

Abschlussbericht

zur Vorlage beim Projektträger PtJ

Zukunftscluster OTC Rostock

OTC-DaTA

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 - 30.09.2024

Berichtszeitraum: 01.10.2021 – 30.09.2024

Partner (Zahlungsempfänger)	Bezeichnung Teilvorhabens	des	Förderkennzeichen
Fraunhofer IGD	OTC-DaTa-A		03ZU1107FA
EvoLogics GmbH			
Planet AI GmbH	OTC-DaTa-E		03ZU1107FE
Institut für Visual and Analytic Computing der Universität Rostock (URO- VAC)			
Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)	OTC-DaTa-C		03ZU1107FC

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

I.	Kurzbericht	3
1.	Aufgabenstellung	3
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
3.	Stand der Wissenschaft und Technik	4
4.	Wesentliche Ergebnisse	5
5.	Zusammenarbeit mit Dritten	5
II.	Eingehende Darstellung	6
1.	Verwendung der Zuwendungen und erzielte Ergebnisse	6
	Datenanalyse und Use Case Spezifikation.....	6
	Automatische Objekterkennung und Model Integration.....	8
2.	Evaluierung des Pilot-Assistenzsystems	10
4.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	11
5.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplanes	12
7.	Erfolgte Veröffentlichungen.....	13
III.	Anlage	13

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Das Projekt 'OTC-DaTA' zielte darauf ab, die bisher meist getrennt erfassten Sensordaten aus Unterwassermissionen mit autonomen (AUV) oder über Kabel gesteuerten Unterwasserfahrzeugen (ROV) als fusionierte Kontextdaten in einem Framework zusammen zu bringen. Dieses soll innerhalb des Zukunftsclusters Ocean Technology Campus (OTC) als Grundlage für marine digitale Zwillinge dienen. Der Schwerpunkt lag auf der Anwendung von Machine Learning (ML) für komplexe Datentypen wie Videos und 3D-Punktwolken, die als wesentlicher Bestandteil bei fast allen Unterwassermissionen gesammelt werden. Die Auswertung kann in Echtzeit erforderlich sein, mit nur beschränkten Möglichkeiten der Datenübertragung, oder nach Beenden der Mission erfolgen. Neben den Daten, die explizit dem Zweck der Mission dienen, beispielsweise bei der Inspektion von Unterwasserstrukturen oder der digitalen Erfassung des Seebodens, werden auch bei der Missionssteuerung der Unterwasserfahrzeuge sehr umfangreiche Datenmengen erzeugt. Die Fusion der verschiedenen Sensordate (Kamera, Akustik, Steuerung) in komplexer, physikalischer Umgebung (Wellen, Strömung) ist eine Herausforderung. Diese heterogenen, verteilten und großvolumigen Daten müssen leicht kombiniert und im Kontext bestehender Daten interpretiert werden können. Dabei helfen generische Schnittstellen und Standardformate, die auch die Speicherung und Weitergabe der Daten an Dritte erleichtern.

Am Leibniz-Institut für Ostseeforschung (IOW) wurden zunächst bestehende Datenformate sowie der wissenschaftliche und technische Stand zum Einsatz von ROVs analysiert. Im Anschluss erfolgte die Entwicklung eines Use Cases, der das Wiederfinden von Ankerleinen zum Ziel hatte. Dementsprechend konnten Testdaten zum Training des ML-Modells aufgenommen werden. Nach der Entwicklung des Modells folgte die Echtzeit-Implementierung und anschließende Tests, sowie eine Evaluierung durch Experimente mit mehreren Testpersonen.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Projektablauf orientierte sich an den Bearbeitungszeiträumen aus der Projektbeantragung entsprechend der Arbeitspakete. In AP 1 lag der Fokus auf der Analyse des technischen Stands hinsichtlich Standardformaten und Schnittstellen, sowie das Zusammenstellen und Kategorisieren der am IOW genutzten Datenquellen und Sensoren. Darauf basierend wurde der Use Case entwickelt, der die Steuerung und Datenverarbeitung während der Unterwassermission verbessern soll. Dafür wurden in AP 2 Testdatensätze mit einem Mini-ROV erzeugt und die Anbindung externer Sensoren getestet. In AP 3 folgte die Entwicklung des ML-Modells zu automatischer Objekterkennung mit Hilfe der Testdaten sowie die Weiterentwicklung der Bildverarbeitungs-Pipeline. Im Anschluss folgte im AP 4 die Implementierung und Verbesserung der Echtzeit-Bildverarbeitung und die Aufarbeitung der erfassten Daten für die Projektpartner. Die Validierung des Gesamtsystems erfolgte in AP 5 basierend auf Experimenten mit mehreren Testpersonen. Die Auswertung der Experimente und die Vorstellungen der Ergebnisse erfolgte auf der OCEANS Conference 2024 in Halifax, Kanada.

Einen Überblick über die Bearbeitungszeiträume der einzelnen Arbeitspakete des IOWs gibt die folgende Tabelle 1.

Tabelle 1 – Bearbeitungszeiträume der Hauptarbeitspakete entsprechend des Projektantrags

IOW Bearbeitungszeiträume je Hauptarbeitspaket	begonnen				
	Startzeitpunkt				
	abgeschlossen				
	Abschlusszeitpunkt				
	Beginn - Ende (Plandaten*)				
AP1.1: Spezifikationen aus Use Case	<input checked="" type="checkbox"/>	Jan 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Mai 23	Jan 22 - Mai 23
AP1.2: Gesamtkonzept	<input checked="" type="checkbox"/>	Jan 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Mai 23	Jan 22 - Mai 23
AP2.1: Sensoranbindung	<input checked="" type="checkbox"/>	Jan 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Mär 24	Jan 22 - Mär 24
AP2.2: Umsetzung Verarbeitungspipeline	<input checked="" type="checkbox"/>	Jan 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Mär 24	Jan 22 - Mär 24
AP3.1: Umsetzung ML-Analysefunktion	<input checked="" type="checkbox"/>	Apr 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Jun 24	Apr 22 - Jun 24
AP3.2: Umsetzung Visualisierungs-Analysefunktionen	<input checked="" type="checkbox"/>	Apr 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Jun 24	Apr 22 - Jun 24
AP4.1: Umsetzung auf Embedded System und Cloud-Lösungen	<input checked="" type="checkbox"/>	Okt 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Jun 24	Okt 22 - Jun 24
AP4.2: Optimierung Gesamtsystem	<input checked="" type="checkbox"/>	Okt 22	<input checked="" type="checkbox"/>	Jun 24	Okt 22 - Jun 24
AP5.1: Integration der Teillösungen	<input checked="" type="checkbox"/>	Dez 21	<input checked="" type="checkbox"/>	Sept 24	Okt 21 - Sept 24
AP5.2: Validierung des Gesamtsystems gegen Use Cases	<input checked="" type="checkbox"/>	Dez 21	<input checked="" type="checkbox"/>	Sept 24	Okt 21 - Sept 24

3. Stand der Wissenschaft und Technik

Es gibt zahlreiche Plattformen und Infrastrukturverbünde zur Integration und Bereitstellung maritimer Daten. In Deutschland sind insbesondere die NFDI-Initiativen, darunter NFDI4Earth, und marine Datenverbünde wie die Deutsche Allianz Meeresforschung (DAM) und das Helmholtz Coastal Datacenter relevant. Diese Systeme sammeln Daten aus verschiedenen Quellen wie Schiffskampagnen, Meeresbeobachtungen und numerischen Modellen und stellen sie der Wissenschaft und Öffentlichkeit zur Verfügung, wobei eine Vielzahl von Datentypen verarbeitet wird. Dazu zählen Modell- und Simulationsdaten, Bathymetrie Daten und Seekarten. Zusammen bilden sie eine umfassende Datenlage, insbesondere von Umweltdaten, in der maritime Systeme zum Einsatz kommen. Ein weiteres europäisches Projekt ist Gaia-X, das ein digitales Ökosystem für Dateninfrastrukturen entwickelt.

Für die visuelle Analyse (VA) georeferenzierter Daten an Land existieren bereits eine Vielzahl von Ansätzen und Methoden. Der Einsatz von VA im maritimen Bereich unterliegt jedoch besonderen Anforderungen, z.B. aufgrund des größeren Aufwandes bei der Datenerfassung, der geringeren Bandbreite bei der Datenübertragung und fehlender Ressourcen bei der Datenverarbeitung und ist daher ein wichtiger und aktueller Forschungsschwerpunkt.

Daneben gibt es in der angewandten Meeresforschung das Bestreben, sowohl die teils komplexe Erhebung ozeanographischer Daten (physikalisch, chemisch, biologisch) zu automatisieren und zu vereinfachen, als auch die darauf aufbauende Ableitung von belastbaren Informationen durch die Erstellung einer geeigneten Regelbasis weitestgehend autonom zu gestalten. Ozeanographische Parameter sind räumlich-zeitlich verteilt und besitzen starke Abhängigkeiten von äußeren Faktoren, sodass die ganzheitliche Beschreibung ökosystemarer Zustandgrößen komplexe Datenmodelle erfordert.

4. Wesentliche Ergebnisse

Zu den Hauptresultaten gehört die erfolgreiche Entwicklung einer Verarbeitungs-Pipeline für ROV-Videodaten, die durch ML-Algorithmen unterstützt wird. Die Kooperation mit Planet AI führte zur Entwicklung eines Programms (Software), das es ermöglicht, Objekte in Echtzeit während eines Tauchgangs hervorzuheben.

Es wurden Standards für die Speicherung und Übertragung von Sensordaten etabliert, wobei Fraunhofer IGD als Partner bei der Definition und Speicherung von relevanten Metadaten und der Integration in eine Sensordatenbank eine wichtige Rolle spielte. Der Use Case 'ROV Mission' dient nun als Best-Practice für zukünftige Unterwassermissionen und stellt eine generische Methodik zur Datenerhebung und -verarbeitung bereit.

Insgesamt zeigen die Projektergebnisse, dass durch die Kombination von Sensorfusion und ML-Algorithmen erhebliche Fortschritte in der automatisierten Datenverarbeitung und als Hilfe für ROV-Piloten während der Unterwassermissionen erzielt werden konnten.

5. Zusammenarbeit mit Dritten

Es fand eine enge und konstruktive Zusammenarbeit mit den Projektpartner des Verbundvorhabens statt.

Projektpartner:

Planet AI GmbH:	Entwicklung einer automatischen Objekterkennung und deren Anwendung und Einbindung während der Unterwassermission. Entwicklung eines Clusterweiten Frameworks zur automatischen Objekterkennung und entsprechender Anwendung.
Fraunhofer IGD:	Entwicklung des Frameworks zur Clusterweiten Datenspeicherung und Verteilung. Entwicklung der Unterwasser Umgebung durch Visual Computing.
EvoLogics GmbH:	Einbindung von KI-basierter Objekterkennung in Unterwasserfahrzeug als Trägerplattform.
Universität Rostock – VAC:	Entwicklung eines KI-basierten Assistenzsystems und einer probabilistischen Zustandsschätzung des Use Case. Darauf aufbauend die Entwicklung des digitalen Zwillings der Unterwassermission.

Neben den Meetings wurden regelmäßige Status-Videokonferenzen (14-tägig, alle Partner) durchgeführt, sowie Telefonate und Treffen für den Austausch auf Arbeitsebene. Zusätzlich fanden Treffen mit dem Schwerpunkt ‚Metadaten‘ statt (IGD und IOW). Zur Vernetzung der Clusterprojekte am IOW wurde ein monatliches Treffen organisiert (monatlich, OTC@IOW Breakfast). Innerhalb des Clusters wurden das Projekt und der Use Case auch auf der OTC-Summerschool 2023 und 2024, sowie auf dem ErfinderInnecamp 2023 und 2024 vorgestellt.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendungen und erzielte Ergebnisse

Datenanalyse und Use Case Spezifikation

Ein erster Schritt in OTC-DaTA war es, Datenquellen und am IOW eingesetzte Sensorik zusammenzutragen, zu kategorisieren und den Projektpartnern vorzustellen. Dabei wurden geeignete Sensoren und Messsysteme zur Datenfusion identifiziert. Entsprechend der IOW eigenen Data Policy sollen erhobene ‚Umweltdaten‘ der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, was unter anderem durch die Datenbank ‚IOW DB‘ ermöglicht wird. Gleichzeitig werden Daten auch auf andere offenen Datenbanken geladen (z.B. pangaea). Dabei gibt es für die jeweiligen Datentypen verschiedene Speicherformate, sowie entsprechende Zusatzinformationen in Form von Metadaten. Die Art der Datenspeicherung und Bezeichnung (Naming Conventions) erfolgt nach den entsprechenden Standards (z.B. CFconventions, SensorML, OGC). Der Umgang mit Datensätzen ist dabei für weit verbreitete Datensätze und Messmethoden klar definiert (z.B. Messprofile aus dem Einsatz von CTD-Sonden, wie sie auf allen Forschungsschiffen zum Einsatz kommen). Für Daten, die während dem Einsatz eines ROV (Remotely Operated Vehicle) entstehen, gibt es hingegen keine fest vorgeschriebene Verfahrensweise. Mit Hilfe von ROVs können z.B. Funktion und Lage von Unterwasser Sensorik und Verankerungen von Messbojen optisch untersucht werden. Am IOW kommt ein ROV während Ausfahrten mit dem Expeditionsschiff ‚Elisabeth Mann Borgese‘ zu diesem Zweck zum Einsatz und liefert die reale Nutzergeschichte für den Use Case ‚ROV Mission‘. Ein ROV-Pilot, der mit einem kleinen Motorboot auf hoher See unterwegs ist, soll Unterwassersensoren visuell überprüfen. Diese sind an der Ankerleine einer Boje befestigt. Zu diesem Zweck taucht ein Mini-ROV entlang der Verankerungsleine, wie in Abbildung 1 dargestellt. Der Mini-ROV wird von einem Laptop gesteuert und der Platz bzw. die Stromversorgung auf dem Boot reichen nicht aus, um einen zweiten oder größeren Bildschirm oder ein zusätzliches Ortungssystem (Unterwasserpositionierung) zu installieren. Die Navigation des ROVs entlang der Linie erfolgt ausschließlich über die interne Kamera des ROVs. Die Verfolgung der Kette wird durch hohe Trübungen und Unterwasserströmungen sowie einen spiegelnden Bildschirm erheblich erschwert.

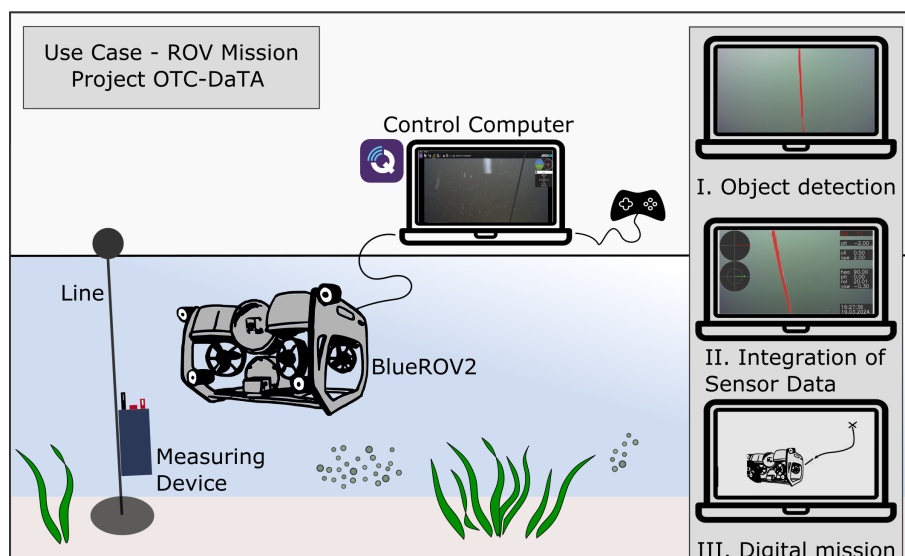


Abbildung 2 – Use Case ‚ROV Mission‘

Abschlussbericht OTC DaTA

Durch den Use Case ‚ROV Mission‘ sollte die Steuerung des ROVs und die Verfolgung von Objekten unter Wasser erleichtert werden. Vergleichbar wäre dies mit einem Spurhalteassistent in Kombination mit einem Navigationsgerät bei einem modernen Auto. Gleichzeitig sollten alle Daten während der Unterwassermission systematisch erfasst, gespeichert und verarbeitet werden, was eine digitale Nachbildung der Mission ermöglicht. Dieser digitale Zwilling soll zukünftig in Echtzeit entstehen. Eine schematische Darstellung der verschiedenen Daten während einer Unterwassermission zeigt Abbildung 2.

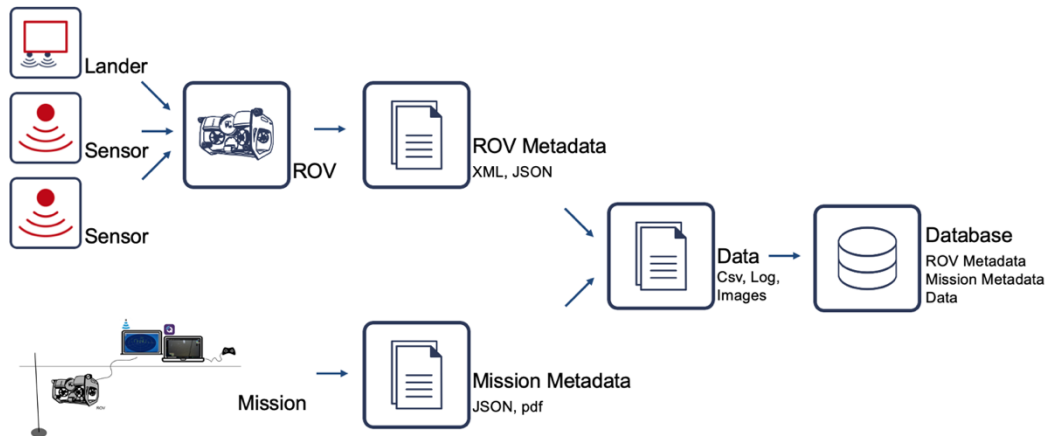


Abbildung 2 - Daten einer ROV Mission

Für den Use Case ‚ROV Mission‘ wurden die intern verbaute Sensorik und zusätzlich extern angebrachte Geräte an einem ROV identifiziert und entsprechend der Anbindung und Zugänglichkeit untersucht. Gleichzeitig wurden erste Testdatensätze mit dem am IOW genutzten ROV erzeugt. Geräten von Drittanbietern erschweren den direkten Zugang an die bzw. das Abgreifen der Datenströme während der Unterwassermission (geschlossene Systeme mit proprietären Softwarelösungen). Ein, auf dem open-source Ansatz basierender, Mini-ROV der Firma Blue Robotics umgeht für die zukünftigen Datenerhebungen dieses Problem der proprietären Daten. Alle Bedingungen, Anforderungen und genauen Bedürfnisse des Use Cases wurden definiert. Ebenso die einzelnen Arbeitspakete, mit denen innerhalb von OTC-DaTA die Sensorfusion und Nutzung der Daten entsprechend verlaufen soll (siehe Abbildung 2).

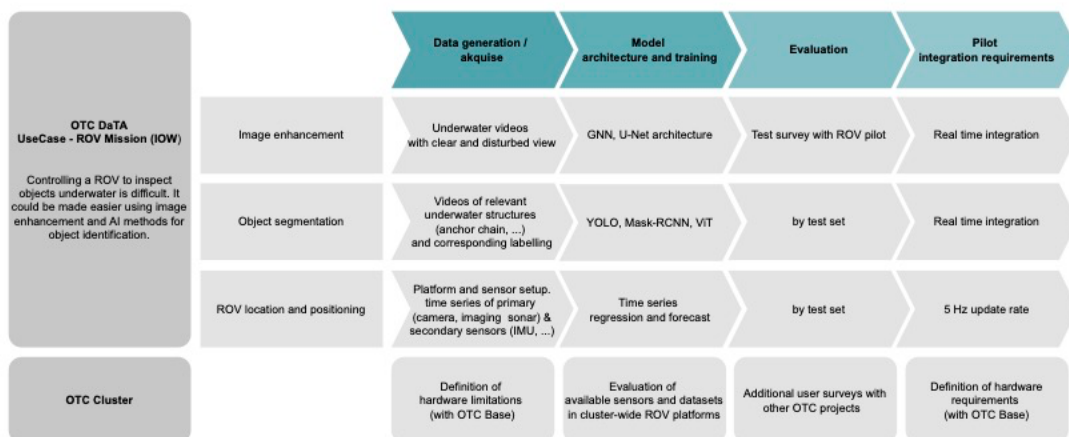


Abbildung 3 - Prozess-Schema Use Case ‚ROV Mission‘

Zunächst sollte die Verbesserung der Bildqualität erfolgen. Anschließend folgte die automatische Erkennung von Objekten mittels KI-Algorithmen. Im direkten Austausch mit dem Projektpartner Planet AI wurden ROV-Datensätze erhoben, die zum Trainieren des Modells genutzt werden konnten. Dafür sind in ersten Quartal 2023 mehrere Testfahrten mit dem Mini-ROV durchgeführt worden.

Der Use Case ‚ROV Mission‘ soll zudem als Best-Practice eine generische Methodik der Datenerhebung und Verarbeitung bereitstellen. Dafür wurden in der Meeresforschung etablierte Standards ausgewertet und während der ersten Datenerhebungen angewendet. Gleichzeitig wurde in einem Austausch mit den Projekten OTC-Base und FRAMEWORK ROBOTICS GmbH über standardisierte Schnittstellen der Datenübertragung gesprochen, wobei vorrangig Hardware-Schnittstellen und Übertragungsprotokolle betrachtet wurden. Für eine standardisierte Speicherung der Metadaten wurden die verschiedenen aktuellen Standards zusammengetragen und analysiert. In einem nächsten Schritt wurde eine standardisierte Form zum Abspeichern ähnlicher Daten in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Fraunhofer IGD festgelegt. In Abstimmung mit den Konsortialpartnern entstand so eine generische Abstraktionsebene zur Einbindung von Datenquellen und -senken, die mittelfristig für das gesamte OTC-Cluster Anwendung finden soll.

Automatische Objekterkennung und Model Integration

Im ersten Quartal des Jahres 2023 wurden die ersten Test-Datensätze im Yachthafen Mittelmole, Warnmünde, mit dem Mini-ROV BlueROV2 erzeugt, bei denen der ROV an Leinen verschiedener Farbe entlangtaucht (siehe Abbildung 4). Weitere Daten wurden an zwei Tagen während Tauchgängen mit dem ROV im Schweriner See aufgenommen, wobei unterschiedliche Positionen, Tauchtiefen und daraus resultierende Aufnahmebedingungen vorlagen. Die Videoaufnahmen variierten von klarem Wasser bis hin zur hoher Trübung, starkem Lichteinfluss an der Oberfläche bis hin zu fast keinem natürlichen Licht bei einer maximalen Wassertiefe von 24 m. Während den Tauchfahrten näherte und entfernte sich der BlueROV2 von der Leine und drehte sich zur Seite, sodass die Leine auf den Videos erscheint und verschwindet. Videosequenzen, in denen die Leine gerade sichtbar oder nicht sichtbar war, waren besonders relevant, da der Pilot hier möglicherweise die meiste Unterstützung benötigt.



Abbildung 4 – Datenaufnahme im Yachthafen Mittelmole, Warnemünde, mit dem BlueROV2 im Wasser

Auf den Bildern dieser Testtauchgänge wurden vom Projektpartner Planet AI manuell Masken der Leinen annotiert. Für die Annotation wurden Bilder mit einer Rate von 1 fps aus den 57 aufgezeichneten Videos (5,5 GB) extrahiert und Polygonmasken für Ketten, Linien und weitere relevante Objekte mit der online frei verfügbaren Software CVAT (Computer Vision Annotation Tool) hinzugefügt. Mindestens die Bilder eines Videos von jedem Tauchgang wurden für die Validierung reserviert, so dass sich ein 3:2-Split von insgesamt 4707 Bildern ergab. Das Modelltraining erfolgte in Tensorflow unter Verwendung einer einfachen U-Netz-basierten Architektur, dem ARU-Netz. Die Entscheidung wurde hauptsächlich durch die Forderung nach einer schnellen Inferenzzeit und einer guten Segmentierungsleistung für eine kleine Anzahl von Klassen getroffen. Die Eingabegröße beträgt 960x540x3. Zur Augmentation der Videosequenzen wurden Gaußsches Rauschen, Salz-und-Pfeffer-Rauschen und Mosaik-Augmentationen verwendet, jeweils mit einer stichprobenartigen Auftretenswahrscheinlichkeit von 0,2.

Um während des Tauchgangs in Echtzeit ein automatisches Hervorheben der Leinen zu ermöglichen, ohne zugleich die Steuerungs-Software des ROVs zu unterbrechen, wurden das interne Netzwerk des ROVs entsprechend angepasst und die Bilddaten auf einen weiteren UDP Port gespiegelt (entsprechend Abbildung 4). Der zweite Video-Stream wird von einem im Berichtszeitraum entwickelten Programm (planetai_chainseg) mit dem integrierten Segmentierungs-Modell aufgegriffen, in einem separaten Fenster auf dem Monitor dargestellt und die automatisch identifizierten Objekte werden farblich herausgehoben (in rot). In einem iterativen Prozess gemeinsam mit Planet AI wurde die Bilderkennung mit dem ROV getestet. Eine besondere Herausforderung hat hierbei die Anforderung der Auswertung der KI und Darstellung der Ergebnisse in nahezu Echtzeit dargestellt.

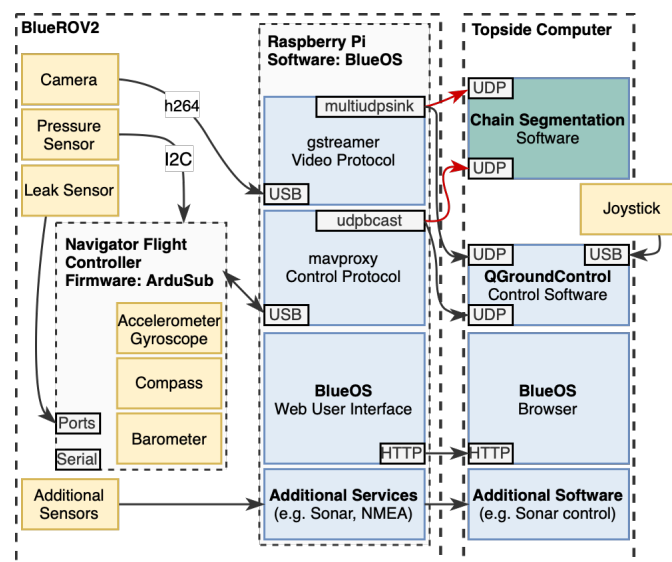


Abbildung 4 – Netzwerk-Anpassungen des BlueROVs zum Erzeugen eines zweiten Video-Streams

Durch geschickte Nutzung von Multithreading und verschiedener Optimierungen konnte die Zeit zwischen Aufnahme und Darstellung sogar schneller realisiert werden als in der ROV-eigenen Software, die keine KI-Komponente enthält. Zusätzlich wurden in der Video-Darstellung noch zur Steuerung relevante Informationen des ROVs, wie Lage oder Geschwindigkeit, eingeblendet, wofür auf Netzwerkseite die Datenübertragung ebenfalls auf einen weiteren Port gespiegelt werden mussten. Abbildung 5 zeigt die Darstellung des Videostream mit der automatischen Objekthervorhebung.

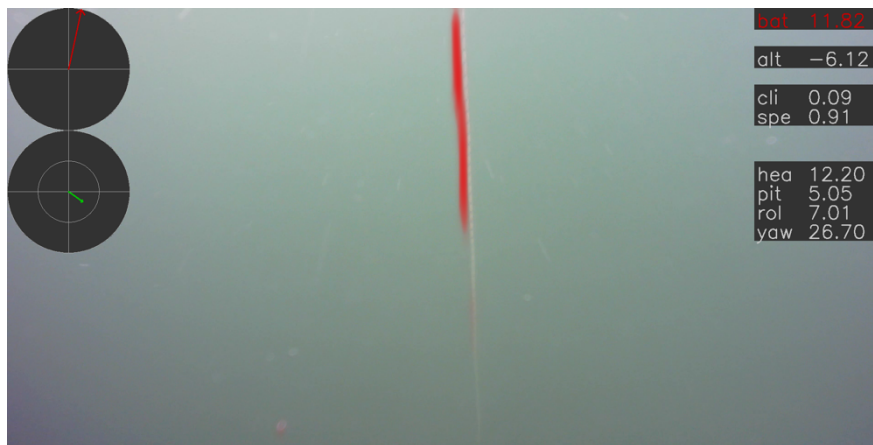


Abbildung 5 - Videostream mit hervorgehobener Leine und zusätzlichen Sensordaten

Zudem wurden von den Testfahrten alle internen Sensordaten separat mit aufgezeichnet und als vollständiger Datensatz mit entsprechendem Tauch-Protokoll und Metadaten den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

2. Evaluierung des Pilot-Assistenzsystems

Als nächsten Schritte folgte in der letzten Projektphase im Jahr 2024 die Auswertung der Bilderkennung durch Testfahrten, anhand klassischer Bildsegmentierungs Metriken und mit Hilfe von Experimenten mit verschiedenen Personen. Diese zeigen messbar, inwiefern die automatische Bilderkennung die Steuerung des ROVs entlang einer Leine erleichtert. Das gewählte Modell erreichte einen F1-Score von 0,61, einen Recall von 0,8 und eine Präzision von 0,52 bei einem festen Schwellenwert von 0,2. Die vollständigen Segmentierungsmasken werden im Assistenzsystem mit unterschiedlicher Intensität entsprechend den pixelweisen Score-Werten eingefügt. Ein direkter Vergleich des Bildsegmentierungsmodells mit den manuell kommentierten Videodaten zeigt fünf verschiedene Verhaltensmuster (siehe Abbildung 6). Man unterscheidet zwischen falsch-negativ (A), falsch-positiv (B), korrekter Erkennung (C), Verzögerung des Erkennung (D) und Flackern des Modells durch z.B. Partikel auf der Aufnahme (E), was ebenfalls zu falsch-positiven Ergebnissen führt. Die Verhalten lassen sich mit der starken Variation der Bildinhalte, auch während des gleichen Tauchgangs, erklären.

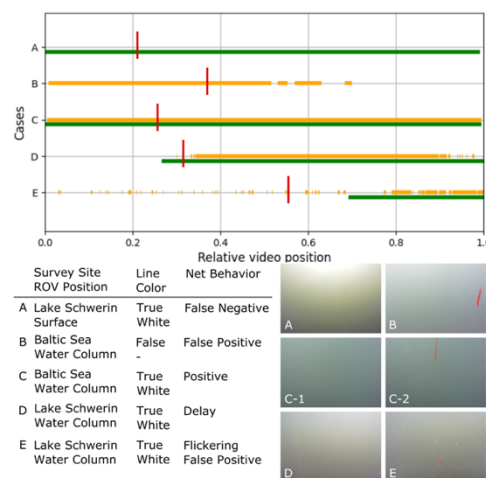


Abbildung 6 – Vergleich des Segmentierungs-Modells (gelb) mit den Ergebnissen der manuellen Annotation (grün). Ausschnitte aus den Videosequenzen (A-E) an der Position (roter Strich) der verschiedenen Verhaltensmuster (Cases A-E).

In zwei Experimente mit verschiedene Personen wurde das Modell mit menschlichen Testpersonen verglichen. Den Testpersonen wurden an einem Computerarbeitsplatz im Büro verschieden Unterwasseraufnahmen aus den Testvideosequenzen gezeigt. Teilweise war das Assistenzsystem, also die Objekterkennung, mit dargestellt, teilweise nicht. Dabei zeigte sich, dass die Leinen eher erkannt wurden, sobald die Leinen durch das Assistenzsystem optisch hervorgehoben wurden. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz unter realen Bedingungen dieses Ergebnis noch verstärken würde, da sich ein ROV-Pilot auf mehrere Dinge gleichzeitig konzentrieren müsste (z.B. die Steuerung des ROVs).

Das Programm mit dem integrierten Modell zur automatischen Leinenerkennung liefert eine gute Grundlage zur Augmentierung und Digitalisierung von Unterwassermission mit ROVs. Ausstehende und weiterführende Entwicklungen wären die Folgenden:

- Steuerungshinweise basierend auf den erkannten Leinen (z.B. 'Leine befindet sich 30° rechts' oder entsprechende Pfeile eingeblendet auf dem Videostream)
- Automatische Verbesserung der Unterwasserbilder in Echtzeit
- Einbindung von Modellen zur automatischen Identifizierung von z.B. Unterwasserorganismen mit direkter Datenspeicherung und -analyse

Basierend auf dem aktuellen Projektstand lässt sich das Programm direkt zum Verfolgen von Leinen unter Wasser nutzen. Gleichzeitig liefert es eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung und Einbindung von weiteren Funktionalitäten.

3. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Für die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises verweisen wir auf den detaillierten Verwendungsnachweis in der Anlage.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Rahmen des Projekts OTC-DaTA wurden vom Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnmünde (IOW) und den Projektpartnern umfangreiche Entwicklungsarbeit durchgeführt, die sich im Wesentlichen an der ursprünglichen Vorhabensbeschreibung orientierten. Die geplanten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten mit dem Fokus einer ROV-Unterwassermission bedurften einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit, um im Verbund komplexe Lösungsansätze systematisch zu erarbeiten, gemeinsam zu implementieren und praxisnah zu evaluieren. Gleichzeitig wurden die entwickelten Konzepte und Programme über mehrere Iterationen verfeinert.

Über einen definierten Use Case konnten die Ziele klar definiert und messbar erarbeitet werden. Das Gesamtziel des Vorhabens – die Entwicklung eines Frameworks zur effizienten Kombination und Verarbeitung heterogener und großvolumiger Unterwasserdaten – konnte mit dem Use Cases als Best-Practice-Beispiel erreicht werden. Das IOW liefert dabei den Anwendungsfall aus der wissenschaftlichen Praxis und die entsprechenden Daten, sowie die Möglichkeiten der Integration in einen Institutseigenen Mini-ROV.

Die Ergebnisse der Projektarbeit wurden sowohl innerhalb der Projektpartner und des Rostock-weiten Clusters vorgestellt und besprochen, als auch national und international mit dem öffentlichen Fachpublikum geteilt.

5. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplanes

Das Projekt OTC-DaTA hat bedeutende Fortschritte in der Implementierung von Echtzeit Objekterkennung bei Mini-ROVs erzielt, die in mehreren Forschungs- und Industriebereichen angewendet werden können, darunter die Umweltüberwachung oder die Wartung von Unterwasserinfrastrukturen. Eine direkte Verwertung ist durch die Integration des Programms beim Einsatz des institutseigenen BlueROV2 ist vorgesehen. Die standardisierte Erfassung und Speicherung von Daten- und Metadaten während der Einsätze des BlueROVs sind nun Teil der SOPs (Standard Operation Procedures). Basierend auf den Projektergebnissen von OTC-DaTA können in der nachfolgenden Phase des Zukunftscluster OTC folgende Ergebnisse weiter verwertet werden:

- Clusterweite Bereitstellung von CVAT-Server, Standardverfahren, Informationsaustausch als Unterstützung bei allen KI basierten Projekten
- Standardisierte Speicherung und Verteilung von vollständigen Datensätzen der Unterwassermission, die eine effizientere Planung derselben, automatische Datenanalyse in Echtzeit und die Weiterentwicklung eines digitalen Zwillings ermöglichen

Der digitale Zwilling einer Unterwassermission wird nicht nur für das Projektkonsortium eine zukunftsweisende Technologie darstellen, sondern für viele OTC-Partner als eine Innovationsplattform einen Mehrwert bieten. Mit der Betriebsphase des Digital Twin werden immer mehr Daten gesammelt und sich weitere Einsatzmöglichkeiten, im maritimen Umfeld (z.B. Bauwerksinspektionen, Aquakultur) oder auch bei neuartigen transdisziplinären Anwendungen, ergeben. Im Projekt OTC-DaTA wurden dafür in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und im Austausch mit dem gesamten Cluster die Grundlagen erarbeitet.

6. Fortschritt auf dem Gebiet durch Dritte

[1] Schoening, T., Durden, J.M., Faber, C. et al. Making marine image data FAIR. *Sci Data* 9, 414 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01491-3>

[2] Manjunatha, M., Selvakumar, A. A., Godeswar, V. P., & Manimaran, R. (2018). A Low Cost Underwater Robot with Grippers for Visual Inspection of External Pipeline Surface. *Procedia Computer Science*, 133, 108–115.

[3] Motta, C., Aracri, S., Ferretti, R., Bibuli, M., Bruzzone, G., Caccia, M., Odetti, A., Ferreira, F., & Pascalis, F. (2023). A framework for FAIR robotic datasets. *Scientific Data*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02495-3>

Die Veröffentlichung von Schoening et al. [1] zeigt auf, wie wichtig die Handhabung von Bilddaten im maritimen Kontext sind. Gleichzeitig wird auch deutlich, dass die Entwicklung von Standards in der maritimen Bilddatenhandhabung noch in der Entwicklung steckt. Der im Paper beschriebene Ansatz ist eine gute Grundlage und sollte bei weiteren Projektentwicklungen mitberücksichtigt werden. Gleichzeitig ist die Bilddatennutzung in Near-Real-Time, wie sie in dem Projekt OTC-DaTA angestrebt wird, nicht Teil der Publikation von Schoening et al.. Manjunatha et al. [2] zeigen die automatische Bilderkennung bei der Analyse von ROV-Videoaufnahmen nach der Schiffsrumpf Inspektion. Dabei liegt der Fokus ihrer Arbeit auf dem Training und der Leistung von verschiedenen Klassifizierungen. Die Bilder und Videos werden noch nicht in Echtzeit analysiert. Motta et al. [3] beschreiben die Anwendung von CF-Conventions (NetCDF Standard) bei der Datenspeicherung von inhomogenen Datensätzen die

durch autonome Roboter in der Meeresforschung aufgenommen werden. Dabei zeigen sie die Relevanz von einheitlichen Begriffen auf, gerade da es sich um ein interdisziplinäres Forschungsfeld mit verschiedenen Interessen handelt. Ihr Framework führen sie an Daten eines autonomen Katamarans vor, welches auf dem Wasser schwimmt. Für Unterwasserfahrzeuge kommt eine weitere Dimension (Wassertiefe) hinzu und die Positionierung des Roboters ist unter Wasser nur durch weitere technische Lösungen möglich.

7. Erfolgte Veröffentlichungen

Poster, ICYMARE 2023 – Internation Conference for Young Marine Researchers

Markfort, G., Björner, M., Wagner, R., "Contextualising marine measurements by linking various data sources. Poster. 2023

Konferenzjournal und Vortrag, OCEANS 2024 Halifax

Markfort, G., Schröder, H., and Zielinski, O., "Digitalization and Augmentation of ROV Operations"
OCEANS 2024 - Halifax, Halifax, NS, Canada, 2024, pp. 1-5,
doi: 10.1109/OCEANS55160.2024.10754227.

Weitere Veröffentlichungen siehe Abschlussberichte der anderen Projektpartner.

III. Anlage

- Erfolgskontrollbericht