



OSTBAYERISCHE  
TECHNISCHE HOCHSCHULE  
REGENSBURG

# Modellentwicklung und techno-ökonomische Analyse eines hybrid-elektrischen Antriebssystems für die Binnenschifffahrt anhand konkreter Routenprofile

Eine Kurzzusammenfassung der Masterarbeit für die Veröffentlichung  
durch die Ludwig-Bölkow-Stiftung

19. August 2022

Tobias Reidl

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud, M.Sc. Lea Huber, M.Sc. Michael Heberl

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Fakultät Maschinenbau – Labor Sorptionstechnik

Prüfeninger Straße 58, 93049 Regensburg

eMail: [tobias1.reidl@st.oth-regensburg.de](mailto:tobias1.reidl@st.oth-regensburg.de)

## **Kurzzusammenfassung**

Die Pariser Klimaziele können nur durch eine vollständige Dekarbonisierung aller Energiesektoren erreicht werden. Im Verkehrssektor wird der Großteil der Güter derzeit noch mit LKWs transportiert, obwohl diese deutlich höhere Emissionen pro transportierter Tonne an Fracht aufweisen. Die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Binnenschifffahrt bietet daher ein großes Potenzial zur Einsparung umweltschädlicher Emissionen. Darüber hinaus bieten hybride Antriebssysteme mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen Chancen für die vollständige Dekarbonisierung der Schifffahrt.

Durch Modellierung relevanter Komponenten eines hybrid-elektrischen Antriebssystems in OpenModelica/Dymola und anschließender Simulation soll eine Aussage über die technische und wirtschaftliche Machbarkeit von emissionsfreien Binnenschubschiffen getroffen werden. Dabei werden Brennstoffzellen im Zusammenspiel mit Akkumulatoren und einer Photovoltaikanlage betrachtet. Ausgehend von der wichtigsten Route für den Gütertransport auf der Binnenwasserstraße zwischen Duisburg und Rotterdam, werden zwei Leistungsklassen von Binnenschubschiffen untersucht.

Die Dimensionierung der einzelnen Komponenten ist ein entscheidender Faktor für die ökonomische Realisierbarkeit solcher Antriebssysteme. Es zeigt sich, dass ein wirtschaftlicher Einsatz solcher Hybrid-Antriebssysteme bereits in wenigen Jahren möglich ist. Lediglich die Produktionskosten der Komponenten und vor allem die des Wasserstoffs müssen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiter fallen, damit hybrid-elektrische Antriebssysteme eine Alternative zu konventionellen Verbrennungsmotoren bilden.

## **Konklusion**

Das generierte OpenModelica/DYMOLA Simulationsmodell ist geeignet für eine erste Machbarkeitsanalyse von hybrid betriebenen Binnenschiffen und kann mit verhältnismäßig wenig Parametern an variierende Betriebsbedingungen angepasst werden. Es resultiert eine ausreichend präzise Näherung des elektrischen und thermodynamischen Verhaltens, um eine Aussage über das Verbrauchsverhalten jeweiliger Komponenten und der generellen technischen Machbarkeit zu treffen. Außerdem können mithilfe dieses Modells, abhängig vom Betriebsverhalten, verschiedene Energiemanagementsysteme untersucht werden. Dadurch entsteht weiteres Optimierungspotential in Bezug auf den Endenergieverbrauch.

Es mussten einige Annahmen getroffen werden, um den zeitlichen Rahmen der Modellentwicklung nicht zu überschreiten. Dennoch bietet dieses Modell eine solide Basis für potentielle Weiterentwicklungen und Anpassungen. Ein großes Problem zur Verifizierung und Einordnung des Modells stellt die fehlende Datenlage von Schiffsantrieben dar. Das größte Potential für Verbesserungen bietet die Ermittlung der tatsächlich vom Schiff benötigten Leistung anhand von AIS Daten. Hierbei sollte auch die Fließrichtung, Wasserpegel, sowie Strömungswiderstand mit inbegriffen werden. Eine Erweiterung des Modells um weitere EMS, bietet die Möglichkeit, je nach Lastfall eine möglichst effiziente Strategie zu finden.

Die betrachteten Komponenten für einen alternativen Schiffsantrieb zeigen eine hohe technologische Reife. Allen voran bietet die Kombination aus Brennstoffzelle und Akkumulator eine gute Synergie aus dynamischen Verhalten auf Lastwechsel und Reichweite bei begrenztem Platz zur Installation. Dabei ist festzustellen, dass das Akkumulatorsystem deutlich mehr Platz und Gewicht, verglichen mit Brennstoffzelle zuzüglich Wasserstoffspeicher, in Anspruch nimmt. Daher ist eine Abwägung derer Zusammensetzung von großer Bedeutung. Sollte das Schiff speziell für einen Hybridantrieb dieser Art konstruiert werden, so zeigt sich am Beispiel der ELEKTRA (e4ships Projekt) ein erhebliches Platz- und Gewichtspotential.

Es zeigt sich, dass für Binnenschubboote der kleineren Leistungsklasse ( $P_{inst} < 500 \text{ kW}$ ) unter Anwendung der hier implementierten EMS kein ökonomischer Betrieb absehbar ist. Daher ist es empfehlenswert, die Antriebsenergie jener Leistungsklasse in erster Linie durch Akkumulatoren bereitzustellen und das Brennstoffzellensystem lediglich für längere Fahrten zu nutzen.

Bei der größeren Leistungsklasse ( $P_{inst} > 2 \text{ MW}$ ) zeigt sich bereits jetzt ein nahezu wirtschaftlich sinnvoller Betrieb mit Wasserstoff. Betrachtet man die Investitions- und Betriebskosten beim Einsatz von grünem Wasserstoff unter den gegebenen Voraussetzungen, so kann ab dem Jahr 2030 eine Amortisation gegenüber dem konventionellen Antrieb nach etwa 13 Jahren erreicht werden. Des Weiteren kann bereits jetzt durch Brennstoffzellenantrieb ein ökologischer Schiffsbetrieb erreicht werden. Die Emissionen werden durch den Einsatz von grauem Wasserstoff gegenüber Dieselantrieb halbiert. Ein solcher Hybridantrieb kann folglich einen großen Beitrag zur Dekarbonisierung des Schiffsverkehrs und damit zur Energiewende leisten.

Abschließend kann festgestellt werden, dass Photovoltaik eine Antriebsenergieeinsparung von etwa 25% bewirken kann. Dabei amortisiert sich diese nach vier bis acht Jahren, abhängig von der tatsächlich nutzbaren Energie.

Die emissionsfreie Binnenschiffahrt ist also nicht mehr in weiter Ferne und kann aus technischer Sicht bereits heute realisiert werden. Lediglich die Produktionskosten der Komponenten und vor allem des Wasserstoffs müssen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiter fallen, um somit mit den fossilen Energieträgern konkurrieren zu können.