

Programm – Abstracts

# MARITIME RESEARCH FORUM 2023

## BLUE SCIENCES

WIE GESTALTEN WIR DIE NACHHALTIGE  
NUTZUNG MARITIMER RESSOURCEN?



Deutsches  
Maritimes  
Zentrum

AUF  
KURS  
ZUKUNFT



**HSB**  
Hochschule Bremen  
City University of Applied Sciences

## Konzeption

**Claus Brandt** – Geschäftsführer, Deutsches Maritimes Zentrum

**Prof. Dr. Thomas Pawlik** – Hochschule Bremen, Prof. Maritime Management

**Prof. Dr. Burkhard Lemper** – Geschäftsführer, Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik

**Prof. Dipl.-Ing. Gregor Schellenberger** – Hochschule Bremen, Prof. Schiffbau und Meerestechnik

**Runa Jörgens** – Leiterin Themen und Projekte/Referentin Schifffahrt, Deutsches Maritimes Zentrum

**Ralf Plump** – Referent Schiffs- und Meerestechnik, Deutsches Maritimes Zentrum

## Medienpartner

Schiff & Hafen

## IMPRESSUM

Maritime Research Forum, Programm – Abstracts, 2023

**Stand** März 2023

**Herausgeber** Deutsches Maritimes Zentrum e.V.,  
Hermann-Blohm-Str. 3, 20457 Hamburg

**E-Mail** [Info@dmz-maritim.de](mailto:Info@dmz-maritim.de)

[www.d mz-maritim.de](http://www.d mz-maritim.de)

**Redaktion** Dr. Regine Klose-Wolf, Rita Gwardys

**Gestaltung** EPS Agentur für Kommunikation GmbH,  
Kokkolastr. 2, 40882 Ratingen

**ViSdP** Claus Brandt, Dr. Regine Klose-Wolf

**Sitz des Vereins** Hamburg, Eingetragen beim Amtsgericht  
Hamburg, Nr. VR23400

**Vorstand** Dr. Reinhard Lüken, Lutz M. Birke,  
Daniel Hosseus, Dr. Niels Kämpny, Dr. Martin Kröger

## WISSENSCHAFT TRIFFT WIRTSCHAFT

Wie gestalten wir die nachhaltige Nutzung maritimer Ressourcen?

Maritime Research Forum 2023

Hochschule Bremen, Staffelgeschoss (Neustadtswall 30), 16.03.2023

### 10:00 | Begrüßung der Gäste

Prof. Dr. rer. pol. Karin Luckey – Rektorin der Hochschule Bremen

### 10:10 | Eröffnung

Dr. Claudia Schilling – Senatorin für Justiz und Verfassung sowie Wissenschaft und Häfen der Freien Hansestadt Bremen

### 10:25 | Einführung

Claus Brandt – Geschäftsführer des Deutschen Maritimen Zentrums

### IMPULSE I

Moderation: Claus Brandt

#### 10:30 | Klimaneutralität aus der Sicht eines Reeders

Sebastian Westphal – Managing Director, Business Unit Heavy Lift, Harren & Partner

#### 10:50 | SimPleShip – eine Simulationsplattform zur digitalen Gesamtsystemanalyse und energetischen Betriebsoptimierung komplexer Passagierschiffe

Conrad Gierow – Team Lead Energy System Simulation, Forschungszentrum für Verbrennungsmotoren und Thermodynamik Rostock

#### 11:10 | Wechsel zu den Stationen

### WORLD CAFÉ I – PRÄSENTATIONEN

11:15 bis 12:45 | Fünf zeitgleiche Präsentationen (Wechsel alle 30 Minuten) in drei Durchläufen

#### 1. Hafen & Hinterland

Moderation: Prof. Dr. Iven Krämer – Honorarprofessor an der Hochschule Bremen/Referatsleiter Hafenwirtschaft und Schifffahrt bei der Bremer Senatorin für Wissenschaft und Häfen

Maritime Mobilitätslösungen und deren Anbindung an urbane Verkehrssysteme

Paul Gerds – Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

Feasibility Study for the Application of Pantograph in Hybrid and E-Straddle Carriers at Container Terminals

Rachit Shrivastava – Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML

Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Modells zur wirksamen Reduzierung der Emissionen einer Hafenstadt

Flóra Zsuzsanna Gulyás – Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik

**10:00 | Begrüßung der Gäste**

Prof. Dr. rer. pol. Karin Luckey – Rektorin der Hochschule Bremen

**10:10 | Eröffnung**

Dr. Claudia Schilling – Senatorin für Justiz und Verfassung sowie Wissenschaft und Häfen der Freien Hansestadt Bremen

**10:25 | Einführung**

Claus Brandt – Geschäftsführer des Deutschen Maritimen Zentrums

**IMPULSE I**

Moderation: Claus Brandt

**10:30 | Klimaneutralität aus der Sicht eines Reeders**

Sebastian Westphal – Managing Director, Business Unit Heavy Lift, Harren & Partner

**10:50 | SimPleShip – eine Simulationsplattform zur digitalen Gesamtsystemanalyse und energetischen Betriebsoptimierung komplexer Passagierschiffe**

Conrad Gierow – Team Lead Energy System Simulation, Forschungszentrum für Verbrennungsmotoren und Thermodynamik Rostock

**11:10 | Wechsel zu den Stationen****WORLD CAFÉ I – PRÄSENTATIONEN****11:15 bis 12:45 | Fünf zeitgleiche Präsentationen (Wechsel alle 30 Minuten) in drei Durchläufen****1. Hafen & Hinterland**

Moderation: Prof. Dr. Iven Krämer – Honorarprofessor an der Hochschule Bremen/Referatsleiter Hafenwirtschaft und Schifffahrt bei der Bremer Senatorin für Wissenschaft und Häfen

**Maritime Mobilitätslösungen und deren Anbindung an urbane Verkehrssysteme**

Paul Gerds – Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

**Feasibility Study for the Application of Pantograph in Hybrid and E-Straddle Carriers at Container Terminals**

Rachit Shrivastava – Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML

**Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Modells zur wirksamen Reduzierung der Emissionen einer Hafenstadt**

Flóra Zsuzsanna Gulyás – Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik

**Simulationsstudie zur Verbesserung der Effizienz der Lagerung in Seehafen-Containerterminals**

Sascha Wiebers – Technische Universität Hamburg

**2. Detektion**

Moderation: Kapt. Runa Jörgens – Leiterin Themen und Projekte/Referentin Schifffahrt beim Deutschen Maritimen Zentrum

**Detektion und Quantifizierung von Seehundpopulationn auf Sandbänken des Wattenmeers**

Ann-Christin Hackstein – Jade Hochschule

**Evaluation von Labor- und Flugbilddaten zur Weiterentwicklung eines multispektralen Fernerkundungssystems mit dem Ziel der Plastikmüll-Detektion in Gewässern mithilfe von künstlicher Intelligenz**

Kilian Martlage – Jade Hochschule

**Kleine autonome Unterwasser-Roboter für die Datengetriebene Überwachung maritimer Umgebungen**

Dr.-Ing. Daniel Dücker – Technische Universität München

**3. Schiffsauslegung/-optimierung**

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sigmund – Hochschule Bremen, Fakultät Natur und Technik

**How to Accelerate the Design and Performance Prediction of Ships with Deep Learning Physics**

Antoine Reverberi – Extrality

**Brandsichere und biobasierte Faserverbundwerkstoffe für den strukturellen Leichtbau in Schiffen**

Dr.-Ing. Éric Hernández Edo – Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

**Entwicklung einer Methode zur betriebsoptimierten Netzentwicklung und Quantifizierung der Simulationskomplexität maritimer Energiesysteme**

Timon S. Hartwich/Jana Ihrens – Technische Universität Hamburg

**KI-basiertes Energiemanagement für Schiffe mit Gleichspannungs-Energiennetzen**

Robert Annuth – Technische Universität Hamburg

**4. Marine Biologie**

Moderation: Prof. Dr. Thomas Klefoth – Hochschule Bremen, Fakultät Natur und Technik

**Planungstool: Kosten- und 3-D-Strukturplanung für Offshore-Windparks zur Erzeugung von H<sub>2</sub> (Power H<sub>2</sub>)**

Oliver Kühn – Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

**Under Water Monitoring of 3D-printed Reef Structures**

Dr. Kathrin Baumgarten – Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

## 1. HAFEN & HINTERLAND

### Maritime Mobilitätslösungen und deren Anbindung an urbane Verkehrssysteme

P. Gerds – Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

Infolge der Urbanisierung steigt das innerstädtische Verkehrsaufkommen, wodurch der Ausstoß von Schadstoff- und Lärmmissionen zunimmt. Die Entwicklung und Förderung landseitiger Transportsysteme mit alternativen Antriebssystemen verringert zwar den Ausstoß von Emissionen, hat jedoch nur bedingt einen Einfluss auf die innerstädtische Beförderungssituation. Eine verstärkte Einbindung von Wasserstraßen für den Passagier- und Güterverkehr mit batterie- und wasserstoffbetriebenen Schiffen zwischen und innerhalb von Städten kann die Situation verbessern. Untersucht wird die Entwicklung dieser maritimen emissionsfreien Mobilitätslösungen und deren Anbindung an die urbanen Verkehrssysteme. Die schiffsseitigen Herausforderungen bestehen in der begrenzten Speicherkapazität sowie den Schwankungen der Energieumwandlung im Bordnetz. Letztere soll mithilfe eines digitalen Anforderungsmanagements gelöst werden. Unter Berücksichtigung des Fahrgebietes, der ladungsabhängigen Beanspruchung und der elektrischen Ausstattung des Schiffes werden in einer translatorischen Simulation typische Lastfallszenarien nachgebildet, anhand derer Energiedefizite für die Fahrtroute aufgedeckt werden sollen. Das

Simulationsmodell basiert auf den vorangegangenen Messungen und Analysen elektrischer Energieflüsse und externer Faktoren, wie Strömungs- und Windverhältnissen. Für die Schiffsbesatzung werden folglich objektivierte Eingriffsmaßnahmen abgeleitet, die über digitale Vorschlagsalgorithmen die elektrischen Verbrauche steuern, um einen umweltfreundlichen Schiffsbetrieb im urbanen Raum zu ermöglichen.

Das Bündnis Emissionsfreie Elektromobilität für maritime urbane Transporte (E2MUT) wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms RUBIN – Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation. Den 14 Partnern (TAMSEN MARITIM GmbH, Ostseestaal GmbH & Co. KG, Neptune Ship Design GmbH, NORIS Automation GmbH, tfc tools for composite GmbH, APEX Energy Teterow GmbH, Torqeedo GmbH, GTC Energy Solutions GmbH, ar engineers GmbH, Krebs Korrosionsschutz GmbH, Ingenieurtechnik und Maschinenbau GmbH, ATI Küste GmbH, Universität Rostock und Fraunhofer IGP) steht ein Gesamtvolumen von mehr als 16 Mio. Euro zur Verfügung.

### Feasibility Study for the Application of Pantograph in Hybrid and E-Straddle Carriers at Container Terminals

R. Shrivastava – Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML

The growing demand for maritime transportation means there is a need for ecologically friendly operations in ports. This makes electrification a viable solution. Since the terminal grid electricity could be generated using various renewable and low carbon emission sources, the use of shore power offers the prospect of being highly sustainable and environmentally beneficial.

The project's goal is to investigate the operational features of pantograph-equipped straddle carriers and catenary systems. In this context, straddle carriers are to be connected to the shore power while operating in the container block. The project also aims to assess how well each straddle carrier drive technology performs in combination with the above-stated approach. The project concept is applicable to both existing and future cargo ports.

The project approach involves both quantitative and qualitative studies, based on state-of-the-art research and expert interviews. Diesel-driven straddle carriers are compared with the stated concept by applying SWOT analysis, cost-benefit analysis and life cycle assessment. As the result, the project concept shows significant emission savings. Amongst all the considered drive technologies, diesel driven straddle carriers equipped with pantographs appear to be the best promising solution. The project concept is versatile. Therefore, further research could cover pantograph application in straddle carrier service lanes.

### Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Modells zur wirksamen Reduzierung der Emissionen einer Hafenstadt

F. Zs. Gulyás – Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik

In den Städten sind Industrie, Heizungen in Privathaushalten, der öffentliche Nahverkehr und der Individualverkehr in der Regel die größten Emittenten von Luftschadstoffen. In Hafenstädten kommen zu dieser Grundbelastung noch das hohe Aufkommen an Schiffsverkehren, die im Terminal eingesetzten Umschlaggeräte und der Güterverkehr im Hinterland hinzu. Als Knotenpunkte zwischen Hinterland- und Seeverkehr sind sie je nach geografischen Gegebenheiten zusätzlich mit anderen Verkehrsträgern wie Binnenschiffen, Lkw oder Güterzügen verbunden. Die Summe aller Emissionen führt zu teilweisen oder langfristigen Grenzwertüberschreitungen.

Eine Emissions-Reduzierung kann in den Häfen durch eine Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden. Es gibt genügend Best-Practice-Beispiele, die jedoch von der überwiegenden Mehrheit der Häfen nicht umgesetzt werden. Die Maßnahmen sind aber nur dann wirksam, wenn sie von einer signifikanten Anzahl von Häfen übernommen werden.

Im Rahmen unseres Forschungsprojekts wurde ein Modell zur Erstellung eines Emissionsinventars auf Basis des gesamten See- und Hinterlandverkehrs am

Beispiel der Bremer Häfen entwickelt. Die Emissionen werden quantifiziert und die Immissionen an ausgewählten Aufkommensschwerpunkten in Hafen-nähe modelliert. Diese Modellierung ermöglicht die Simulation und Identifizierung möglicher Maßnahmen mit besonders großem Potenzial zur Reduzierung der Umweltbelastung. Das Ziel ist es, das entwickelte Konzept auf Häfen weltweit anwenden zu können.

Das Projekt Emissions- und Immissionsmodellierung in maritimen Transportketten (MaritiEm) wird gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen von mFUND. Neben dem Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik ist die IVU Umwelt GmbH an dem Projekt beteiligt.

## Simulationsstudie zur Verbesserung der Effizienz der Lagerung in Seehafen-Containerterminals

S. Wiebers – Technische Universität Hamburg, Institut für Maritime Logistik; Hamburg Port Consulting

Containerterminal-Betreiber sind häufig damit konfrontiert, dass sie von den Reedereien nicht alle Informationen erhalten, die sie für einen effizienten Betrieb benötigen. Bei zu löschen Container helfen Informationen zum Weitertransport, einen guten Stellplatz für diese auszuwählen. Wenn die Informationen fehlen oder nicht zutreffend geschätzt werden können, kommt es in der Folge immer wieder zu unnötigen Umstapelvorgängen, die zu zeitlichen Verzögerungen und Energieverschwendungen führen.

In einer Simulationsstudie wird untersucht, wie stark sich die fehlenden und unzutreffend angenommenen Informationen auf den Terminalbetrieb auswirken. Hierbei werden die Produktivität der Stapelkrane und die Anzahl der umzustapelnden Container pro auszulagern- dem Container betrachtet. Als Simulationsparameter werden die Menge der fehlenden Informationen wie auch die Qualität der Schätzung variiert. Die beiden Simulationsparameter werden in jeweils drei Abstufungen unterteilt und in allen neun Kombinationen simuliert. Als Kontrollgruppe diente eine weitere Simulation mit vollständigen und fehlerfreien Daten.

Die Ergebnisse der Simulationsstudie zeigen, dass fehlende Daten die Produktivität der Stapelkrane nur geringfügig beeinträchtigen, solange die Qualität der Schätzung hinreichend gut ist. Die Schätzung kann durch den Einsatz Kl-gestützter Prognoseansätze verbessert werden. Mit sinkender Prognosegüte fällt die Lagerkranproduktivität; im gewählten Szenario sind dies 2,5%, was auf einen Anstieg der Umstapelvorgänge von 10% zurückzuführen ist.

## 2. DETEKTION

### Dektion und Quantifizierung von Seehundpopulationen auf Sandbänken des Wattenmeers

A.-C. Hackstein – Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth (Wilhelmshaven), Fachbereich Ingenieurwissenschaften

Luftgestützte Fernerkundungsmethoden sind ein essenzieller Bestandteil der Monitoring-Strategien im Wattenmeer. Sie werden zur großräumigen Detektion von Flora und Fauna eingesetzt. Zeitliche Veränderungen können exakt dokumentiert werden und helfen bei der Anpassung von Schutzregionen. Automatisierte Bildanalyse-Methoden dienen hierbei zur effizienten Auswertung von Fernerkundungsdaten. Sie sind jedoch meist mit einem hohen Maß an Rechenleistung und technischem Verständnis verbunden. Die Studie soll ein existierendes neuronales Netz zur automatischen Detektion auf Seehund-Populationen im intertidalen Wattenmeer adaptieren. Diese Methode wird verglichen mit einer klassischen Bildsegmentierung unter Berücksichtigung von geometrischen und farblichen Merkmalen. Hierzu werden mit dem Fernerkundungssystem des Forschungsflugzeugs der Jade Hochschule generierte Bilddaten verwendet. Ein Schwerpunkt dieser Untersuchung besteht in dem Vergleich der Workflows beider Methoden, hinsichtlich ihrer Genauigkeit, Rechenperformanz und Applikabilität. Die Anwendung zeigt, dass es bei der Wiederaufnahme bereits beste-

hender neuronaler Netze zu Schwierigkeiten kommt, da eine einfache Adaptierbarkeit bereits beim Erzeugen eines solchen bedacht werden muss. Jedoch stellt die Verwendung eines kombinierten Verfahrens eine vielversprechende Alternative dar, hierbei werden durch Bildsegmentierung nur die Bildausschnitte erzeugt, welche Seehunde zeigen. In diesem Fall dient das neuronale Netz primär zur Bestätigung, ob der Bildausschnitt wirklich einen Seehund zeigt und nicht zur Ortung der Tiere.

### Evaluation von Labor- und Flugbilddaten zur Weiterentwicklung eines multispektralen Fernerkundungssystems mit dem Ziel der Plastikmüll-Detektion in Gewässern mithilfe von künstlicher Intelligenz

K. Martlage<sup>1</sup>, T. Schmid<sup>1</sup>, C. Tholen<sup>2</sup>, M. Wolf<sup>2</sup>, M. Kumm<sup>1</sup>, J. Wellhausen<sup>1</sup> – <sup>1</sup>Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth (Wilhelmshaven), Fachbereich Ingenieurwissenschaften; <sup>2</sup>Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (Oldenburg), Marine Perception

Plastikmüll in den Gewässern stellt ein globales Problem dar, das Mensch und Umwelt zunehmend in Mitleidenschaft zieht. Die Lokalisierung des Plastikmülls und die Bestimmung, um welche Art von Müll es sich handelt, sind für dessen Beseitigung unerlässlich. Beides zeitgleich zu erheben, ist das Forschungsziel

des PlastikObs+-Projektes. Mithilfe eines Forschungsflugzeugs der Jade Hochschule wird das PlastikObs+-System in verschiedenen Situationen getestet. Die Bilddaten zum Reflektionsverhalten werden mit weiteren Daten aus Laborversuchen und Drohnenflügen verglichen, um die Konfiguration aus Messplattform, operativen Parametern und Messsystem zu optimieren. Ein Laborteststand mit bildgebender Sensorik wurde zu diesem Zweck entwickelt. Hierbei wurde auf ein komplexes, hyperspektrales Kamerasystem verzichtet. Der Teststand basiert stattdessen auf externen schmalbandigen Lichtquellen, welche Licht in elf Farbkanälen vom sichtbaren Spektrum bis in den NIR- (Nah-Infrarot) Bereich (in den Wellenlängen 400 nm bis 1000 nm) emittieren. Mittels einer monochromen Kamera wird die Intensität des von der Probe reflektierten Lichts detektiert. Aufgrund vorliegender Forschungsergebnisse werden für Kunststoffe spezifische Reflektionsmerkmale im NIR-Bereich erwartet.<sup>[1]</sup> Vorgestellt wird die Evaluation der Messdaten, zudem wird ein Überblick über die geplanten Entwicklungen am Messsystem auf Basis der Erkenntnisse der ersten Flugmesskampagne sowie von Laboruntersuchungen gegeben.

[1] Garaba S P, Dierssen H M. An airborne remote sensing case study of synthetic hydrocarbon detection using short wave infrared absorption features identified from marine-harvested macro- and microplastics. In: *Remote Sensing of Environment* 205 (2018); S. 227-231

Das Forschungsprojekt wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter Projekträgerschaft der ZUG gGmbH gefördert.

## Kleine autonome Unterwasser-Roboter für die Daten-getriebene Überwachung maritimer Umgebungen

D.-A. Dücker<sup>1</sup>, N. Bauschmann<sup>2</sup>, T. L. Alff<sup>2</sup>, R. Seifried<sup>2</sup> –

<sup>1</sup>Technische Universität München, Munich Institute of Robotics and Machine Intelligence; <sup>2</sup>Technische Universität Hamburg, Institut für Mechanik und Meerestechnik

Die Aufklärung und Überwachung maritimer Umfelder, etwa bei Schadstoffaustritten, erfordert erheblichen Aufwand und Kosten. Gleichzeitig sind die Aufgaben oft sehr gefährlich für die durchführenden Personen. Wir entwickeln Algorithmen für maritime Robotersysteme mit dem Ziel, die autonomen Fähigkeiten dieser Systeme zu erweitern. Dies ist wichtig, weil die Fernsteuerung von Unterwasserfahrzeugen durch Menschen schnell an Komplexitätsgrenzen stößt - gerade wenn nicht nur Einzelfahrzeuge, sondern ganze Roboterschwärme koordiniert werden sollen. Dies erfordert einen hohen Grad an Autonomie sowohl für das einzelne Fahrzeug als auch für das gesamte Multi-Roboter-System. Die Koordination mobiler Roboter-Sensorknoten kann als Fragestellung der informationsgetriebenen Roboter-Pfadplanung (engl. Informative Path Planning) interpretiert werden. Wir kombinieren verschiedene Methoden der datenbasierten Bewegungsplanung (z.B. Deep Reinforcement Learnings) mit einer stochastischen Modellierung von Umweltfeldern, wie etwa von Schadstoffverteilungen.

Das Ziel ist der Einsatz unserer Methoden und Algorithmen außerhalb von Laborbedingungen bei Aufklärungs- und Überwachungsmissionen in „räumlich beschränkten“ Wasservolumen (engl. Confined Spaces) wie Hafengebieten, Seen und Industrietanks. Die dortigen räumlichen Einschränkungen erfordern kleine autonome Unterwasserroboter (Micro Autonomous Underwater Vehicles/μAUVs), wie die von uns entwickelte HippoCampus-μAUV-Plattform. Die μAUVs mit ihren spezifischen Anforderungen und Einschränkungen wie limitierter Onboard-Rechenleistung und ihrer kleinen Bauform erfordern neue Wege in der Entwicklung von Guidance-, Navigation- und Control-Methoden. Wir unterstützen ausdrücklich den Gedanken von „Open Science“ und machen die Algorithmen unserer Forschung frei verfügbar auf: <https://hippocampusrobotics.github.io>

### 3. SCHIFFSAUSLEGUNG/-OPTIMIERUNG

#### How to Accelerate the Design and Performance Prediction of Ships with Deep Learning Physics

A. Reverberi, J. A. Mazari, P. Yser – Extrality

**Design question:** Can deep learning physics be used to design and predict the performance of ships?

**Approach:** Extrality used deep learning physics to create a generic model for the hydrodynamic study of tankers. This model was trained and validated on a database of 1,000 CFD (Computational Fluid Dynamics) simulations, it learned on full 3D volume information, and it was made available on Extrality's platform. The initial hull form was modified by changing the position of the longitudinal centre of buoyancy (LCB) using the Lackenby method.<sup>[1]</sup> Then, predictions were performed on these shapes to achieve the minimum resistance.

**Results:** The optimal position of the LCB was determined using Extrality's model. The wave height in the bow portion of the new vessel is significantly smaller, resulting in a reduced wave resistance.

**Added value:** CFD calculations require tremendous time and effort without generalisation and learning ability. Deep learning physics can predict fluid behaviour to assess the hydrodynamic performance of new hull designs. This result can easily be obtained by one engineer within one working day!

[1] Lackenby H. On the systematic geometrical variation of ship forms. In: Transaction of Royal Institute of Naval Architects (92) 1950; S. 289–316

#### Brandsichere und biobasierte Faserverbundwerkstoffe für den strukturellen Leichtbau in Schiffen

É. Hernández Edo, K. Koschek – Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Im Schiffbau können mit der Verwendung von faser verstärkten Kunststoffen (FVK) im Vergleich zu Stahl der Kraftstoffverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringert und der Instandhaltungsaufwand reduziert werden. FVK kombinieren Eigenschaften wie Bauteile steifigkeit, Chemikalien- und Korrosionsbeständigkeit und geringes Gewicht. FVK, die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, zeichnen sich gegenüber konventionellen, erdölbasierten Werkstoffen in der Regel durch einen über den gesamten Produktlebenszyklus betrachtet geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aus. Wenn die polymeren Werkstoffe chemisch und thermisch stabil und damit außerordentlich beständig sind, handelt es sich um hochwertige Produkte mit langen Lebens- und Betriebszeiten.

Unter Berücksichtigung des ökologischen Fußabdrucks wurden im Projekt biobasierte Kunststoffe (Benzoxazine) für recyclinggerechte FVK-Konstruktionen synthetisiert und entwickelt. Polybenzoxazine zeigen hinsichtlich des präventiven Brandschutzes vielversprechende Eigenschaften: Es werden keine halogenierten Flammenschutzmittel verwendet, die Wärmefreisetzungsraten und die Rauchgasdichte

sowie -toxizität sind gering. Nachhaltige Verbundwerkstoffe wurden in monolithischer und in Holzkern-Sandwichbauweise entwickelt. Sie sollen nicht nur die Brandschutzanforderungen, sondern auch die geforderten mechanischen Eigenschaften ausgewählter Anwendungsfälle auf Kreuzfahrtschiffen erfüllen.

Das Projekt GreenLight wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK); Förderkennzeichen: 03SX515E, Projekträger: Projekträger Jülich (PtJ).

Projektpartner: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, MEYER WERFT GmbH & Co. KG, INVENT GmbH - Assoziierte Partner: Huntsman Advanced Materials, Saertex GmbH & Co. KG, Lloyd's Register, nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH, Wacker Chemie AG, svt Products GmbH

Neben Effizienzsteigerungen durch Einzelmaßnahmen ist das Schiffsenergiesystem die Hauptstellschraube zur Emissionssenkung. Ein ideales Energiesystem verbindet geeignete emissionsfreie Energiequellen und wird auf optimierte Weise betrieben. Die Umstellung auf Gleichstromnetze ermöglicht dabei höhere Effizienzen durch geringere Wandlungsverluste. In den Simulationen und Laboruntersuchungen zur Entwicklung, Optimierung und Validierung wird eine hohe Genauigkeit bei niedriger Rechen- und Entwicklungszeit angestrebt, um Risikobereitschaft und Systemüberdimensionierung gegeneinander abwegen zu können.

Im Projekt wird ein Modell entwickelt, das die Art der Energieträger optimiert und mithilfe der aus der Kraftwerkseinsatzplanung bekannten gemischtganzzähligen linearen Programmierung die wirtschaftlich optimale Betriebsweise ermittelt. Daraus können anschließend allgemeingültige Betriebs- und Regelkonzepte für verschiedene Schiffstypen und Energiesysteme abgeleitet werden. Es werden Methoden aufgezeigt, Gleichstromnetze auf Schiffen zu entwickeln, die Komplexität von Netzsimulationen zu quantifizieren und geeignete Energiequellen und deren optimierte Betriebsweise zu ermitteln.

\*Die Autoren haben zu gleichen Anteilen an der Veröffentlichung mitgewirkt und teilen sich die Erstautorenschaft.

#### Entwicklung einer Methode zur betriebsoptimierten Netzentwicklung und Quantifizierung der Simulationskomplexität maritimer Energiesysteme

Timon S. Hartwich\*, J. Ihrens\*, T. A. Kern – Technische Universität Hamburg, Institut für Mechatronik im Maschinenbau

Die Schifffahrt verantwortet ca. 3% der globalen Treibhausgasemissionen. Damit ist sie von maßgeblicher Relevanz für die Klimakrise. Mit Einführung von Kennzahlen wie dem Carbon Intensity Indicator existiert ein Instrument, die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Schiffen zu erfassen und perspektivisch zu senken. Damit baut sich für die Reeder das Spannungsfeld auf, die Emissionen möglichst kostenoptimal zu senken.

## KI-basiertes Energiemanagement für Schiffe mit Gleichspannungs-Energienetzen

R. Annuth, F. Nußbaum, C. Becker – Technische Universität Hamburg, Institut für Elektrische Energietechnik

Die Veränderung des Klimas verdeutlicht u.a. die globale Relevanz des emissionsarmen Betriebs maritimer Systeme. Für diesen bedarf es einer nachhaltigen Energieversorgung an Bord, die durch die Integration erneuerbarer Energiequellen erreichbar ist. Durch diese entstehen zusätzliche Freiheitsgrade für das Energiemanagement eines Schiffs gegenüber dem Stand der Technik, bei dem alle Anlagen über große zentrale Generatoren versorgt werden. Da an Bord großer Teils Gleichstrom (DC) verwendet wird, wird eine DC-Energieversorgung betrachtet, welche gegenüber Wechselstrom (AC)-Netzen Umwandlungsverluste reduziert.

In der Studie wird mit Reinforcement Learning als Methodik für eine mehrdimensionale Optimierung untersucht, welche zusätzlichen Freiheitsgrade im Energienetz ausgeschöpft werden können. Dazu werden ein exemplarisches Kabinennetz eines Kreuzfahrtschiffes realitätsgerecht in MATLAB (Software) modelliert und eine optimierte Regelung für das Energiemanagement simuliert. Dabei werden zwei Regelziele verfolgt: zum einen die Optimierung der Spannungsniveaus der Quellen (Batteriespeicher, Fotovoltaik,

Netzeinspeisung) in Form einer Droop-Regelung, zum anderen die Optimierung der mit dem Netz ausgetauschten Leistungen der genannten Quellen.

Durch die Anpassung der Spannungsniveaus lassen sich die Aufteilung der Lasten zwischen den Quellen variieren, eine Überlastung einzelner Quellen verhindern und die Lebensdauer der Komponenten im Netz maximieren. Die Studie leistet einen Beitrag bei der Ermittlung des Potenzials von KI-Anwendungen für das Energiemanagement.

## 4. MARINE BIOLOGIE

### Planungstool: Kosten- und 3-D-Strukturplanung für Offshore-Windparks zur Erzeugung von H<sub>2</sub> (Power H<sub>2</sub>)

O. Kühn – Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

Offshore-Windparks bieten das Potenzial, Energie aus regenerativen Quellen mittels hoher Vollast-Stunden zur Verfügung zu stellen. Sie leisten damit einen großen Beitrag zur klimaneutralen Stromproduktion. Aufgrund der Volatilität der Energieerzeugung wird eine kosteneffiziente Energiespeicherung benötigt. Wasserstoff bietet die Möglichkeit, Produktion und Verbrauch von Energie räumlich sowie zeitlich zu entkoppeln. Hierdurch erhöht sich jedoch die planerische Komplexität, da zusätzliche Systemkomponenten in der Auslegung betrachtet werden müssen. Innerhalb des Forschungsvorhabens Power H<sub>2</sub> wird eine Planungsmethodik für das kombinierte System aus Offshore-Windpark sowie Wasserstoffproduktionsanlagen konzipiert und in einem Planungswerkzeug umgesetzt. Dazu wurden zunächst die Wirkbeziehungen des Gesamtsystems sowie die wesentlichen Einflussfaktoren (Wassertiefe, Windgeschwindigkeit, Übertragungsverluste etc.) mithilfe eines systemdynamischen Ansatzes modelliert. Zudem wurden verfügbare Datenquellen zur Anreicherung des Datensatzes mit realen Informationen identifiziert. Auf Grundlage des Modells wurde eine Methodik entwickelt, welche

die Grobplanung des Gesamtsystems (bestehend aus Offshore-Windpark, Elektrolyseanlagen und Energieinfrastruktur) unterstützt. In einer anwendungsnahen 3-D-Entwicklungsumgebung kann das Gesamtsystem visualisiert werden, der Anwender kann individuelle Konfigurationen vornehmen. Mit einem hinterlegten Kostenmodell werden die Gestehungskosten berechnet, anhand derer die Wirtschaftlichkeit des gewählten Standorts bestimmt werden kann.

Das IGF-Vorhaben 36LBR/1559 „Integriertes Planungstool für die Kosten und 3-D-Strukturplanung für Offshore-Windparks zur Erzeugung von H<sub>2</sub>“ der FOSTA (Forschungsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.) wird über die AfR (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) auf Grundlage eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wird am Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP durchgeführt. Projektpartner ist das Institut für Regenerative Energiesysteme (IRES) der Hochschule Stralsund

### Under Water Monitoring of 3D-printed Reef Structures

K. Baumgarten – Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS; Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies SOT Rostock; Jugend-forscht-Team 2022: H. Pfeiffer, H. Bülow – Jenaplanschule Rostock

Unternehmen machen sich die Technik des 3-D-Drucks für die Umgebung unter Wasser zunutze, z.B. zur Herstellung künstlicher Riffe, um gegen die Zerstörung aquatischer Lebensräume vorzugehen, aber auch für Gründungsstrukturen oder als Geräteträgerplattform für Unterwasserfahrzeuge. Dabei stellt

sich immer die Frage, welche Materialien sich dafür eignen und welche nicht. Dazu wurden im Zuge eines Jugend-forsch-Projekts zusammen mit einem jungen Forscherteam vier Strukturen, die sich in Form, Material und Herstellung voneinander unterscheiden, an je drei Standorten in der Warnow sowie dem Digital Ocean Lab in der Ostsee versenkt. Die Bedingungen an den Standorten variierten in Faktoren wie der Wassertemperatur, dem Salzgehalt, der Strömung usw. Über einen Zeitraum von fünf Monaten wurde die Integration der Strukturen in die lokalen Ökosysteme mittels eines ferngesteuerten Tauchroboters untersucht. Dieser sammelte Daten über den Erhaltungszustand und den Bewuchs der Strukturen und ermöglichte es damit, Aussagen über die Eignung der Materialien für die jeweiligen Standorte zu treffen. Neben dem Anlegen künstlicher Riffe entwickelte sich die Fragestellung nach der Standhaftigkeit und den Zustandsveränderungen einzelner verwendeter Materialien. Durch diese war es möglich, neue Monitoring-Methoden in das Projekt einzubinden und zu erproben. Im Anschluss an das Pilotprojekt werden nun Partner für das Testen größerer im 3-D-Verfahren gedruckter Riffstrukturen sowie für die Weiterentwicklung von Riff-Monitoring-Technologien gesucht.

Das Fraunhofer IKT ist Teil der Fraunhofer-übergreifenden Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies SOT, die sich speziell mit der Entwicklung smarter Meerestechnik befasst. Die anschließende Verwertung der Ergebnisse sowie die Zusammenarbeit mit Unternehmen und Start-ups wird vom Leistungszentrum Sustainable Ocean Business unterstützt. Das Digital Ocean Lab im Riff Nienhagen ist ein zentraler und besonders geeigneter Ort zur Erprobung neuartiger Unterwassertechnologien und meerestechnischer Anwendungen.

## Wie fischen wir in der Zukunft?

D. Stepputis<sup>1</sup>, T. Noack<sup>1</sup>, T. Damme<sup>2</sup> – <sup>1</sup>Thünen-Institut für Ostseefischerei, <sup>2</sup>Navitecture GmbH

Die Fischerei ist eines der ältesten Handwerke der Menschheit und hat in den letzten Jahrzehnten grundlegende Umwälzungen erfahren. Während im 20. Jahrhundert die Steigerung der Fangeffizienz im Mittelpunkt der Entwicklung stand, sind es heute ganz andere Herausforderungen vor denen die Fischerei in Deutschland, aber auch weltweit steht. Dazu gehören schwankende Fischbestände und damit auch variierende Fang- und Einkommensmöglichkeiten. Dies betrifft aktuell z.B. die Fischer in der Ostsee, deren Fangmöglichkeiten für Dorsch und Hering in den letzten Jahren eingebrochen sind. Daneben ist auch eine Reihe weiterer ökologischer und ökonomischer Probleme zu bewältigen. Dazu zählen unerwünschter Beifang (Fische, Meeressäuger, Seevögel, sonstige Meereslebewesen), andere Auswirkungen auf die Meeresumwelt und ein teilweise hoher Energiebedarf.

In der Arbeitsgruppe Fischerei- und Surveytechnik des Thünen-Instituts werden z.B. verschiedene nachhaltige Fischereimethoden entwickelt. Dazu zählen u.a. innovative Schleppnetze zur Beifang-Vermeidung und Stellnetze, die für echoortende Schweinswale besser erkennbar sind. Die dringend notwendige Transformation der deutschen Fischereiflotte mit ihren zum großen Teil stark überalterten Fahrzeugen kann und darf aber nicht

nur die Fanggeräte betreffen. Ein völlig neues Konzept für Fischereifahrzeuge ist dringend notwendig, um viele der Probleme überhaupt adressieren zu können. Dabei ist ein neues Antriebskonzept nur ein kleiner Baustein auf dem Wege, die Fischerei ökologisch und ökonomisch nachhaltiger zu gestalten.

## Reduktion des Methanausstoßes von Rindern mithilfe von Algen

S. Steinhausen, N. Wagener, L. Hauck, S. Mörke, D. Hanelt – Universität Hamburg, Aquatische Ökophysiologie und Phykologie

Die Zugabe von 0,2% bis 0,5% der marin Rotalge *Asparagopsis taxiformis* zur täglichen Futtermenge von Rindern kann deren Methanausstoß um bis zu 99% hemmen.<sup>[1]</sup> Grund dafür ist der bioaktive Wirkstoff Bromoform, ein volatiles Halogen im Stoffwechselkreislauf ausgewählter Makroalgen. Während die Wirkung von *A. taxiformis* – auch *in vivo* – bereits ausführlich untersucht und belegt worden ist,<sup>[1,2]</sup> gilt eine kontrollierte, landbasierte Kultivierung der Rotalge mit hohem Biomasseertrag bislang als schwierig.

Für die Entwicklung eines Futtermittelzusatzstoffes (langfristig zur Herstellung von klimafreundlichen Milchprodukten) werden derzeit die optimalen Wachstumsbedingungen für eine landbasierte Kultivierung der Rotalge erforscht.

Auch Braunalgen der Gattung *Dictyota* sp. enthalten den Wirkstoff Bromoform und zeigen *in vitro* ebenfalls das Potenzial zur Methanhemmung in Rindern.<sup>[3]</sup> Durch ihr Vorkommen in der Nordsee (Helgoland) bietet *Dictyota dichotoma* im Vergleich einfache Aussichten auf eine wirtschaftliche Kultivierung in Deutschland. Da die Studienlage für die Wirkung der Braunalgen noch sehr begrenzt ist, soll als zweiter Ansatz die Quantifizierung des Bromoformgehalts unter verschiedenen Wachstumsparametern kontrolliert werden, um anschließend eine eigene *in-situ*-Versuchsreihe mit Rumenfluid zur Wirkung der Braunalge durchzuführen.

[1] Kinley R D et al. Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. In: Journal of Cleaner Production 259 (2020); Roque B M et al. Effect of the macroalgae *Asparagopsis taxiformis* on methane production and rumen microbiome assemblage. In: Animal Microbiome 1(2019); S. 1-14

[2] Beauchemin K A et al. Control of Methanogenesis in Dairy Animals. In: Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition). Academic Press (2022); S. 65-78; Li X et al. *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. In: Animal Production Science 58(4) (2016); S. 681-688; Roque B M et al. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. In: Plos One 16(3) (2021); Stefenoni et al. Effects of the macroalgae *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. In: Journal of Dairy Science 104 (2021); S. 4157-4173

[3] Machado L et al. Effects of marine and freshwater macroalgae on *in vitro* total gas and methane production. In: Plos One 9(1) (2014); Min B R et al. The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. In: Animal Nutrition 7 (2021); S. 1371-1387

Das Forschungsprojekt wird gefördert durch die Universität Hamburg (Transferfonds 2022) und die Maßnahme Calls for Transfer (C4T) der Hamburg Innovation GmbH.

## 5. OPERATIVER SCHIFFSBETRIEB

### Simulationsbasierte Routenplanung auf Wasserstraßen

D. Röhl – Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

Die Urbanisierung führt zu einer steigenden Bevölkerungsdichte in Städten und somit zu einer Zunahme des Transportaufkommens. Hohe Wartezeiten aufgrund von Staus sowie Umweltbelastungen durch vermehrten Ausstoß von Treibhausgasen sind die Folge. Einen Ansatz zur Reduktion stellt eine Verlagerung der Transporte auf Wasserstraßen dar. Die Entwicklung klimaneutraler Transportmittel ist hierbei essenziell. Das Verbundprojekt Emissionsfreie Elektromobilität für maritime urbane Transporte (E2MUT) befasst sich mit dieser Thematik und erforscht u.a. die Entwicklung neuartiger Antriebs- oder Energiebereitstellungssysteme. In den Teilprojekten werden die Themeninhalte in enger Zusammenarbeit mit der Industrie und potenziellen Nutzern der Software bearbeitet. Es werden Ansätze zur simulationsbasierten Routenplanung entwickelt. Im Vergleich zur landseitigen Routenplanung existieren schärfere Restriktionen und Abhängigkeiten in Form von Naturschutzgebieten oder natürlichen Einwirkungen (etwa Windstärke, Fließrichtung). Basierend auf Umwelteinfluss-Szenarien und Verkehrsdaten werden mittels Data Analytics Lastfälle für die Routensimulation entwickelt. Durch Evaluation der Ergebnisse werden Aspekte der Energieeffizienz,

Potenziale zur Reduktion des Individualverkehrs und die ermittelten natürlichen Restriktionen berücksichtigt. Um eine Verbindung zum landseitigen Verkehr zu ermöglichen und so die Nutzerakzeptanz zu steigern, werden Anbindungskonzepte abgeleitet und in verschiedenen Testzonen bewertet.

Das Bündnis Emissionsfreie Elektromobilität für maritime urbane Transporte (E2MUT) wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms RUBIN - Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation. Den 14 Partnern (TANSEN MARITIM GmbH, Ostseestaal GmbH & Co. KG, Neptun Ship Design GmbH, NORIS Automation GmbH, tfc tools for composite GmbH, APEX Energy Teterow GmbH, Torqeedo GmbH, GTC Energy Solutions GmbH, ar engineers GmbH, Krebs Korrosionsschutz GmbH, Ingenieurtechnik und Maschinenbau GmbH, ATI Küste GmbH, Universität Rostock und Fraunhofer IGP) steht ein Gesamtvolumen von mehr als 16 Mio. Euro zur Verfügung.

### Wellenbestimmung von Ozeanwellen mithilfe bordgebundener Messungen

C. Ugé, C. Jahn – Technische Universität Hamburg, Institut für Maritime Logistik

Die Möglichkeiten und die Entwicklung autonomer Schiffe erfordern eine Verlagerung der menschlichen Informationserlangung, -verarbeitung und -reaktion hin zu automatisierten Funktionen. Während bereits Sensoren und Datenverarbeitung die menschliche Navigation durch automatisierte Informationserfassung und -aufbereitung unterstützen, gibt es v.a. in der Abbildung der visuellen menschlichen Wahrnehmung noch Forschungsbedarf.

Für eine ganzheitliche Darstellung der Schiffsumwelt werden Umgebungsparameter benötigt.<sup>[1]</sup> Einige davon

werden bisher durch die visuelle Wahrnehmung des nautischen Offiziers erhoben. Die subjektive Beobachtung durch den Menschen weist allerdings erhebliche Abweichungen, v.a. bei der Bestimmung von Umgebungswellen, auf.<sup>[2]</sup> Besonders bei höheren Wellen werden durch ausschließliche optische Beobachtung generell Unterschiede von 1-1,5 m in der Wellenhöhe und mehreren Metern in der Wellenlänge festgestellt. Eine möglichst genaue Bestimmung dieser Wellencharakteristik ist jedoch für die Navigation sowohl von bemannten, ferngesteuerten als auch autonom navigierenden Schiffen essenziell. Das Fortschreiten der Digitalisierung und weiteren Automation ermöglicht es, Schiffe so zu betreiben, dass keinerlei menschliche Interaktion mehr notwendig ist, da das „Betriebssystem“ in der Lage ist, Entscheidungen selbst zu treffen und Aktionen eigenständig auszuführen. Eine möglichst präzise, vom Menschen unabhängige Datengrundlage ist hierfür unabdingbar.

[1] Burmeister H C, Constapel M, Ugé C, Jahn C. From Sensors to MASS. Digital Representation of the Perceived Environment enabling Ship Navigation. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 929 (2020)

[2] Dies wurde bereits in einem meteorologischen Kontext geschrieben: Gulev S K, Grigorieva V, Sterl A, Woolf D. Assessment of the reliability of wave observations from voluntary observing ships. Insights from the validation of a global wind wave climatology based on voluntary observing ship data. In: Journal of Geophysical Research Oceans. 108 (2003). Nr. C7

### Optimal-prädiktive maritime Assistenz- und Autonomielösungen

M. Lutz, S. Helling, T. Meurer – Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Lehrstuhl für Automatisierungs- und Regelungstechnik

Ein Schwerpunkt der Forschung des Lehrstuhls für Automatisierungs- und Regelungstechnik ist das Feld der hoch-automatisierten und autonomen Schiffsfahrt. Motiviert durch praktisch relevante Forschungsfragen, die u.a. aus direkten Industriekooperationen und Verbundprojekten entstanden sind, werden neue Bausteine für maritime Autonomielösungen entworfen. Diese werden aktuell auf einem Versuchsträger im Labormaßstab validiert. Dabei werden insbesondere die Gesichtspunkte

- Reduktion von Lärm- und ggf. Schadstoffemissionen
  - Energieoptimaler und verschleißminimaler Einsatz des Antriebssystems
  - Verbesserte Sicherheit und Vermeidung von Unfällen mit Sach- und Personenschäden
  - Optimierte und verlässlich planbare Manöverzeitdauer
  - Flexible Anwendbarkeit auf verschiedenste Schiffstypen
- mittels optimierungsbasierter Planung und Regelung für komplexe Manöver (z.B. das An- und Ablegen) adressiert.

Zentral ist hierbei die Entwicklung eines leistungsfähigen, hybriden Pfadplanungsalgorithmus,<sup>[1]</sup> welcher in Kombination mit einem dedizierten Lösungsverfahren für das zugrunde liegende Optimierungsproblem eine echtzeitfähige, optimierungsbasierte Automatisierung maritimer Systeme ermöglicht.<sup>[2]</sup> Weiterhin wird

intensiv an der hocheffizienten mathematischen Beschreibung von statischen und dynamischen Hindernissen sowie von deren Umfeld gearbeitet, die einen wichtigen Baustein für die reale Anwendbarkeit<sup>[3]</sup> der resultierenden Algorithmen darstellt.

- [1] Lutz M, Meurer T. Optimal Trajectory Planning and Model Predictive Control of Underactuated Marine Surface Vessels using a Flatness-Based Approach. In: American Control Conference (2021); S. 4667-4673
- [2] Helling S, Lutz M, Meurer T. Flatness-based Based MPC for underactuated surface vessels in confined areas. In: IFAC World Congress 53 (2021), Nr. 2; S. 14686-14691; Helling S, Lutz M, Meurer T. A combined guidance and control concept for autonomous ferries. In: at-Automatisierungstechnik 70 (2022), Nr. 5; S. 444-455; Bartels S, Helling S, Meurer T. Rope-Assisted Docking Maneuvers for Autonomous Surface Vessels. In: American Control Conference (2022); angenommen; Bartels S, Helling S, Meurer T. Inequality Constrained Optimal Control for Rope-Assisted ASV Docking Maneuvers. In: Conference on Control Applications in Marine Systems, Robotics, and Vehicles (2022); angenommen
- [3] Helling S, Roduner C, Meurer T. On the Dual Implementation of Collision-Avoidance Constraints in Path-Following MPC for Underactuated Surface Vessels. In: American Control Conference (2021); S. 3366-3371; Helling S, Meurer T. A Culling Procedure for Collision Avoidance Model Predictive Control with Application to Ship Autopilot Models. In: Conference on Control Applications in Marine Systems, Robotics, and Vehicles (2021); S. 43-50; Lutz M, Meurer T. Efficient formulation of collision avoidance constraints in optimization based trajectory planning and control. In: IEEE Conference on Control Technology and Applications (2021); S. 228-233

## Energieverbrauch in der Containerschiff-fahrt: Der Zielkonflikt zwischen Slow Steaming und Reeferlast

J. Ovens – Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik

Slow Steaming ist ein Thema, dass die Schifffahrt seit der Schifffahrtskrise im Jahr 2008 prägt und eine Strategie im Flottenmanagement beschreibt, Schiffe mit reduzierter Geschwindigkeit zu betreiben. Ziel ist ein reduzierter Bunkerverbrauch der Hauptmaschine, um verschiedene Effekte zu erreichen. Da das Verhältnis zwischen Schiffsgeschwindigkeit und Bunker-verbrauch mit einer kubischen Funktion beschrieben

werden kann, stehen Bunkerverbrauchsreduzierungen in überproportionaler Beziehung zur Reduktion der Geschwindigkeit. Eine um 20% geringere Geschwindigkeit halbiert den Bunkerverbrauch, wodurch die Bunker Kosten sowie die Emissionslast eines Schiffes erheblich verringert werden können.

Im Zuge der Containerisierung werden temperaturgeführte Produkte v.a. in Kühlcontainern (Reefer) transportiert, deren Energieverbrauch durch Hilfsdieselsaggregate gedeckt wird. Der Energieverbrauch hängt von den Eigenschaften des Reefers, der Zieltemperatur und den Umgebungsbedingungen ab. Sind diese Variablen konstant, ist es auch der tägliche Energieverbrauch. Hierdurch entsteht ein Zielkonflikt mit der Slow-Steaming-Strategie, der sowohl im wissenschaftlichen als auch im praxisorientierten Diskurs bislang nur bedingt adressiert wurde: je langsamer die Schiffsgeschwindigkeit ist, desto geringer der Bunker verbrauch der Hauptmaschine, umso höher jedoch der Gesamtenergieverbrauch der Reefer aufgrund der längeren Seezeit.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wird eine Methodik zur Modellierung des Problems entwickelt, mit der unterschiedliche Lösungsansätze für den Zielkonflikt zwischen der energieeffizientesten Geschwindigkeit und dem Energieverbrauch der Kühlcontainer an Bord entworfen werden.

