



Der auf der „Fehn Pollux“ installierte Flettner-Rotor soll im Jahresdurchschnitt ca. 100 kW bis 150 kW zusätzliche Hauptmaschinenleistung erbringen

Foto: EMS-Fehn-Group

Flettnerrotor senkt Brennstoffkosten

„FEHN POLLUX“ Unter der wissenschaftlichen Leitung der Hochschule Emden/Leer ist an Bord des Mehrzweckschiffes „Fehn Pollux“ die neueste Rotorentwicklung vom Typ Eco-Flettner nachgerüstet und getestet worden. Die ersten, jetzt vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass alle bisherigen Annahmen und Modellberechnungen bestätigt worden sind und dass ein Flettnerrotor einen signifikanten Beitrag zur Einsparung von Brennstoff und damit Emissionen leisten kann.

Prof. Kapt. Michael Vahs, Prof. Dr. Jann Strybny, Thomas Peetz, Moritz Götting, Marcel Müller, Sascha Strasser

Die IMO will den CO₂-Ausstoß der internationalen Seeschifffahrt bis 2050 um mindestens 50 Prozent reduzieren. Damit würde die Schifffahrt einen deutlichen Beitrag zum Klimaziel leisten, auch wenn die IMO unter den Forderungen der ambitionierten Staaten bleibt, die eine 70 bis 100-prozentige Dekarbonisierung in diesem Zeitraum realisieren wollen. Und obwohl noch viele Details der neuen IMO-Strategie offen sind, ist bereits jetzt klar, dass neue technologische Wege gegangen werden müssen. Die Wiederentdeckung der Windenergie für den Schiffsantrieb liegt auf der Hand, das hohe Potenzial auf See ist hinlänglich bekannt. Die Schifffahrt benötigt nun Technologien, die alle wichtigen Anforderungen des modernen Schiffsbetriebs erfüllen. Flettner-Rotoren haben in verschiedenen Projekten bereits ihre grundsätzliche Eignung erwiesen. Ein deutsch-niederländisches

Projektkonsortium unter der wissenschaftlichen Leitung der Hochschule Emden/Leer hat im Juni 2018 die neueste Rotorentwicklung vom Typ Eco-Flettner auf dem Erprobungsschiff „Fehn Pollux“ der in Leer ansässigen Reederei Fehn Ship Management nachgerüstet und in Betrieb genommen. Das von den beteiligten maritimen Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen ausgearbeitete Nachrüstungskonzept ist wegweisend in Bezug auf die einfache Übertragbarkeit auf andere Schiffe. Die Hochskalierung auf einen signifikanten Anteil der Welthandelsflotte könnte einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Die folgenden Darstellungen sollen über wichtige Aspekte der Nachrüstung oder Neubauplanung mit Flettner-Rotoren informieren und beruhen auf den Ergebnissen der Probefahrt und der ersten Phase des Schiffseinsatzes unter normalen Be-

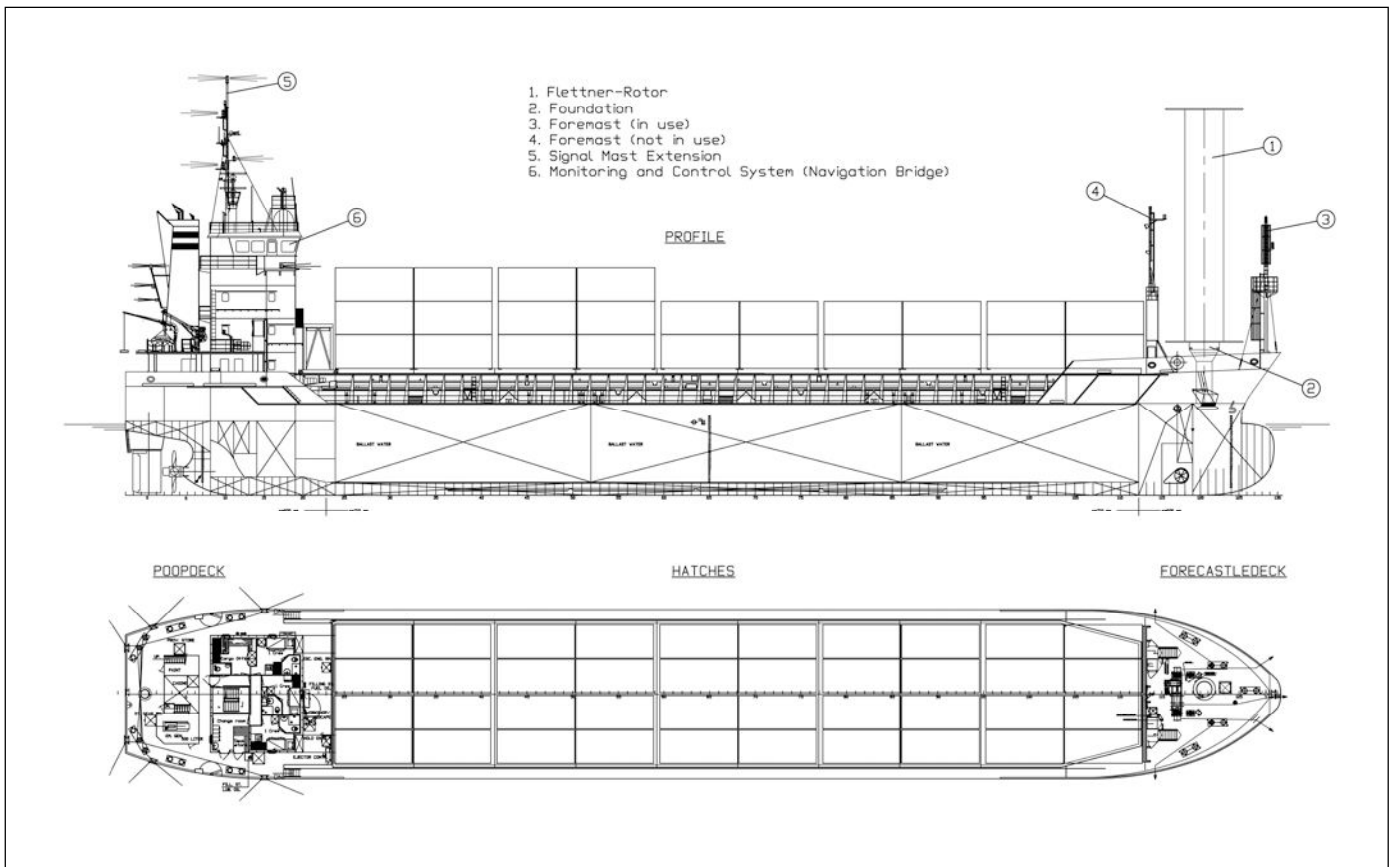


Abb. 2: Anordnungszeichnung für die Nachrüstung der „Fehn Pollux“

Quelle: ABH Ingenieurtechnik GmbH, Emden

triebsbedingungen. Um alle bestehenden Regularien in Bezug auf die Verwendung dieser neuen Technologie erfüllen zu können, mussten verschiedene Bereiche der Schiffstechnik sowie der nautischen Schiffsführung beleuchtet werden, z.B. der Nachweis eines sicheren Manövrierhaltens und ausreichender Stabilität. Die am häufigsten gestellte Frage im Zusammenhang mit modernen Segelantrieben zielt jedoch auf das Leistungspotenzial und die damit verbundenen Kraftstoffeinsparungen. Transparente Leistungskennwerte, die eine wirtschaftliche Prognose für den Einsatz von Flettner-Rotoren auf Schiffen ermöglichen, sind erforderlich. Der Fachbereich „Seefahrt und Maritime Wissenschaften“ der Hochschule Emden/Leer hat ein automatisches Steuerungs- und Überwachungssystem für Flettner-Rotoren entwickelt, das zugleich umfangreiche Betriebs- und Umweltdaten aufzeichnet. Die Daten zeigen, dass alle bisherigen Annahmen und Modellrechnungen grundsätzlich bestätigt werden. In Bezug auf das Leistungspotenzial ergeben erste Messreihen sogar höhere Rotorkräfte gegenüber den Modellrechnungen. Dies hätte eine positive Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit von Flettner-Rotoren und könnte der Technologie zum Durchbruch verhelfen als Baustein für eine emissionsarme Schifffahrt.

Nachrüstungskonzept

Ein wichtiges Entwicklungsziel für den Eco-Flettner im Rahmen des Projektes „MariGreen“ [1] ist die Übertragbarkeit des Nachrüstungskonzeptes auf einen möglichst großen Anteil der bestehenden Welthandelsflotte, um signifikante Reduktionen bei Kraftstoffverbrauch und Emissionen realisieren zu können. Die baulichen Merkmale des Mehrzweckfrachters „Fehn Pollux“

bieten hierzu eine ideale Grundlage, da es weltweit eine große Anzahl von Schiffen mit einer ähnlichen Anordnung von Laderäumen und Aufbauten gibt.

Durch die Installation eines die Hauptmaschine unterstützenden Windantriebssystems soll auf dem Versuchsschiff das Potenzial für durchschnittliche Brennstoffeinsparungen in der Größenordnung von zehn Prozent nachgewiesen werden. In vorangegangenen Analysen wurde der Flettner-Rotor technologisch favorisiert, da er hohe Segelleistung bei minimalem Platzbedarf mit den Vorteilen eines vollautomatisierten Systems vereint. Ferner ist die Bauweise robust und unempfindlich gegen Verschleiß, welches weitere Vorteile im Vergleich mit anderen Segelsystemen, z.B. basierend auf textilen Segeln adaptiert aus dem Bereich des Yachtsports bietet.

Der zentralen Frage der Wahl des Installationsortes auf dem Schiff ist eine detaillierte Analyse aller relevanten Faktoren vorausgegangen. Um eine Beeinträchtigung der vorhandenen Betriebsabläufe auszuschließen, musste eine Rotorposition außerhalb des Ladungsbereichs gefunden werden. Der einzige verfügbare Aufstellungsort befand sich im Vorschiffsbereich vor den Laderäumen. Mittels CFD-Strömungssimulationen und Modellversuchen wurden die aerodynamischen und hydrodynamischen Bedingungen untersucht. Die Installation auf einem erhöhten Fundament und die Verwendung einer bei bisherigen Flettner-Rotoren nicht vorgesehenen unteren Endscheibe sorgen für sehr günstige Strömungsverhältnisse am Rotor. Die Einleitung der Segelkräfte im Vorschiff führt zur Reduktion segelbetrieblich bedingter Giermomente und zu einem guten Steuerverhalten des Schiffes während des Rotorbetriebs. Sie ist somit vorteilhaft gegenüber einer Installation mittschiffs oder achtern.

Diesen Vorteilen der Installation auf dem Backdeck standen folgende Probleme und Fragestellungen gegenüber:

- › Wie kann der Rotor vor Seeschlag geschützt werden?
- › In welcher Weise wirkt sich die Einschränkung des optischen Sichtfeldes von der Brücke und der Radarsicht auf den nautischen Fahrbetrieb aus?
- › Welche Einflüsse auf das Manövrierverhalten sind durch die Rotorkräfte zu erwarten?

Gegen die Einwirkung von Seeschlag wurde der Rotor entsprechend bestehender Klassifikationsvorschriften verstärkt, was zu einer geringfügigen Gewichtszunahme beim Rotor führte. Die Erfüllung der Vorschriften bezüglich der Sichtverhältnisse von der Brücke sowie der Radarsicht wurden im Vorwege vom DNV GL geprüft und genehmigt. Weitergehende Untersuchungen des Fachbereichs Seefahrt und Maritime Wissenschaften der Hochschule Emden/Leer schlossen Simulationen am Schiffsführungssimulator ein, deren Ergebnisse während der Probefahrt validiert wurden. Auch die Erfüllung aller regulatorischen Anforderungen an das Manövrierverhalten wurde in einer Studie am Schiffsführungssimulator untersucht und während der Probefahrt verifiziert. Einzelheiten werden im Folgenden dargestellt.

Sichtbedingungen von der Brücke und Radarortung

Im ersten Schritt musste anhand einzureichender Pläne nachgewiesen werden, dass sowohl die Sichtbedingungen als auch die Betriebsbedingungen des Radars den Anforderungen relevanter Regeln [2] entsprechen. Der Rotor verursacht einen optischen Schattenbereich von zwei Grad im Bereich der Mittschiffslinie und bleibt damit deutlich unter dem Grenzwert von fünf Grad. Zur Überprüfung des Schattensektors muss

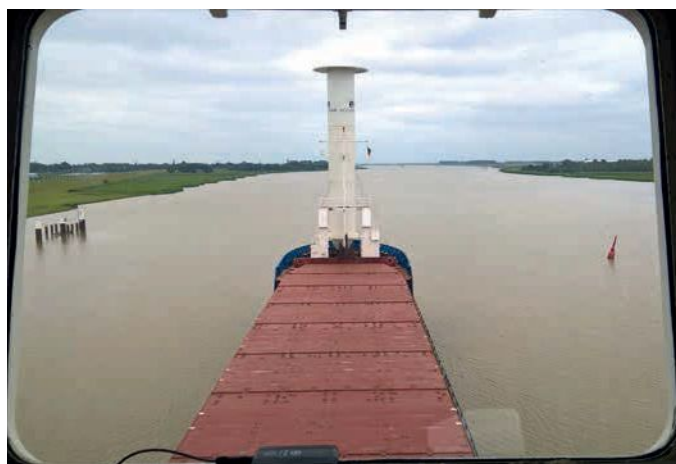


Abb. 3: Sicht von der Brücke des Erprobungsschiffes „Fehn Pollux“
Foto: Hochschule Emden/Leer

der Wachhabende die Position auf der Brücke in regelmäßigen Zeitintervallen ändern. Für die Besatzung wurde hierzu während der Installationsarbeiten ein spezielles Trainingsprogramm am Schiffsführungssimulator durchgeführt. Eine Validierung erfolgte während der Probefahrt. Der Einfluss des Rotors auf die Sichtverhältnisse wurde von den an der Erprobung beteiligten Nautikern als nicht signifikant wahrgenommen und ähnelt den Verhältnissen auf Schiffen mit Kranen in der Mittschiffslinie, wie in Abb. 3 ersichtlich. Die Veränderung der Position auf der Brücke um wenige Meter ermöglicht ein uneingeschränktes Sichtfeld.

Im Vorwege der Rotorinstallation wurde gemäß ge-

prüfter Pläne von einem blinden Radarsektor hinter dem Rotor in der Größe von einem Grad ausgegangen. Aufgrund der unterschiedlichen Aufstellungsorte der zwei Radarannten ergibt sich jedoch eine uneingeschränkte Radarsicht bei gleichzeitiger Verwendung beider Antennen. Während der Probefahrt konnte der blinde Sektor jedoch nicht beobachtet werden. Mit einem kleinen Fahrzeug wurde ein entsprechender Test durchgeführt. Die Abb. 4 zeigt, dass das Fahrzeug auch in dichtem Abstand vor dem Schiff auf dem Radar beobachtet werden konnte, obwohl es vollständig vom Rotor abgedeckt wurde. Mögliche Ursachen für die Ortung des Ziels im Schatten des Rotors sind

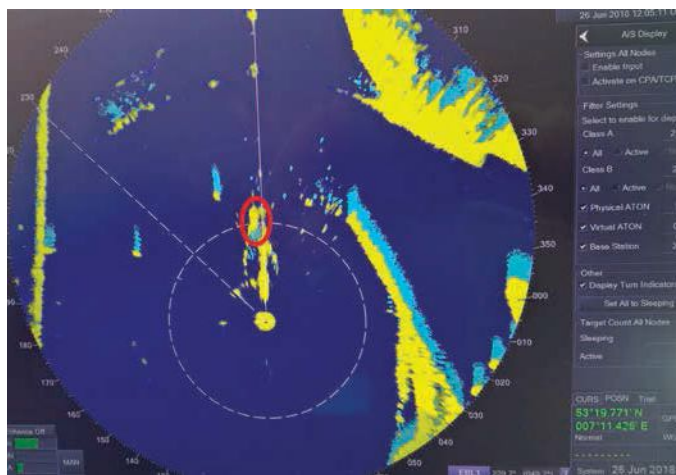


Abb. 4: Radarbild während eines Tests mit einem kleinen Fahrzeug (rot umkreist) im Bereich des Rotorschattens Foto: Hochschule Emden/Leer

dessen Materialeigenschaften (GFK) in Bezug auf die Durchlässigkeit von Radarwellen und Beugungseffekte im Schattenbereich.

Auswirkungen auf das Manövrierverhalten

Für die Probefahrt wurde in Abstimmung mit der Klassifikationsgesellschaft DNV GL ein Manöverprogramm zum Nachweis der Konformität mit der IMO-Resolution MSC 137 (76) „Standards for Ship Manoeuvrability“ und der Richtlinie des DNV GL „Certification and Classification Procedures associated with installation of a ‚Flettner‘ Rotor Unit onboard a classed vessel“ erstellt. Das Hauptaugenmerk lag bei den Einflüssen auf das Steuer- und Drehverhalten, verursacht durch die aerodynamischen Kräfte des Rotors. Vorausgegangen war bereits eine Untersuchung am Schiffsführungssimulator „susanNE“ in Leer. Hierzu erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Nautitec eine virtuelle Modellierung der „Fehn Pollux“ für Manövererprobungen am Simulator. Mithilfe dieses Modells wurden Prognosen über die Auswirkungen der Rotorkräfte auf das Manövrierverhalten erstellt. Ferner wurde ein mehrtägiger „Familiarisation Kurs“ für die Schiffsführung entwickelt und durchgeführt. Die Ergebnisse der Studie am Simulator [3] sind während der Probefahrt validiert worden.

Steuerfähigkeit

Der Einfluss auf das Steuerverhalten wurde bei maximalen Querkräften des Rotors auf Kursen am Wind getestet. Während der Probefahrt wurden ca. 40 kN Querkraft bei mäßigen Winden der Stärke vier erreicht, was ca. 50 Prozent der maximal möglichen Querkräfte entspricht. Das Schiff konnte problemlos mit Autopilotensteuerung auf Kurs gehalten werden. Die erforderlichen



BREDO
DRY DOCKS



Abb. 5a) und b): Der Bildschirm „Rotor Control“ (links) zeigt eine Rotorquerkraft von 39,1 kN (rot umkreist), die auf das Schiff einwirkt. Der Ruderlagenanzeiger (rechts) gibt an, dass eine Ruderlage von nur ca. 3° nach Steuerbord erforderlich ist, um das Schiff mit dem Autopilot auf Kurs zu halten.

Fotos: Hochschule Emden/Leer

Ruderwinkel lagen bei ca. zehn Knoten Schiffsgeschwindigkeit unter fünf Grad, bei langsamer Fahrt von ca. fünf Knoten noch unter zehn Grad. Die geringe Auswirkung auf die Steuerfähigkeit des Erprobungsschiffs lässt sich neben guten Ruderleistungswerten insbesondere auf die Vorschiffsinstallation nahe dem hydrodynamischen Druckpunkt des Rumpfes zurückführen.

Drehkreisfahrt

Die Einhaltung der Mindestwerte für Vorausweg und taktischen Durchmesser im Drehkreis wurde durch vergleichende Drehkreisfahrten mit gestopptem und laufendem Rotor bei mäßigen Windgeschwindigkeiten (Beaufort 4) überprüft. Die Differenzen waren relativ gering und zeigten eine gute Übereinstimmung mit den im Vorwege ermittelten Werten aus der Untersuchung am Simulator. Die Mindestwerte der IMO-Resolution MSC 137 (76) für den Vorausweg (Advance) von der 4,5 fachen Schiffslänge und für den taktischen Durchmesser (Tactical Diameter) von der fünffachen Schiffslänge wurden weit unterschritten und sind auch nicht bei höheren Windgeschwindigkeiten als kritisch zu betrachten (vgl. Abb. 6 und Tab. 1). Der Installationsort auf dem Vorschiff

wirkt sich auch hier günstig aus, da die durch Rotorquerkräfte verursachten Giermomente vergleichsweise klein sind gegenüber einer Installation weiter achtern im Schiff.

Test der Stoppfunktion des Rotors

Um die Wirkung der Rotorkräfte auf das Schiff in möglichst kurzer Zeit zu stoppen, z.B. in sicherheitsrelevanten Situationen, wurde eine elektrisch wirkende Bremse vorgesehen. Nach der Betätigung der Stopp-taste auf der Brückenkonsole wird der Rotor innerhalb von ca. 5 Minuten gestoppt (Abb. 7). Die Stoppkurve hat einen linearen Verlauf. Für die Durchführung von Hafen- und Reviermanövern wird empfohlen, den Rotor im Vorwege zu stoppen, um jegliche Einflüsse auf das Manövrierverhalten auszuschließen.

Validierung der Rotorleistung

Für die Prognose der Rotorleistung und damit verbundenen Brennstoffeinsparungen wurden zahlreiche Modellversuche und Simulationen unter Verwendung des Windkanals der TU Hamburg und numerischer Computational Fluid Dynamics (CFD)-Verfahren am „Center for Modeling and Simulation“ der Hochschule Emden/Leer durchgeführt. >

10 DOCKS. 1 PARTNER.

BREDO Dry Docks ist ab sofort Ihr Ansprechpartner für Dockung und Reparatur in Bremerhaven und in Cuxhaven. Ein Anruf genügt!

Telefon +49 471 7997 10

www.bredo.de | info@bredo.de



www.bredo.de

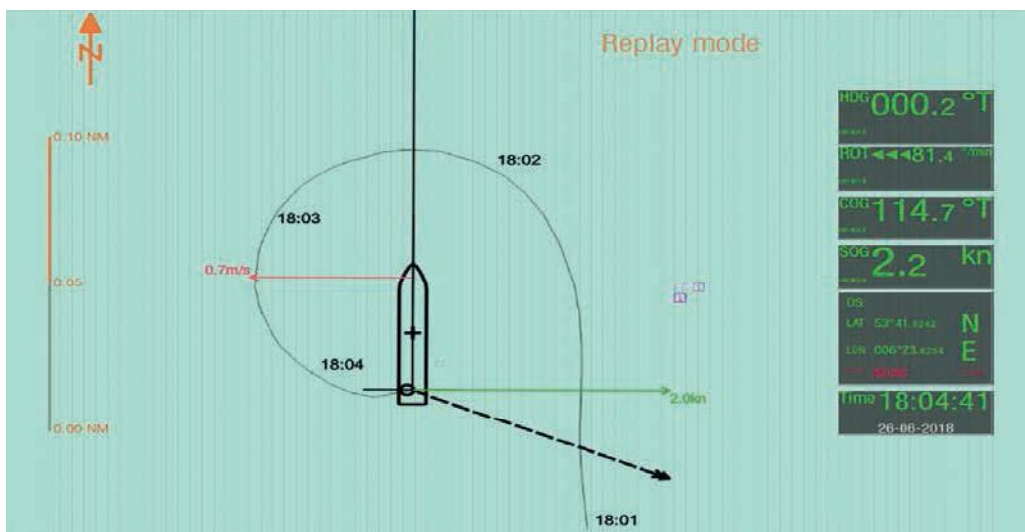


Abb. 6: Drehkreis nach Backbord mit laufendem Rotor. Bildschirmkopie vom ECDIS-basierten Navigationssystem.

Das von Wissenschaftlern der Hochschule entwickelte und patentierte Steuerungs- und Überwachungssystem zeigt die Rotorkräfte und Vortriebsleistung in Echtzeit an und verfügt über weitere Funktionen zur Leistungsoptimierung. Neben den Werten der Modellrechnung werden auch Kraftmessungen in Echtzeit angezeigt. Diese erfolgen in zwei Achsen (Längs- und Querkraft) durch speziell auf die Schiffsanwendung angepasste Sensoren.

Da bei der Kalibrierung der Sensoren durch einen Zugtest am Rotor mithilfe von geprüften Kraftmessdosen gewisse Ungenauigkeiten nicht ausgeschlossen werden können, wurde ein zusätzliches Messverfahren zur Validierung

der Rotorkräfte unter realen Betriebsbedingungen erprobt. Hierzu erfolgte während der Probefahrt eine hochauflösende Messung des Krängungswinkels, der sich unter Einwirkung der Rotorseitenkräfte am Schiff einstellt. Die Nutzung dieses Prinzips ist vergleichbar mit dem bekannten Werft- bzw. Betriebskrängungsversuch zur Ermittlung der Anfangsstabilität von Schiffen. Der Versuchsaufbau erfolgte hier jedoch in umgekehrter Weise. Die Stabilitätswerte des Schiffes wurden durch einen Werftkrängungsversuch vor der Probefahrt genau festgestellt. Bei bekannter metazentrischer Anfangshöhe konnte nun der durch Rotorquerkräfte hervorgerufene Krängungswinkel gemessen

und daraus das Krängungsmoment sowie die Rotorquerkraft rückgerechnet werden. Das Schiff wurde auf einem Kurs gegen den Wind gesteuert, sodass die Rotorquerkraft ein Maximum erreicht und keine Seitenwindeinflüsse die Messung beeinflussen. Der Rotor wurde nun über den Versuchszeitraum mehrfach ein- und ausgeschaltet, um den durch die Rotorquerkraft erzeugten Differenzkrängungswinkel zu messen. Bei fast glatter See in geschützten Gewässern überlagerten nur minimale Schiffsbewegungen den Messvorgang, sodass sich ein klares Ergebnis ergab. Wie in Abb. 8 ersichtlich, zeigen der Krängungswinkel und die daraus rückgerechneten Rotorkräfte eine hohe

Korrelation mit den Messwerten der Kraftsensoren und den Werten der Modellrechnung. Die Durchschnittswerte der Rotorkraft sowohl aus den Sensoren (rot) als auch aus der Krängungsmessung (blau) liegen jedoch durchschnittlich um ca. zehn bis 40 Prozent über den Werten der Modellrechnung (gelb). Daraus ließe sich schließen, dass ein Flettner-Rotor in der Großausführung unter Realbedingungen höhere aerodynamische Kräfte entwickelt als die Prognose anhand der Modellrechnung basierend auf Windkanalversuchen ergibt. Hierfür können sowohl der Einfluss der Schiffsstrukturen auf die Luftströmung, Oberflächeneffekte am Rotor als auch Übertragungsfehler beim Hochskalieren der Ergebnisse aus den Modellversuchen ursächlich sein. Da in diesem Projekt erstmalig präzise Kraftmessungen an Flettner-Rotoren im realen Schiffsbetrieb durchgeführt werden konnten, sind keine Vergleichsdaten aus anderen Projekten verfügbar. Eine kontinuierliche Messung der Rotorkräfte sowie wichtiger Schiffsbetriebs- und Umweltdaten soll nun die ersten Ergebnisse der Probefahrt während des normalen betrieblichen Schiffseinsatzes untermauern.

Leistungsmessung im realen Schiffsbetrieb

Der durch den Flettner-Rotor erzeugte zusätzliche Schub kann entweder zur Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit und Verkürzung der Reisezeit oder zur Reduktion von Leistung und Kraftstoffverbrauch des Hauptantriebs bei konstanter Geschwindigkeit genutzt werden. Daher wurden zusätzlich zur Kraftmessung am Rotor die Schiffsgeschwindigkeit mit GPS und die Kraftstoffmenge durch einen Signalgeber zur Erfassung der Füllungseinstellung an der Hauptmaschine gemessen. Da der elektrische Antrieb des Flettner-Rotors aus dem

TURNING CIRCLE	ADVANCE	TACT. DIAMETER	RESULT
Hardover to port Rotor stopped	216 m (2.54 SL)	151 m (1.78 SL)	Fully compliant with MSC.137
Hardover to port Rotor at 263 RPM	240 m (2.83 SL)	140 m (1.65 SL)	Fully compliant with MSC.137; Advance 24 m larger, Tact. Diameter 11 m smaller than with rotor stopped
Hardover to starboard Rotor at 263 RPM	250 m (2.94 SL)	195 m (2.30 SL)	Fully compliant with MSC.137; Advance 10 m larger, Tact. Diameter 55 m larger than to port with rotor running

Tabelle 1: Drehkreiswerte in Metern und Schiffslängen (SL) mit gestopptem und laufendem Rotor

Wellengenerator und somit direkt aus der Hauptmaschine gespeist wird, liefert die Kraftstoffmessung den korrekten Gesamtverbrauch einschließlich Rotorbetrieb. Zur Bewertung der Rotorleistung müssen Fahrleistung des Schiffes (Geschwindigkeit) und Maschinenleistung sowie Kraftstoffverbrauch für das Schiff mit und ohne Rotor verglichen werden. Da die Geschwindigkeit des Schiffes bei einer gegebenen Antriebsleistung jedoch von sehr vielen Faktoren abhängt, z.B. Zusatzwiderstände durch Wind, Seegang, Bewuchs oder dem Einfluss von Meeresströmungen, ergibt sich eine messtechnische Schwierigkeit. Zur Problemlösung wurden Messreihen über kurze Zeiträume mit konstanten Umweltbedingungen durchgeführt, in denen der Flettner-Rotor zunächst zugeschaltet und dann wieder abgeschaltet wird. Bei unveränderter Stellung

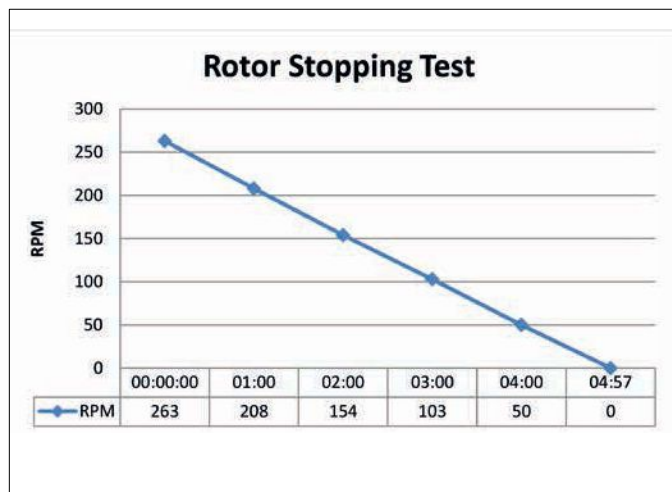


Abb. 7: Rotordrehzahl (RPM) nach Betätigung der Stoppfunktion. Nach vier Minuten und 57 Sekunden ist der Rotor gestoppt.

der Hauptmaschine kann die Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit gemessen werden und eine Rückrechnung auf die Rotorleistung erfolgen. Stellt sich nach Abschaltung des Rotors wieder die vorherige Geschwindigkeit ein, so kann der Einfluss

von Umweltfaktoren auf die Schiffsgeschwindigkeit während der Messung ausgeschlossen werden. Analog kann nach dem Einschalten des Flettner-Rotors die Füllung der Hauptmaschine unter Beachtung einer konstanten Schiffsgeschwindigkeit re-

duziert und gemessen werden. Anhand dieser Messreihen kann eine Validierung der bisherigen Modellrechnungen erfolgen.

Im folgenden Beispiel wird die Zunahme und Abnahme der Schiffsgeschwindigkeit durch Ein- und Ausschalten des Rotors bei konstanter Hauptmaschinenfüllung dargestellt. Das Diagramm in Abb. 10 zeigt den Zusammenhang zwischen Rotordrehzahl (RPM), Rotorschubkraft (F_x) und der Schiffsgeschwindigkeit (SOG). Die Füllungeinstellung der Hauptmaschine ist zunächst konstant und wird am Ende der Messung reduziert. Die schwankenden Füllungswerte ergeben sich durch die Maschinenregelung bei konstanter Steigung und Drehzahl unter wechselnden Lastbedingungen im Seegang. Das Schiff steuert einen Süd-Kurs (180 Grad) bei östlichen Winden der Stärke 7 auf der Beaufortskala (ca. >



BUILDING THE FUTURE

The new "ATAIR" is the second specialized LNG-vessel built by Fassmer and the first governmental research vessel powered by LNG in Germany!

www.fassmer.de

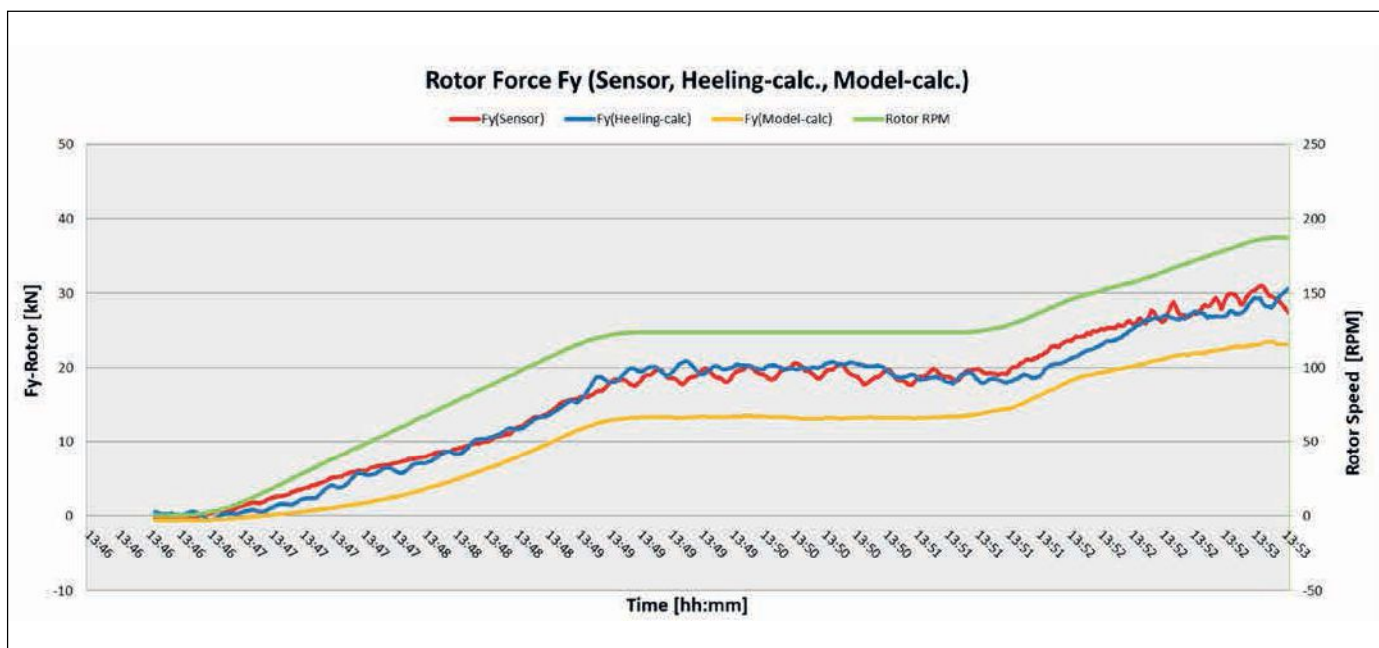


Abb. 8: Hohe Korrelation der Rotorkraftwerte aus Kraftmessung (rot), Krängungswinkelmessung (blau) und Modellrechnung in Echtzeit (gelb). Mit der Rotordrehzahl (grün) kann die Rotorkraft gesteuert werden. Die Messungen zeigen signifikant höhere Werte als die Modellrechnung.

30 Knoten), der Wind fällt also quer (ca. 90 Grad) von Backbord ein (Abb. 9).

Die Messwerte im Diagramm zeigen eine klare Korrelation des Rotorschubkraftverlaufs (F_x , rot und gelb) sowie der Schiffsgeschwindigkeit (SOG, Speed over Ground, blau) mit der Rotordrehzahl (Rotor Speed, grün). Bei einer Beschleunigung des Rotors auf 260 1/min (100 Prozent) ergeben sich gemessene Rotorschubwerte (F_x measured, rot) bis zu einem Maximum von ca. 70 kN (70 Prozent). Die Geschwindigkeit nimmt von 7,6 auf 10,1 um 2,5 Knoten zu bei nahezu konstanter Hauptmaschinenfüllung (Fuel Rack, braun). Bei voller Rotordrehzahl wird dann die Füllung um ca. 15 Prozent reduziert, mit einem nur geringen Einfluss auf die Geschwindigkeit. Bei Abschaltung des Rotors gehen Rotordrehzahl und Rotorschubkraft innerhalb von ca. fünf Minuten zurück auf null, korrelierend mit dem Abbau der Schiffsgeschwindigkeit. Die gemessenen Rotorschubkräfte (F_x measured, rot) lagen deutlich höher als die Modellrechnung (F_x model calc, gelb) und bestätigen die Ergebnisse der Probefahrt.

Um die Rotorleistung zu bewerten, ist die Herstellung einer Vergleichbarkeit mit der Hauptmaschinenleistung hilfreich. Im beschriebenen Test wurde der Rotor zur Erhöhung der Schiffsgeschwindigkeit genutzt. Im Folgenden soll eine Abschätzung der erforderlichen äquivalenten Leistung der Hauptmaschine für den

Geschwindigkeitszuwachs erfolgen. Als Grundlage dienen Modellversuche, die im Schlepptank des Forschungsinstituts DST an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt wurden, um die erforderliche Maschinenleistung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit zu ermitteln. Die sich ergebende Funktionskurve muss für Zusatzwiderstände und abweichende Trimmlagen, die sich unter den realen Bedingungen ergeben (Service Conditions), korrigiert werden. Die gemessene Schiffsgeschwindigkeit über Grund ist

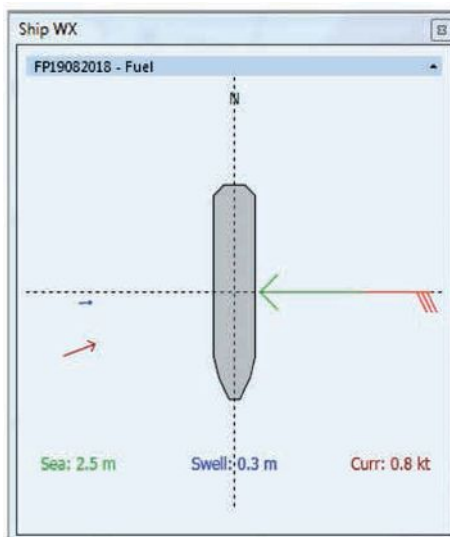


Abb. 9: Wind, Seegangs- und Strombedingungen zur Zeit der Messung
Quelle: SPOS MariGREEN-Version, Meteogroup

um den Einfluss der vorherrschenden Meeresströmung (hier ca. +0.3 Knoten) zu berichtigen. Im dargestellten Graph (Abb. 11) ist die rote Kurve für den sich unter realen Bedingungen ergebenden Fahrzustand ersichtlich. Die Funktionskurve wird dabei durch den Messpunkt der Ausgangslage „Schiff ohne Rotor“ (Rotor Off) gelegt. Die Abschätzung der äquivalenten Leistung der Hauptmaschine zur Erreichung der Geschwindigkeit für das „Schiff mit Rotor“ (Rotor On) kann mithilfe der Kurve erfolgen. Es ergibt sich eine Rotorleistung in der Größenordnung von 700 kW äquivalent zum Hauptantrieb unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads. Diese liegt während des Messvorgangs über der Hauptmaschinenleistung von ca. 600 kW. Im normalen Charterverkehr der „Fehn Pollux“ wird die Hauptmaschinenleistung auf ca. 650 kW begrenzt (Eco-Speed).

Zusammenfassend können für den Leistungstest der „Fehn Pollux“ folgende Werte festgehalten werden:

- > Rotorschub ca. 70 kN,
- > Rotorvortriebsleistung ca. 700 kW äquivalent zum Hauptantrieb.

Zur Einordnung des Ergebnisses sollte der Hinweis erfolgen, dass es sich hier um hohe Leistungswerte handelt, die nahe an die Leistungsgrenzen reichen. Sie liegen signifikant höher als die bisherigen Annahmen basierend auf Modellversuchen.

NETZSCH TORNADO® Drehkolbenpumpen

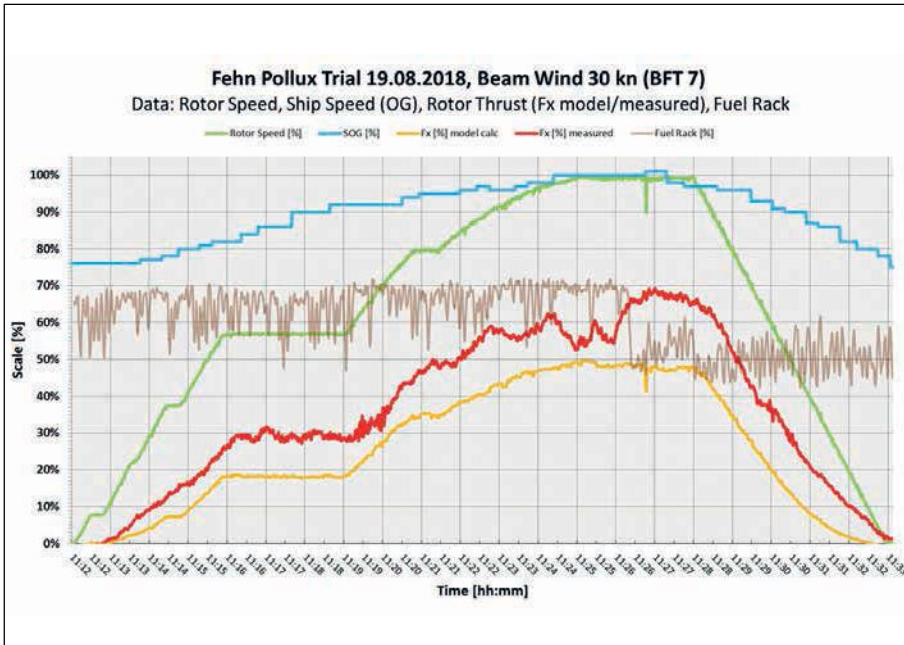


Abb. 10: Graph zur Darstellung der Messwerte eines Leistungstests bei der Erprobung des Eco-Flettner-Rotors auf der „Fehn Pollux“

Ausblick

Mit den ersten Erprobungsergebnissen der „Fehn Pollux“ wurde aufgezeigt, dass das Nachrüstungskonzept eines Flettner-Rotors auf dem Vorschiff Vorteile in Bezug auf das strömungsmechanische Verhalten hat, die sich positiv auf das Manövrierverhalten und die Leistungswerte des Rotors auswirken. Die Nachteile in Bezug auf die Sichtverhältnisse von der Brücke und die Radarsicht bewegen sich in akzeptablen Grenzen. Für die anstehende Umstrukturierung der Welt Handelsflotte zu nachhaltigen und kohlenstoffarmen Schiffsantrieben ist von Bedeutung, dass eine Rotorinstallation auf dem Vorschiff auf einen erheblichen Anteil der Welthandelsflotte übertragbar ist und zu signifikanten CO₂-Einsparungen führen kann, ohne andere Möglichkeiten der Einsparung einzuschränken.

Das Leistungspotenzial des auf der „Fehn Pollux“ installierten Flettner-Rotors liegt im Jahresdurchschnitt gemäß validierter Modellprognosen aus Routensimulationen im Bereich von ca. 100 kW bis 150 kW zusätzlich zur Hauptmaschinenleistung. Diese Werte sind naturgemäß abhängig von den Windverhältnissen entlang der Route und gelten im betrachteten Fall für ein Fahrtgebiet entlang der nord- und westeuropäischen Küsten. Je nach erforderlicher Schiffsgeschwindigkeit und tatsächlich eingesetzter Leistung der Hauptmaschine kann auf der „Fehn Pollux“ eine Einsparung von ca. zehn bis 20 Prozent erwartet werden. Eine Absen-

kung der Maschinenleistung führt zu höheren prozentualen Einsparungen, sodass eine Kombination mit Slow Steaming höhere prozentuale Gesamteinsparungen ermöglicht. Die bisherigen Daten und Ergebnisse aus dem Projekt ermöglichen bereits jetzt eine relativ zuverlässige Prognose der erzielbaren Einsparungen. Eine hohe Transparenz der Leistungsdaten ist im beschriebenen Projekt durch validierte Messdaten gegeben. Dies ist erforderlich, um das Vertrauen von Reedern, Schiffbauern und Investoren in diese neue Technologie zu stärken und ihnen eine Wirtschaftlichkeitsanalyse zu ermöglichen. Der Politik kann das beschriebene Projekt als Nachweis dienen, dass die Innovationsfähigkeit für einen Umbau der Flotten zu CO₂-armen Antrieben vorhanden ist, der Prozess jedoch mit geeigneten Maßnahmen gestützt werden muss, um wichtige Ziele der Klimapolitik rechtzeitig zu erreichen.

Bei Betrachtung der ermittelten Leistungswerte für den Flettner-Rotor muss beachtet werden, dass die installierte Segelfläche ausschlaggebend ist für den Anteil am gesamten Leistungsbedarf eines Schiffes. Für Neubauten sind weitergehende Konzepte mit einer besseren Integration der Rotoren in den Schiffsentwurf denkbar. Es wird jedoch auch deutlich, dass die direkt zum Vortrieb genutzte Windenergie nicht das Leistungspotenzial der heute üblichen großen Schiffsdiesel erreichen kann. Soll die Schifffahrt auch in Zukunft mit hohen Antriebsleistungen betrieben werden, >

Full Service in Place (FSIP)

- Einfacher schneller Service ohne Demontage
- Wechsel von Kolben und Dichtungen in wenigen Minuten
- Cartridge-Bauweise der Dichtungen für größtmögliche Flexibilität



NETZSCH

Team NETZSCH Drehkolbenpumpen
NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH
Tel.: +49 8638 63-2400
info.tornado@netzsch.com
www.netzsch.com

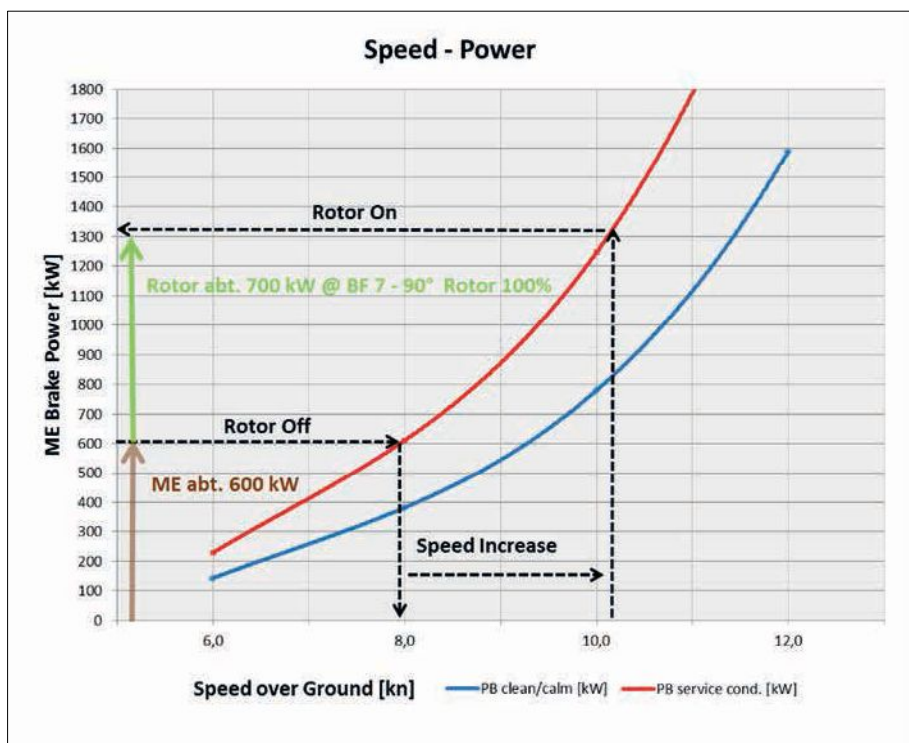


Abb. 11: Rotorleistung und Hauptmaschinenleistung in Relation zur Schiffsgeschwindigkeit

so müssten zur Erreichung des Klimaziels neue klimaneutrale Kraftstoffe eingeführt werden. Ein sehr hohes Preisniveau und eine beschränkte Verfügbarkeit dieser Kraftstoffe wären absehbar. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Schifffahrt, die ihren Energiebedarf durch Geschwindigkeitsreduktion stark absenkt und zusätzlich die Windenergie mit Segelantrieben nutzt als mögliches Zukunftsmodell.

Angaben zum Projekt

Die Entwicklung und Erprobung des Eco-Flettner-Windzusatzantriebs erfolgt unter dem Dach des Projektes MariGreen, gefördert im Rahmen des INTERREG V A Programms Deutschland-Niederland mit Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) sowie durch nationale Ko-Finanzierung aus Deutschland und den Niederlanden.

Leadpartner des Projektes ist die MARIKO GmbH in Leer. Ziel des Projekts MariGreen ist es, die maritime Wirtschaft, vor allem kleine und mittlere Unternehmen, durch Kooperationen mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen auf die zukünftigen Anforderungen des Umweltschutzes, des Klimaschutzes und der Ressourcen- und Energieeffizienz in der Schifffahrt vorzubereiten. Eine wesentliche Voraussetzung für die Realisierung des Projekts ist die in den letzten Jahren entstandene Zusammenarbeit im deutsch-niederländischen Grenzraum im Bereich Green Shipping.

An der Entwicklung des Eco-Flettners arbeiteten 13 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Deutschland und den Niederlanden zusammen [4].

Quellen:

- [1] www.marigreen.eu
- [2] u.a. SOLAS Kapitel V, Regel 22
- [3] Kramer, L., „Grundlagenentwicklung zur Erstellung eines Manöverhandbuchs für Schiffe mit Flettner-Rotor als windgestützten Zusatzantrieb am Beispiel der ‚Fehn Pollux‘ im Projekt MariGreen-Eco Flettner“, Bachelor Thesis an der Hochschule Emden/Leer, 2017
- [4] <http://marigreen.eu/projects/wind-windship-engineering-and-design/>

Die Autoren:

Prof. Kapt. Michael Vahs, Prof. Dr. Jann Strybny, Thomas Peetz (M.Sc.), Moritz Götting (M.Sc.), Marcel Müller (M.Eng.), Sascha Strasser (B.Sc.), Fachbereich Seefahrt und Maritime Wissenschaften, Hochschule Emden/Leer

TECHNISCHE DATEN

„Fehn Pollux“		Rotordaten	
Typ	Mehrzweckfrachter mit Eignung für Container und Getreide	Typ	Eco-Flettner
Baujahr	1996	Höhe des Zylinders	18,00 m
Länge ü.a.	89,77 m	Durchmesser	3,00 m
Breite	13,17 m	Durchmesser Endscheiben	6,00 m
Tiefgang	5,68 m	Projizierte Fläche	54 m ²
Tragfähigkeit	4211 t	Drehzahl	max. 263 1/min
Vermessung	2844 BRZ	Antrieb	E-Motor, 75 kW max, Durchschnittsleistung abhängig von den Windbedingungen, z.B. 30 kW
Hauptmaschine	MWM Deutz SBV 9M 628, 930 kW	Schubkraft	ca. 80 kN max, abhängig von den Windbedingungen
Geschwindigkeit	ca. 10 kn	Vortriebsleistung	Das Einsparpotenzial ist abhängig von den Windbedingungen entlang der Route und weiteren Faktoren. Bei mittleren bis guten Windbedingungen können im Jahresdurchschnitt ca. 2 kW Hauptantriebsleistung pro 1 m ² projizierter Rotorfläche eingespart werden. Genaue Prognosen erfolgen durch Routensimulationen für das spezifische Schiff.
Ruder	Flossenruder vom Typ „Becker“		