



Bidquelle: excess-catamarans



Bidquelle: torqeedo

E-Mobilität auf dem Wasser

Auswahl und Dimensionierung von Elektroantrieben für Segel- und Motorboote

Fossilfreie Freizeit- und Kleinschiffahrt im Wattenmeer
Projektveranstaltung E-MobiSS / ProWattfahrt 18.06.2024



Jens Feddern

Bordelektriker, Maschinist und Skipper aus Leidenschaft



Bidquelle: Timo Feddern

Ausbildung

- Dipl. Ing. (FH) Elektrotechnik
- Exect. Master in Business Studies

Maritimer Werdegang

- Reserveoffizier im Brückendienst
- 3. WO auf Schnellboot *Habicht*
- Navigationsoffizier
- Schiffsicherungstruppführer

Befähigungsnachweise

- Sporthochseeschifferschein mit Qualifikation als Schiffsführer und Maschinist von Traditionsschiffen in weltweiter Fahrt unter Segel und Motor
- Matrose- Motorenwart
- Sportschifferzeugnis
- Allgemeines Betriebszeugnis für Funker



Bidquelle: Rainer van Beckum



Bidquelle: Timo Feddern



Bidquelle: Jeanneau



Agenda



Bidquelle: excess-catamarans



Motivation



Antriebskonzepte



Dimensionierung



Praxisbeispiele



Fazit



Motivation



Motivation

Warum sollte man sich auch an Bord Gedanken über die Elektromobilität machen?

Abgase



Bidquelle: Alvaro Hernandez Sanchez

Lärm



Bidquelle: Jens Feddern

Geruch



Bidquelle: Pixabay

Zuverlässigkeit



Bidquelle: Pixabay

Fahrverbot



Spaß



Bidquelle: Ingenuity

Wartung



Bidquelle: Corlaffra / Shutterstock.com

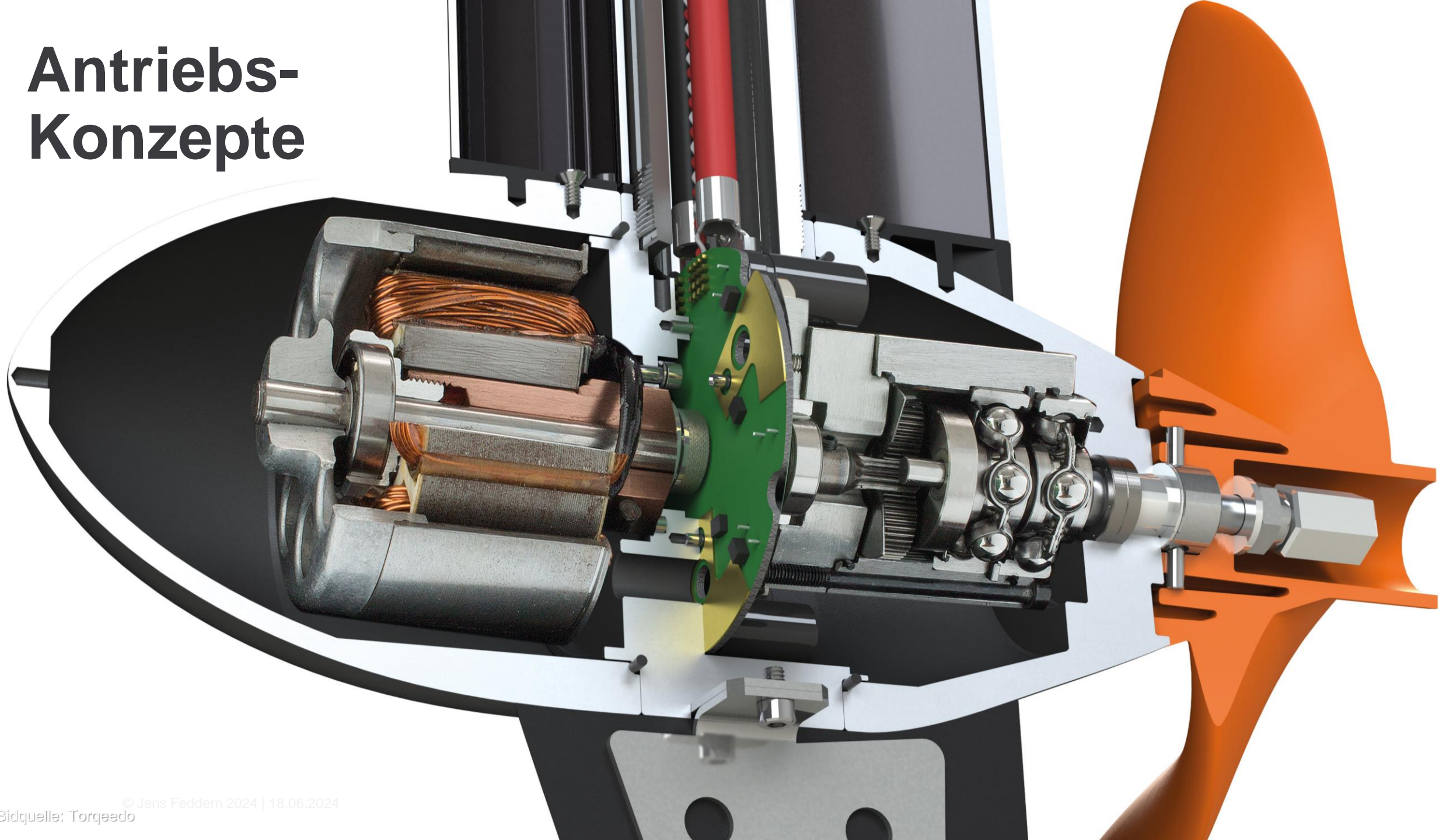
Ökologie



Bidquelle: Pixabay



Antriebs- Konzepte



Antriebsarten

Elektroantriebe sind sehr kompakt und ermöglichen eine einfache, verteilte Installation

Außenborder



Bidquelle: Epropulsion

Pod-Drive



Bidquellen: E-Tech, Vetus

Sail-Drive



Bidquelle: Torqeedo

Wellenantrieb



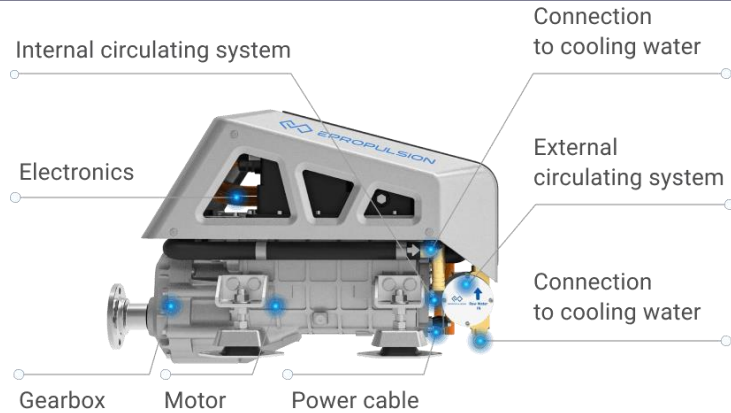
Bidquelle: J. Feddern



Elektromotoren als Ersatz für Verbrennermotoren

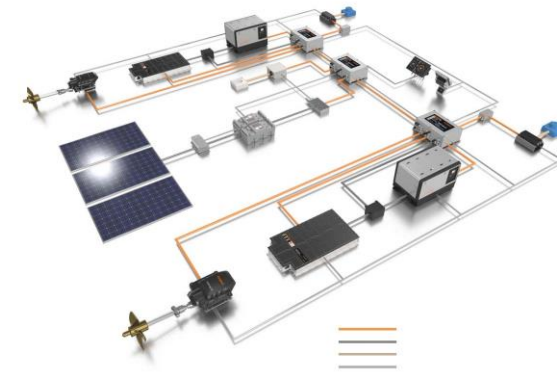
Elektroantriebe sind sehr kompakt und ermöglichen eine einfache, verteilte Installation

40 kW / 96 V Innenborder



Bidquelle: Epropulsion

Hybrid Antriebssysteme für gewerbliche Nutzung



Bidquelle: Torqeedo

100 kW / 360 V Innenborder



Bidquelle: Torqeedo

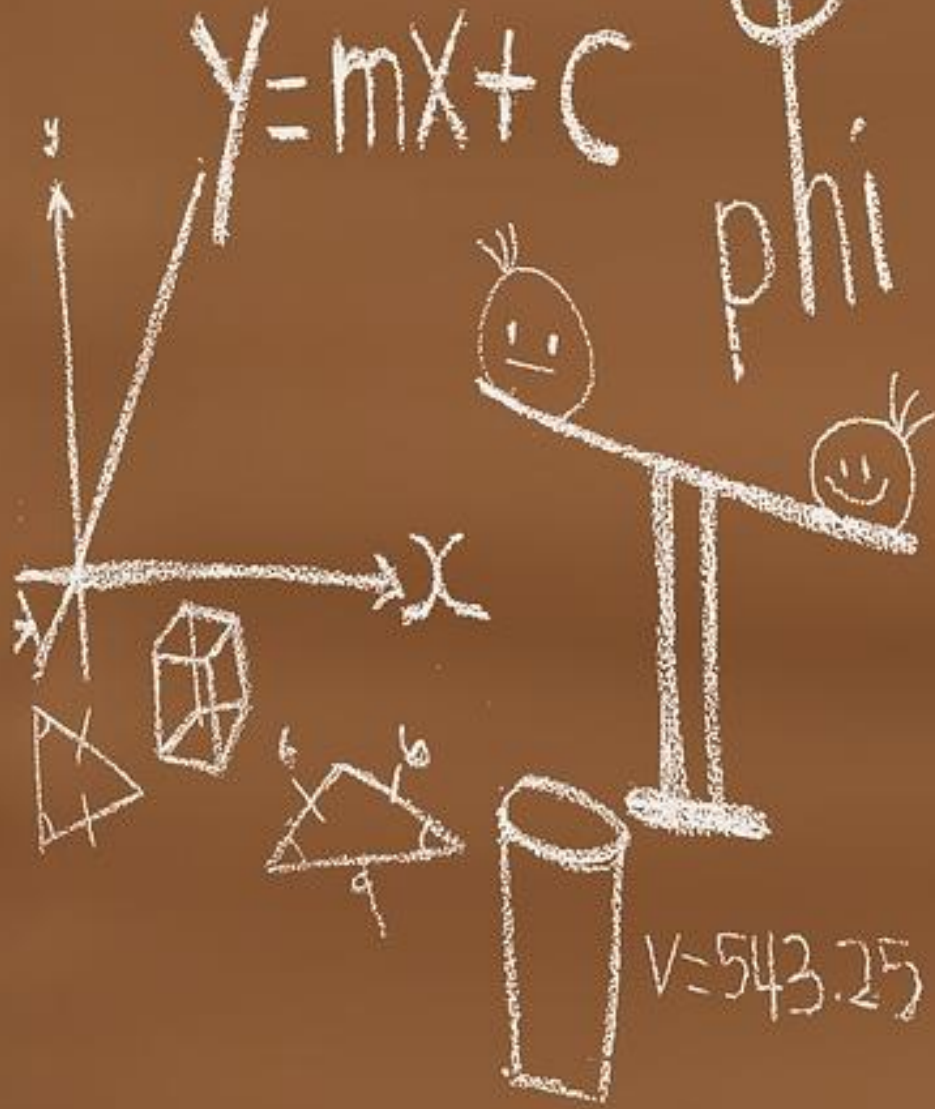
11 kW / 48 V Innenborder



Bidquelle: Vetus



Dimensionierung



$$\frac{X = X_1}{X_2 = X_1} = \frac{Y = Y_1}{Y_2 = Y_1}$$



Dimensionierung der Antriebsleistung

Die Antriebsleistung sollte zum Boot und zum Einsatzgebiet passen. Viel hilft nicht immer viel!

10 Sekunden

$$P_{\text{elektrisch}} [\text{kW}] = \frac{P_{\text{Verbrenner}} [\text{PS}]}{2}$$

30 Sekunden

Segelboot Binnen: $P = 1 \text{ kW pro t Gewicht}$
Segelboot Seefahrt: $P = 2 \text{ kW pro t Gewicht}$
Motorboot Binnen: $P = 2,5 \text{ kW pro t Gewicht}$
Motorboot Seefahrt: $P = 5 \text{ kW pro t Gewicht}$
Motorboot Gleiter: $P = 50 \text{ kW pro t Gewicht}$

60 Sekunden

$$P_{\text{elektrisch}} [\text{kW}] = 0,25 \times m_B \times l_w$$

$m_B = \text{Bootsgewicht [t]}$

$l_w = \text{Wasserlinienlänge [m]}$

60 Minuten

$$P_M = 100/\eta_P \cdot P_B$$

$P_M = \text{Motor-Wellenleistung}$

$P_B = \text{Boots-Vortriebsleistung}$

$\eta_P = \text{Propeller Wirkungsgrad in \%}$

$$P_B = 1/1000 \cdot F \cdot v$$

$F = \text{Zugkraft in N}$

$v = \text{Geschwindigkeit in m/s}$

$$P_B = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$M = \text{Drehmoment}$

$\omega = \text{Winkelgeschwindigkeit}$

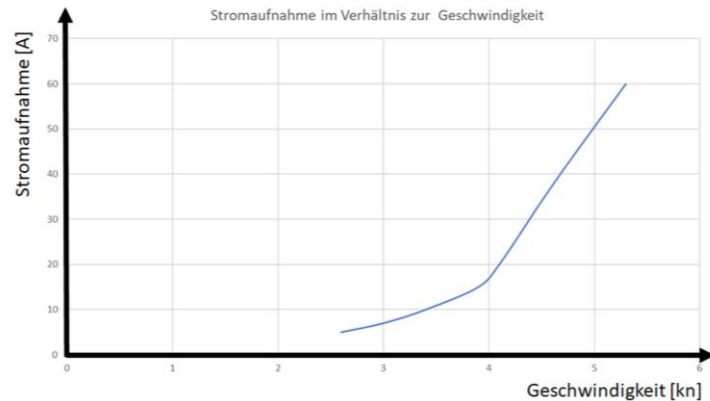
$n = \text{Drehzahl [U/s]}$



Dimensionierung der Akkukapazität

Die nutzbare Akkukapazität sowie die erforderliche Ladeeinrichtung bilden den kritischen Pfad

Stromaufnahme und Geschwindigkeit



benötigte Akkukapazität

$$C_A = (I_A \times t_A - I_L \times t_L) \times 1.25$$

C_A = nutzbare Kapazität

I_A = Antriebsstrom

t_A = Betriebsdauer

I_L = Ladestrom im Betrieb

t_L = Ladedauer

Berechnung Akkugröße

AGM-Akku: $C = C_A \times 2$

GEL-Akku: $C = C_A \times 1.4$

LiFePO₄-Akku: $C = C_A \times 1.1$

Ladezeit

LiFePO₄-Akku: $t_L = C_A / I_L \times 1.1$

AGM- u. GEL-Akku: $t_L = C_A / I_L \times 1.1 + 8h$



Akkus für die Antriebstechnik an Bord

Lithium-Eisen-Phosphat Akkus mit Systemspannungen von 48 V bis 360 V sind üblich an Bord

48 V Lithium-Eisen-Phosphat-Akku mit
8,5 kWh Kapazität



Quelle: epropulsion

350 V Lithium-Eisen-Phosphat-Akku mit
80 kWh Kapazität



Quelle: <https://www.torqeedo.com/de/green-propulsion/battery-technology-com.html>



Beispiel: Reise von Emden nach Borkum

Für eine 7 Stunden Reise wird eine Akku-Kapazität von 35 kWh benötigt



Segelboot, 10 m lang, 3,5 t Gewicht
Elektroantrieb: 10 kW / 96 V epropulsion
Entfernung: ca. 27 sm
Fahrt durch Wasser: 6 kn (5 kW)
Tidenstrom: 2kn
Fahrt über Grund: 4 kn

→ **Reisedauer: ca. 7 Stunden**

→ **Benötigte Kapazität: 35 kWh**
= 4 x 10 kWh

→ **Ladedauer bei 2,2kW Ladeleistung:**
ca. 18 Stunden

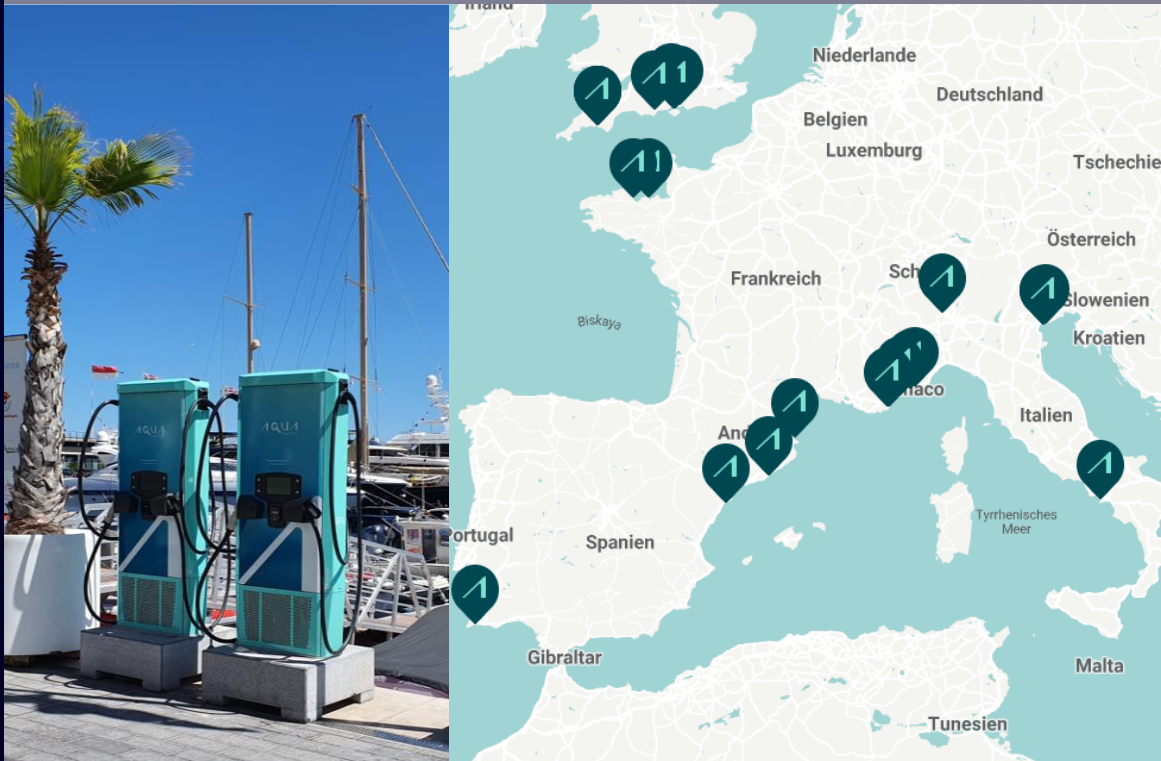
Quelle: epropulsion



Ladeinfrastruktur

Eine flächendeckende Ladeinfrastruktur ist entscheidend für die E-Mobilität auf dem Wasser

Aqua 150 kW Supercharger in Europa



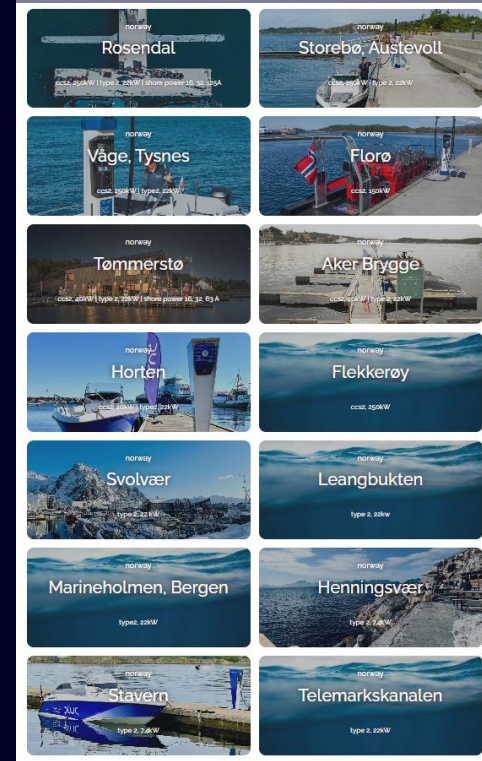
Quelle: <https://www.aqua-superpower.com/>

150 kW Supercharger in Florø, Norwegen



Quelle: <https://www.evoy.no/worlds-first-supercharger-for-boats/>

Installierte 22 kW Ladeinfrastruktur in Norwegen



Quelle: <https://plugport.no/maritime-charging-locations/>



Praxisbeispiele



Beispiel Hilfsantrieb für ein Segelboot (Binnengewässer)

Einfacher Ersatz eines 6 PS Benzin Außenborders mit Schachteinbau

Hurley 700 (22 Fuß, 2,4 t)



3 kW Außenborder



48-V-LiFePO₄- Akku mit 4 kWh



Bedienung



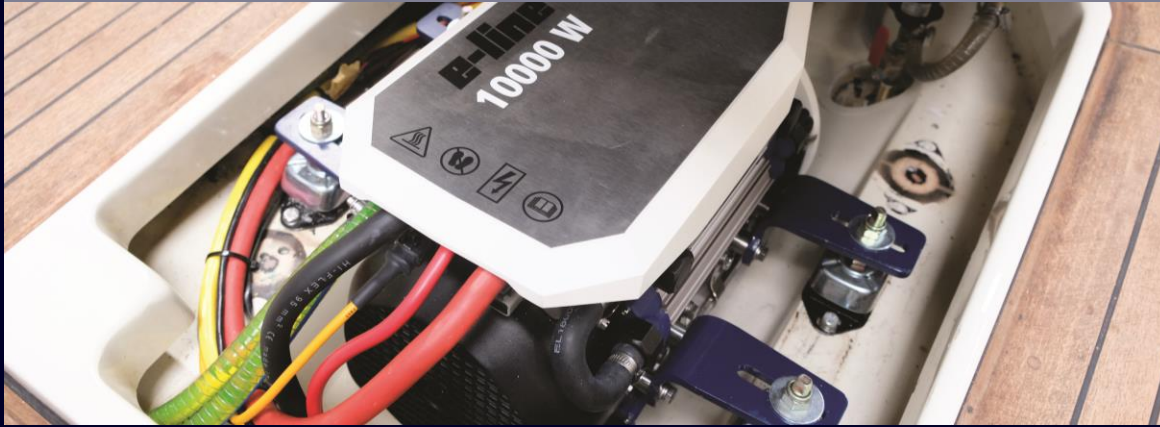
Bidquelle: J. Feddern



Weitere Beispiele

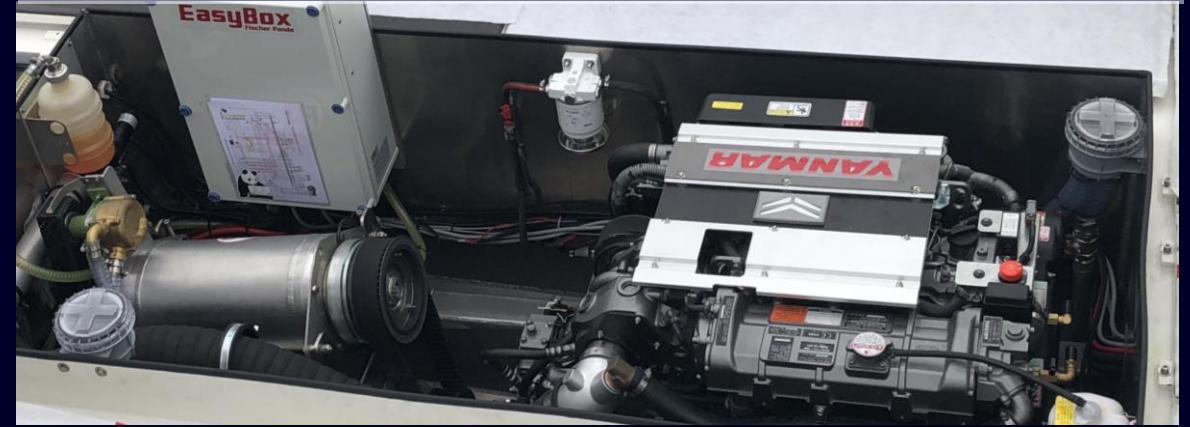
Elektroantriebe sind in Motor- und Segelbooten relativ einfach realisierbar

Motorboot – 10kW Ersatz für 25 PS Dieselantrieb



Bildquelle: Vetus

10 kW Diesel-Elektrischer-Hybridantrieb



Bildquelle: Fisherpanda

4kW Pot-Antrieb



Bildquelle: Torqeedo

50kW Deep Blue Antrieb mit 40 kWh BMW i3 Akku



Bildquelle: Torqeedo



Fazit



Pro und Contra für die Elektromobilität an Bord

Pro

- Antriebssystem sehr leise
- Keine Emissionen im Betrieb
- Maximales Drehmoment bei kleiner Drehzahl
- Geringe Wartung
- Hohe Zuverlässigkeit (bei korrekter Installation)
- Geringer(re) Komplexität
- Einfache Kühlung
- Einfache Handhabung
- CO₂ neutraler Betrieb möglich
- In diversen Revieren bereits vorgeschrieben



Contra

- Hohe Anschaffungskosten
- Begrenzte Reichweite
- Erforderliche Ladeinfrastruktur
- Keine Abwärme zum Heizen
- Verwendung seltener Erden
- CO₂ Emissionen in der Herstellung



Buchtipp



PRAXISWISSEN

JENS FEDDERN

E-MOBILITÄT AUF DEM WASSER

EMISSIONSFREI UNTERWEGS
MIT SEGEL- UND MOTORBOOTEN



DELIUS KLASING



Fragen?

