

ELMAR – Elektromobilität auf dem Wasser

Liane Voss, Romy Sommer, Johannes Gulden

Institut für Regenerative EnergieSysteme - IRES
Hochschule Stralsund, Zur Schwedenschanze 15, 18435 Stralsund

Abstract

Elektrische Antriebe für Sportboote, Yachten und Fähren gibt es nicht erst seit gestern. Bereits 1886 fuhr das Fährschiff „Elektra“ auf der Spree in Berlin. Das damalige Knowhow kam aus dem Hause Siemens. Bis heute haben sich elektrische Antriebe vorzugsweise im Bereich der Sport- und Freizeitschifffahrt sowie bei Fahrgastschiffen etabliert, zum Beispiel die FährBären I - IV in Berlin oder die Wolfsburg-Cat. Diese Fähren sind sogar in das ÖPNV-Netz integriert. Bisher konzentrieren sich die Bestrebungen auf die Binnengewässer.

In der Schifffahrt der Seegewässer stehen die elektrischen Antriebe noch am Anfang. Angesichts steigender Treibstoffkosten und strengerer Umweltauflagen beginnen die Reedereien umzudenken. Dabei reicht es nicht aus, nur die Schiffe der See- und der Binnengewässer mit elektrischen Antrieben zu versehen, sondern es ist eine entsprechende landseitige Ladeinfrastruktur zu schaffen. Unter den Aspekten der Versorgungssicherheit und des Speicherplatzbedarfs an Bord des Schiffes muss landseitig geprüft werden, welche Energieversorgungsinfrastruktur für einen reibungslosen Schiffsbetrieb in den einzelnen Häfen notwendig sein wird: elektrische Ladeeinrichtungen, Wasserstoff- und/oder Biokraftstoff-Tankstellen und vielleicht sogar eine Versorgung mit Ammoniak.

1. Einführung und Hintergrund

Das EU-Interreg South Baltic Projekt ELMAR arbeitet mit Projektpartnern aus Litauen, Polen sowie aus Mecklenburg-Vorpommern zusammen. Inhaltlich befasst sich das Projekt damit, Boots- und Schiffbauunternehmen im südlichen Ostseeraum bei der Anpassung an die maritime E-Mobilität zu unterstützen. Hierbei soll bei der Förderung von Anwendungen der maritimen Elektromobilität (E-Boote/Schiffe, zugehörige Produkte und Dienstleistungen) der Zugang zu internationalen Märkten unterstützt werden. Zudem soll die Entwicklung für einen emissionsfreie Boots- und Schiffsverkehr im südlichen Ostseeraum als Heimatmarkt vorangetrieben werden. Denn die südliche Ostseeregion hat eine lange Tradition und einen starken Schiff- und Bootsbausektor:

- große Schiffs- und Bootsbauunternehmen (z.B. HanseYachts in Greifswald)
- zahlreiche kleine und mittelständische Unternehmen, die auf Ausflugs- und Fahrgastschiffe oder Freizeitboote und Yachten spezialisiert sind. (Manche dieser Unternehmen verwenden traditionelle regionale Bootsdesigns, zugeschnitten auf die typischerweise flachen Gewässer der Meeresbuchten (z.B. Kurenkahn in Litauen)
- regionalen Forschungsinstitute (z.B. die Schiffs- und Meerestechnik-Forschungsabteilungen und Fakultäten der Hochschulen Stralsund, Szczecin, Gdańsk, Klaipėda)

Einige der Schiffs- und Bootsbauer der südlichen Ostseeregion haben bereits mit der Produktion von elektro- und hybridangetriebenen Schiffen und Booten begonnen, z.B. die E-Fahrgastschiffe „FährBären“ der Berliner Verkehrsbetriebe/Förde Rederei Seetouristik, die von Formstaal in Stralsund gebaut wurden. Zudem stieg auch das Interesse im touristischen Sektor an, z.B. ablesbar am Verleih von Elektro-Booten auf dem Achterwasser und in der mecklenburgischen Seenplatte.

Eine weitere Verbreitung der E-Mobilität für maritime Anwendungen steht jedoch noch aus, einhergehend mit der Entwicklung von Ladeinfrastrukturen und der Verbesserung von Reichweiten.

2. Häfen in Mecklenburg-Vorpommern

ELMAR strebt die Unterstützung des Schiffs- und Bootsbausektors in der südlichen Ostseeregion an. Dabei soll der Vertrieb von Booten und Schiffen mit Elektro- oder Hybridantrieben innerhalb und außerhalb des südlichen Ostseeraumes gefördert werden. Darüber hinaus können Marktpotenziale erweitert und besser ausgeschöpft werden.

Um die Marktentwicklung entsprechen zu befördern, sind Basisstudien als Grundlage notwendig. Eine dieser Studien befasst sich mit der E-Ladeinfrastruktur an den Küsten von Rostock-Warnemünde bis zum Stettiner Haff einschließlich des Achterwassers und des Greifswalder Boddens. Für eine bessere Zuordnung der Anlaufpunkte von der Seeseite her wurde unterschieden, ob es sich um Industrie- und Wirtschaftshäfen, Marinas/Sportboothäfen oder Naturhäfen/Etappenhäfen sowie Nothäfen handelt. Die Abbildung 1 stellt eine Übersicht des Hafennetzes der Industriehäfen in Mecklenburg-Vorpommern dar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren 13 Industriehäfen in MV. Davon befinden sich 10 allein in der zu untersuchenden Region.



Abb. 1: Übersicht des Industrie-Hafennetzes in Mecklenburg-Vorpommern [1]

In der Abbildung 2 wird die räumliche Einteilung der Küstenregion erkennbar. Hierbei wurde der Küstenbereich in fünf regionale Teilbereiche unterteilt. Durch die geografischen Gegebenheiten erfolgte die Unterteilung anhand der Inseln: Hiddensee, Rügen, Usedom und die Halbinsel Fischland Darß-Zingst. Die landseitige Segmentierung erfolgte als einfacher Küstenstreifen von Rostock über Stralsund bis nach Ueckermünde.

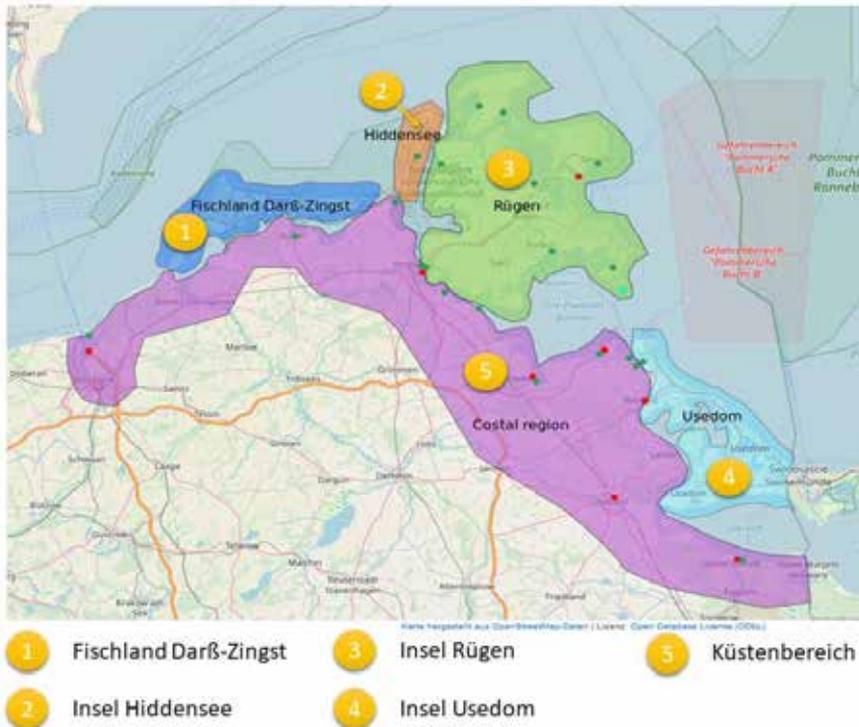


Abb. 2: Einteilung des Küstenraums für die Untersuchung der E-Ladeinfrastruktur [2]

3. Einstufung der Hafenstruktur

Die Klassifizierung der Häfen erfolgte nach folgenden in Tabelle 1 dargestellten Kriterien/Eigenschaften. Dabei wurde sich unter anderem auf die Merkmale Lage des Hafens zur Küste, die Wassertiefe für den max. Tiefgang des Schiffes sowie die vorhandene landseitige Infrastruktur konzentriert. Bei Offshore-Häfen für Windparks sind die Klassifizierungen andere. Hierbei werden die Häfen in drei große Hauptgruppen unterteilt - den Großkomponentenhafen, Service- und Wartungshäfen sowie Forschungshäfen. [3]

Für die Erfassung der Ladeinfrastruktur wurden die Häfen nach anderen Gesichtspunkten kategorisiert. Hierbei waren wichtige Aspekte die Kapazitäten der Liegeplätze, Wassertiefen des Hafenbeckens sowie die Stromversorgung an den Stegen. Weiterhin wurden die landseitige Infrastruktur und die seeseitigen Zugänge berücksichtigt. Bei den seeseitigen Zugängen wurde die Länge der Revierfahrt als Kriterium zugrunde gelegt. Die Revierfahrt ist die Strecke, die ein Schiff bzw. Boot zurücklegt, um die offene See zu erreichen. Dabei wird die gesamte Strecke vom Liegeplatz bis zum Erreichen der See gemessen. [4]

Dabei entstand folgende Klassifizierung:

- Industriefähren, Seehäfen oder Fährhäfen
- Basishäfen mit konventioneller Ladeinfrastruktur für Benzin- oder Dieselmotoren
- Etapenhäfen oder netzergänzende Häfen

Tab. 1: Übersicht der Kriterien

Klasse	Name	Kriterien
I	Industriehafen, Seehafen, Fährhafen	<ul style="list-style-type: none"> • Kurze seeseitige Revierfahrt • Hauptsächlich Berufsschifffahrt • Wassertiefe > 1,80 m in Hafen und Zufahrt • Ausreichend Liegeplätze • Sehr gute Hafen-Infrastruktur
II	Basishafen	<ul style="list-style-type: none"> • Längere seeseitige Revierfahrt • Wassertiefe > 1,80 m in Hafen und Zufahrt • gute technische und sanitäre Ausstattung • Ausreichend Liegeplätze • Weniger Berufsschifffahrt, mehr Freizeitschifffahrt
III	Etappenhafen	<ul style="list-style-type: none"> • Hafen, der die Kriterien für I und II nicht vollständig erfüllt, aber eine Wassertiefe von > 1,80 m in Hafen und Zufahrt aufweist.
IV	Netzergänzender Hafen	<ul style="list-style-type: none"> • Hafen, der die Kriterien von I, II und III nicht vollständig erfüllt, da er nur über eine Wassertiefe von < 1,80 m im Hafen und in der Zufahrt verfügt oder die Zufahrt durch ein niedriges seeseitiges Hindernis stark eingeschränkt ist
V	Nothafen	<ul style="list-style-type: none"> • Hafen, der nur im Notfall angelaufen werden darf • Wassertiefe > 1,80 m in Hafen und Zufahrt

Die Abbildung 4 zeigt den Hafen Barhöft, der inmitten des Nationalparks Vorpommersche Boddenlandschaft liegt. Der Hafen soll als Beispiel für die Einstufung als Basishafen dienen. Der Hafen kann in zwei größere Bereiche unterteilt werden. Der erste Bereich steht der Berufsschifffahrt, den Fischern sowie den Rettungskreuzern zur Verfügung. Im zweiten Hafenabschnitt befindet sich die Freizeitschifffahrt für Segel- und Motorboote. Zudem bietet der Hafen einen Kran (max. Last 6,3 t) sowie eine Slipanlage und eine Bootstankstelle für Diesel und Superbenzin. Das Hafenbecken ist zulässig für Boote bzw. Schiffe mit einem max. Tiefgang von 2,5 m. Die Wassertiefe im Hafenbecken wird mit 3 bis 5 m angegeben [5][6]. Die Revierfahrt von Barhöft in die Ostsee verläuft zunächst auf einer Länge von rund 6 km nur als sehr schmale Rinne, die von Kielbooten nicht verlassen werden sollte. Ohnehin sind beträchtliche Teile im Boddenrevier sowie in den Außenküstenbereichen Vorpommerns mit Einschränkungen versehen, die das Befahren aller Wasserfahrzeuge ohne Ausnahmen (in Abbildung 3 rot gekennzeichnete Flächen) bzw. unter Einschränkungen verbieten (in Abbildung 3 grün gekennzeichnete Flächen).

4. Gegenwärtiger Bestand an Hafenanlagen / Marinas

Die Bestandsaufnahme erfolgte durch die Auswertung von öffentlich zugänglichen Hafeninformatoren, Open-Source Seekarten und Befragungen der Betreiber. Dabei entstand eine Hafen-Analyse, die als Grundlage für die Bewertung der vorhandenen Ladeinfrastruktur genutzt wurde.

An der Küste im Untersuchungsraum wurden 10 Häfen, 94 Wassersportanlagen sowie ein Nothafen registriert. Sie verteilen sich wie folgt auf die 5 definierten Kategorien:

Tab. 2: Bestand an maritimen Anlagen

Kategorie	Anzahl der Häfen
Industriehafen, Seehafen und Fährhafen	10
Basishafen	16
Etappenhafen / netzergänzender Hafen	78
Nothafen	1
GESAMT	105

5. Netzbezogene Bewertung

Obwohl in den letzten Jahren Verbesserungen im Hafennetz durchgeführt wurden, weist das Netz noch Verdichtungsdefizite auf. Für die Zukunft gilt es, das Netz engmaschiger zu gestalten und somit eine bessere Erreichbarkeit/Zugänglichkeit bei kurzfristigen Routenänderungen zu erlauben. Hiermit ist besonders die Außenküste gemeint, die durch schnelle Wetteränderungen und bei zu großen Distanzen zwischen den Häfen große Gefahren birgt. In der nachfolgenden Tabelle werden die bestehenden Netzlücken zwischen den Häfen dargestellt.

Tab. 3: Netzlücken im Hafennetz an der Küste Vorpommerns [9]

Netzlücke	Seemeilen
Warnemünde-Darßer Ort	Ca. 28 sm (51,86 km)
Darßer Ort-Barhöft	Ca. 26 sm (48,15 km)
Darßer Ort-Hiddensee	Ca. 30 sm (55,56 km)
Hiddensee-Glowe	Ca. 26 sm (48,15 km)
Sassnitz-Thiessow	Ca. 22 sm (40,74 km)
Greifswald-Kröslin	Ca. 19 sm (35,19 km)
Freest-Swinemünde	Ca. 33 sm (61,12 km)

6. E-Ladeinfrastruktur

Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Ladeinfrastruktur in den Häfen und Marinas bereits zu einem großen Anteil für den derzeitigen Bedarf der Bordstromversorgung vorhanden ist. Alle Häfen und Marinas besitzen eine Strom- und Trinkwasserversorgung auf den Stegen. Derzeit ist als Standard eine 3-polige CEE-Steckdose mit 230V und 16A in den Versorgungssäulen des Steges bzw. der Kaimauer vorzufinden. Jedoch sind die Simultanität (bei gleichzeitigem Laden mehrere Nutzer) und die Leistung bisher nicht für eine flächendeckende Nutzung ausgelegt. Darüber hinaus stellt das künftige Potenzial an steigenden E-Bootnutzern und Ladebedarfen eine neue Herausforderung dar. Die Reichweitenangaben der Hersteller für E-Antriebe geben einen ersten Einblick in die künftigen Bedarfe. In den Tabellen 4 und 5 sind exemplarisch Übersichten von den Herstellern Torqeedo und Kräutler, die sich auf Elektromotoren für die Freizeitschiffahrt fokussiert haben, dargestellt.



Abbildung 5: Stadthafen Neustrelitz [10]

Tab. 4: Motorenbeispiele von Torqeedo [11]

Motoren Typ	Antriebsleistung	Verwendbar für Bootstypen	Reichweitenangaben sm (km)
Cruise 2.0 TS	2 kW (ca. 5 PS VM) 24 V - System	Für Dinghies oder Segelboote < 3 t	Mit 1x 3,5 kWh Batterie: Langsame Fahrt bei 2,7 kn: RW 21 sm (40 km) @ 8 h Vollgas bei 6 kn: RW 10,5 sm (19 km) @ 1:45 h
Cruise 10.0 TS	12 kW Peak-Leistung und 10 kW Dauerleistung (ca. 20 PS VM) 48V - System	Motorboote und Segelboote < 10 t	mit 2x 5,3 kWh Batterien: Langsame Fahrt bei 4,2 kn: RW 32 sm (60 km) @ 6 h Vollgas bei 14 kn: RW 14 sm (26,5 km) @ 1h
Deep Blue 25 R	33 kW Peak Leistung (ca. 40 PS VM) 48V - System	für Boote mit Hochvolt-Antrieben: Segelyachten < 40 m, größere Motorboote, Wassertaxis / Fähren (gewerblich), für Naturschutzgebiete	Mit 1x 30,5 kWh Batterie: Langsame Fahrt bei 5kn: RW 24 bis 78 sm (44 - 144 km) @. 6:25 h bis 19:15 h Vollgas bei 10 kn: RW für 12 sm (22 km) @ 1:15 h

Tab. 5: Motorenbeispiele von Kräutler [12]

Motoren Typ	Antriebsleistung	Verwendbar für Bootstypen	Reichweitenangaben sm (km)
ACA 2,0	2,6 kW (ca. 3,5 PS VM) 24V-System	Für Motorboote oder Segelboote < 2 t	kA
ACR 8,0	9,7 kW (ca. 13 PS VM) 48V-System	Für Motorboote < 3,2 t und Segelboote < 8,0 t	kA
SDKH-D 25	28 kW (ca. 38 PS VM mit Wasserkühlung) 96V-System	Für Motorboote < 10 t oder Segelboote < 25 t	kA

Legende: VM – Verbrennungsmotor
RW – Reichweite mit Laufzeit

7. Fazit

Die ersten Schritte im Bereich der maritimen E-Mobilität wurden unternommen. Nun heißt es, diese fortzuführen und Vorhandenes zu verbessern. Insbesondere sind eine versorgungssichere Ladeinfrastruktur aufzubauen und größere Netzlücken zu schließen. Die in Tabelle 3 angegebenen Entfernungen und die in Tabelle 4/5 aufgeführten Antriebe mit den dazugehörigen Batterien zeigen, dass es derzeit möglich ist, an der Küste von Rostock bis Ueckermünde mit elektrischen Antrieben zu fahren. Mit der Basisvariante von Torqeedo sowie einer energiesparenden Fahrweise ist eine Netzlücke von 19 sm (Greifswald-Kröslin) zu bewältigen. Es bliebe allerdings lediglich eine Reserve von 3 sm Reichweite, um in den Hafen zu kommen. Diese Reserve ist bei weitem nicht ausreichend, wenn es zu Wetteränderungen auf See kommt und der Bootsführer schnell – im ungünstigsten Fall auf der Hälfte der Strecke - den nächsten Hafen ansteuern muss. Hier ist eine Verdopplung der Batteriekapazität auf 2x 3,5 kWh zu empfehlen, um sicher in den nächsten Hafen zu kommen. Es verbleibt dann noch theoretisch ¼ der Batteriekapazität als Reserve für eine ungünstige Wettersituation, z.B. Gegenwind. Bei der mittleren Variante von Torqeedo können nur zwei Häfen des Außen-Küstenbereichs laut Tabelle 3, mit einer Reserve von 10 bis 13 sm sicher befahren werden. Somit wird eine kurzfristige Kursänderung bei Wetterumschlägen möglich und die Gefährdung auf offener See verringert.

Zudem sollten die Ladezeiten für die Batterien beachten werden:

- Bei einer 3,5 kWh Batterie beträgt die Ladezeit 14 h @ 10 A; 2 h @ 60 A
- Bei einer 5,3 kWh Batterie beträgt die Ladezeit 10 h @ 13 A; 2 h @ 60 A

Ferner muss zum Laden der Batterien an den Stegen ein längerer Aufenthalt eingeplant werden, da die meisten Marinas nur über ein 16 A-Ladesäulensystem verfügen.

Darüber hinaus sollen weitere Analysen mit verschiedenen Batterieherstellern durchgeführt werden, um die Ergebnisse besser mit weiteren am Markt verfügbaren Produkten verifizieren zu können. Außerdem ist der künftige Ladebedarf bei steigender Anzahl von Elektrobooten in den Marinas zu eruieren.

8. Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/em/Infrastruktur/Seeverkehr/> abgerufen am 03.12.2019
- [2] <https://www.openstreetmap.de>, Zugriff auf das Kartenmaterial am 03.12.2019
- [3] https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Windenergie-auf-See/Wirtschaftliche_Aspekte/Haefen/haefen.html abgerufen am 04.12.2019
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Revierfahrt> abgerufen am 04.12.2019
- [5] <https://www.mein-ostseehafen.de/seegebiete/mecklenburg-vorpommern/strelasund/barhoeft.html> abgerufen am 04.12.2019
- [6] <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Standardartikel/Offshore-Windenergie/Karte-Haefen/barhoeft.html> abgerufen am 05.12.2019
- [7] http://www.nationalpark-vorpommersche-boddenlandschaft.de/vbl/index.php?article_id=153 abgerufen am 09.12.2019
- [8] <https://www.openseamap.org>, Zugriff auf das Kartenmaterial am 05.12.2019
- [9] Standortkonzept für Sportboothäfen an der Ostseeküste, Planco-Consulting GmbH, 2004
<https://www.regierung-mv.de/Publikationen/?id=531&processor=veroeff> abgerufen am 06.12.2019
- [10] <https://www.neustrelitz.m-vp.de/stadthafen-neustrelitz/#> aufgerufen am 06.12.2019
- [11] <https://www.torqueedo.com/de/produkte/aussenborder> aufgerufen am 06.12.2019
- [12] <https://www.kraeutler.at/motoren/bootsmotoren/> aufgerufen am 06.12.2019