



MATE-Aquarius – Entwicklung von Technologien zur Überwachung von Schiffsemissionen in Küstengewässern

Universität Oldenburg

Institute für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM)

Zentrum für Marine Sensorik (ZfMarS)

Schleusenstrasse 1

26382 Wilhelmshaven

Ansprechpartner: Prof. Dr. Oliver Wurl



**MATE-Aquarius –
Entwicklung von Technologien zur Überwachung
von Schiffsemissionen in Küstengewässer**

Schlussbericht für das Verbundprojekt „MarTERA-MATE-
Maritime Traffic Emissions: A monitoring network”

Förderkennzeichen

03SX518A

Wilhelmshaven, Juli 2024

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Kurzdarstellung	
Fehler! Textmarke nicht definiert.	
I.1. Aufgabenstellung	4
I.2. Vorhabensvoraussetzungen	
Fehler! Textmarke nicht definiert.	
I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	6
I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand	11
I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
II. Eingehende Darstellung	14
II.1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses	14
AP1	14
AP2	18
AP5	28
AP6	43
II.2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	44
II.3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	45
II.4. des voraussichtlichen Nutzens	46
II.5. des Fortschritts auf dem Vorhabensgebiet an anderer Stelle	Fehl
er! Textmarke nicht definiert.	
II.6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	46

I. Kurzdarstellung

I.1. Aufgabenstellung

Der globale Schiffsverkehr hat sich zwischen 1992 und 2012 vervierfacht (Tournadre, 2014). Dies führt zu einer Zunahme von Emissionen aus dem Schiffsverkehr. Black Carbon (BC; Schwarzer Kohlenstoff) ist Bestandteil von Ruß und eine der Hauptemissionen von Schiffen. Es gelangt durch Schwerkraft und Niederschläge aus der Atmosphäre an Land- und Wasseroberflächen (Mari et al., 2014). Von der Wasseroberfläche gelangt BC weiter in die tieferen Schichten der Wassersäule. Da Schwarzer Kohlenstoff einen Einfluss auf die globale Erderwärmung hat (Ramanathan et al., 2008) und die Gesundheit gefährdet (Brewer, 2020), hat die Internationale Schifffahrtsorganisation IMO die Notwendigkeit regionaler und globaler Regelungen für BC bewertet (IMO, 2015).

Für die spezifische Überwachung von Schiffsemissionen und -verschmutzungen in der Atmosphäre und im Wasser wurden Sensoren und Messplattformen im Rahmen des MarTERA ERA-NET Cofund finanzierten Projekts Maritime Traffic Emissions: A monitoring network (MaTE, Fördernummer 728053) entwickelt. Das Ziel von MATE ist es, ein vollständiges Überwachungsnetzwerk zu entwickeln, um eine kontinuierliche Beobachtung von Schiffsemissionen in der Atmosphäre und im Wasser zu ermöglichen, einschließlich Ruß und Ölrückständen, Schwefeloxiden und Plastikabfällen.

Zur *in situ* Bestimmung von gelöstem Black Carbon (dBC) (Martinot et al., 2022) und gelösten Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (dPAHs) (Cyr et al., 2019) im Wasser wurden "MiniFluo"-Sensoren auf Basis von Fluoreszenzspektroskopie und UV-LED-Technologie entwickelt (Tedetti & Goutx, 2012). Dazu wurden in umfassenden Laborstudien die optischen Eigenschaften charakterisiert und mit quantitativen Daten aus chemischer Analytik abgeglichen. Die neu entwickelten Sensoren wurden in einem neu entwickelten Oberflächenskimmer an einer Messboje und einem Unterwasserschleppkörper eingebaut und getestet.

Das Ziel des Arbeitspakets 1 war es, die Arbeit aller Mitglieder des Konsortiums durch Online-Meetings zu koordinieren, mit den Partnern in Kontakt zu treten und die Öffentlichkeit zu erreichen.

Die Ziele von Arbeitspaket 2 waren:

- Entwurf, Prototyp und Bau eines Skimmers.
- Die Koordination der Datenerfassung, die Integration der Sensoren und die Organisation von Seeversuchen und gemeinsamen Messkampagnen.

Das Ziel des Arbeitspakets 5 bestand darin, einen bestehenden Prototypen eines Schleppkörpers, welcher im Projekt Versatile and Modular Undulating Diving Scan Pump System (VeMUDiS, Förderkennzeichen: 03F0755B, TIB, doi: 10.2314/GBV:1663814112) entwickelt wurde, zu optimieren, so dass räumlich hochauflösende 3-dimensionale Messungen von dissolved Black Carbon (dBC), dissolved Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (dPAHs), sowie weiterer ozeanographischer Parameter wie Temperatur, Trübung und Sauerstoffsättigung in den oberen 20 m der Wassersäule durchgeführt werden können.

In diesem Kontext ergaben sich folgende Aufgaben:

- Anpassung der Form des bestehenden Prototypens für den Einsatz auf offener See
- Entwicklung einer scherbrettartigen Konstruktion zum Schleppen des Fahrzeugs neben dem Forschungsschiff
- Integration der neuen *in situ* Sensoren für dBC und dPAHs
- Testen des Schleppfahrzeugs

Ziel des Arbeitspaketes 6 war die Entwicklung und Testung von "MiniFluo"-Sensoren zur *in situ* Detektion von dBC. Dazu wurden die optischen Eigenschaften von dBC und dem natürlichen Hintergrund von gelöstem organischen Material (DOM, dissolved organic matter) im Meerwasser charakterisiert. Weitere Aufgaben waren die nasschemische Quantifizierung von dBC zur Kalibrierung und Validierung der Sensoren und die Charakterisierung der molekularen Zusammensetzung des natürlichen DOM, inklusive optisch nicht aktiver Verbindungen, mittels hochauflösender Massenspektrometrie.

I.2. Vorhabensvoraussetzungen

Das Verbundprojekt startete am 01.08.2020 während der ersten Phase der Corona-Pandemie. Die Universität Oldenburg ging in einen Sonderbetrieb über, um die Anzahl der Mitarbeitenden in den Büros, Laboren und Werkstätten einzuschränken. Zudem gab es aufgrund der Corona-Pandemie internationale Reisebeschränkungen und Lieferengpässe. Es gab erhebliche Lieferprobleme bei notwendigen mechanischen und elektrischen Komponenten. Die Verfügbarkeit von spezifischen Produkten und Derivaten/Alternativen mit gleicher Leistung war kritisch und mit langen Lieferzeiten verbunden. Das führte zu zeitlichen Verzögerungen, wodurch der Zeitplan im Projekt nicht mehr eingehalten werden konnte. Durch die Reisebeschränkungen konnten geplante Vor-Ort-Treffen und gemeinsame Messkampagnen nicht durchgeführt werden. Es fanden regelmäßige Onlinemeetings statt um sich gegenseitig auszutauschen.

In den Teilprojekten 1 und 2 gab es personelle Veränderungen. David Achte begann das Projekt als Ingenieur, wechselte dann aber auf eine Doktorandenstelle in Mai 2021 um zu promovieren. Sven Emig ersetzte ihn und war eine Schlüsselperson bei der Planung und Fertigstellung der Boje. Leider fand Herr Emig eine feste Anstellung in einem Unternehmen und verließ das Projekt im Juli 2021. Nach vielen administrativen Problemen ist es uns gelungen, Rainer Büntjen als Teilzeitkraft bis zum Ende des Projektes einzustellen.

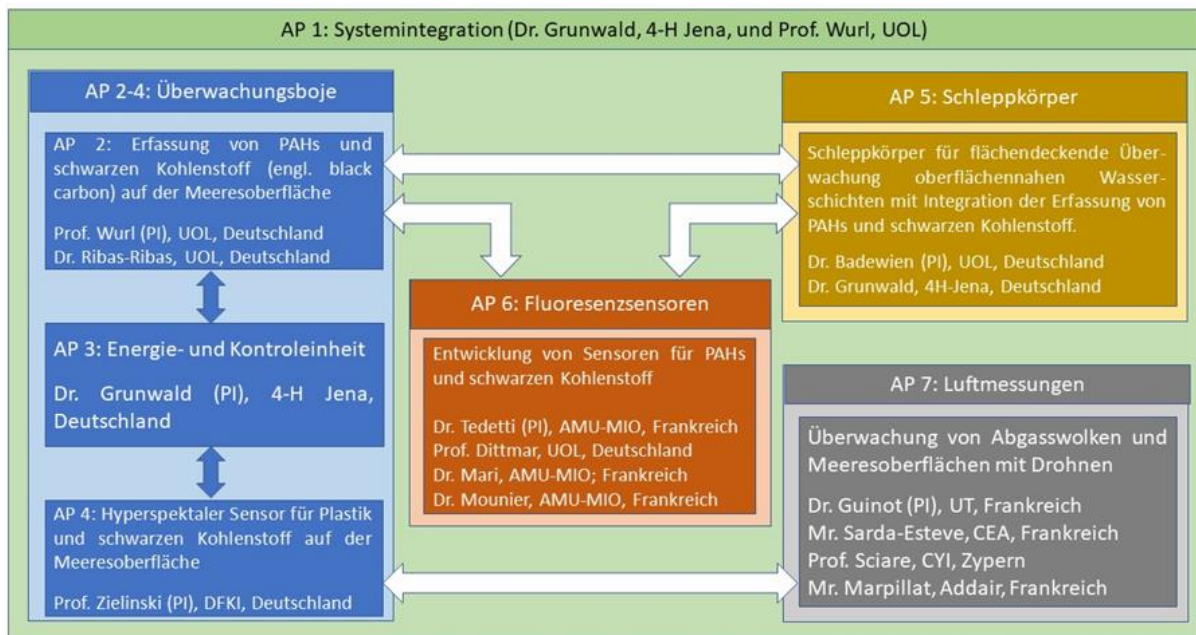
Im Teilprojekt 5 konnte mit Michaela Gerriets schnell eine geeignete Mitarbeiterin für die Weiterentwicklung des Schleppkörpers gefunden werden. Diese war auch schon an der Entwicklung und Tests des im Projekt VeMUDiS entwickelten Prototypens (des zu modifizierenden Schleppkörpers) beteiligt und mit diesem System bestens vertraut. Innerhalb des Teilprojekts 5 gab es Anfang 2023 einen Wechsel beim Personal. Die neu eingestellte Person hatte innerhalb des Projekts erfolgreich die Bachelorarbeit abgeschlossen und war dadurch mit dem Schlepp-Scher-System bestens vertraut. Leider erkrankte diese und konnte nur eingeschränkt das Projekt fortführen, hierdurch kam es zu einer weiteren Verzögerung in der Fortführung der Entwicklung.

Auch im Teilprojekt 6 gab es Personalwechsel. Frau Nhung Dang Thi Hong hat als Doktorandin von Oktober 2020 bis September 2021 einen wesentlichen Beitrag zur chemischen Charakterisierung von dBC und der Abgrenzung zu gelöstem organischem Material in Meerwasserproben geleistet. Leider musste Frau Hong aus persönlichen Gründen vorzeitig in ihr Heimatland Vietnam zurückkehren. Mit Frau Lea Böttcher konnten wir schnell eine qualifizierte Mitarbeiterin gewinnen, die die Arbeiten von Frau Hong fortgesetzt hat. Während Mutterschutz und Elternzeit von Frau Böttcher hat Frau Heike Simon in der Endphase des Projektes in Teilzeit die ausstehenden Aufgaben übernommen.

Insgesamt ist die Personalrekrutierung an öffentlichen Hochschulen schwierig, da diese auf dem Arbeitsmarkt mit privaten Unternehmen konkurrieren. Dies zeigt sich am deutlichsten in bestimmten Berufen, wie z.B. im Ingenieurwesen. Während der Projektlaufzeit haben wir drei Ingenieure und einen Doktoranden verloren.

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die geplante Projektlaufzeit betrug drei Jahre. Durch die Corona Pandemie und den allgemeinen Lieferschwierigkeiten bei elektronischen und mechanischen Komponenten ergab sich eine Verzögerung des Projekts um circa sechs Monate. Deshalb wurde eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31.01.2024 von allen Projektpartnern beantragt und vom Projektträger gewährt. In dieser Zeit konnten alle Systeme weiter modifiziert und abschließend erprobt werden. *WP1_1* zeigt die einzelnen Arbeitspakete des gesamten Verbundprojekts.



WP1_1: Vernetzte Arbeitspakete und der Verbund von Partnern der Universität Oldenburg (UOL, Deutschland), des Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI, Deutschland), der Universität Aix-Marseille - Mediterranean Institute of Oceanography (AMU-MIO, Frankreich), Laboratoire d'Aerologie an der Universität Toulouse (UT, Frankreich), Labor für Wissenschaften von Klima und Umwelt bei der französischen Kommission für alternative Energien und Atomenergie (CEA, Frankreich), das Zypern-Institut (CYI, Zypern) und die Industriepartner -4H-JENA engineering GmbH (Deutschland) und Addair (Frankreich).

Der Ablauf des Vorhabens wurde in Arbeitspakete (AP) unterteilt.

AP1 beinhaltet ein geplantes Arbeitspaket:

AP1.1 Koordination: Diese Aufgabe beinhaltete die Verwaltung des allgemeinen Arbeitsplans, um den zeitgerechten Fortschritt der Aufgaben der einzelnen WPs zu gewährleisten und den Projektbericht an die Förderorganisationen zu erstellen. Die Aufgabe beinhaltete die Organisation und Durchführung eines Kick-off-Meetings, von Video- oder Telefonkonferenzen und persönlichen Treffen zum Austausch von Informationen über den aktuellen Stand und Fortschritt der Arbeit in jedem WP. Es war geplant, jährliche persönliche Treffen zum Austausch von Fachwissen, neuen Erkenntnissen und erreichten Meilensteinen zu organisieren und durchzuführen. Aufgrund der Corona-Regeln konnten diese Treffen jedoch nicht stattfinden. Da es zu Verzögerungen kam, diskutierte das Team mögliche Lösungen. Regelmäßige Online-Sitzungen alle zwei Monate stellten sicher, dass jedes Projektmitglied über die neuesten Entwicklungen und Fortschritte bei der Systemintegration auf dem Laufenden war und bei neuen Herausforderungen und Verzögerungen schnell als gemeinsame Gruppe handeln konnte. Die verantwortliche Person dieses Arbeitspaketes hat die Kommunikation und die Beantragung von Genehmigungen bei den lokalen Behörden für

mehrere Feldkampagnen in Deutschland gemanagt (Frankreich war geplant, aber nicht möglich). Darüber hinaus organisierte die verantwortliche Person die Logistik der Feldkampagnen, einschließlich des Transports von Großgeräten, der Lagerung vor Ort und der operativen Unterstützung durch Forschungsschiffe. Zu den Aufgaben gehörte auch die Kommunikationsschnittstelle zwischen den Projektmitgliedern und den Förderorganisationen in organisatorischer Hinsicht.

AP2 beinhaltet folgende geplante Arbeitspakete:

AP2.1 Konstruktion Skimmer. Das Team entwickelte die Grundtypen von Oberflächenskimmern weiter, darunter Skimmer mit großer Öffnung und Wehrskimmer. Die Grundtypen umfassen Skimmer für die Entfernung dicker und extrem viskoser Filme nach Ölnfällen auf See und sind auf ruhige Meere unter Betriebskontrolle beschränkt. Im Rahmen dieser Aufgabe wurden neue Konzepte für das Abschöpfen von mit organischen Stoffen (einschließlich Schadstoffen) angereicherten wässrigen Oberflächenfilmen entwickelt, wobei der Schwerpunkt auf dem Langzeitbetrieb ohne Überwachung und dem Abschöpfen von weniger viskosen, aber ausreichend dünnen Schichten bei typischem Seegang lag. Wir haben versucht, ein neues Konzept zu entwickeln, das eine passive Technik ohne elektrische Energieversorgung vorsah, was jedoch mit dem endgültigen Konzept und der Erfüllung der anderen Anforderungen nicht möglich war. Der Skimmer war das endgültige Konzept, das die Anforderungen an Zuverlässigkeit, Haltbarkeit und Integration in die Bojenplattform erfüllte und für die Entwicklung eines Prototyps ausgewählt wurde. Prototypen des Skimmers wurden hergestellt und in großen Testbecken getestet. Im nächsten Schritt wurde der Skimmer in eine kommerzielle Boje integriert und im und außerhalb des Nassauer Hafens in Wilhelmshaven auf Zuverlässigkeit und Haltbarkeit getestet. Der kleine Hafen mit eingeschränktem Schiffsverkehr war ein idealer Ort für die ersten Tests mit gutem Zugang zur Boje und zum Skimmer für Optimierungen und Reparaturen. Für die weiteren Tests wurde der umliegende Jadebusen genutzt, der durch die wechselnden Gezeiten stärker durchströmt wird, und die Boje konnte vom nahen gelegenen Institut aus mit Videokameras und Funkübertragung beobachtet werden. In Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt und dem Hafenamt wurde ein Testfeld im Nassauer Hafen und im Jadebusen mit einer geeigneten Verankerung eingerichtet. Das Ingenieurteam hat den Skimmer regelmäßig auf Schäden untersucht und entsprechend optimiert. Das Ingenieurteam hat eine Durchflusszelle für die Sensorik in den Skimmer integriert und damit die Quantifizierung von Schadstoffen in oberflächennahen Wasserschichten realisiert.

A2.2 Systemintegration: Diese Aufgabe beinhaltete die vollständige Integration der Komponenten bzw. Subsysteme der einzelnen Arbeitspakete zu einem vollständigen

Gesamtsystem. Das Team dieses Arbeitspaketes überwachte die mechanische, elektrische und datentechnische Integration der Sensoren in die entsprechenden Messplattformen (Boje, Schlepper, Drohnen) und organisierte mehrere Tests des Gesamtsystems in Häfen oder entlang von Schifffahrtswegen. Die Aufgabe umfasste im Wesentlichen die Modifikation der Boje hinsichtlich des zugänglichen Stauraums, der Sicherheitsanforderungen für den Einsatz in der Nähe von Schifffahrtswegen, des Energiemanagements sowie der Datenspeicherung und -übertragung. Dazu gehörte auch die Untersuchung und Umsetzung der Fernwartung, d.h. das Rückspülen der Durchflusszellen, die Reinigung der Hyperspektralsysteme und die Autokalibrierung. Das Ingenieurteam stattete die Boje auch mit einer Wetterstation, Regensensoren und Tauchsonden für Wassertemperatur und Leitfähigkeit aus. Diese Messtechnik wurde zur Überwachung der Schadstoffausbreitung eingesetzt. Eine weitere wichtige Aufgabe bestand darin, sicherzustellen, dass die extern programmierte Software für das Datenmanagement (i) zuverlässig und fehlerfrei arbeitet, (ii) benutzerfreundlich ist, (iii) die MATE-Technologien unterstützt und (iv) ein gewisses Maß an Flexibilität für zukünftige Anwendungen bietet. Insgesamt wurden in diesem Arbeitspaket alle Technologien der einzelnen Arbeitspakete zu einem intelligenten Überwachungssystem zusammengeführt.

AP5 beinhaltet folgende geplante Arbeitspakete:

AP5.1 Optimierung der Form des bestehenden Prototypens (Schleppkörper):

Die Optimierung der Schleppkörperform war für die Integration der neuen *in situ* Sensoren für dBC und dPAHs und zum anderen um eine bessere dynamische Ansteuerung des Schleppkörpers zu erreichen notwendig.

Ein erster Schritt war die Entwicklung eines maßstabsgetreuen Modells zur Testung seiner dynamischen Eigenschaften im Labor und im Strömungskanal. Basierend auf den hydrodynamischen Ergebnissen wurden Anpassungen an der Außenhülle vorgenommen und der Schleppkörperentwurf für die Integration der *in situ* Sensoren angepasst. Die Steuerungssoftware wurde an den modifizierten Schleppkörper angepasst und ein Notfallsystem zur Bergung implementiert.

AP5.2 Entwicklung einer scherbrettartigen Konstruktion zum Schleppen des Fahrzeugs neben Forschungsschiff: Entwicklung eines Schleppschersystems, das an ähnliche Systeme in der Fischerei und bei seismischen Messungen angelehnt ist. Dazu wird zunächst ein maßstabsgetreues Modell entwickelt und im Labor sowie im Strömungskanal getestet. Bei Bedarf werden Anpassungen an der Konstruktion vorgenommen. Anschließend wird ein Prototyp gebaut und sowohl im Labor als auch unter realen Umweltbedingungen getestet. Die Konstruktion wird entsprechend der Testergebnisse gegebenenfalls weiter angepasst.

AP5.3 Integration der neuen in situ Sensoren für dBC und dPAHs: Mechanische und elektrische Integration der Sensorik, Die elektronische Integration umfasst die Stromversorgung, das Datenmanagement und die Anpassung der bestehenden Software. Außerdem wird das Fahrzeug mit einem Probenahmesystem ausgestattet, um Referenzproben während des Betriebs zu sammeln. Die Funktionalität des Systems wird sowohl im Labor als auch im Feld in Zusammenarbeit mit WP6 getestet.

AP5.4 Testen des Schleppfahrzeugs: Tests des Schleppfahrzeugs im Labor und in einem Testbecken. Dabei wird auch das Notfallsystem getestet und bei Bedarf angepasst. Das Steuerungssystem und die Eigenschaften des Schwimmkörpers werden in geschützten Bereichen der Küstengewässer erprobt. Ein wichtiger Aspekt ist zudem das Ausbringen und Einholen des Fahrzeugs von Bord eines Forschungsschiffs unter verschiedenen Umweltbedingungen, einschließlich starker Strömungen oder hohem Seegang, wobei die Sicherheit der Besatzung und die Manövrierfähigkeit des Schiffes berücksichtigt werden müssen. Abschließend wird das System auf offener See von größeren Forschungsschiffen aus eingesetzt und getestet.

Wie in den Arbeitspaketen AP5 vorgesehen, wurde die Entwicklung, die Konzeption, die Realisierung, die Erprobung und die Weiterentwicklung des Schleppsystems in Kooperation mit dem Projektpartner -4H-JENA engineering GmbH und der Air Aix-Marseille Université Mediterranean Institute of Oceanography (AMU-MIO) durchgeführt.

AP6 beinhaltet folgendes geplantes Arbeitspaket:

AP6.1 Molekulare Analyse von Referenz- und Umweltproben: Referenz- und Umweltproben wurden mittels Ultra-Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie (ultra performance liquid chromatography, UPLC) und hochauflösender Massenspektrometrie (Fourier-Transformations Ionenzyklotronresonanz Massenspektrometrie, FT-ICR-MS) chemisch analysiert. Die wässrigen Test-Lösungen und Umwelt-Meerwasserproben wurden zur Vorbereitung auf die molekularen Analysen filtriert (geglühte Glasfaserfilter) und über Festphase extrahiert (solid phase extraction SPE, Varian Bond Elut PPL). Die Quantifizierung von dBCs und dPAHs im Extrakt erfolgte mittels UPLC mit Photodiodenarray-Detektor (PDA). Zur Quantifizierung von dBC wurden die Extrakte mit Salpetersäure aufgeschlossen und die Oxidationsprodukte in Form von Benzolpolycarbonsäuren analysiert. Für die molekulare Charakterisierung des natürlichen gelösten organischen Materials (DOM) wurden die Extrakte direkt über Elektrosprayionisierung im FT-ICR-MS analysiert. Die molekularen Daten dienen als Grundlage für die Bestimmung von geeigneten optischen Parametern zum Einsatz im automatisierten *in situ* Sensor-Systems.

Die Arbeiten in AP6.1 wurden in enger Abstimmung der Projektpartner am ICBM (UOL) und am MIO durchgeführt. So wurden Referenzmaterialien (Ruß, DOM, Meerwasserproben) und Abläufe von Testverfahren abgestimmt und ausgetauscht, um eine optimale Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse zu garantieren.

Der zeitliche Ablaufplan (s. Tabelle 1) gliederte sich folgendermaßen:

Tabelle 1: Zeitlicher Ablaufplan. Dunkelgrau: im Projektantrag veranschlagte Zeit; orange: länger als geplant bis zur Fertigstellung; hellgrau: im Projekt geplant, aber später begonnen.

Arbeitspaket	1. Projektjahr		2. Projektjahr		3. Projektjahr		Verlängerung
	M1– M6	M7– M12	M13– M18	M19– M24	M25– M29	M30– M36	
AP1.1: Koordination							
AP2.1: Konstruktion Skimmer							
A2.2: Systemintegration							
AP5.1: Optimierung der Form des bestehenden Prototypens							
AP5.2: Entwicklung einer scherbrettartigen Konstruktion							
AP5.3: Integration der neuen in situ Sensoren für dBC und dPAHs							
AP5.4: Testen des Schleppfahrzeugs							
AP6.1: Molekulare Analyse Referenz- und Umweltproben							

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Dieser Abschnitt gilt nicht für AP1.

AP2: Oberflächenskimmer wie Blendenskimmer und Wehrskimmer wurden in der Vergangenheit zur Bekämpfung von Ölverschmutzungen eingesetzt. Diese Skimmer wurden speziell entwickelt, um dicke und extrem viskose Ölfilme, die nach Ölverschmutzungen auf See auftreten, zu entfernen. Allerdings sind sie auf ruhige und kontrollierte Meeresbedingungen beschränkt. Des Weiteren haben Wissenschaftler Geräte entwickelt, um die Mikroschicht der Meeresoberfläche unter natürlichen und umweltbedingten Bedingungen zu beproben. Diese Geräte sind meist aus Glas gefertigt und daher nicht für die extremen Wetterbedingungen, wie sie an einer verankerten Boje auftreten, geeignet.

AP5:

Schleppkörper sind für wissenschaftliche Anwendungen besonders wichtig, insbesondere in Küstengebieten, wo Glider und Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) auf Grund der geringen Wassertiefe nicht zuverlässig funktionieren können. Im Vergleich zu Profilern oder dauerhaft z.B. in einer Tiefe im Moonpool eines Forschungsschiffs oder an einer Boje montierten Sensoren bietet das geschleppte und sich bewegende Fahrzeug den Vorteil, dass das System zeitlich hochauflösende Daten von vertikalen Wasserschichten sowie horizontalen Wasserschichten liefern kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass es möglich ist, Messdaten aus ausgewählten Tiefen während des Schiffseinsatzes in Echtzeit aufzuzeichnen, wobei die Sensordaten unmittelbar vom Schleppkörper an eine Analyseeinheit auf dem Schiff übertragen werden.

Dadurch ist es mit einem Schleppkörper möglich, die Verteilung von dBC *in situ* an der Wasseroberfläche und den angrenzenden Wasserschichten zu messen. Darüber hinaus ist es wichtig, die vertikale Verteilung von dBC in der Wassersäule zu erfassen, um die Mischungsraten zu bestimmen. Ein solches Messsystem ist kommerziell nicht verfügbar und wird daher in diesem Projekt neu entwickelt.

AP6:

Für die molekulare Analysen wurden langjährig optimierte Methoden angewandt. Die Analyse von dBC in wässrigen Proben erfolgte nach der etablierten Methode von Dittmar (2008). Die Forschungsgruppe für Marine Geochemie (ICBM, UOL) ist weltweit führend in der Analyse von DOM mittels hochauflösender Massenspektrometrie (FT-ICR-MS). Es konnte auf die langjährige eigene Erfahrung in der Analyse zurückgegriffen werden, auch für Proben, die spezielle messtechnische Anforderungen erforderten.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Ergebnisse des Projekts werden den maritimen und hydrographischen Behörden der Mitgliedstaaten, den Stadthäfen und den Hafenbehörden zugutekommen. Das Projekt hat einen multidisziplinären Ansatz zur Bekämpfung der Meeresverschmutzung eingeführt. In einem nächsten Schritt könnten europäische Häfen mit modularen Plattformen ausgestattet werden, um illegale Einleitungen zu bekämpfen und deren Umweltauswirkungen zu reduzieren, wenn sie auftreten. UOL-ICBM wandte sich an die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Sie half bei der Verankerung der Boje im Jade-Weser-Hafen und war an den Daten und der Gesamtidee interessiert.

Die folgenden Interessengruppen wurden für das Projekt ermittelt und zu einem ersten Stakeholder Treffen eingeladen (WP1_2):

- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Niedersachsen Port
- Hamburg Port Authority (HPA)
- Port of Marseille-Fos
- Atlantic Port of Bordeaux
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)
- Jade University of Applied Science
- HSB Bremen
- Hochschule Emden/ Leer



Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH)
Contact: Dr. Brügge, head of Marine Science



Hamburg Port Authority (HPA)
Contact: Linda Hastedt, Environmental Strategy

Niedersachsen Ports
Contact: Werner Repenning



Waterways and Shipping Office
Weser-Jade-North Sea

WSV.de
Wasserstraßen- und
Schifffahrtsverwaltung
des Bundes



Atlantic Port of Bordeaux
Contact: Fabrice Klein



Port of Marseille



German Aerospace Center
Contact: Dr. Alexander Dyck

WP1_2: First overview of the confirmed collaborators with the respective contact person.

Die im Projekt involvierten Mitarbeiter des ICBM, Universität Oldenburg, standen im engen Austausch mit dem Projektpartner -4H-JENA engineering GmbH und der Aix-Marseille Universität, Mediterranean Institute of Oceanography (AMU-MIO). Der Projektpartner -4H-JENA engineering GmbH verfügt über langjährige Erfahrungen in der Entwicklung und Optimierung von komplexen meeresmesstechnischen Systemen. Es fanden regelmäßige Konferenzen, Treffen und gemeinsame Erprobungen des Schleppkörpers statt. Die Zusammenarbeit hat stets einwandfrei funktioniert. Das AMU-MIO hat den neuen *in situ* dBC- und dPAH-Sensor entwickelt und zur Verfügung gestellt.

II. Eingehende Darstellung

II.1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Die Ergebnisse des Projekts werden entsprechend der Arbeitspakete in den folgenden Abschnitten dargestellt.

AP1:

Die Aufgabe des Koordinations-Arbeitspakets besteht darin, zahlreiche kleine und große Meetings zu organisieren und durchzuführen, um den Fortschritt des Projekts zu überwachen und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Beteiligten zu gewährleisten. Zu diesen Meetings gehören unter anderem:

- Kick-Off Meeting: 10.09.2020
- Data Buoy Meeting: 06.10.2020
- Collaborator Meeting: 24.11.2020 (siehe Liste der Mitwirkenden in Abschnitt 5)
- Erstes Quartalsmeeting: 15.12.2020
- MiniFluo Anforderungen: 16.02.2021
- Zweites Quartalsmeeting: 17.03.2021
- Drittes Quartalsmeeting: 15.06.2021
- Viertes Quartalsmeeting: 21.10.2021
- MarTERA Herbstmeeting 2021: 26-28.10.2021
- MarTERA Herbstmeeting 2022: 10.2022
- Meeting: 01.03.2024
- Final MATE meeting: 19.04.2024

Diese Meetings dienen dazu, den Informationsaustausch zu fördern, Probleme zu identifizieren und zu lösen, sowie die Planung und Durchführung der Projektaufgaben zu koordinieren.

Eine weitere Aufgabe bestand darin, aktiv nach Rußproben zu suchen, um SP6 zu unterstützen, da die Resonanz auf Anfragen nur moderat war. Beispiele hierfür sind:

- HS Flensburg stellte Rußproben zur Verfügung
- Rußproben von den Forschungsschiffen FS Heincke und FS Maria S Merian
- Rußproben von einem Fischerboot auf Ibiza (Spanien)
- WSA (Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

Diese Sammlung von Rußproben war entscheidend, um die notwendigen Daten für die Forschung und Analyse innerhalb des Projekts zu gewährleisten. Insgesamt wurden 20 verschiedene Russ- und stark mit Russ belastete Staub-Proben untersucht.

Newsletter, logo, and public outreach:

Eine andere Aufgabe war die Erstellung und Verteilung des Newsletters:

- Versand an Partner, Mitwirkende und alle Interessierten am MATE-Projekt
- Einfaches Design, drei Seiten
- Kontinuierliches Sammeln von Inhalten und Versand, wenn genug Material vorhanden ist
- Alle Arbeitspakete könnten und sollten Inhalte beisteuern
- Der Inhalt muss nur MATE-bezogen sein – keine weiteren Einschränkungen

Die erste Ausgabe des [Newsletters](#) war im März 2021 fertiggestellt (WP1_3).

MATE – Newsletter
Marine Traffic Emission – A Monitoring Network
No. 1/2021

The First Newsletter for MATE
MATE is a MarTera ERA-NET Coland project carried out in collaboration with partners from France, Cyprus and Germany. With this newsletter we want to give an insight into MATE and our research.

What is MATE about?
Ship traffic is increasing worldwide, with 90% of the world trade transiting the ocean. Emissions from shipping pose a serious threat to the marine environment and coastal populations, especially in ports and along densely populated shipping lanes. Annual emissions from shipping reach millions of tons of particulate matter (PM_{2.5}, i.e. < 2.5 µm), sulfur oxide (SO_x) and nitrogen oxides (NO_x). These pollutants have been associated with severe health effects and premature mortality among coastal populations in Europe and Asia. Regulations by the United Nations International Maritime Organization and the European Union require port authorities to monitor air and water pollutants from maritime transport.

Tasks and objectives
The MATE project objective is to develop a complete monitoring network will monitor pollution and ship emissions in the water and on the water surface.
The monitoring network will be based on three platforms: buoys, drones and towed vehicles. The platforms have the following tasks:

- The network of data buoys will allow continuous measurements of emissions in the atmosphere and water, including oil residues, SO_x and plastic debris. New sensors will be developed as well as an awareness of acute oil spills and oil slicks. A surface skimmer is being taking samples from the marine interface. A hyper-artificial intelligence algorithm, which will be developed, to detect contamination on the water surface or oil spills.
- In case of acute contamination, land-based drones observe and track contamination plumes from the equipped with newly developed sensors and adapted to the marine environment.

How to detect Black Carbon?
Black carbon or soot refers to as highly condensed carbonaceous residue from incomplete combustion process, such as the combustion of fuel in ship engine. Soot studies have been conducted since 80s due to the significant influence of soot to environment and human health such as respiratory troubles, premature mortality and disability or different kinds of cancer. However, soot is not a single substance with a defined structure but rather a mixture of compounds, which makes it difficult to measure and characterize.

In order to control and regulate the soot emission of marine transport, to be able to measure it. There are several methods to quantify soot, MATE, we focus on two most common methods which are thermal oxidation (CTO-375) and chemical oxidation (BPCA). While CTO is well known measurement, BPCA is more suitable for dissolved soot in sea water. BPCA not only quantify but also know the composition of the soot. Therefore, high resolution mass spectrometry (ICR-MS). Each method has pros and cons to analyze them and choose the suitable method for different purposes. Mass spectrometry (ICR-MS), thermal oxidation (CTO) and chemical oxidation method are accurate and provide a lot of information. Nevertheless, laboratory techniques so they require intensive time, labour and money. Those drawbacks raise a question: Can we somehow develop an in-situ faster and easier measurement of black carbon in sea water?

Fluorescence
A fluorescence in-situ measurement of dissolved soot

Fluorescence has a long history to characterize and analyze organic molecules. How about combining Fluorescence with our lab techniques? This way we can take advantages of all those techniques so that soot can be measure and characterize at the same time within a couple of seconds.

To proceed with our ideas, firstly we will examine behaviour of many types of soot which are formed in different operation conditions such as: fuel origin, engine type, combustion temperature, to name a few. We dissolve those soot into sea water, measure the dissolved content and characterize composition by liquid chromatography, elemental analyzer, mass spectrometry and fluorescence spectrometry. In order to do so, many different soot samples are needed.

With all the information we collect, we can build a fluorescence sensor for soot. We will start with a sensor protocol including optical, physical and mechanical parameters. Then we will have it manufactured, calibrated, and checked its performance in natural sea water from different locations and during cruises and field campaigns.

By the end of our project, our newly developed fluorescence black carbon sensor will be installed in a monitoring buoy and a towed vehicle. They will be put in control points as well as travel around coastal area. With the data from this sensor, we can monitor soot concentration wherever and whenever we would like to.

MATE - Newsletter
3
March 21

When a ship engine operates, it burns fuel to provide energy for its propulsion. At the same time, this burning process also emits pollutants such as NO_x, SO_x and soot. These pollutants can go directly into the air or into water via wet deposition and scrubber of vents.

ICBM
www.icbm.de

DKI
www.dki.de

4 JENA ENGINEERING
www.4j-jena.de

Aix-Marseille UNIVERSITÉ
www.univ-amu.fr

mio
www.mio.osupythess.fr

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
www.uol.de

MarTera ERA-NET COFUND
www.martera.eu

PTJ
Forschungszentrum Jülich
www.ptj.de

FREE SURFERS INSTITUTE
www.cyl.ac.cy

RESEARCH CENTRE FOR MARITIME RESEARCH UNIVERSITY
usf.cyl.ac.cy

MATE - Newsletter
2
March 21

WP1_3: Newsletter vom März 2021.

Aufgrund von Personalwechseln, Personalmangel und hoher Arbeitsbelastung wurde der Newsletter nicht weitergeführt.

Die Gestaltung eines Logos und Öffentlichkeitsarbeit waren ebenfalls wichtige Aufgaben im Projekt. Diese umfassten:

- Erstellung eines Logos für das Projekt (WP1_4)



WP1_4: Final MATE logo.

- Aktive Website (<https://uol.de/icbm/projekte/mate>)
- Öffentlichkeitsarbeit über Pressemitteilungen durch die Öffentlichkeitsarbeit der Universität Oldenburg (UOI): [UOI Pressemitteilung](#)
- Die ersten Pressemitteilungen führten zu 120 Weiterveröffentlichungen, zwei Beispiele sind in WP1_5 zu sehen

ZEIT  ONLINE

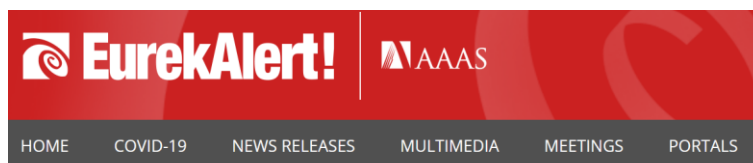
Suche

Politik Gesellschaft Wirtschaft Kultur ▾ Wissen Digital Campus ▾ Arbeit Entdecken Sport ZEITmagazin



Deutsch-französisches Projekt

Schadstoffe aus der Schifffahrt sollen erfasst werden



NEWS RELEASE 3-AUG-2020

Improving the monitoring of ship emissions

German-French research team is developing new sensor network

UNIVERSITY OF OLDENBURG

WP1_5: Two screenshots of two Weiterveröffentlichungen, one in Zeit and one at AAAS editorial.

- Eine weitere Maßnahme zur Öffentlichkeitsarbeit waren die Beiträge in den Fernsehsendungen "Hallo Niedersachsen" und „Tagesschau“ (WP1_6). Ein Filmteam war während der ersten Kampagne an Bord und dokumentierte den gesamten Prozess.



Forschungsteam testet "Schadstoff-Blitzer" für Schiffe

Sendung: [Hallo Niedersachsen](#) | 15.09.2022 | 19:30 Uhr

4 Min | Verfügbar bis 15.09.2024

WP1_6: Screenshot der NDR-Website mit dem Nachrichtenbeitrag "Forschungsteam testet "Schadstoff-Blitzer" für Schiffe.

Diese Maßnahmen dienen dazu, das Projekt bekannt zu machen und die Aufmerksamkeit sowie das Interesse der Öffentlichkeit und der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu wecken.

AP2

Arbeitspaket 2 umfasst verschiedene Aufgaben, einschließlich:

Design des Skimmer-Prototyps:

- Produktion mit 3D-gedruckten Teilen
- Der Prototyp soll Folgendes zeigen (WP2_1):
 - Probenvolumen pro Zeiteinheit
 - Bestes Material für die Bandoberfläche
 - Beste Bandgeschwindigkeit (U/min)
 - Leistungsaufnahme während des Betriebs

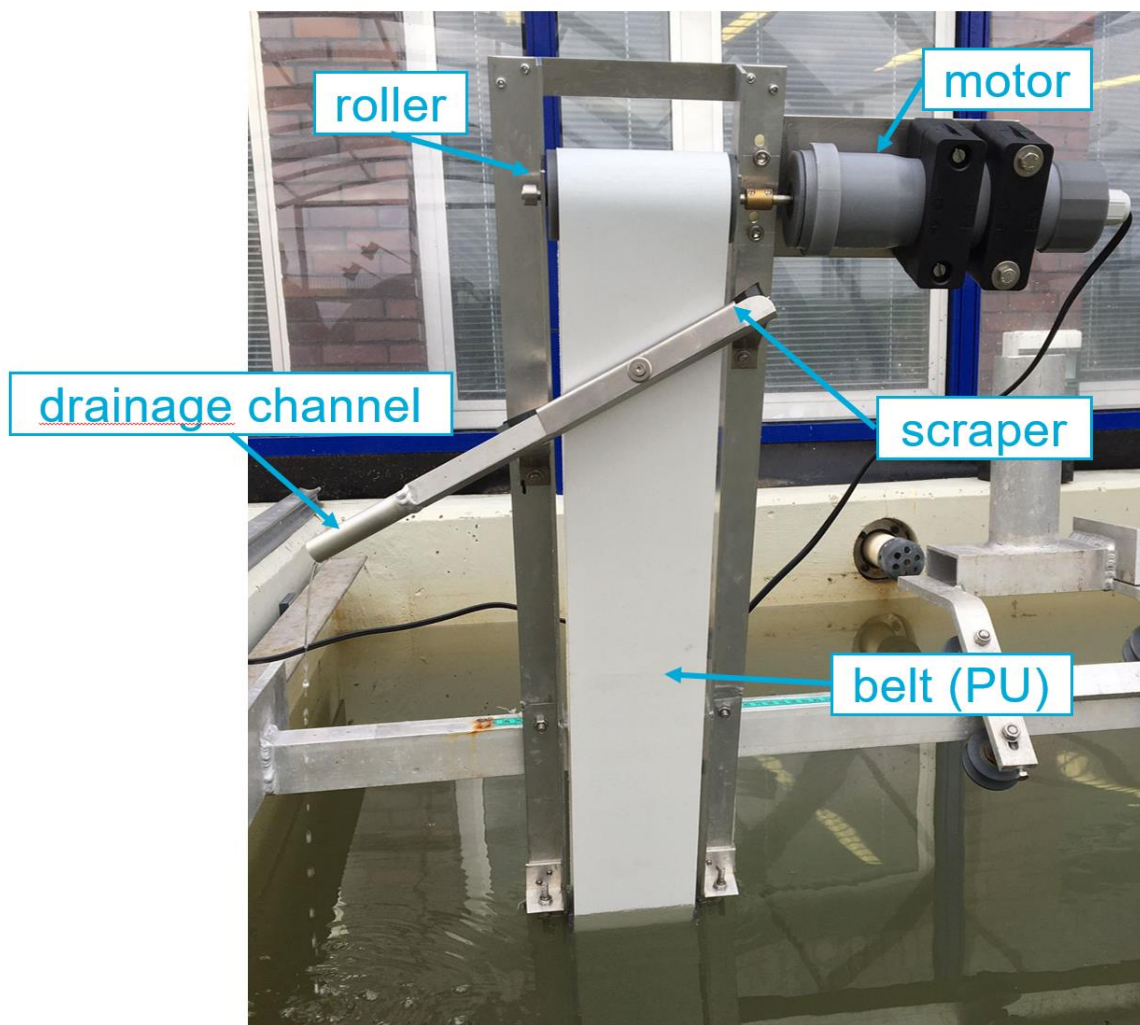
- Das Band wird von einem DC-Motor mit Getriebe angetrieben
- Skimmer, Pumpe und Durchflusssensor werden von einem Arduino Uno gesteuert
- Motorbox, Rollen und Düsen werden 3D-gedruckt
- Das Band wird durch Federn gespannt gehalten



WP2_1: Inventar-Entwurf des Skimmers mit allen Komponenten: Wischer, der Motor, die Walze, die Entwässerungsrinne und das Band.

Tests mit dem Skimmer-Prototype

Wir haben die ersten erfolgreichen Tests mit dem Skimmer-Prototyp durchgeführt (WP2_2). Die Tests umfassten die Änderung der Bandgeschwindigkeit und die Bewertung der Leistung von drei verschiedenen Bandtypen: Polyurethan (PU), Polyvinylchlorid (PVC) und Silikon. Diese Tests waren entscheidend, um das effizienteste Material und die besten Betriebseinstellungen für den Skimmer zu ermitteln. Das von dem Skimmer gesammelte Flüssigkeitsvolumen wurde gemessen, wobei eine Förderrate von 4.4 Litern pro Stunde (L/h) erreicht wurde. Diese Leistungskennzahl wird bei der Optimierung des Designs und des Betriebs des Skimmers für zukünftige Einsätze helfen.



WP2_2: Der Prototyp des Skimmers wurde erstmals in der Surface Facility (SURF) des ICBM in Wilhelmshaven getestet. Auf dem Foto sind der Schaber, der Motor, die Wischer, die Entwässerungsrinne und das Polyurethan (PU)-Band zu sehen. Mit den Erkenntnissen aus dem Test haben wir das ursprüngliche Design modifiziert und in die Boje integriert. Das Endergebnis ist in WP2_7 zu sehen.

Boje

Wichtige Termine für die Boje:

Für die Beschaffung der Boje wurde eine europaweite Ausschreibung durchgeführt, an der mehrere Firmen interessiert waren.

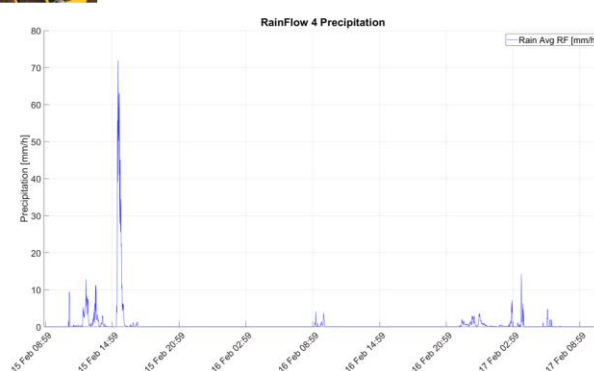
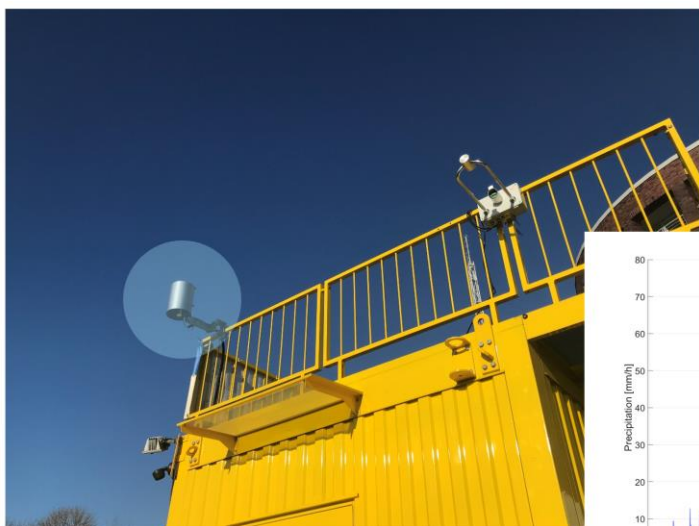
- Bestellung der Datenboje: 11/2020
- Erste geplante Lieferung der Boje: 02/2021 (nicht erfolgt)
- Tatsächliche Ankunft der Boje: April 2021

- Erster Test: Ende Oktober 2021
- Falsche Austarierung der Auftrieb aufgrund zu kleiner Abmessungen des Schwimmkörpers. Ersatz wurde angefordert
- Neuer Schwimmkörper erhalten
- Zweiter Test
- Erste Feldkampagne: September 2022
- Erstellung einer detaillierten Checkliste "Inbetriebnahme" und "Außerbetriebnahme"
- Zweite Feldkampagne: September 2023

Sensor-Tests

RainFlow 4 von IAV Technologies:

- Akustischer Regen- und Hagelsensor
- Freie Messkonfiguration
- Analog, SDI-12 Kommunikation
- Bereits zuvor auf Bojen offshore getestet
- Wir haben den Sensor am ICBM in Wilhelmshaven getestet, wie in *WP2_3* gezeigt.



WP2_3: Der Regensensor auf dem SURF-Kontrollcontainer der ICBM in Wilhelmshaven mit einem Beispiel der aufgezeichneten Daten.

AP2 druckte auch verschiedene Komponenten, um andere Sensoren in die Boje integrieren zu können, wie z.B. die miniFluo Kappe (*WP2_4*).

Design und Druck einer neuen Kappe für den MiniFluo:

- Der MiniFluo wird auf zwei Plattformen verwendet (Boje und geschlepptes Fahrzeug).
- Es handelt sich um einen passiven Flussmesser mit Durchflusszelle.
- Die Messfrequenzen können frei angepasst werden (50 ms - 10 s).
- Das Design der Sensor-Kappe kann angepasst werden.

Wir haben eine neue Kappe für den MiniFluo entworfen und gedruckt. Dieser Schritt war notwendig, um die Funktionalität und die Effizienz des Geräts zu verbessern.



WP2_4: Das Design, das endgültige Design offen und mit Sensor und der erste Versuch MiniFluo-Kappe.

Zusammenarbeit mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung Weser-Jade-Nordsee in Wilhelmshaven

Wir haben eine Zusammenarbeit mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung initiiert. Diese Kooperation zielt darauf ab, unsere Projekte besser zu koordinieren und die Nutzung

der Wasserstraßen effizienter zu gestalten. Sie helfen uns auch dabei, die Boje zu verankern und ihr umfangreiches Wissen darüber weiterzugeben. Die Berechnung der Verankerung der Boje wurde ebenfalls im Rahmen von Arbeitspaket 2 (AP2) in Zusammenarbeit mit dem WSA Wilhelmshaven durchgeführt.

Erste Tests in den Jadebusen:

Die ersten Tests in der Jadebucht beginnen Ende Oktober 2021 (*WP2_5*). Die wichtigsten Punkte, die es bei diesem Test zu klären und zu prüfen galt, waren:

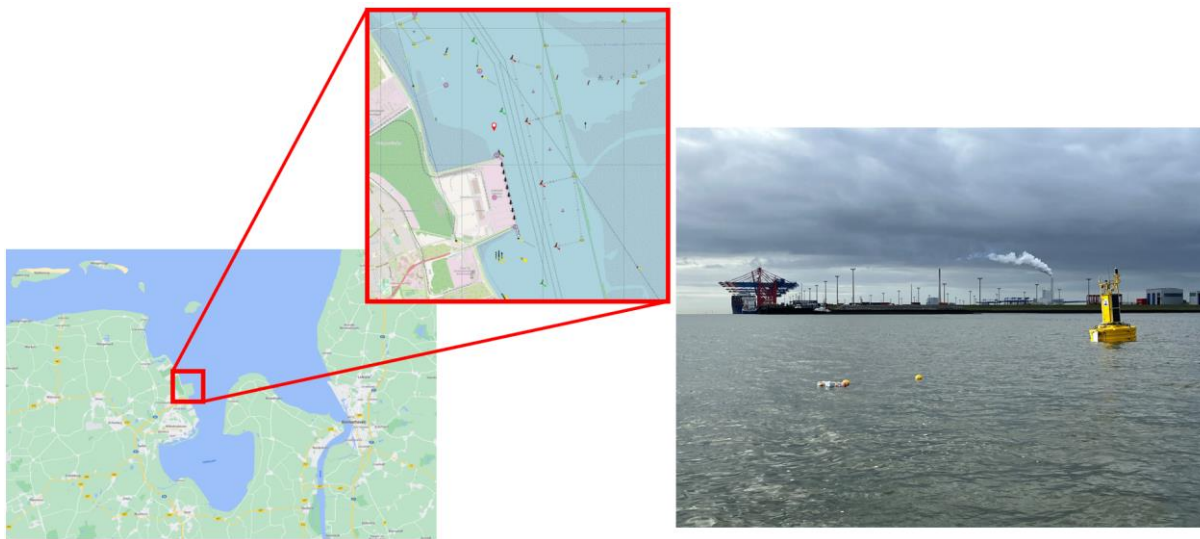
- Stabilität der Boje im Wasser: Überprüfung, wie gut die Boje unterschiedlichen Wasser- und Strömungsbedingungen standhält und stabil bleibt.
- Schwerpunkt der Boje: Bestimmung des optimalen Schwerpunkts, um die Stabilität und Funktionalität zu maximieren.
- Verankerung der Boje: Untersuchung der besten Methoden zur sicheren und dauerhaften Verankerung der Boje.
- Arbeiten auf der Boje: Evaluierung, ob und wie effektiv Arbeiten direkt auf der Boje durchgeführt werden können.

Darüber hinaus haben wir an der Verbesserung des Skimmers und der Planung seiner Installation auf der Boje gearbeitet. Außerdem haben wir ein Konzept für die Integration der Instrumente entwickelt, um die Funktionalität des gesamten Systems zu optimieren.



WP2_5: Die erste Boje wurde mit Abmessungen geliefert. Sie erwies sich als zu klein und konnte nicht mit allen vorgesehenen Sensoren betrieben werden.

Die **erste Messkampagne** im September 2022 fand für zwei Wochen im Jade-Weser-Port in Wilhelmshaven statt (WP2_6, WP2_7).



WP2_6: Die Karte zeigt die deutsche Küste mit der JadeBusse. Wenn man diesen Abschnitt vergrößert, sieht man: das Quadrat stellt den Hafen dar; die Fahrinne ist mit grünen und roten Bojen markiert; es gibt einen Ankerplatz für Schiffe; der kleine rote Pin zeigt die Position der Bojen-Ausbringung an. Alle Schiffe, die in den Hafen einfahren, müssen an dieser Boje vorbeifahren. Auf der rechten Seite des Bildes ist die vertäute Boje zu sehen, im Hintergrund befindet sich der Hafen. Außerdem sind einige schwimmende Plastikteile zu erkennen, die für Tests der DFKI-Systeme verwendet werden.



WP2_7: Um Ruß und andere Schadstoffemissionen von der Meeresoberfläche zu messen, wird ein Oberflächenabschöpfer verwendet, der als Bandabschöpfer konzipiert ist. Dieser ist hier auf dem Bild zu sehen, wo er an der Seite der Boje montiert ist. Das kleine Bild zeigt die technische Zeichnung des Abschöpfers. Der Rahmen besteht aus einem Stück Blech, was ein einfaches, stabiles Design ohne Schrauben und ohne Überlappungen ermöglicht, an denen Korrosion auftreten könnte. Auf der Boje sind verschiedene Sensoren montiert, wie ein Ruß- und ein PAH-Sensor zur Messung von Schadstoffemissionen durch Schiffe sowie ein Wellensensor oder eine Wetterstation zur Messung umweltrelevanter Parameter. Die aufgezeichneten Daten können per GSM oder Satellit übertragen werden.

Die **zweite Messkampagne** im September 2023 wird vierzehn Tage lang im Jade-Weser-Port in Wilhelmshaven stattfinden. Ursprünglich war geplant, die zweite Kampagne in einem anderen Hafen (Hamburg, Marseille, Toulouse) durchzuführen. Aufgrund logistischer Herausforderungen und personeller Engpässe haben wir uns jedoch entschlossen, die Kampagne wieder in Wilhelmshaven durchzuführen. Leider war die Kampagne nicht vollends

erfolgreich aufgrund eines Stromausfalls. Es gab keine integrierte Energieeinheit, und sowohl der Datenlogger von *-4H-JENA engineering GmbH* als auch die Sensorintegration durch DFKI wurden sehr kurzfristig installiert, welches vermutlich zu unvorhersehbaren Fehlern in der Energieversorgung führte.

Zusammenfassend hat die endgültige Datenboje folgende Merkmale:

- Bojenabmessungen:
 - Gesamthöhe: 4.4 m
 - Durchmesser: 2.2 m
- Der Oberflächenabschöpfer ist als Bandabschöpfer konzipiert: Einfaches, stabiles Design aus einem Stück Blech.
- Datenübertragung via Satelliten oder GSM.
- Montierte Sensoren:
 - Wellensensor
 - Wetterstation
 - Chlorophyll a
 - Ruß
 - PAH
 - dBC
 - DFKI module

AP5

Einleitung

Eine häufig verwendete Außenform für AUVs, Glider und auch TUVs (Towed Underwater Vehicles) ist die Myring-Hull-Form, eine Art torpedoförmiger Körper. Die Myring-Hull-Gleichungen erzeugen einen stromlinienförmigen Körper, bestehend aus einem Bug, einem Mittelschiff und einem Heck. Diese Form wurde über die Jahre hinweg in der Literatur vielfach beschrieben und ist bekannt, z.B. Abbasi et al., 2018. Die Form wurde oft durch den Einsatz von CFD (Computational Fluid Dynamics) simuliert, um den Widerstand zu minimieren und die Außenhülle zu optimieren. Insbesondere für Glider und AUVs ermöglicht ein geringerer Widerstand eine längere Betriebszeit (Singh et al, 2016). Geschleppte Fahrzeuge (TUVs) haben im Vergleich zu autonomen Messsystemen wie AUVs und Glidern den Vorteil, dass die verfügbare Energie nicht begrenzt ist, aber für geschleppte Systeme, die ihre Tauchtiefe mithilfe von Höhenrudern kontrollieren, ist ein Körper mit reduziertem Strömungswiderstand

wichtig, da die Widerstandskraft senkrecht zur Auftriebskraft wirkt. Daher sollte der Widerstand minimiert und der Auftrieb maximiert werden, um eine gute dynamische Leistung zu erzielen.

AUVs und TUVs sind häufig mit Höhen-, sowie mit Seitenrudern ausgestattet. Das heißt sie können ihre Tauchtiefe, sowie ihre horizontale Lage im Betrieb anpassen, s. z.B. Te Li et al, 2022. Dadurch werden diese Systeme im Handling einfacher, da nicht zwei separate Systeme zu Wasser gebracht und gesteuert werden müssen, sondern nur eines, welches beide Eigenschaften, Tiefen- und Seitenregulierung, beherrscht, zudem wird die Manövrierfähigkeit des Forschungsschiffes weniger beeinträchtigt. Im Folgenden stellen wir die wichtigsten im Projekt erzielten Ergebnisse des entwickelten Schlepp-Scher-Systems YDE-Fix (a remotely towed operated vehicle) vor.

Details

Rahmenparameter

Die zukünftige Verwendung von YDE-Fix ist für Küstengebiete in der Nähe bedeutender Seehäfen vorgesehen. Die Seehäfen der Nordsee und deren angrenzenden Ästuar sind besonders von den Gezeiten beeinflusst. Dort variieren die Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0 - 2 m/s. Um eine gute Datenqualität zu gewährleisten, ist es wichtig den Einfluss des Schiffes zu minimieren, YDE-Fix sollte somit nicht im Kielwasser des Forschungsschiffes geschleppt werden, da dort die Wasserschichten stark durchmischt sind (Gerriets et al., 2017), sondern neben dem Schiff, in der ungestörten Wassersäule. Für die Durchführung hochauflösender vertikaler Messungen sollte die Auf- und Abtriebsgeschwindigkeit möglichst langsam sein. Zur verbesserten Bergung sollte YDE-Fix von selbst an die Wasseroberfläche zurückkehren können. Aufgrund dieser Überlegungen wurden folgende Anforderungen für YDE-Fix festgelegt (Tabelle 2):

Tabelle 2: Anforderungen für YDE-Fix

Anforderungsprofil Schleppkörper	
Einsatzort	Ästuar, Küste, offener Ozean
Fahrt durchs Wasser	<6 kn
Schleppverhalten	Undulierende Bewegung (sinus-förmig) Tauchtiefe 0 - 20 m Hinten, seitlich vom Schiff in der ungestörten Wassersäule (außerhalb des Kielwassers) Schleppseillänge 100 m – auftriebsneutral

**Sink-/
Auftriebsgeschwindigkeit**

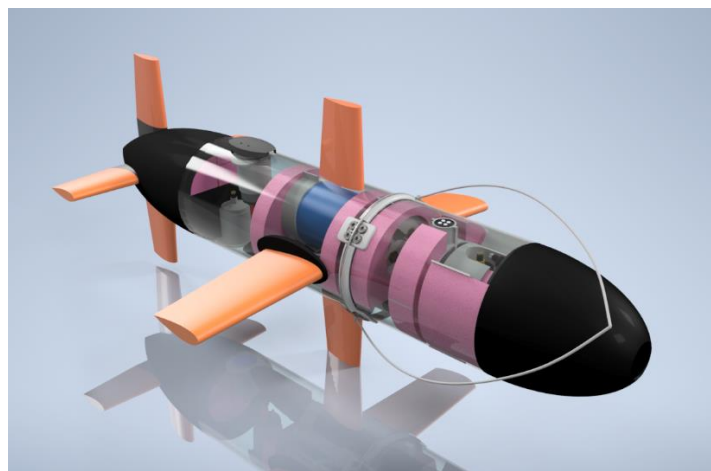
0.2 – 0.5 m/s

**Geometrie des
Schleppkörpers**

Myring hull type: Durchmesser 0.5 m, Länge max. 2.5 m, Gewicht max. 75 kg, positiver Auftrieb – 10% an Oberfläche und 90% Unterwasser

Flügelform und Länge: Anpassen an den „Lift/Drag Ratio“, max. 8 Flügel, 2 verstellbar für den Auf- und Abtrieb und 2 für die seitliche Ausschering

Design



WP5_1: Erstes Design von YDE-Fix, mit Schleppbügel, Gerriets et al, 2021.

Um einen geringen Strömungswiderstand des Körpers zu erreichen, wurden die Form des Bugs und des Hecks unter Verwendung der Myring-Hull-Profilgleichungen berechnet (Myring, 1976; Saghafi et al., 2019). Die Berechnungen basieren auf folgenden Parametern:

Berechnung der äußeren Bugform $r_1(x)$:

$$r_1(x) = \frac{1}{2}d \left[1 - \left(\frac{x + a_{offset} - a}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{n}}$$

Berechnung der äußeren Heckform $r_2(x)$:

$$r_2(x) = \frac{1}{2}d - \left[\frac{3d}{2c^2} - \frac{\tan(\theta)}{c} \right] (x - a - b)^2 + \left[\frac{d}{c^3} - \frac{\tan(\theta)}{c^2} \right] (x - a - b)^3$$

Berechnung der Gesamtlänge des TUVs I:

$$l = a + b + c - a_{offset} - c_{offset}$$

In Tabelle 3 (Kapitel skaliertes Modell, S.) werden die Parameter der Myring-Hull-Profil-Gleichungen sowie die Werte für das YDE-Fix 1:3-Modell beschrieben. Die Gesamtlänge des Körpers beträgt 1.85 m und er hat einen Durchmesser von 0.3 m. Dies ist die minimale Körpergröße, in der alle erforderlichen Sensoren wie dBC, Temperatur, Trübung und Sauerstoff sowie Sensoren zur Zustandskontrolle wie Altimeter, Drucksensor, Neigungssensor und Aktuatoren zur Steuerung der Tauchtiefe durch Flossen, installiert werden können. Insbesondere reagieren die Sensoren für Trübung, Sauerstoff und dBC empfindlich auf Umgebungslicht und sollten an ihrer Messzelle geschützt werden. Daher ist der Trübungssensor und der Sauerstoffsensor an ein passives Durchflussrohr mit einem Durchmesser von 75 mm integriert und der dBC-Sensor hat eine verdunkelte Durchflusskappe über seiner Messzelle. Der dBC-Sensor ist auf die Wasseroberfläche ausgerichtet.

Um Messdaten aus ausgewählten Tiefen während des Betriebs aufzuzeichnen, ist YDE-Fix mit acht Flossen ausgestattet, die auf **NACA**-Profilen (**N**ational **A**dvisory **C**ommittee for **A**eronautics) basieren (siehe *WP5_1*). Die vier Heckflossen (Profil: NACA 3325) sollen später mit Aktuatoren steuerbar sein, während die vier zentralen Flossen (horizontal - Profil: NACA 0025, vertikal - Profil: NACA 3325) eine voreingestellte Neigung haben. Mit den beiden horizontalen Heckflossen ist es möglich, die Tauchtiefe anzupassen, und mit den beiden vertikalen Heckflossen eine seitliche Verschiebung aus dem Kielwasser in die ungestörte Wassersäule vorzunehmen. Die horizontalen zentralen Flossen (Depressor-Flossen) haben eine Neigung von 5° nach unten. Darüber hinaus ist es auch möglich, die Flossen um einen Winkel von max. 15° einzustellen, um zusätzlichen Abtrieb zu erzeugen, damit YDE-Fix die Möglichkeit hat, gegen die Zugkraft des Schleppseils abzutauchen.

YDE-Fix wird von einem Forschungsschiff mit Hilfe eines Schleppseils geschleppt. Das Schleppseil beeinflusst dabei die Bewegung des Schleppkörpers. Der Einfluss auf das Rollen von YDE-Fix im Wasser muss möglichst gering sein. Daher wurde ein neuer drehbarer Schleppbügel entworfen (siehe *WP5_1*).

Skaliertes Modell



WP5_2: 1:3 skaliertes YDE-Fix-Modell bei der Erprobung im Wasserbecken der Hochschule Emden / Leer, Gerriets et al, 2021.

Nach dem Entwurf von YDE-Fix wurde ein verkleinertes Rapid-Prototyp-Modell im Maßstab 1:3 erstellt. Die Herstellung eines verkleinerten Modells ist zunächst kostengünstiger im Entwicklungsprozess. Die Funktionsfähigkeit kann anhand dieses Modells in einem Schlepptank überprüft werden. *WP5_2* zeigt das 1:3 skalierte YDE-Fix-Modell. Die Länge des Modells beträgt 0.6 m bei einem Durchmesser von 0.1 m. Das Modell ist mit einem Durchflussrohr, beweglichen Gewichten zum Trimmen des Schwerpunkts und einer kleinen Sensorbox ausgestattet, die einen Neigungs- und einen Drucksensor enthält. Der Winkel der Flossen kann manuell eingestellt werden.

Die folgenden Beziehungen gelten für die „geometrische Ähnlichkeit“ für die Skalierung des originalen YDE-Fix-Modells. Die Parameter und Werte sind ebenfalls in Tabelle 1 beschrieben:

Skalierung:

$$\lambda = \frac{l_{original}}{l_{scaling}}$$

Fläche des skalierten Modells:

$$A_{scaling} = \frac{A_{original}}{\lambda^2}$$

Gewicht des skalierten Modells:

$$m_{scaling} = \frac{m_{original}}{\lambda^3}$$

Parameter	Beschreibung	Einheit	Werte	Werte
			YDE-Fix	YDE-Fix
			Original Maßstab	Maßstab 1:3
λ	Skalierungsfaktor	n/a	1	3
a	Länge Bug	mm	300	100
a _{offset}	Offset Länge Bug	mm	0	0
b	Länge Mittelschiff	mm	1000	333.3
c	Länge Heck	mm	500	166.7
c _{offset}	Offset Länge Heck	mm	0	0
θ	Winkel Bug	Grad	35	35
d	Durchmesser Mittelschiff	mm	300	100
n	Exponentialkoeffizient	n/a	2	2
m	Gewicht	kg	56.5	2.1
A	Gesamtfläche	m ²	0.728	0.243
l	Gesamtlänge	m	1.8	0.6

Tabelle 3: Übersicht über die Parameter des original- und 1:3 skalierten YDE-Fix-Modells

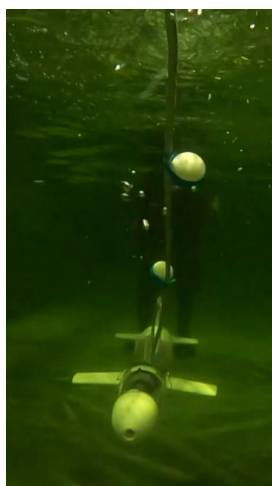
Ergebnisse der Schlepptankversuche des skalierten Modells

Das maßstabsgetreue YDE-Fix-Modell wurde im Schleppkanal der Fraunhofer-Arbeitsgruppe Nachhaltige Maritime Mobilität der Hochschule Emden/Leer getestet. Die ersten Einsätze von YDE-Fix im Schleppkanal wurden vorbereitet, um die Funktionsfähigkeit des Schleppkörpers zu überprüfen und die CFD-Simulationsergebnisse (**C**omputational **F**luid **D**ynamics) zu validieren. Während der Tests wurden von der Sensorbox die Tauchtiefe, der Neigungswinkel und der Rollwinkel gemessen und aufgezeichnet (Gerriets et al., 2022).

- Mit den beiden horizontalen Heckflossen ist es möglich, die Tauchtiefe zu regulieren. Die Tests zeigten, dass mit der Erhöhung des Winkels zwischen 0 und 30° die Abtriebskraft zunimmt und das skalierte YDE-Fix-Modell abtaucht. Die Sinkgeschwindigkeiten lagen wie im Anforderungsprofil gefordert unter 0.5 m/s
- Durch Verstellung des Winkels der beiden vertikalen Heckflossen war es möglich, YDE-Fix zu beiden Seiten des Schleppkanals zu manövrieren. Das skalierte YDE-Fix-Modell funktionierte als kombiniertes Schlepp-Scher-System

- Ein mögliches Rollen des YDE-Fix-Modells durch das Schleppseil konnte durch den lagergeführten drehbaren Schleppbügel deutlich minimiert werden
- Die Simulationsergebnisse wurden mit den Messergebnissen der Schleppkanalexperimente verglichen. Es zeigte sich, dass die CFD-Simulationsergebnisse der Widerstandskräfte (Drag) sehr gut mit den gemessenen Zugkraftwerten des YDE-Fix-Modells unter Verwendung einer dünnen Nylonschnur übereinstimmen. Die Nylonschnur erzeugt keinen zusätzlichen Widerstand im Wasser. Der Gesamtwiderstand beim Schleppen von YDE-Fix mit einem Datenkabel ist doppelt so hoch
- Das YDE-Fix-Modell hatte eine stabile Lage im Wasser

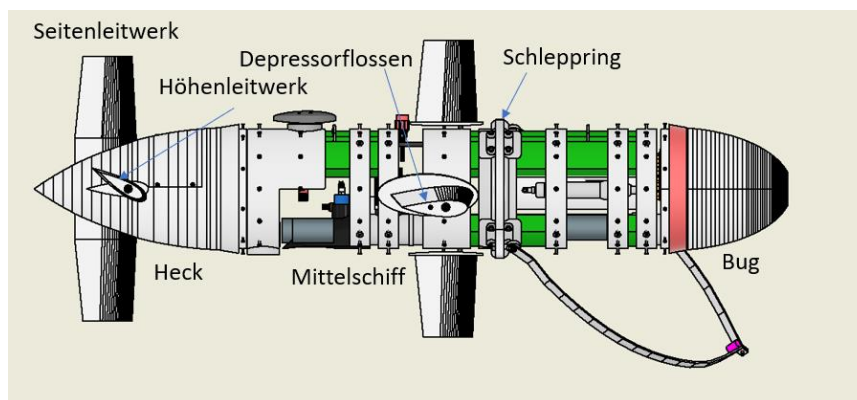
Die Versuche im Schleppkanal zeigten, dass das entwickelte YDE-Fix-Modell als Schlepp-Scher-System sehr gut funktioniert.



*WP5_3: Abtauchvorgang des 1:3
skaliertes YDE-Fix-Modell, Gerriets
et al, 2021.*

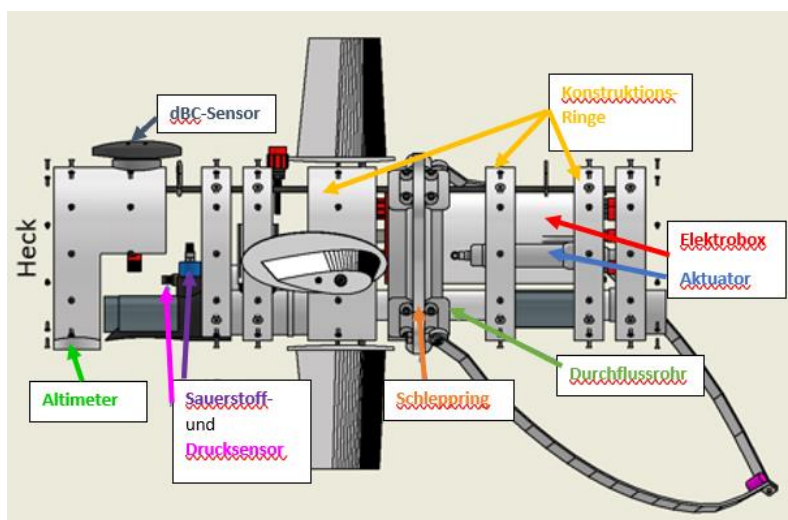
YDE-Fix im Originalmaßstab

Nach der erfolgreichen Erprobung des skalierten YDE-Fix-Modells wurde der Schleppkörper im Originalmaßstab abschließend konstruiert, gefertigt und die Sensorik integriert.



WP5_4: Abschließendes Design von YDE-Fix.

Eine detailliertere Ansicht des Gesamtkörpers und des Kerndesigns ist in den WP5_4 und WP5_5 dargestellt. Im Kern befinden sich die Elektronikbox, die Sensoren, die Aktoren, das Durchflussrohr (an dem der Sauerstoffsensord und der Trübungssensord angebracht sind) und die Auftriebskörper. Alle im Kern befindlichen Komponenten sind in ringförmigen Halterungen befestigt.



WP5_5: Ansicht des Kern-Designs von YDE-Fix
(Innenansicht).

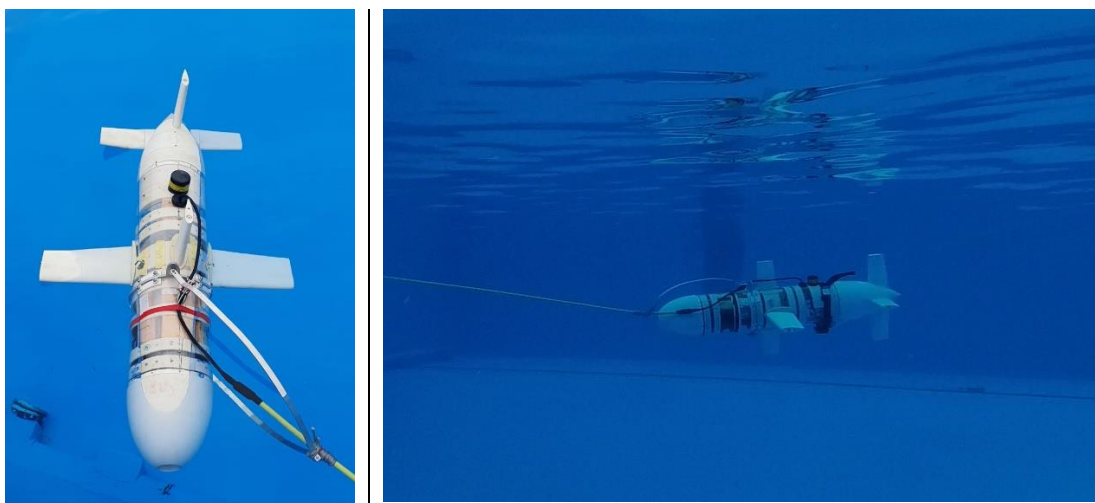
Bug, Heck und Flossen wurden im SLS-Druckverfahren aus dem Material PA12 hergestellt. Für das Mittelschiff wurde ein Acrylrohr verwendet. Der Schleppring besteht aus Aluminium (Werkstoff: 3.3535 / AlMg3/ EN AW-5754) und ist kugelgelagert, so dass er sich um den Rumpf drehen kann. Die Elektronikbox (Schnittstelle an der alle Sensordaten zusammenlaufen, sowie die Tauchtiefe und die horizontale Seitenlage von YDE-Fix gesteuert werden) wurde vom Projektpartner -4H-JENA engineering GmbH entwickelt. Die WP5_6 zeigt ein Foto von YDE-Fix im Originalmaßstab.



WP5_6: YDE-Fix.

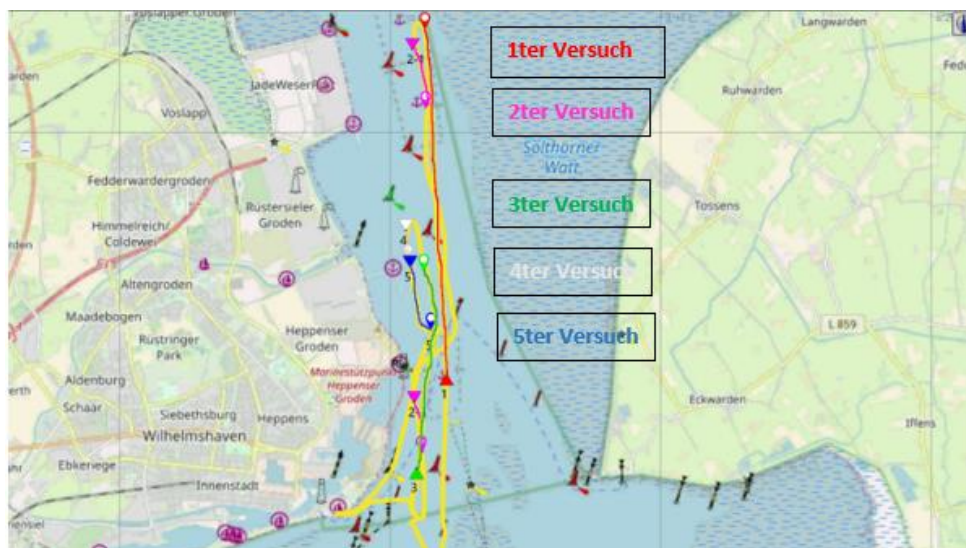
Tests von YDE-Fix im Freiwasser

Die ersten Freiwasserversuche wurden in einem Schwimmbecken durchgeführt. Die Tests konnten zeigen, dass der Körper gut im Wasser liegt und seine Tauchtiefe mit Hilfe der horizontalen Heckflossen verändern kann. Außerdem konnten Sensordaten aufgezeichnet werden.



WP5_7: Tests von YDE-Fix im Schwimmbecken.

Der Abschlusstest von YDE-Fix fand am 28.09.2023 im Jadebusen in der Nähe vom Jade-Weser-Port mit dem Forschungsboot Otzum statt (*WP5_8*).



WP5_8: Karte vom Erprobungsgebiet bei den Tests am 28.09.2023.

Das Ausbringen und Einholen von YDE-Fix mit Hilfe eines Krans vom Arbeitsdeck der FB Otzum funktionierte einwandfrei (WP5_9).



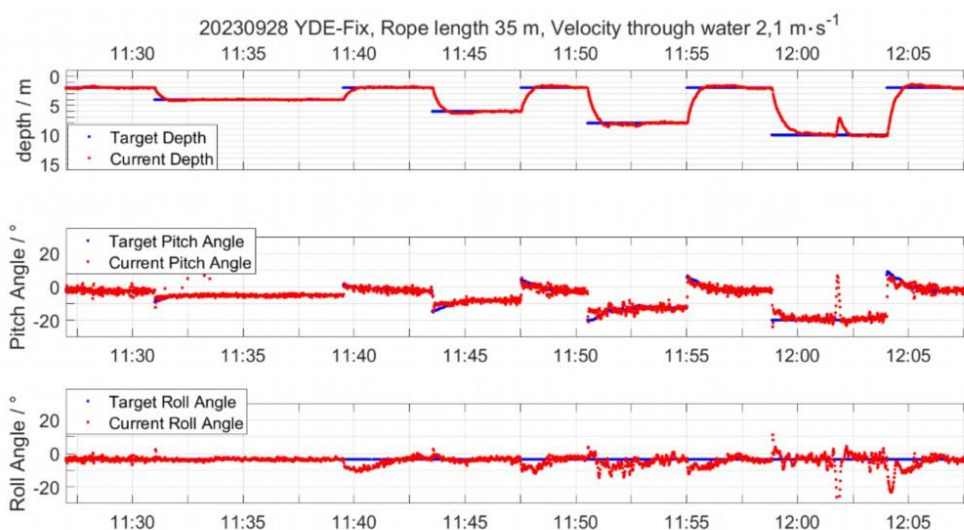
WP5_9: Ausbringen von YDE-Fix von der FB Otzum und YDE-Fix hinter der FB Otzum im Wasser.

Es fanden 5 Versuche statt um die Taucheigenschaften des Schleppkörpers bei verschiedenen Seillängen, Strömungsrichtungen und Fahrtgeschwindigkeiten durchs Wasser zu untersuchen.

1. Versuch: Untersuchung des Auf- und Abtauchverhaltens

Seillänge 35 m, Fahrt durchs Wasser 2.1 m/s, Fahrtrichtung: Mit der Strömung, zurückgelegte Strecke: ca. 2.6 km (WP5_8, WP5_10).

Die blaue Linie zeigt die vom Benutzer vorgegebene Tauchtiefe (hier: Starttiefe 2 m, geändert auf 4 m, zurück auf 2 m, dann auf 6 m usw.), die rote Kurve zeigt die aktuelle Tauchtiefe in der sich YDE-Fix befindet.

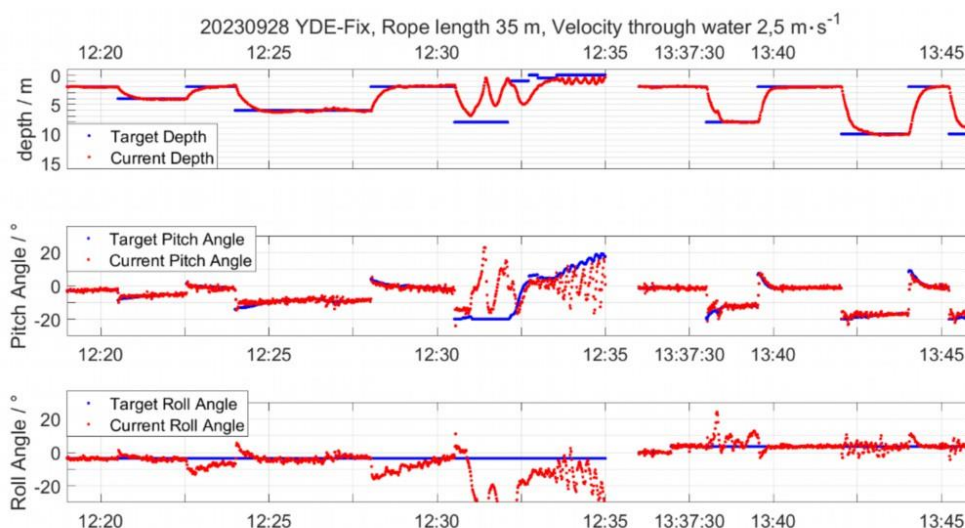


WP5_10: Plot der Tauchtiefe, des Neigungswinkels und des Rollwinkels von YDE-Fix während des 1ten Versuchs.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass YDE-Fix die vorgegebene Tauchtiefe zwischen 2 m und 10 m erreichen und halten, wenn der Körper mit der Strömung geschleppt wird. Der Neigungswinkel ändert sich mit der vorgegebenen Tauchtiefe. Soll YDE-Fix abtauchen neigt sich die Nase nach unten, beim Auftauchen nach oben. YDE-Fix rollt leicht in eine Richtung.

2. Versuch: Untersuchung des Auf- und Abtauchverhaltens

Seillänge 35 m, Fahrt durchs Wasser 2.5 m/s, Fahrtrichtung: Gegen die Strömung, zurückgelegte Strecke bis 12:35 Uhr: ca. 0.7 km, ab 13:37 Uhr: ca. 0.53 km (WP5_8, WP5_11).

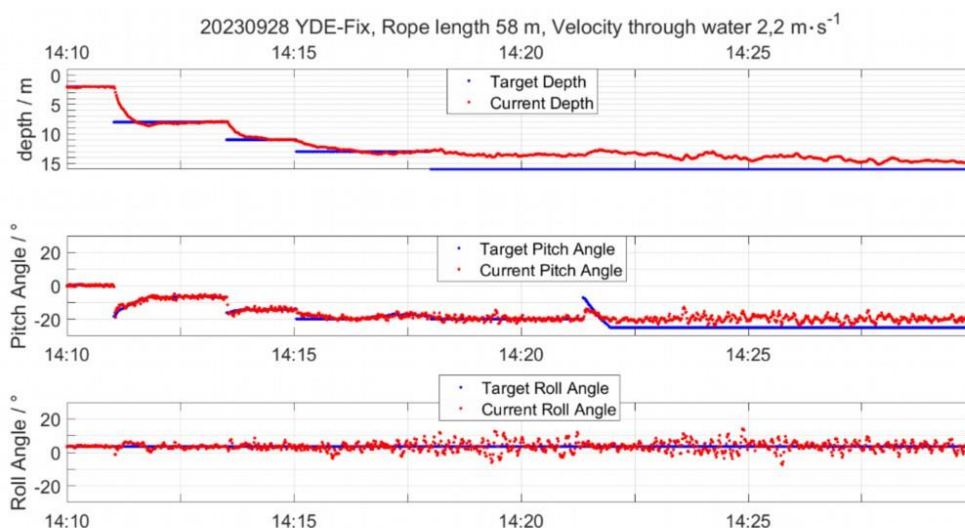


WP5_11: Plot der Tauchtiefe, des Neigungswinkels und des Rollwinkels von YDE-Fix während des 2ten Versuchs. Während des 2ten Versuchs hatten wir mit YDE-Fix einen Grundkontakt, woraufhin sich die vertikalen Heckflossen lockerten (nach 12:30 Uhr). Nach einem einholen des Schleppkörpers und reparieren konnten die Versuche um 13:37 Uhr fortgesetzt werden.

YDE-Fix konnte die vorgegebenen Tauchtiefen auch beim Schleppen gegen die Strömung erreichen und halten. Die Rollneigung von YDE-Fix nahm insgesamt ab, nachdem die vertikalen Flossen befestigt worden waren.

3. und 4. Versuch: Untersuchung des Auf- und Abtauchverhaltens - Maximaltiefe

Seillänge 58 m, Fahrt durchs Wasser 2.2 m/s , Fahrtrichtung: Mit der Strömung, zurückgelegte Strecke: ca. 1.02 km (WP5_8, WP5_12).



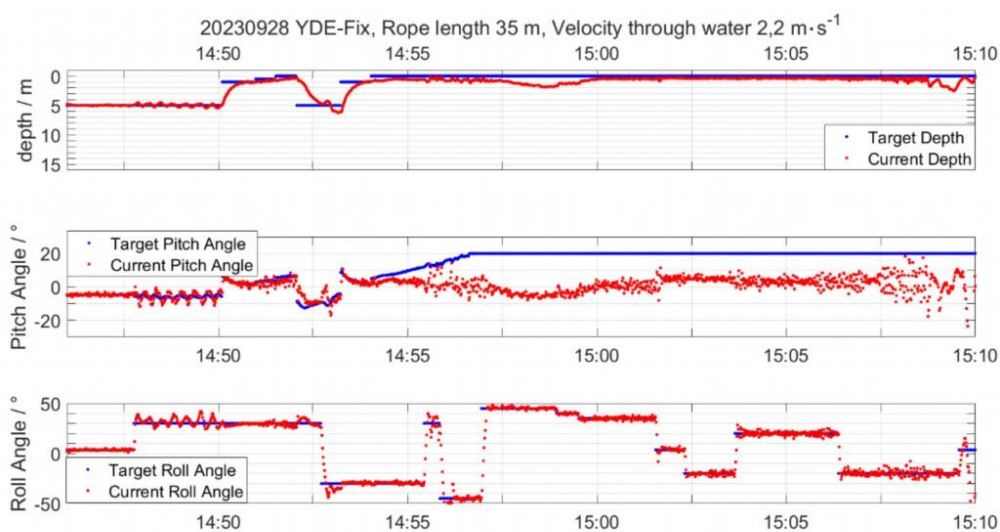
WP5_12: Plot der Tauchtiefe, des Neigungswinkels und des Rollwinkels von YDE-Fix während des 3ten Versuchs.

YDE-Fix konnte mit einer Seillänge von 58 m eine maximale Tauchtiefe von 13 – 14 m erreichen.

5. Versuch: Untersuchung des Ausscherverhaltens

Seillänge 35 m, Fahrt durchs Wasser 2.2 m/s, Fahrtrichtung: Gegen die Strömung, zurückgelegte Strecke: ca. 0.91 km (*WP5_8, WP5_13*).

In diesem Versuch wurde versucht YDE-Fix mit Hilfe der horizontalen Flossen zum Ausscheren zu bringen. Dafür wurde der Rollwinkel zwischen +/- 50° verändert.



WP5_13: Plot der Tauchtiefe, des Neigungswinkels und des Rollwinkels von YDE-Fix während des 5ten Versuchs.

WP5_13 zeigt, dass YDE-Fix mit Hilfe der Lageregelung auch verschiedene Rollwinkel anfahren und halten kann. Ein Ausscheren von YDE-Fix aus dem Kielwasser des Schiffes konnte demonstriert werden (WP5_14).



WP5_14: Ausscheren von YDE-Fix aus dem Kielwasser der FB Otzum.

Zusammenfassung

AP5.1 Optimierung der Form des bestehenden Prototypens (Schleppkörper):

Um einen geringen Strömungswiderstand des Körpers zu erreichen, wurde dieser mit Hilfe der Myring-Hull-Profilgleichungen berechnet. Die Größe wurde unter Berücksichtigung aller notwendigen Sensoren so klein wie möglich gewählt. Anschließend wurde ein Modell im Maßstab 1:3 entworfen, gebaut und getestet. Aufgrund der erfolgreichen Tests des Schleppkörpermodells im Schlepptank wurde der Schleppkörper endgültig im Originalmaßstab konstruiert und entsprechend dem Anforderungsprofil gefertigt. Der Schleppkörper hat eine Gesamtlänge von 1.85 m, einen Durchmesser von 0.3 m und wiegt ca. 50 kg. Der Schleppkörper hat einen positiven Auftrieb von 10 % und kann im Havarie-/Notfall selbstständig zur Wasseroberfläche aufsteigen und dort geborgen werden.

AP5.2 Entwicklung einer scherbrettartigen Konstruktion zum Schleppen des Fahrzeugs neben Forschungsschiff:

Wichtig für die Messung ist der Einsatz des Schleppkörpers außerhalb des Kielwassers des Forschungsschiffes in einer möglichst unbeeinflussten Wassersäule. Durch eine scherbrettartige Konstruktion wird die Manövrierfähigkeit eines Forschungsschiffes beeinträchtigt. Die Recherchen haben ergeben, dass TUVs als Schlepp-Schersystem fungieren können. Daraufhin wurde der Schleppkörper mit zusätzlichen verstellbaren vertikalen Flossen ausgestattet, um ein Ausscheren zu ermöglichen. Die Ergebnisse des

Modells im Maßstab 1:3 zeigten, dass das Ausscheren funktioniert. Damit war die Schlepp-Scherbrett-Konstruktion in ein Gesamtsystem integriert.

AP5.3 Integration der neuen in situ Sensoren für dBC und dPAHs:

Bei der Konstruktion des Schleppkörpers wurden die Sensoren für dBC und dPAH berücksichtigt. Die Sensoren sind auf die Wasseroberfläche ausgerichtet. Die Messzelle wird durch eine spezielle Durchflusskappe geschützt. Die elektronische Integration umfasste die Stromversorgung, das Datenmanagement und die Anpassung der vorhandenen Software, die gemeinsam mit unserem Projektpartner -4H-JENA engineering GmbH durchgeführt wurde. Die Wasserprobenahme kann über ein separates Pumpen-Schlauchsystem erfolgen.

AP5.4 Testen des Schleppfahrzeugs:

Das Steuerungssystem und die Eigenschaften des Schwimmkörpers wurden in einem Schwimmbecken und nach weiteren Anpassungen und erfolgreichen Tests in geschützten Bereichen des Wilhelmshavener Binnenhafens erprobt. Weitere Tests zum Aussetzen und Einholen des Fahrzeugs von Bord eines Forschungsschiffes fanden bei starkem Tidenstrom im Jadebusen statt. Eine abschließende Erprobung des Schlepp-Scher-Systems hinsichtlich Lagestabilität, Taucheigenschaften, Steuerung und Messdatenerfassung fand am 28.09.2023 im Jadebusen statt. Das Gesamtsystem hat sich entsprechend den Anforderungen erfolgreich bewährt.



WP5_15: Erfolgreiche Tests mit YDE-Fix auf dem Jadebusen, v.l.n.r.: Jan-Ralf Meier (-4H-JENA engineering GmbH), Mitte Michaela Gerriets (ICBM), rechts - Michael Becker (-4H-JENA engineering GmbH), Foto: Maik Grunwald.

AP6

AP-6.1 Molekulare Analyse von Referenz- und Umweltproben

Einleitung

Grundvoraussetzung für die Detektion und potentielle Quantifizierung von dBC im Meerwasser mit optischen Sensoren, ist die umfassende Charakterisierung der optischen Eigenschaften von dBC. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich diese Eigenschaften in Abhängigkeit vom Lösungsmittel (Meerwasser, Süßwasser, Reinstwasser) verändern können. Zudem enthält Meerwasser eine Vielzahl von organischen Verbindungen, die ebenfalls optisch aktiv sind und deren optische Signaturen unterschiedlich stark mit denen von dBC überlappen. Ein weiterer zu berücksichtigender wesentlicher Aspekt sind die unterschiedlichen Quellen von dBC. Verbrennungsrückstände bei höherer Temperatur sind höher kondensiert als bei niedrigerer Temperatur, die Art der Verbrennung (Motor-Eigenschaften) und der Typ des verwendeten Brennstoffs beeinflussen die Zusammensetzung von BC und damit dem freigesetzten dBC.

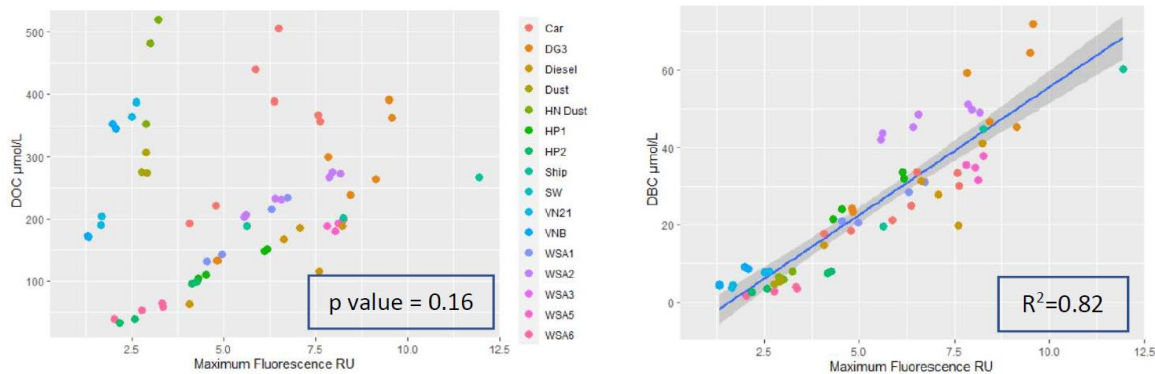
Details

In AP6 wurden umfangreiche Testreihen durchgeführt, um die optischen Eigenschaften von dBC in Abhängigkeit von der Quelle des BC zu untersuchen. Dazu wurden Konzentrationsreihen von BC-Partikeln unterschiedlicher Herkunft angesetzt und molekular analysiert (Martinot et al., in revision). In einem zweiten Schritt wurde dBC von ausgewählten BC Materialien in Meerwasser mit unterschiedlichen DOM-Hintergrund (Konzentration und Zusammensetzung) und in mit DOM-Referenzmaterial angereicherter künstlichen Meerwasser untersucht.

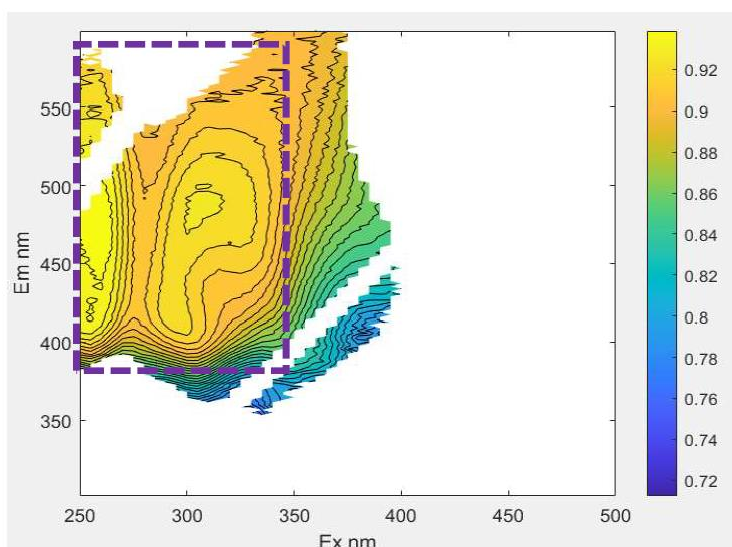
Die chemischen Analysen lieferten folgende Informationen:

- dBC Konzentration
- Kondensationsgrad des dBC
- Molekulare Zusammensetzung von dBC und DOM

Diese Informationen wurden mit den Ergebnissen der jeweiligen optischen Analysen verarbeitet (WP6_1). Mittels Korrelationsanalysen wurden geeignete Wellenlängenpaare identifiziert, die für die Identifizierung und Quantifizierung von dBC vor dem natürlichen DOM Hintergrund in Meerwasser geeignet sind (WP6_2). Dabei wurde berücksichtigt, dass der DOM Hintergrund in Küstengewässern im Vergleich zum offenen Ozean erhöht ist und auch optisch stärker aktiv.



WP6_1: Korrelation von optischen Eigenschaften (maximale Fluoreszenzintensität) mit den chemisch quantifizierten Konzentrationen von DOC (links) und dBC (rechts).



WP6_2: Korrelationsmatrix von Fluoreszenz (Anregungs-Emissions-Matrix) und chemisch quantifizierter dBC Konzentration (Pearson Test, $r \geq 0.7$, p Wert ≥ 0.05). Die höchste Korrelation wurde für Anregungswellenlängen 250-270 nm gefunden. Als Anregungswellenlänge für den Sensor wurde 265 nm gewählt.

II.2. Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

	lt. Finanzierungsplan	Ist-Ausgaben
0812 – Beschäftigte E12-E15	489,682.56 €	462,060.76 €
0817 – Beschäftigte E1-E11	65,302.14 €	46,271.65 €
0822 – Beschäftigungsentgelte	18,005.76 €	20,677.82 €
0831 – Gegenstände bis 410 €	11,506.00 €	13,584.83 €
0835 – Vergabe von Aufträgen	32,678.00 €	36,587.80 €
0843 – allg. Verwaltungsausgaben	79,792.21 €	78,425.43 €
0846 – Dienstreisen	26,365.00 €	7,810.30 €
0850 – Investitionen	288,192.96 €	282,483.86 €
Summe Ausgaben	1,011,524.63 €	947,902.45 €

II.3. Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Art der Lösungen	Beteiligte Partner	Details/Bemerkungen zu den Lösungen	Wählen Sie die innovativen Aspekte der Lösung aus, indem Sie einen oder mehrere der oben genannten Vorschläge auswählen
Entwicklung moderner, effizienter und kostengünstiger Geräte	AMU-MIO, UOL-ICBM	Entwicklung des ersten tauchfähigen Fluorometers für die <i>in situ</i> Hochfrequenzmessung von gelöstem schwarzem Kohlenstoff/Ruß in Meeresgewässern. Dieser Sensor kann in verschiedene Plattformen wie CTD-Profiler, Datenbojen, Schlepper und AUVs integriert werden. Für die Integration in die MATE-Datenboje (Durchflusssystem mit Skimmer) wurde eine neue Sensorkappe entwickelt.	Lösung eines aktuellen Problems mit einer neuen Methodik/Technologie und positiven Auswirkungen auf die Umwelt
Designentwicklungen, die das Produkt oder seine Verpackung funktioneller und attraktiver machen	UOL-ICBM, -4H-JENA engineering GmbH, AMU-MIO	Neukonzeption einer Überwachungsboje und eines Schleppschiffes für die Untersuchung von Schiffsemissionen in Küstengebieten. Das Plattformen arbeiten von der Oberfläche bis zu einer Tiefe von 20 m und ist mit einem	Lösung eines aktuellen Problems mit einer neuen Methodik/Technologie und positiven Auswirkungen auf die Umwelt

		Tauchfluorometer ausgestattet, um <i>in situ</i> dBC und ozeanographische Parameter in der Wassersäule in Hafennähe zu messen.	
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

II.4. Darstellung des voraussichtlichen Nutzens

Das Projekt leistete einen wichtigen Beitrag zu den allgemeinen Zielen von ERA_NET, insbesondere im MarTera-Forschungsbereich "Sensorik, Automatisierung, Überwachung und Beobachtung": Sensorentwicklungen; Unterwassertechnologien für Inspektion, Intervention, Überwachung und Kontrolle; Entwicklung intelligenter und kosteneffizienter Systeme und Geräte; Pfadplanung, Führung, Navigation und Kontrollmethoden für Meeresfahrzeuge, einschließlich mehrerer kooperativer Fahrzeuge (einschließlich Schwarmtechnologien) usw.". Weiterer kommerziellen Nutzung sind durch die Industriepartner möglich.

II.5. Darstellung des Fortschritts auf dem Vorhabensgebiet an anderer Stelle

Während der Projektlaufzeit sind dem Verfasser keine Fortschritte auf dem Gebiet der Überwachung der Meeresverschmutzung durch Schiffe bekannt geworden.

II.6. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des ZE oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z.B. zur Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den ZG ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Peer review papers:

Martinot, P.L., Guigue, C., Guyomarc'h, L., Mari, X., Chu, N.H.A., Vu, C.T., Boettcher, L., Dang, T.H.N., Niggemann, J., Dittmar, T., Tedetti, M. Optical characterization of dissolved organic matter derived from black carbon particles emitted by ships: Implication for the fluorescence detection of fuel combustion pollutions in marine waters. In revision for Marine Chemistry.

Martinot, P.L., Guigue, C., Guyomarc'h, L., Mari, X., Chu, N.H.A., Vu, C.T., Boettcher, L., Dang, T.H.N., Niggemann, J., Dittmar, T., Tedetti, M. Dissolved Black Carbon in the coastal Northwestern Mediterranean Sea. In preparation for the Marine Pollution Bulletin.

Conference proceedings/presentations:

Martinot, P.L., Guigue, C., Guyomarc'h, L., Mari, X., Chu, N.H.A., Vu, C.T., Würfl, O., Emig, S., Boettcher, L., Dang, T.H.N., Niggemann, J., Dittmar, T., Tedetti, M., 2022. A new fluorescence sensor for in situ measurements of dissolved black carbon derived from maritime traffic. Oral

presentation. Ocean Optics XXV Conference. Quy Nhon, Vietnam, 2-7 October 2022. Best Speaker Award

Martinot, P.L., Guigue, C., Guyomarc'h, L., Mari, X., Chu, N.H.A., Vu, C.T., Würfl, O., Emig, S., Boettcher, L., Dang, T.H.N., Niggemann, J., Dittmar, T., Tedetti, M., 2023. A new fluorescence sensor for in situ measurements of dissolved black carbon derived from maritime traffic. Oral presentation. Asia-Pacific Network (APN) for Global Change Research Conference. Hanoi, Vietnam, 12-14 January 2023.

Gerriets, M; Badewien, TH; Hohmann, R; Rüssmeier, N; Rösemeier, L; Zielke, J; Schellenberger, G; Hillers, K; Strybny, J., 2022. YDE-Fix: design, simulation and testing of a 1:3 scaled model of a remotely towed operated vehicle for coastal area research of marine traffic emissions. OCEANS 2022. Hampton Roads, VA, USA, pp. 1-10, doi: 10.1109/OCEANS47191.2022.9977020.

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9977020>

Verbreitungsaktivitäten: Einladung der GMT (Gesellschaft für Maritime Technologie) zur Präsentation des Schleppers und der Ergebnisse.

Danksagung

Wir bedanken uns für die tatkräftigen Unterstützung bei der erfolgreichen Entwicklung beifolgenden Personen:

Besatzung des Tonnenlegers Schillig sowie Anne-Christin Schulz vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven, Julius Zielke, Laurin Rösemeier und Gregor Schellenberger von der Hochschule Bremen, Alexander Krönke, Rasmus Hohmann und Nick Rüssmeier von der Jadehochschule, Kai Hillers und Jann Strybny von der Hochschule Emden/Leer, Jan Schulz von der Jadehochschule, der Arbeitsgruppe Marine Sensorsysteme und Prozesse und Sensorik Mariner Grenzflächen des ICBM, der Besatzung der FB Otzum, der Werkstatt des ICBM und der Uni Oldenburg, sowie Reiner Büntjen.

REFERENCES:

- [1] Abbasi, S., Zeinali, M., Nejadabbasi, P., "Autonomous Underwater Vehicle Hull Geometry Optimization Using a Multi-objective Algorithm Approach", International Journal of Engineering (IJE), JE TRANSACTIONS C: Aspects Vol. 31, No. 9, 1593-1601, September 2018
- [2] Brewer, T., "Black Carbon and Other Air Pollutants in Italian Ports and Coastal Areas: Problems, Solutions and Implications for Policies", Applied Science, doi:10.3390/app10238544, November 2020
- [3] Cyr, F., Tedetti, M., Bhairy, N., Besson, F., Goutx, M., "A glider-compatible optical sensor for the detection of polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment", Frontiers in Marine Science, 6, 110, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00110>, 2019.
- [4] Gerriets, M., Badewien, T.H., Braun, A., Behrens, G., Nicolai, H., Zielinski, O., "APMOS: An autonomous profiling measurement system for the ocean surface boundary layer", Oceans2017 IEEE Conference Publications, DOI: 10.1109/OCEANSE.2017.8084855, June 2017
- [5] Gerriets, M., Badewien, T.H., Hohmann, R., Rüssmeier, N., Rösemeier, L., Zielke, J., Schellenberger, G., Hillers, K., Strybny, J.: "YDE-FIX: design, simulation and testing of a 1:3 scaled model of a remotely towed operated vehicle for coastal area research of marine traffic emissions", Oceans2022 IEEE Conference Publications, DOI: 10.1109/OCEANS47191.2022.9977020, 2022

- [6] IMO (International Maritime Organization), "Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping," Published at: https://glomeep.imo.org/wp-content/uploads/2016/06/Black-Carbon_web.pdf, 2015
- [7] Mari, X., Lefèvre, J., Torrèton, J.-P., Bettarel, Y., Pringault, O., Rochelle-Newall, E., Marchesiello, P., Menkes, C., Rodier, M., Migon, C., Motegi C., Weinbauer, M.G., Legendre, L., "Effects of soot deposition on particle dynamics and microbial processes in marine surface waters," *Global Biogeochem. Cycles*, 28, doi:10.1002/2014GB004878, June 2014.
- [8] Martinot, P.L., Guigue, C., Guyomarc'h, L., Mari, X., Chu, N.H.A., Vu, C.T., Boettcher, L., Dang, T.H.N., Niggemann, J., Dittmar, T., Tedetti, M., 2022. A new fluorescence sensor for in situ measurements of dissolved black carbon derived from maritime traffic. Oral presentation, Ocean Optics XXV Conference, Quy Nhon, Vietnam, 2- 7 October 2022.
- [9] Myring, D.F., "A Theoretical Study of Body Drag in Subcritical Axisymmetric Flow". *The Aeronautical Quarterly*, 27, 186-194, 1976
- [10] Ramanathan, V. & Carmichael, G., "Global and regional climate changes due to black carbon," *Nature Geoscience*, 1, pp. 221–227, doi: 10.1038/ngeo156, March 2008.
- [11] Saghafi, M. & Lavimi, R., "Optimal design of nose and tail of an autonomous underwater vehicle hull to reduce drag force using numerical simulation," *J Engineering for the Maritime Environment*, 2020 Vol. 234(1), pp. 76-88, 19, June 2019.
- [12] Singh, Y., Bhattacharyya, S.K., Idichandy, V.G., "CFD approach to modeling, hydrodynamic analysis and motion characteristics of a laboratory underwater glider with experimental results", *Journal of Ocean Engineering and Science*, Vol. 2, pp.:90–119, <https://doi.org/10.1016/j.joes.2017.03.003>, June 2017
- [13] Tedetti, M., Goutx, M M. "Submersible fluorometer with UV light sources (< 300 nm) for the quantification of targeted aromatic compounds in the aquatic environment", International patent on behalf of the CNRS, n° WO2012119888 (A1), 2012. Tournadre, J., "Anthropogenic pressure on the open ocean: The growth of ship traffic revealed by altimeter data analysis", *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061786, October 2014.