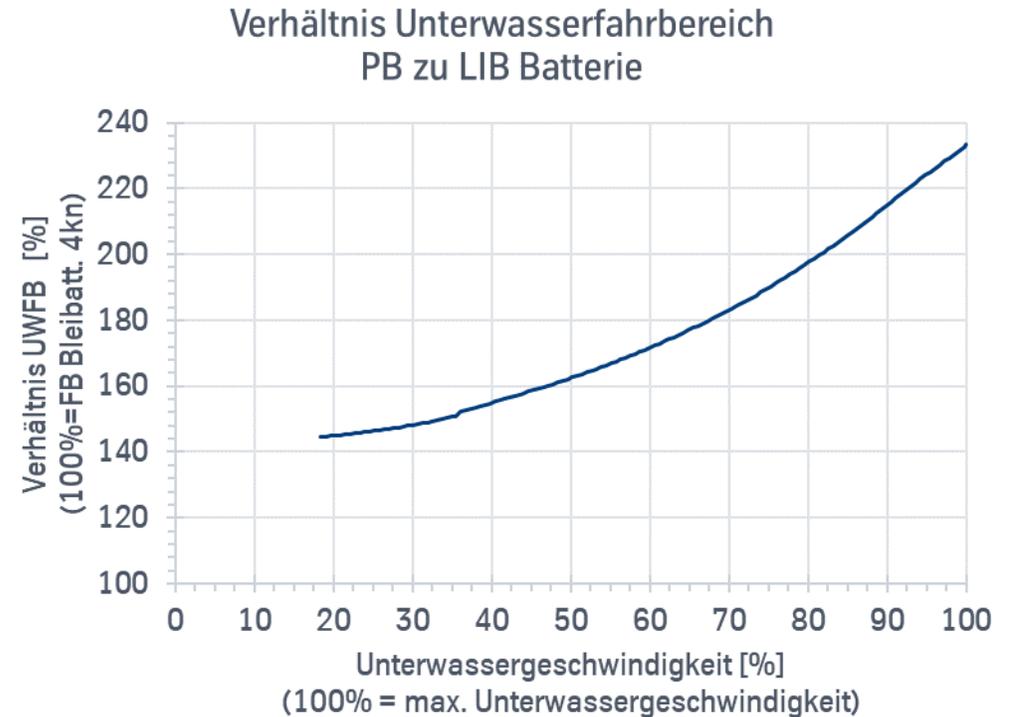
Prototyp

# Bootsintegration



# Aktueller Stand der Entwicklung - Ergebnisse

- Erhöhung der Unterwasserausdauer/Tauchdauer zwischen
  - 114% - 144% bei 4kn
  - 233% - 265% bei  $v_{max}$
- Erhöhung der Verlegegeschwindigkeit um 21%
- Reduzierung der Schnorchelrate um bis 21%
- Steigerung der Gesamtreichweite um 10%
- Volle Geschwindigkeit unabhängig vom Ladezustand
- Wartungsfrei: keine 2te und keine 3te Ladestufe
- Keine Beeinträchtigung der Kapazität während einer Mission
- Längere Lebensdauer (mindestens verdoppelt)



Lithium Ionen Batterien kann die Leistungsfähigkeit von Ubooten deutlich gesteigert werden



# E-Mobilität – die Lösung?

Was es bringt:

- Reduktion der Abgase vor Ort – insbesondere in den Städten

Was es nicht bringt:

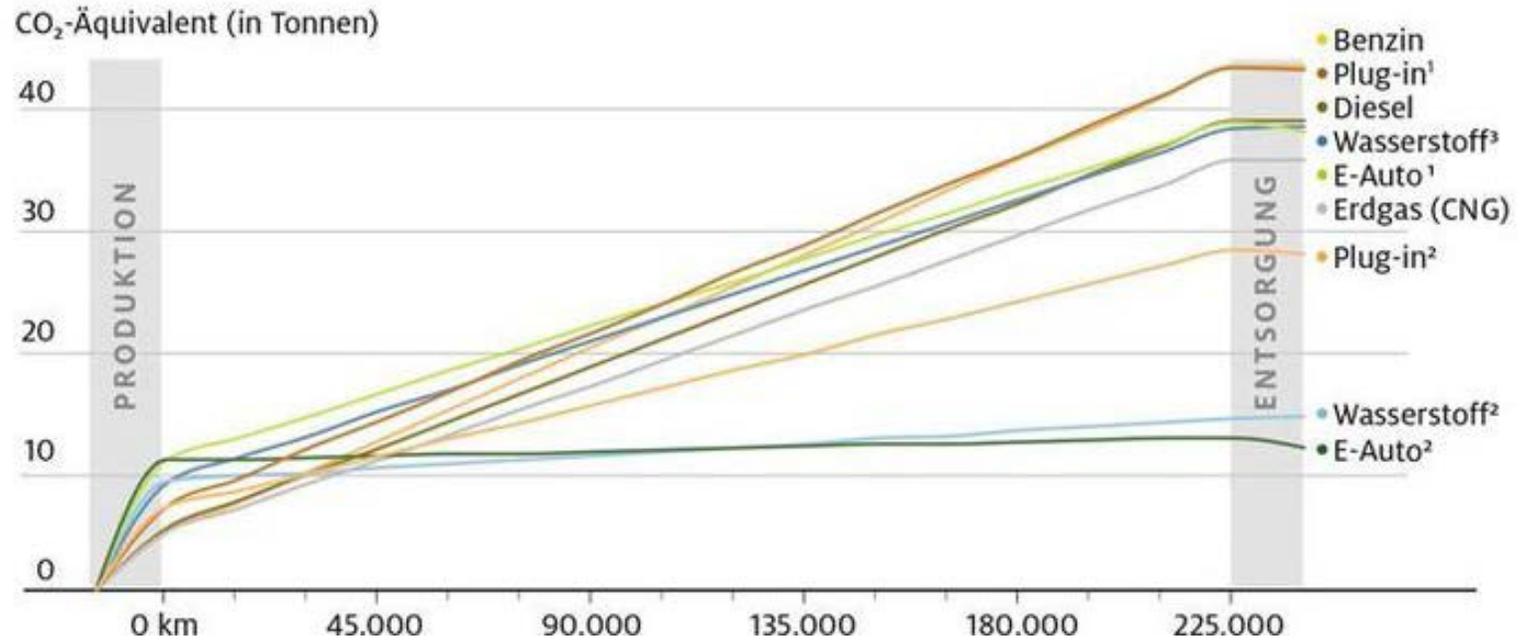
- Eine positive Ökobilanz – zumindest nicht bei heute realistischem Energiemix
- Marktakzeptanz für heute übliche Mobilitätsanforderungen – E-Fahrzeug als Zweitwagen

Der Mittelweg:

- Plug in Hybride:
  - Nutzung der Bremsenergie

Was wäre eine Disruption?

- Verdreifachung der Energiedichte



# Wasserstoffökonomie?

Wasserstoff wird heute am wirtschaftlichsten aus Erdgas hergestellt.

Well to Wheel: Das LNG Auto ist besser!

Wasserstoff aus Windkraft!

Durch den Preis der Elektrolyseure heute nicht wirtschaftlich.

Wasserstoff im PKW?

Schwer zu speichern.



# Was macht den meisten Sinn?

Der Energiepreis ist der Schlüssel....

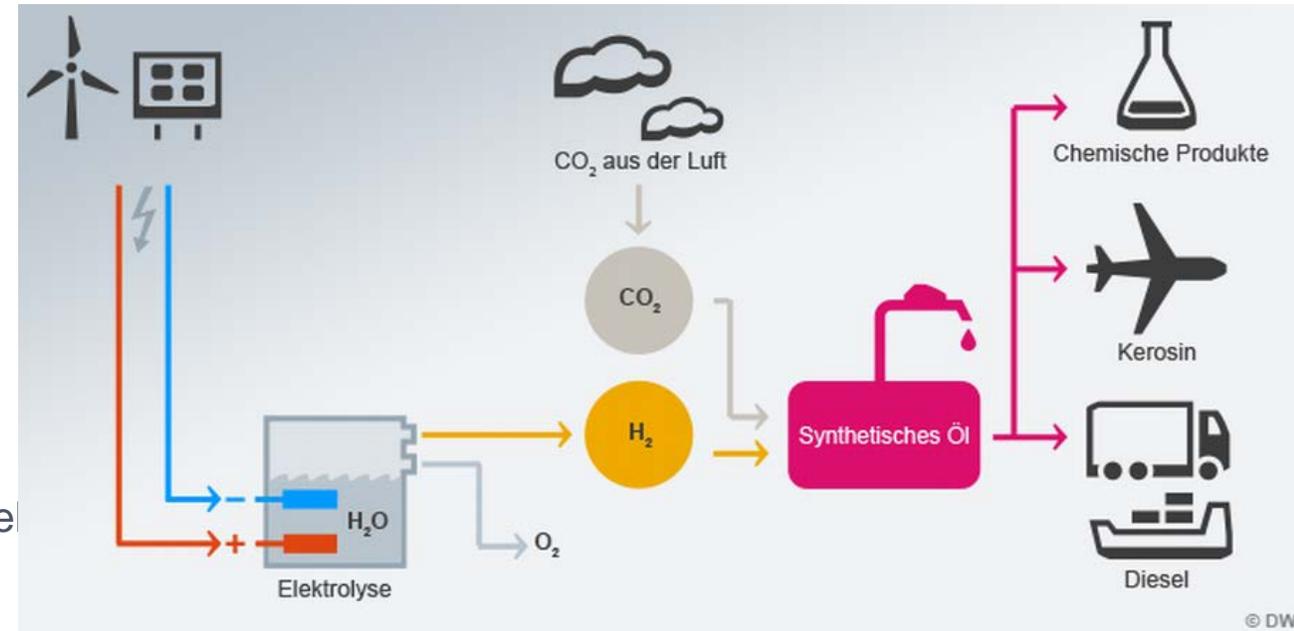
.....ohne CO2 Bepreisung ändert sich nichts

E-Mobilität ja.....

.....aber als Hybride und im Schwerlast Routenverke

Wasserstoff aus regenerativen Energien.....

.....umwandeln in logistisch handhabbare Kraftstoffe: CO<sub>2</sub> Kreislauf



Dank für Ihre Aufmerksamkeit

