

Warum alternative Antriebs- und Energiesysteme für Schiffe?

- An den gesamten weltweit erzeugten CO₂-Emissionen hat die Schifffahrt einen Anteil von ca. drei Prozent.
- Innerhalb der EU ist die Schifffahrt für insgesamt ca. 25 Prozent der erzeugten Stickoxid- und Schwefelemissionen verantwortlich.
- Die Schifffahrt in Europa wird im Sinne des europäischen Green Deals und des Fit for 55-Maßnahmenpakets zur drastischen Dekarbonisierung und Defossilisierung verpflichtet. In das europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) wird die Seeschifffahrt erstmal aufgenommen. Über die Verordnung FuelEU Maritime soll zudem eine Reduktion der Kohlenstoffintensität von Schiffskraftstoffen um bis zu 75 Prozent bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Basisjahr 2020 vorgesehen werden.
- Initiales strategisches Ziel der IMO (International Maritime Organisation) ist die Reduktion von Treibhausgasen in der globalen Schifffahrt um 50 Prozent bis zum Jahr 2050, bezogen auf die Emissionswerte im Jahr 2008. Mit einer ambitionierteren Zielsetzung wird über die Revision der IMO-Treibhausgasstrategie im Jahr 2023 gerechnet.
- Alternative Schiffsantriebe und regenerative Kraftstoffe auf Basis erneuerbarer Energien sind der Lösungsweg für eine klimaneutrale Schifffahrt.

Zwischenfazit (Stand September 2022)

Was haben wir bisher durch NOW-koordinierte Förderprogramme erreicht?

- ▶ 42 geförderte Projekte insgesamt
- ▶ 26 kommerzielle LNG-Aus- und Umrüstprojekte wurden bislang aus Mitteln zur Fortschreibung der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung gefördert (davon 24 über die LNG-Förderrichtlinie für Seeschiffe). ▶ 1 Neubau und 2 Umbauten sind bereits in Fahrt.
- ▶ 5 umweltfreundliche Bordstromsysteme und 1 mobiles Landstromsystem werden über die BordstromTech Förderrichtlinie gefördert. ▶ Das mobile Landstromsystem ist bereits im Einsatz.
- ▶ Im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft wurden über die Förderrichtlinie Elektromobilität 3 Plug-In-Hybrid-Fähren und 2 E-Fähren gefördert und in den Fahrbetrieb überführt.
- ▶ Begleitend zur Umsetzung des Innovationsclusters e4Ships sind über das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) bisher insgesamt 4 F&E-Projekte sowie 5 Demonstrationsprojekte für Brennstoffzellen im maritimen Einsatz gefördert worden.

Übersicht: Welche Alternativen zum dieselbetriebenen Verbrennungsmotor gibt es schon heute?

Grundsätzlich:

- Schiffsantriebe und -kraftstoffe müssen grundsätzlich den Anforderungen an Transportauftrag und Betriebsprofil des jeweiligen Schiffs entsprechen – sie müssen wirtschaftlich, verfügbar und nachhaltig zugleich sein.
- Maritime Systeme sind divers und komplex – es gibt daher keine einheitliche Lösung für alle Schifffahrtssegmente und Schiffstypen. Hierbei bieten unterschiedliche technologische Anwendungs- und Kombinationsmöglichkeiten jeweilige Vor- und Nachteile.

Elektrischer Schiffsantrieb mit Batterien

Das steckt drin: Wesentliche Komponenten

- Ein Plug-In-System
- Zusätzliche regenerative Energieerzeuger an Bord, wie etwa eine Photovoltaik(PV)-Anlage
- Ein Energie-Management-System
- Ein Batteriesystem
- Ein Elektromotor

So funktioniert es:

- Über das Plug-In-System wird grüner Landstrom aufgenommen und in das Bordnetz eingespeist
- Zusätzliche Energieerzeuger stellen weiteren Bordstrom zur Verfügung
- Das Energie-Management-System steuert die bordseitigen Energiesysteme und -flüsse
- Das Batteriesystem dient der bordseitigen Energiespeicherung
- Elektrische Energie aus der Batterie versorgt den Elektromotor, welcher dem elektrischen Schiffsantrieb dient
- Der Elektromotor kann auch andere Verbraucher, wie etwa Hotellast und Hilfssysteme, versorgen

Besonderheiten:

Ein großer Vorteil des elektrischen Schiffsantriebs mit Batterien ist der hohe Wirkungsgrad – da es keine molekularen Wandlungsschritte entlang der Stromwertschöpfungskette gibt, entstehen auch keine nennenswerten Wandlungsverluste. Durch die geringe Energiespeicherdichte von Batterien ist die Einsatzperspektive für reinbatterieelektrische Antriebe jedoch auf kleinere Schiffe, wie Fähren, Wassertaxis und Hafengewässerfahrzeuge begrenzt, welche auch entsprechende Ladezeitfenster aufweisen. Zum Laden der Batterien gibt es konduktive und induktive Möglichkeiten. Die effiziente Nutzung der Ladezeitfenster ist meist entscheidend. Diese kann durch induktives Laden und die dadurch möglichen höheren Ladeleistungen sowie durch automatisierte Kopplungstechniken, welche das Handling erleichtern und die Kopplungszeit verkürzen, beeinflusst werden.

Zusätzlich bieten Batterien einen Effizienz- und Rekuperationsvorteil, darum könnten diese auch zur Hybridisierung von Schiffsantrieben und bei größeren Schiffen genutzt werden. Dies reduziert den Kraftstoffverbrauch und steigert die Effizienz des Gesamtsystems.

Elektrischer Schiffsantrieb mit Brennstoffzelle – betrieben mit regenerativen Kraftstoffen (wie Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen)

Das steckt drin: Wesentliche Komponenten

- Ein Kraftstoffbunker-, Kraftstofftank- und Kraftstoffverteilsystem
- Im Fall von gasförmigem Wasserstoff wird dieser in speziellen Drucktankbehältern gelagert
- Bei synthetischen Kraftstoffen, die in Kraftstofftanks gelagert werden, ist ein zusätzliches Reformer-System erforderlich
- Ein Brennstoffzellensystem zur Energiewandlung und elektrischen Energieerzeugung
- Sämtliche Systeme, wie sie beim elektrischen Schiffsantrieb mit Batterien beschrieben sind

So funktioniert es:

- In dem Kraftstofftank wird der bebunkerte Kraftstoff gelagert (je nach Eigenschaften flüssig, gasförmig oder als Mix)
- Je nach Brennstoffzellenart muss der Wasserstoff zunächst aus dem synthetischen Kraftstoff durch ein zusätzliches Reformer-System separiert werden.
- Die Brennstoffzelle wandelt die chemische Energie des Kraftstoffs/Wasserstoffs unmittelbar in elektrische Energie um
- Aus der Brennstoffzelle wird zusätzliche elektrische Energie für das Bordnetz, die Batterien und den Schiffsantrieb zur Verfügung gestellt
- Aufgrund der höheren Energiedichte der Kraftstoffbasis, werden Brennstoffzellen auch als sogenannte Range Extender bei elektrischen Schiffsantrieben eingesetzt
- Sämtliche sonstigen Systeme entsprechen dem elektrischen Schiffsantrieb mit Batterien

Besonderheiten:

Kleinere Schiffe im Binnen-, Küsten- und Short Sea-Bereich können grundsätzlich auch direkt mit Wasserstoff (gasförmig, flüssig oder als Mix) als Grundkraftstoff betrieben werden. Aufgrund der geringeren Energiedichte von Wasserstoff gegenüber synthetischen Flüssigkraftstoffen, erweisen sich letztere für größere Schiffe mit hohen Energiebedarfen und Einsatzreichweiten als alternativlos. Mit Brennstoffzellensystemen lassen sich aber mithilfe der Reformer-Technik zumindest bordseitig höhere Wirkungsgrade im Vergleich zu Verbrennungsmotor-Systemen darstellen.

Schiffsantrieb mit Verbrennungsmotor betrieben mit regenerativen Kraftstoffen (etwa SNG, E-Methanol, E-Ammoniak, grüner Wasserstoff)

Das steckt drin: Wesentliche Komponenten

- Größter Unterschied zum elektrischen Schiffsantrieb mit Brennstoffzellen ist der Einsatz von Verbrennungsmotoren und -generatoren für den Antrieb und zur Bordstromerzeugung
- Sämtliche sonstigen Systeme, wie sie beim Schiffsantrieb mit Brennstoffzellen beschrieben sind, außer den elektrischen Komponenten zur Energiespeicherung und Energiewandlung (wie Batterien, Brennstoffzellen, etc.), finden ebenfalls Anwendung
- Grundsätzlich können aber auch die elektrischen Systeme mit dem verbrennungsmotorischen Antrieb technisch verknüpft und angewendet werden, um von einer höheren Energieeffizienz des Gesamtsystems zu profitieren

So funktioniert es:

- Der Kraftstoff wird im Verbrennungsmotor verbrannt, wobei die im Kraftstoff chemisch gebundene Energie in Wärmeenergie und Rotationsenergie umgewandelt und für den Schiffsantrieb genutzt wird
- Über den zusätzlichen Einsatz von Generatortechnik wird aus der Rotationsenergie der Verbrennungsmotoren auch die benötigte elektrische Energie für den Bordstrom erzeugt
- Dadurch, dass der verwendete regenerative Kraftstoff auf Basis erneuerbarer Energien erzeugt wird, lässt sich eine klimaneutrale Verwendung dessen bilanziell entlang der Kraftstoffwertschöpfungskette darstellen

Besonderheiten:

Verbrennungsmotoren stellen den State-of-the-Art der herkömmlichen Energiewandlung dar. Für fossile Brückenkraftstoffe, wie LNG (Liquefied Natural Gas) oder Methanol, gibt es bereits marktreife Verbrennungsmotoren und erste Demonstrationsanwendungen. Für weitere alternative Kraftstoffe, wie insbesondere Ammoniak, befinden sich diese noch in der Entwicklung. Auch für den Einsatz von Brennstoffzellen gibt es entsprechende Demonstrations- und Entwicklungsprojekte. Im Vergleich zu Brennstoffzellen verursachen Verbrennungsmotoren jedoch systemisch bedingt insgesamt höhere Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen, für welche aufwändige Abgasnachbehandlungen zum Einsatz kommen.

Landstromanschluss

Das steckt drin: Wesentliche Komponenten

- Eine landseitige erneuerbare Energiequelle
- Ein landseitiger Netzanschlusspunkt
- Eine Konvertierungseinrichtung mit Transformator und Frequenzrichter
- Land- und bordseitige Anschlusspunkte

So funktioniert es:

- Der Landstromanschluss macht landseitigen Strom aus erneuerbaren Energiequellen zur umweltfreundlichen Bordstromversorgung nutzbar
- Bordeigenen Dieselgeneratoren können so während der Schiffs Liegezeiten abgeschaltet werden
- Strom wird aus dem örtlichen Mittelspannungsnetz über hafenseitige Netzanschlusspunkte bezogen
- Die Konvertierungseinrichtung bereitet den Landstrom zur bordseitigen Nutzung auf

Besonderheiten:

Neben der ortsfesten Landstromversorgung bestehen diverse technologische Alternativen der mobilen Landstromversorgung, beispielsweise damit sich auch weniger frequentierte Liegeplätze gemeinsame Landstrominfrastrukturen teilen können. Bei Häfen mit unzureichender Stromnetzanbindung können Anlagen auf Basis von Zwischenspeicherlösungen für den benötigten Landstrom eingesetzt werden, beispielsweise mit Hilfe von Batterien, Wasserstoff und sonstigen regenerativen Kraftstoffen in Kombination mit Energiewandlern, wie Brennstoffzellen. Zur Landstromnutzung müssen hierbei sowohl Häfen als auch die Schiffe selbst ertüchtigt werden



Übersicht: Was wird wie gefördert?

Die Bundesregierung fördert alternative Schiffsantriebe grundsätzlich technologieübergreifend.

Die folgenden Projekte stehen beispielhaft für für erste Umsetzungen verschiedenster alternativer Schiffsantriebe, die die NOW GmbH begleitet und unterstützt.



Foto: NOW GmbH

Batterieelektrisch: Die Kieler Elektrofähren

Die MS FRIEDRICHSORT ist eine von fünf Fähren, die auf der Kieler Förde als Plug-In-Hybrid unterwegs sind: Der Strom für die elektrischen Fahrmotoren mit je 255 KW wird vollständig von den Batterien zur Verfügung gestellt.

Förderprogramm: Förderrichtlinie Elektromobilität im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft 2017-2020



Foto: TU Berlin - EBMS

H2 Brennstoffzelle: Das Binnenschiff ELEKTRA

Erstmals wird ein hybrides Antriebskonzept, bestehend aus Brennstoffzellen und Batterien, auf einem Binnenschiff konzipiert und umgesetzt. Das dynamische Zusammenwirken der Energiequellen im Hinblick auf die maximale Reichweite des Kanalbinnenschiffs wird erforscht und optimiert.

Förderprogramm: NIP



Foto: ttline.com

LNG: Die Skandinavienfähre NILS HOLGERSSON

Die RoPax-Fähre „Nils Holgersson“ wurde 2022 als reiner LNG-Neubau in den Dienst gestellt. Mit einer Länge von 230 Metern ist sie die größte LNG-RoPax-Fähre der Welt. Sie verkehrt zwischen Travemünde und Trelleborg.

Förderprogramm: Aus- und Umrüstung von Seeschiffen zur Nutzung von LNG als Schiffs-kraftstoff



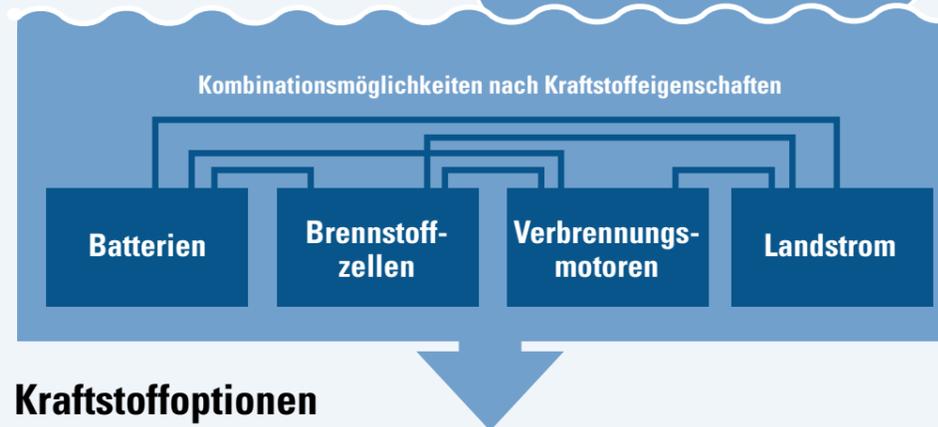
Foto: NOW GmbH

Landstromversorgung von See- und Binnenschiffen

Um die an der Pier zur Aus- und Umrüstung liegenden Schiffe mit Landstrom zu versorgen und somit auf den Betrieb von Dieselaggregaten zu verzichten, hat sich die Stahlbau Nord GmbH für zwei mobile containerisierte Landstrom-Versorgungsanlagen entschieden. Mit Hilfe dieser beiden Container kann bei hoher Lastabnahme ein Schiff und bei geringer Lastabnahme sogar bis zu vier Schiffe mit 50 Hz oder 60 Hz versorgt werden.

Förderprogramm: BordstromTech

Schiffsenergiesysteme



Kraftstoffoptionen



Das Schaubild gibt einen Überblick über die immer vielseitiger werdenden **Antriebs- und Energiekonzepte** durch die Etablierung verschiedener alternativer Schiffsenergiesysteme und die Nutzung von regenerativen Kraftstoffen. Jedes Schiffsenergiesystem hat seine **systemisch bedingten Vor- und Nachteile**, wobei die Anwendungsmöglichkeit vom jeweiligen Schiffstyp und dessen Fahrprofil abhängt. **Zur Optimierung werden häufig Technologien miteinander kombiniert.** Beispielsweise lassen sich nach aktuellem Stand der Technik auch größere Schiffsbauten realisieren, bei denen ein „renewable ready“ Brückenkraftstoff eingesetzt wird und Brennstoffzellen in Kombination mit Batterien und Landstrom für die Bordstromversorgung zum Einsatz kommen.

Auch die **Kraftstoffoptionen** sind vielfältig. In Abhängigkeit ihrer Erzeugungskette lassen sich diese grundsätzlich in **Kraftstoffe fossilen und erneuerbaren Ursprungs** einteilen. Zu ersteren zählen konventionelle Kraftstoffe, wie Marinediesel, aber auch Brückenkraftstoffe, wie beispielsweise LNG, Methanol oder herkömmlicher Wasserstoff. Mit diesen (renewable ready) Brückenkraftstoffen können alternative Antriebe bereits heute eingesetzt werden. Gegenüber konventionellen Kraftstoffen haben sie zudem den Vorteil, dass sie effizienter durch erneuerbar erzeugte Kraftstoffalternativen ersetzt werden können, um die Klimafreundlichkeit der alternativen Antriebe in zunehmenden Umfang auszunutzen. So wurde das LNG-betriebene Containerschiff „Elbbblue“ erstmalig mit CO2-neutralem synthetischen Flüssiggas betankt.

Zu den **erneuerbar auf Basis der Wasserstofftechnologie erzeugten regenerativen Kraftstoffen** gehören der grüne Wasserstoff selbst, aber auch die synthetischen Kraftstoffe als wasserstoffbasierte Derivate (sogenannte Power-to-X-Kraftstoffe oder E-Fuels). Neben fortschrittlichen Biokraftstoffalternativen bieten insbesondere diese E-Fuels eine nachhaltige Einsatzperspektive für die Schifffahrt. Die Erzeugung der synthetischen Kraftstoffe sowie die des grünen Wasserstoffs ist jedoch noch nicht in großem Maßstab realisiert, sodass sie nur eingeschränkt verfügbar sind.

Variationsmöglichkeiten gibt es auch bei den **Schiffsenergiesystem-Kraftstoff-Kombinationen**. So können Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen mit unterschiedlichen regenerativen Kraftstoffen betrieben werden. Hierbei richtet sich der mögliche Anwendungsbereich vor allem nach den Eigenschaften des eingesetzten Kraftstoffs: Energiedichte, das damit verbundene nötige Tankvolumen, resultierende Reichweite und Schiffsgröße sowie entsprechender bordseitiger Energiebedarf sind maßgebliche Faktoren.

Schiffe, die zudem zur **Landstromaufnahme** ertüchtigt sind, können während des Hafensbetriebs mit grünem Direktstrom betrieben werden, diesen aber auch über die Hybridisierung von Antrieben in Batterien für den Fahrtbetrieb speichern.



Wo gibt es weitere Informationen?

- Übersicht über geförderte Projekte im Bereich Maritime Anwendungen
- Förderangebote für maritime Anwendungen
- Bleiben Sie auf dem Laufenden: Der NOW Newsletter

