

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



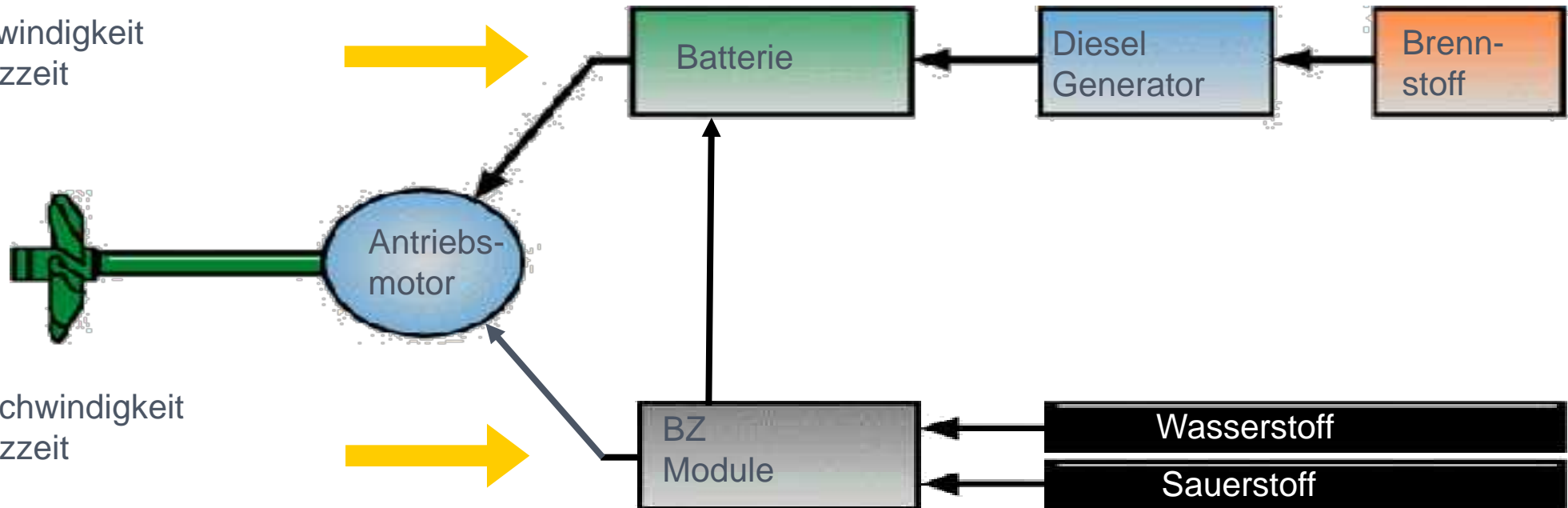
Und seit den 90ern fahren wir mit Wasserstoff



Das diesel-elektrische Antriebssystem

... wird zum Hybrid-System

Hohe Geschwindigkeit
Kurze Einsatzzeit



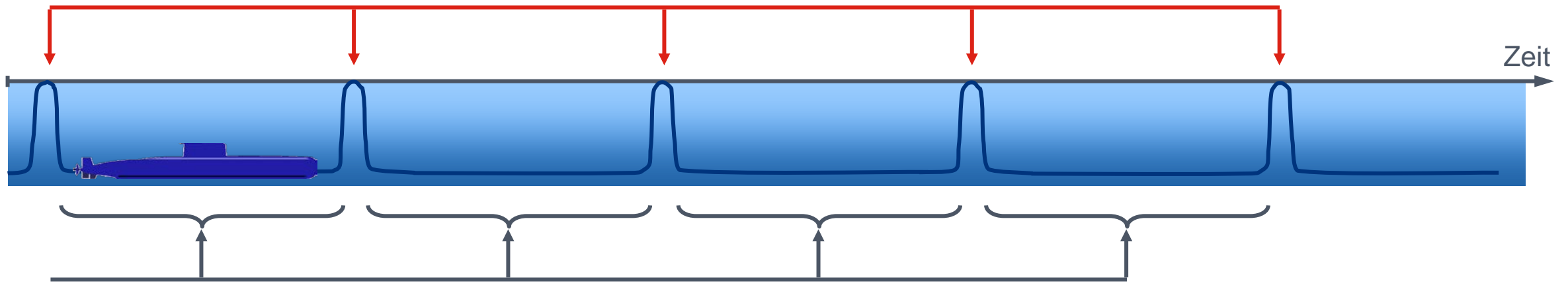
Niedrige Geschwindigkeit
Lange Einsatzzeit
Schleichfahrt



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

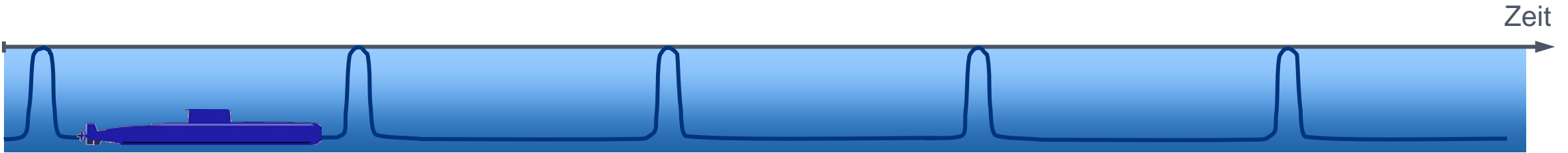
Problem: Batteriekapazität entwurfstechnisch begrenzt

\Rightarrow Unterwasserausdauer: jeweils nur wenige Tage

\Rightarrow Unterwasserreichweite: jeweils unter 500 Seemeilen

Warum AIP (Air Independent Propulsion) ?

Idee: Außenluftunabhängiger Brennstoffzellenantrieb

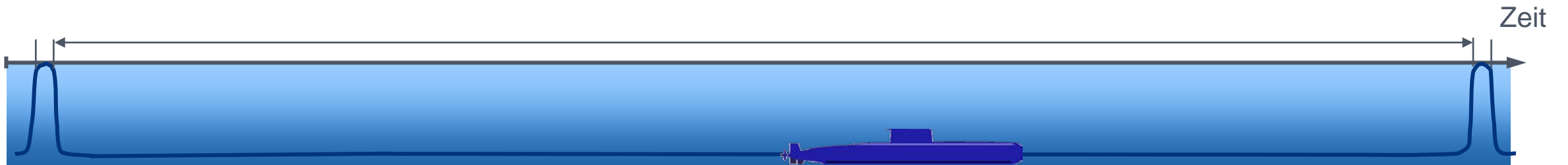


konventionell



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

mit Brennstoffzellenantrieb

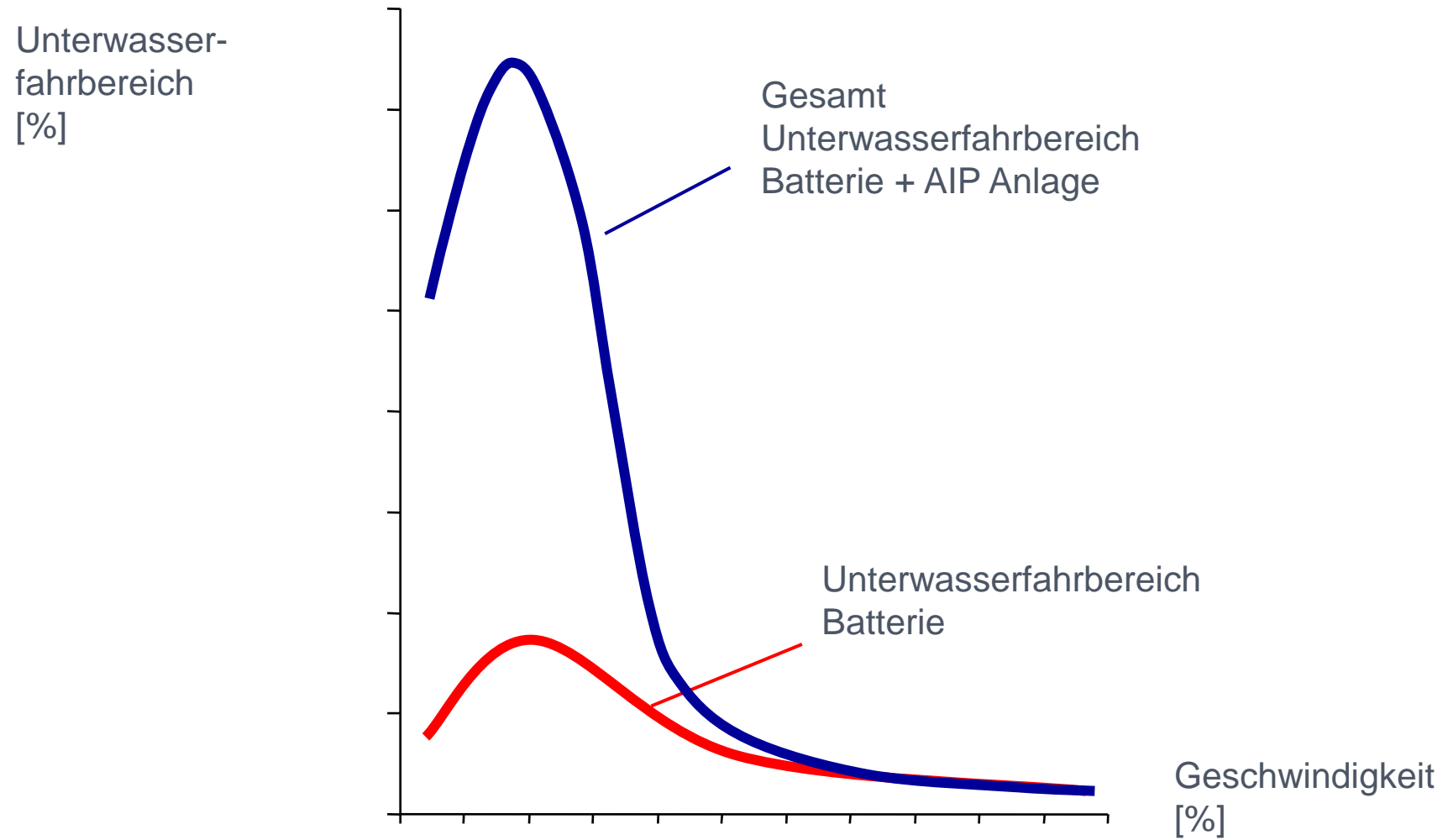


Warum AIP (Air Independent Propulsion) ?

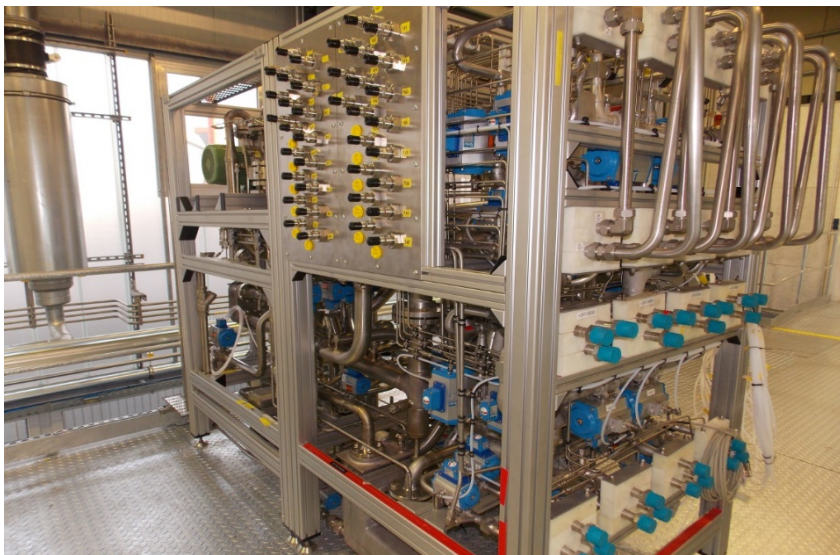
Signifikante Erweiterung
der möglichen
Missionsprofile und Missionsziele



AIP Unterwasserfahrbereich



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



Quelle: tkMS Testlab in Kiel



Technischer Status

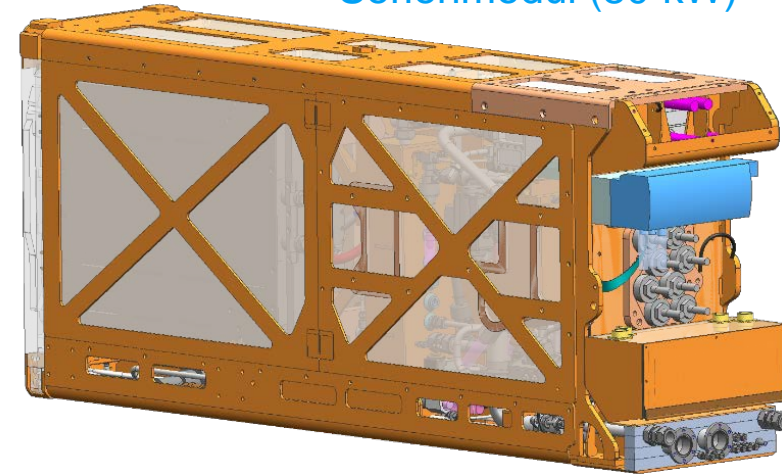
Prototypmodul (80 kW)



Status:

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

Serienmodul (80 kW)

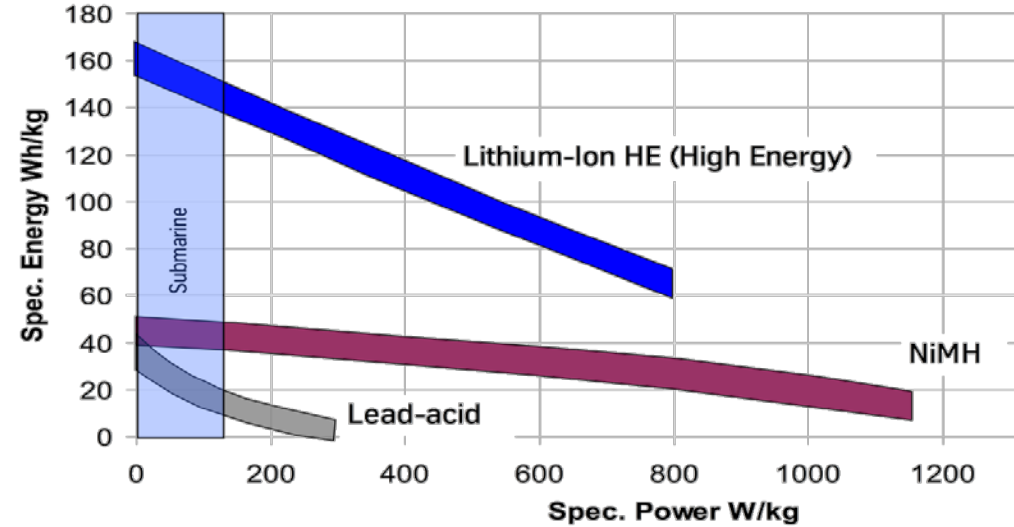


Status:

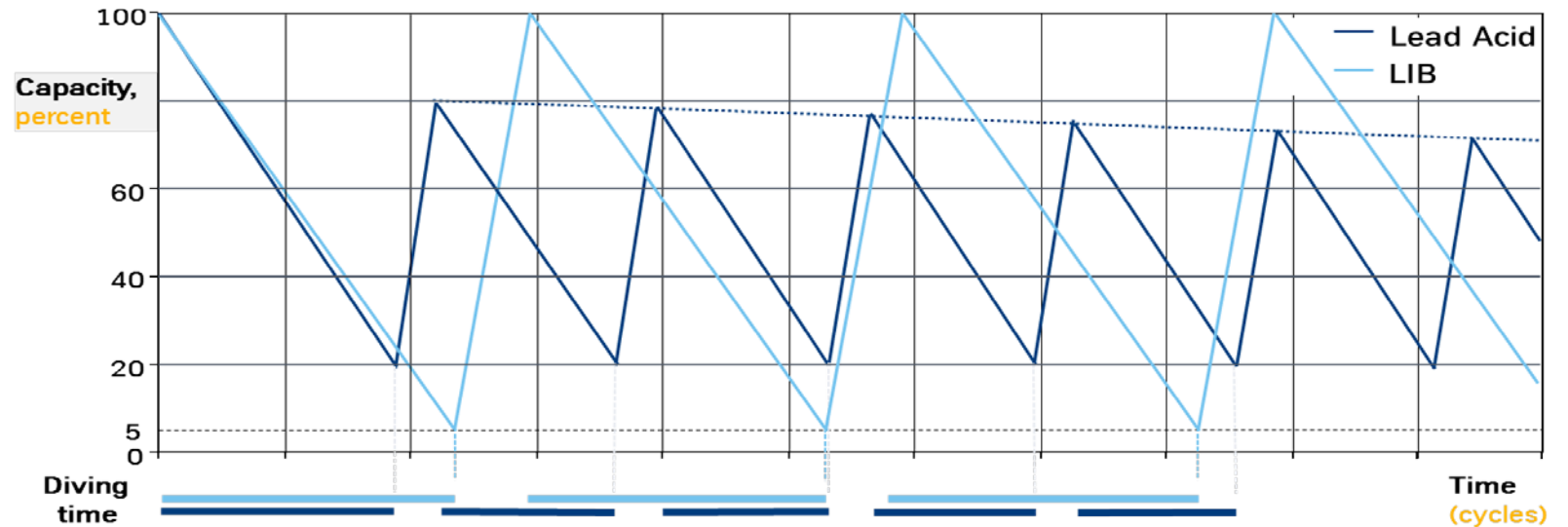
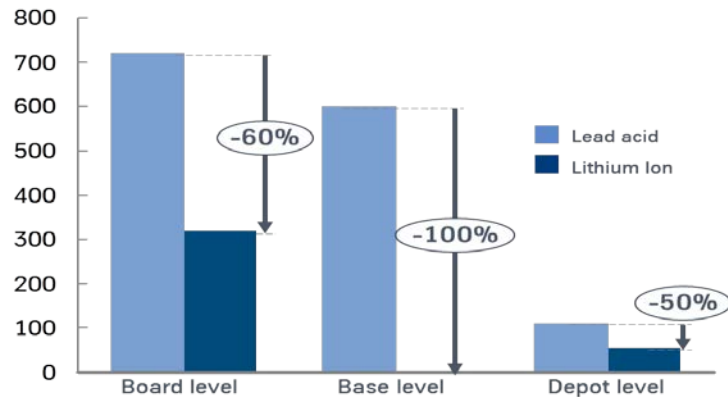
- Alle Komponenten sind bestellt
- Kritische Entwicklungskomponenten in Vorbereitung auf TLR6
- Bauunterlagen in Erstellung
- Vorfertigung von Bauteilen hat begonnen

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



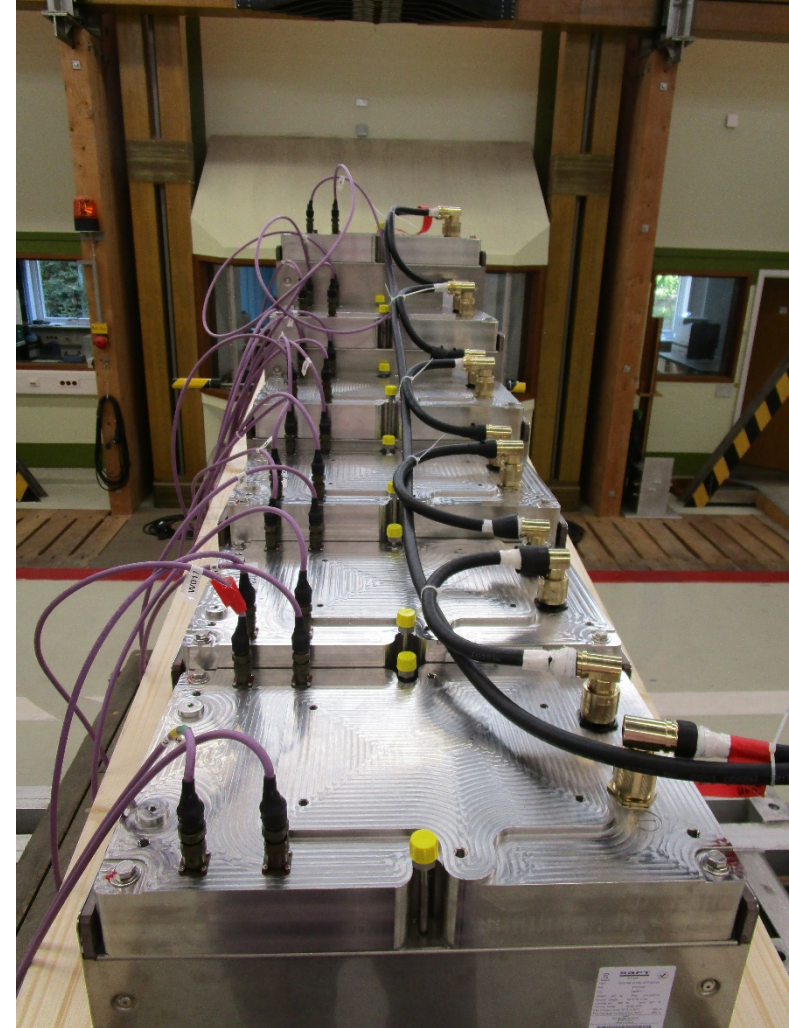
Herausforderungen bei der Systementwicklung

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

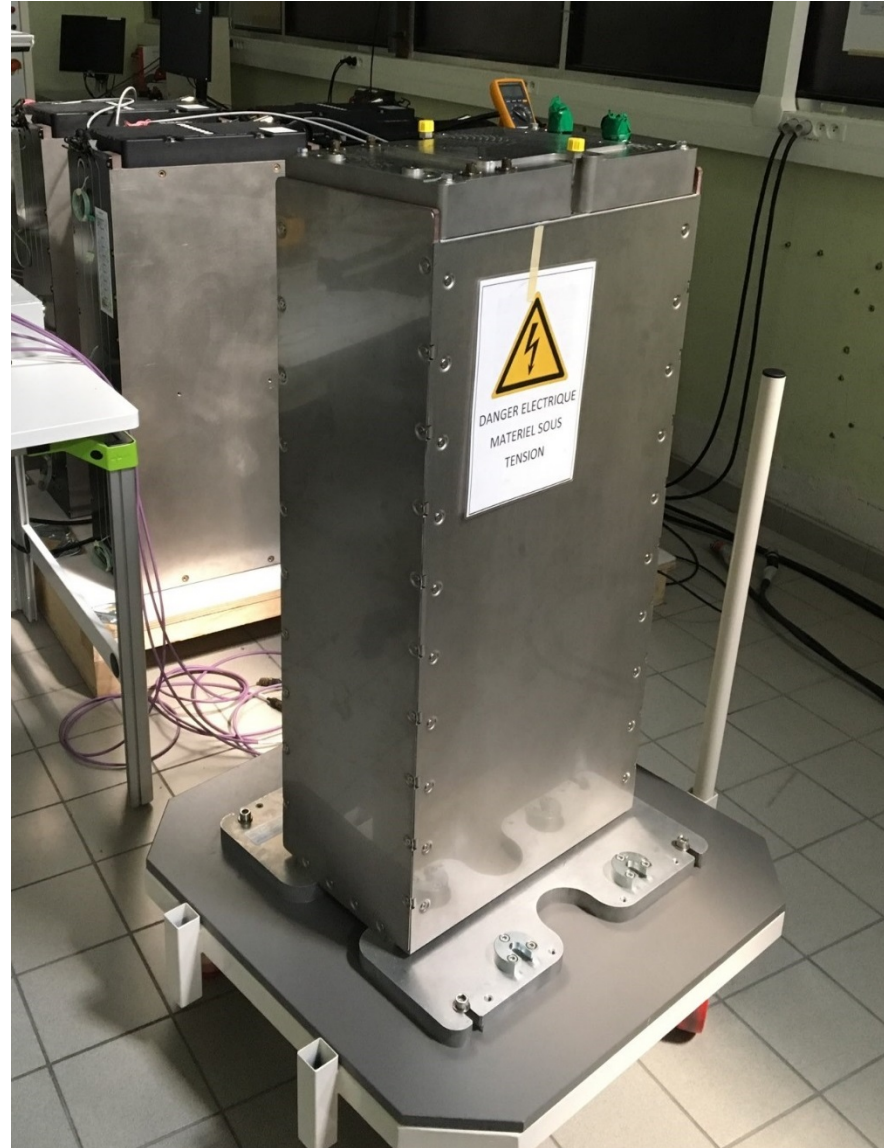
- Anpassbar auf verschiedene Bootstypen (Bauhöhe, Systemspannung)



Aktueller Stand der Entwicklung – Modul

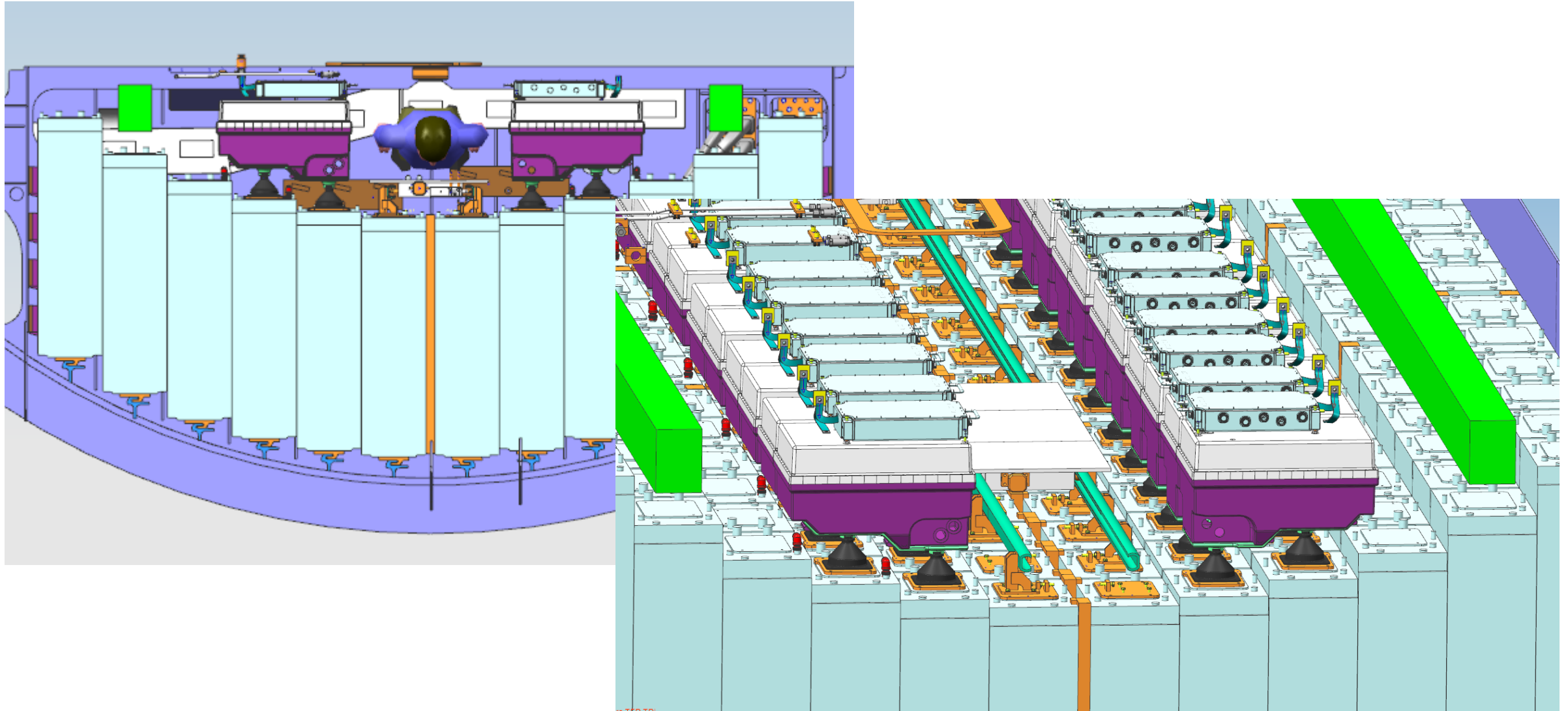


Innerer Aufbau



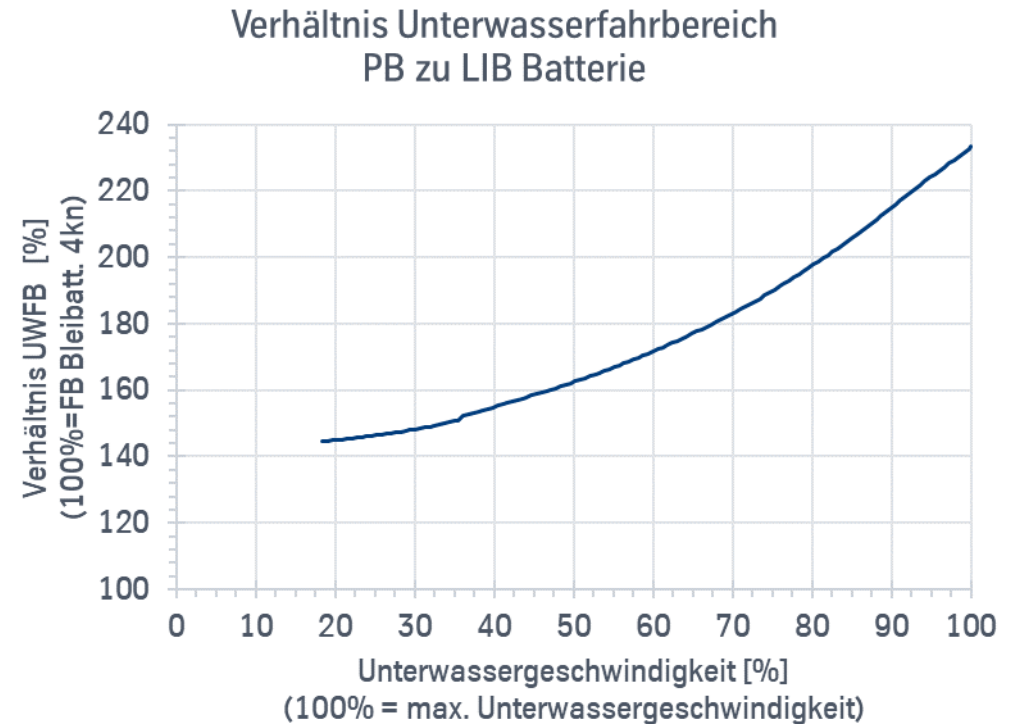
Prototyp

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:

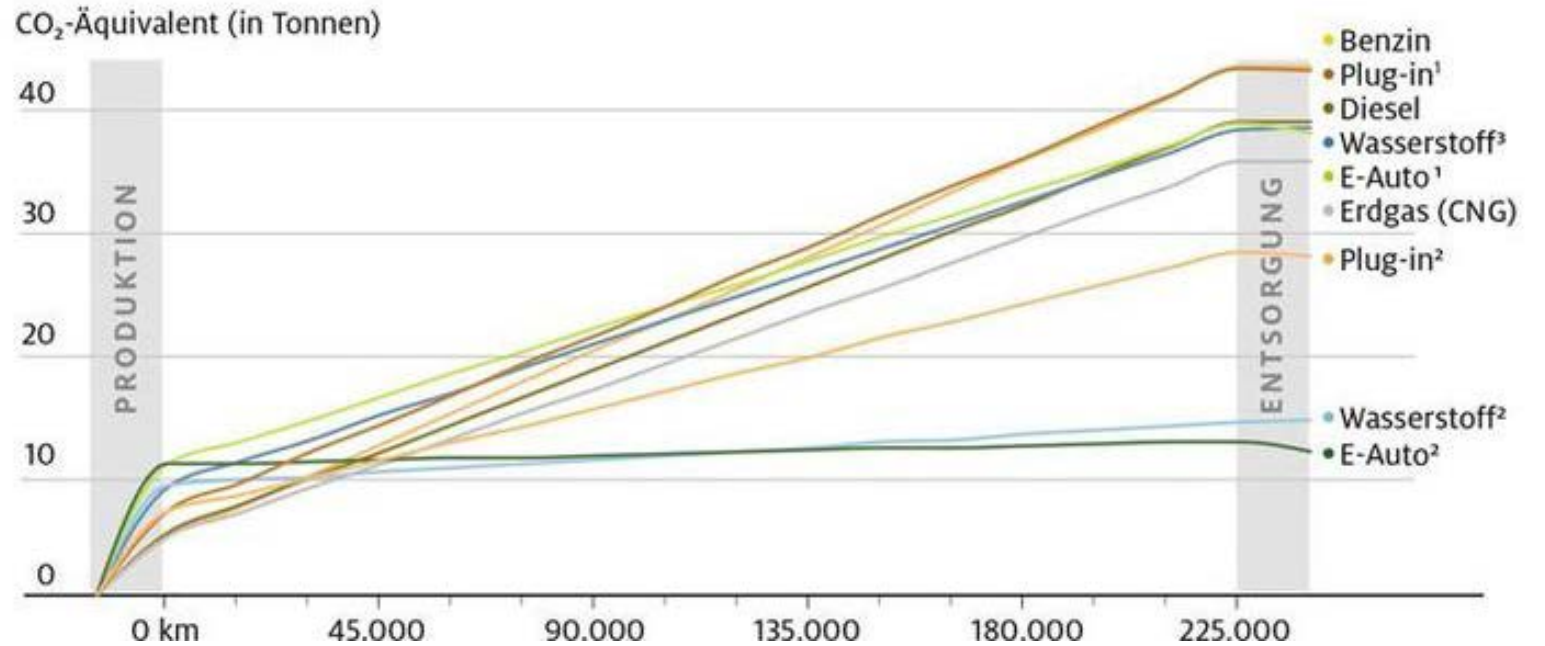
- Eine positive Ökobilanz – zumindest nicht bei heute realistischem Energiemix
- Marktakzeptanz für heute übliche Mobilitätsanforderungen – E-Fahrzeug als Zweitwagen

Der Mittelweg:

- Plug in Hybride:
 - Nutzung der Bremsenergie

Was wäre eine Disruption?

- Verdreifachung der Energiedichte



Quelle: ADAC



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....

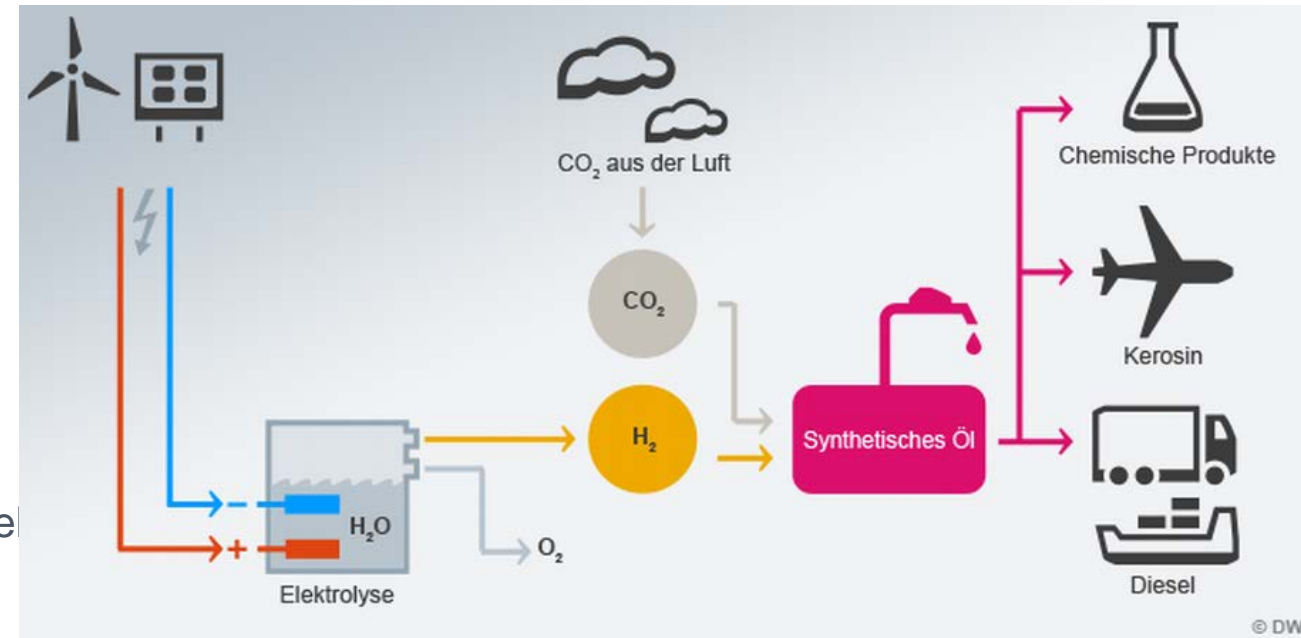
.....ohne CO₂ Bepreisung ändert sich nichts

E-Mobilität ja.....

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

Wasserstoff aus regenerativen Energien.....

.....umwandeln in logistisch handhabbare Kraftstoffe: CO₂ Kreislauf



Dank für Ihre Aufmerksamkeit

