SCHLUSSBERICHT TEIL I: KURZBERICHT

Ilmenau, 25. März 2025

Förderkennzeichen:	03ZU1107GA
Vorhabenbezeichnung:	Ocean Technology Campus (OTC) Rostock Entwicklung eines autonomen in-situ Sensorsystem zum Monitoring von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen (OTC-Motion_Probe) -A
Laufzeit des Vorhabens:	01.10.2021 – 30.09.2024
Berichtszeitraum:	01.10.2021 – 30.09.2024

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung, Anknüpfen an wissenschaftlichen und technischen Stand

Im Projekt wurde ein in-situ Sensorsystem zum Monitoring von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen oder Strömungen realisiert und bis zu einem prototypischen Aufbau umgesetzt. Diese Sensoreinheit ist modular aufgebaut und kompatibel zu anderen OTC-Zukunftsclusterprojekten (z.B. OTC-BASE). Sie ist sowohl als eigenständiger Sensor als auch als Ergänzung zu bestehenden technischen Systemen oder als Sensor, der an Untersuchungsobjekten angebracht wird, ausgelegt.

Ziele der beteiligten Fraunhofer Institute

Fraunhofer IOSB-AST

Ziel des Projektes war eine Sensoreinheit für Druck- und Temperaturmessung mit minimalem Platz und Energieanforderungen. So sollte eine Langzeiterprobung und -messung im Fraunhofer-Zentrum Smart Ocean Technologies am Standort Rostock ermöglicht werden.

Fraunhofer IOSB

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines kostengünstigen und kleinen Sensors zur Bewegungsdetektion eines Objektes oder einer meerestechnischen Konstruktion infolge von Seegangsbelastungen. Hierfür sollten Algorithmen zur Bewegungsschätzung mit kostengünstigen und energieeffizienten Sensoren entwickelt werden.

Fraunhofer IKTS

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Hardwareplattform für die Erfassung von Zustandsdaten im Meer.

Fraunhofer IGD

Die Aufgabenstellung für das Fraunhofer IGD im Rahmen des vorliegenden Projekts bestand in der Planung und Durchführung der Tests des Sensorsystems in einer realen Unterwasser-Testumgebung.

2. Ablauf des Vorhabens

Fraunhofer IOSB-AST

Ein wesentlicher Teil der Projektarbeit floss in die Projektleitung, insbesondere in die Partnerkoordination, die Durchführung von Meetings und den Aufbau eines Kommunikationskanals. In zwei Workshops wurde ein System-Footprint für die motionProbe erstellt, der die Projektziele und Anforderungen klar definierte. Kundeninterviews lieferten wertvolles Feedback zu den Anwendungsfällen. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden zwei Arbeitsgruppen (AG Hardware und AG Software) ins Leben gerufen, um Komponenten auszuwählen und das Systemdesign zu entwickeln. Zudem wurde am IOSB-AST eine Sensorkomponente zur Druck- und Temperaturmessung entwickelt. Hierfür wurde eine Trägerplatine und benötigte Hardware konzipiert und aufgebaut. Zudem wurde bei der Gehäuseauslegung des Gesamtsystems unterstützt. Außerdem wurde ein Treiber für den Drucksensor implementiert, der Tauchtiefe und Wassertemperatur mit hoher Genauigkeit erfasst.

Fraunhofer IOSB

Die Arbeiten des Fraunhofer IOSB konzentrierten sich auf die Entwicklung modularer Algorithmen zur Lage- und Bewegungsschätzung. Im Laufe des Projekts wurde ein geeigneter kostengünstiger Basissensor beschafft, welcher sich durch eine geringe Stromaufnahme auszeichnet. Es wurde ein modularer Fusionsalgorithmus entwickelt, welcher die 3D-Lage inkl. Gierwinkel, als auch die Höhe stabil schätzen kann. Auch eine schnelle Konvergenz des Algorithmus konnte erzielt werden, sodass er auch für die periodisch kurzeitig durchgeführten Messreihen geeignet ist.

Fraunhofer IKTS

Die Arbeiten des IKTS beinhalteten im Wesentlichen die Entwicklung einer Hardware-Plattform für die autonome Erfassung von Zustandsdaten. Der erste Schritt war die Erstellung eines Lastenhefts in enger Abstimmung mit den anderen Projektpartnern. Die Auslegung erfolgte mit einem Fokus auf die autonome Erfassung, die einfache Handhabung und des Formfaktors, um einen kleinen Gesamtsensor zu ermöglichen. Den Abschluss bildeten die finalen Messungen im DOL.

Fraunhofer IGD

Die finalen Unterwassertests wurden in zwei Phasen durchgeführt. Eine erste grundlegende an einer Steganlage in der Warnow mit unproblematischem Zugang und eine finale im Offshore-Testfeld Digital Ocean Lab.

3. Wesentliche Ergebnisse und ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Fraunhofer IOSB-AST

Das modulare Gesamtsystem mit der Möglichkeit zur Erweiterung mit anderen Sensoren wurde in Kooperation mit allen Partnern und Anwendern entwickelt. Die Erfahrungen des IOSB-AST bei der Auslegung von Unterwassertechnik flossen in das Projekt ein. In enger Abstimmung mit dem IKTS wurde die Platine für den Sensor entwickelt und die dazugehörige Software von allen Projektpartnern implementiert.

Fraunhofer IOSB

Der entwickelte modulare Fusionsalgorithmus zur Lage- und Bewegungsschätzung ist das wesentliche Ergebnis des Fraunhofer IOSB.

Die Anbindung an den Mikrokontroller und die Einbindung in das Datenverarbeitungsframework erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem IKTS.

Fraunhofer IKTS

Es wurde eine Sensorplattform entwickelt. Diese bietet die Möglichkeit, mit leichten Anpassungen eine Vielzahl von Sensoren anzuschließen, die Zustandsgrößen über die Bewegungsdaten hinaus ermöglichen. Das ist insbesondere für Umweltuntersuchungen von großer Bedeutung.

Fraunhofer IGD

Sowohl die Planung der Versuche, die Bereitstellung der Testinfrastruktur als auch die Durchführung der Tests konnten fristgerecht erfolgen.

SCHLUSSBERICHT TEIL II:

EINGEHENDE DARSTELLUNG

Ilmenau, 25. März 2025

Förderkennzeichen:	03ZU1107GA
Vorhabenbezeichnung:	Ocean Technology Campus (OTC) Rostock Entwicklung eines autonomen in-situ Sensorsystem zum Monitoring von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen (OTC-Motion_Probe) -A
Laufzeit des Vorhabens:	01.10.2021 – 30.09.2024
Berichtszeitraum:	01.10.2021 – 30.09.2024

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

1. Im Rahmen des Vorhabens durchgeführte Arbeiten (Überblick)

Im Rahmen des Projekts wurde ein in-situ Sensorsystem entwickelt, das zur Überwachung von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen oder Strömungen dient und bis zu einem prototypischen Aufbau realisiert wurde. Diese modulare Sensoreinheit ist kompatibel mit anderen Projekten des OTC-Zukunftsclusters, wie beispielsweise OTC-BASE. Es kann sowohl als eigenständiger Sensor als auch als Ergänzung zu bestehenden technischen Systemen, sowie montiert an Untersuchungsobjekten, eingesetzt werden. Zudem kann man das Akkusystem ohne Unterwasser Konnektor aufladen und Messwerte heruntergeladen werden.

Zur Erstellung eines System-Footprints der motionProbe, der die Projektziele und Anforderungen präzise definiert, fanden zwei Workshops statt. Darüber hinaus wurden Kundeninterviews durchgeführt, um wertvolles Feedback zu verschiedenen Anwendungsfällen zu sammeln.

Im Verlauf des Projekts entstanden ein Poster sowie ein Konferenzbeitrag für die Oceans 2024 in Singapore.

2. Detailliertere Darstellung der Ergebnisse

2.1. Fraunhofer IOSB-AST

AP1:

Ein großer Anteil der geleisteten Arbeiten floss in die Projektleitung des Vorhabens. Dazu gehörte die Koordination der Projektpartner, das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten von Meetings, die Schaffung eines Kommunikationskanals inklusive einer zentralen Datenablage und die Kommunikation mit den Innovationsfeldern innerhalb des OTC-Clusters.

Es wurden nach Projektstart zwei Workshops durchgeführt, um einen System-Footprint der motionProbe zu erstellen. Dieses erweiterte Anforderungsprofil erlaubte eine klare Formulierung der Projektziele, der notwendigen Hardware- und Softwarekomponenten und der adressierten Anwendungsfälle inkl. potenzieller Kunden. Hinsichtlich der Anwendungsfälle für den Sensor wurden parallel mehrere Kundeninterviews mit Vertretern aus unterschiedlichen Bereichen (Meeresforschung, UXO, etc.) durchgeführt und deren Feedback eingeholt, die im Konsortium diskutiert wurden und in den finalen Footprint (siehe Abbildung 1) einflossen.

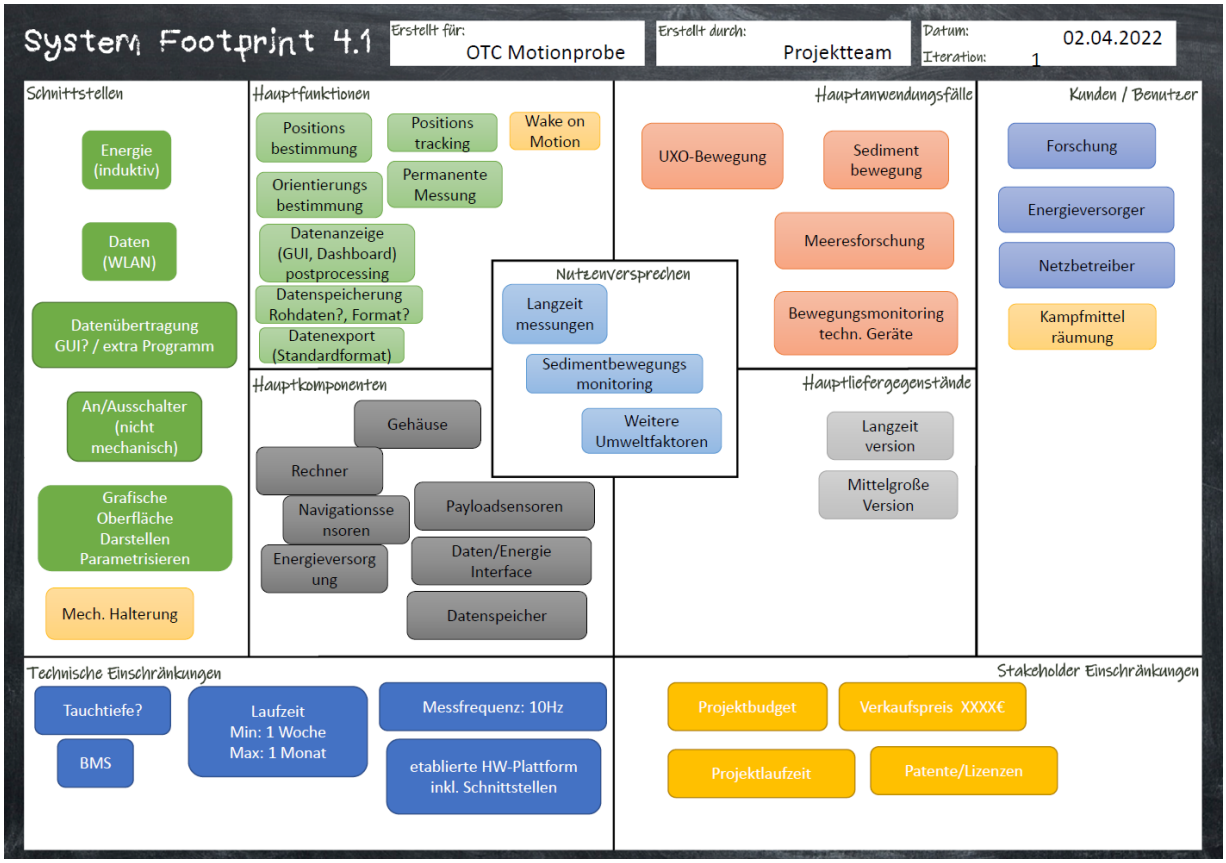


Abbildung 1: System Footprint OTC-motionProbe

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden zwei Arbeitsgruppen gegründet (Hardware und Software), um die Teilaspekte möglichst effizient bearbeiten zu können.

AP2:

Im Rahmen der AG Hardware fanden zahlreiche Meetings statt, in denen intensiv an verschiedenen zentralen Themen gearbeitet wurde. Diese umfassten die Auswahl geeigneter Komponenten wie Sensoren, Recheneinheiten und Energieversorgungen, das Systemdesign sowie die detaillierte Auslegung des Sensorgehäuses. Die in diesen Meetings erarbeiteten Ergebnisse wurden von den einzelnen Projektpartnern erfolgreich umgesetzt.

Das IOSB-AST wählte sorgfältig einen passenden Drucksensor (Abbildung 2) aus und entwarf eine Platine, die sowohl die Stromversorgung als auch die Kommunikation mit der Plattform zuverlässig sicherstellt. Zusätzlich wurde ein Entwicklerboard für die Zielarchitektur (STM32) beschafft, um die Implementierung wirkungsvoll zu unterstützen.

Abbildung 2: Drucksensor

Darüber hinaus bot das IOSB-AST den Projektpartnern wertvolle Hilfe bei der Gestaltung des Sensorgehäuses und dem Einbau der unterschiedlichen Komponenten, um eine reibungslose Integration zu gewährleisten. Die Planung des Vergusses des Drucksensors erfolgte in enger Kooperation mit dem Projektpartner, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

AP3:

In der AG Software fanden mehrere Meetings statt, in denen die Softwarestruktur des Systems für das STM32-Embedded-System ausführlich erörtert und beschlossen wurde. Alle Projektpartner passten ihre entwickelten Softwarekomponenten entsprechend an diese Plattform an.

Das IOSB-AST implementierte einen Treiber für den ausgewählten Sensor, der das Auslesen des Umgebungsdrucks sowie der Wassertemperatur mit hoher Genauigkeit ermöglicht. Dieser Treiber, der die zyklische Erfassung dieser Werte unterstützt, wurde in einem separaten Software-Branch in das vom Fraunhofer IKTS erstellte Softwarerepository integriert.

AP4:

Das IOSB-AST übernahm die Planung und Koordination der unterschiedlichen Tests. Dadurch konnten sowohl Tests an der Steganlage des SOT als auch ein ausgedehnter Offshore-Test im DOL erfolgreich durchgeführt werden. Anschließend wurden die erfassten Messwerte in das Anzeigeprogramm eingespielt.

2.2. Fraunhofer IOSB

AP1:

Gemeinsam mit den Partnern wurde ein System-Konzept erarbeitet und die notwendigen einzelnen Soft- und Hardwarekomponenten konzeptioniert. Darauf aufbauend wurde eine eingehende Analyse für die Auswahl eines geeigneten Sensorsetups für die Bewegungserfassung durchgeführt.

Als Basissensor dient eine inertiale Messeinheit (engl. inertial measurment unit – IMU). Aus den Daten der in der IMU verbauten 3D-Beschleunigungsmesser und 3D-Drehratensensoren wird mittels eines Strapdown-Algorithmus die Lage (Roll- und Nickwinkel) geschätzt, dies entspricht einer VRU (engl. vertical reference unit) bzw. MRU (engl. motion reference unit); vgl. (Abbildung 3). Die Stützung erfolgt hier anhand der Beschleunigungssensoren gegenüber der Gravitation, weshalb der Gierwinkel nicht gestützt werden kann. Durch Hinzunahme der 3D-Magnetometer kann zusätzlich der Gierwinkel gestützt werden, d. h., zusätzlich zur Lage kann die Nordrichtung (magnetisch Nord) bestimmt werden – dies entspricht einem AHRS (engl. attitude and heading reference system). Stehen noch weitere Sensoren, wie GNSS (Globales Navigationssatellitensystem) oder DVL (Doppler Velocity Logger), zur Stützung zur Verfügung, spricht man von einem inertialen Navigationssystem (INS) und es wird eine Positionsschätzung möglich. Als einzig möglicher Zusatzsensor ist in motionProbe ein Drucksensor möglich. Dieser erlaubt lediglich die Stützung der Höhe. Die anderen Raumrichtungen der Position sind somit nicht driftfrei schätzbar. Theoretisch ist zwar eine kontinuierliche Positionsschätzung aller drei Raumrichtungen möglich (Koppelnavigation), diese ist jedoch in den zwei verbleibenden Freiheitsgraden einer sehr starken Drift unterworfen, weil diese lediglich durch die doppelte Integration der Beschleunigungssensoren geschätzt werden können.

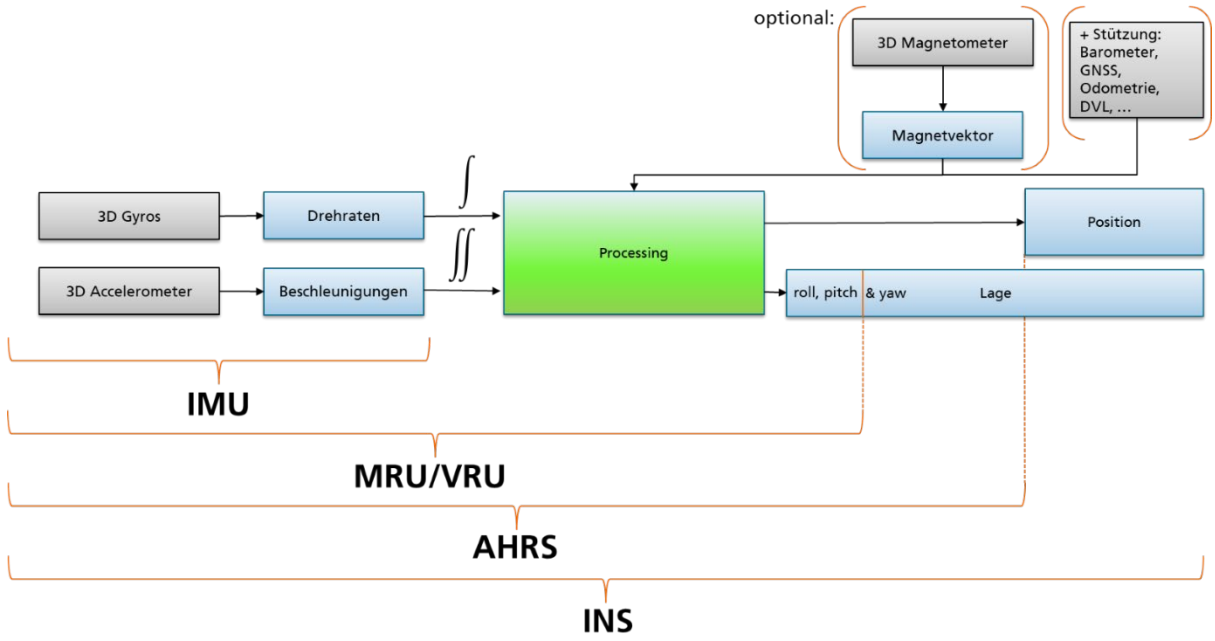


Abbildung 3: Schema der Positions- und Lageschätzung

AP2:

Nach einer Marktrecherche wurde eine passende IMU für die Bewegungserfassung beschafft und in Betrieb genommen. Bei der beschafften IMU handelt es sich um eine industrial-grade IMU Xsens Mti-3 (Abbildung 4), welche über 3D-Magnetometer verfügt und sich darüber hinaus durch eine geringe Stromaufnahme auszeichnet.

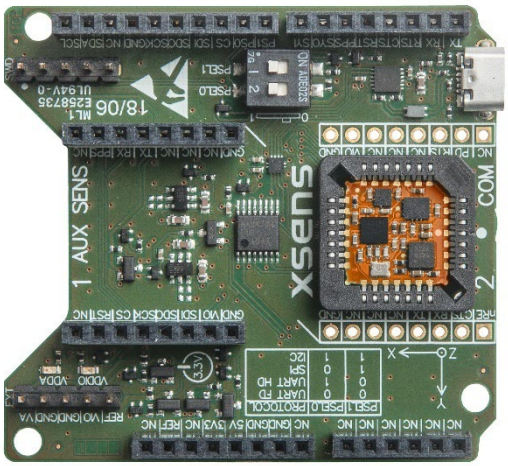


Abbildung 4: IMU Xsens Mti-3.

Die entwickelte modulare Bewegungsschätzung basiert auf Integralen der Drehraten und Beschleunigungen in einem sogenannten Strapdown-Algorithmus und der Fusion mit der absolut messenden Stützsensorik mittels erweitertem Kalman-Filter (EKF); dies entspricht einem INS. Bei den Stützsensoren handelt es sich um die 3D-Magnetometer und einen Drucksensor. Wie bereits im

vorherigen Abschnitt angesprochen, ist theoretisch eine kontinuierliche Positionsschätzung in allen 3 Positionsfreiheitsgraden durch Koppelnavigation möglich. Jedoch können bei motionProbe aus Energiespargründen nur periodisch kurzeitig Messdaten aufgenommen werden und es kann keine kontinuierliche Integration der Messwerte stattfinden. Somit ist keine Schätzung der 3D-Position möglich, d. h., es kann neben der Kurzzeitdynamik und Ausrichtung lediglich die Höhe geschätzt werden. Die Kurzeitdynamik beinhaltet dabei die Drehraten, linearen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Bei Letzteren wird anhand der geschätzten Lage die Erdbeschleunigung approximativ kompensiert, sodass die Schätzung der durch Bewegung indizierten Beschleunigungen ausgegeben wird. Bei der Integration der Magnetometer ist zu beachten, dass diese sehr empfindlich gegenüber externen Störungen sind. Während statische Störungen durch nahe ferromagnetische Bauteile kalibriert werden könnten, sind veränderliche Magnetfelder durch z. B. in der Nähe befindliche Batterien oder Leitungen mit hohen Strömen nicht kompensierbar.

AP3:

Die Integration in die Platine mit dem integrierten Mikrocontroller (STM32-Plattform) erfolgt über den dafür vorgesehenen Steckplatz, siehe Abbildung 5. Die Anbindung an den Mikrokontroller erfolgt über die I²C-Schnittselle und die Einbindung des Xsens-SDK in das Datenverarbeitungsframework des IKTS mit Unterstützung des IKTS.

AP4:

Anhand von Labortests wurden die entwickelten Schätzalgorithmen evaluiert. Da für die Labortests lediglich die Platine (Abbildung 4) zur Verfügung stand, wurden keine Unterwassertests durchgeführt. Für die Stützung der Höhe wurden deshalb die Höhe aus GNSS und simulierter, d. h. ein mit additivem Rauschen versehener konstanter Druck-Messwert herangezogen. Damit konnten erfolgreich Tests durchgeführt werden, die gezeigt haben, dass der entwickelte Algorithmus sowohl die 3D-Lage inkl. Gierwinkel, als auch die Höhe stabil schätzen kann. Auch eine schnelle Konvergenz der Schätzung konnte ermittelt werden, sodass der Algorithmus auch für die periodisch kurzeitig durchgeführten Messreihen geeignet ist.

2.3. Fraunhofer IKTS

AP 1: Konzeption (0,5 PM)

Im Rahmen von AP 1 wurden gemeinsam mit den Partnern die elektrischen Schnittstellen (in Anlehnung an OTCBase) definiert und ein Energiemanagement-Konzept (ereignisgesteuerte Abtastrate) entwickelt. Ziel war es dabei, die Kompatibilität zwischen den einzeln zu entwickelnden Komponenten herzustellen und die Konzepte für gemeinsame Softwarekomponenten abzustimmen.

AP2: Umsetzung (5 PM)

Hier handelt es sich um das Hauptarbeitspaket des IKTS. Im Fokus standen Auswahl und Beschaffung der Sensoren, der Aufbau der Elektronik und die Softwareentwicklung für die Ereignisgesteuerte Messung (Firmware). Darauf soll nun im Einzelnen eingegangen werden.

Auswahl und Beschaffung der Sensoren

Für den Betrieb der entwickelten Software waren insbesondere Beschleunigungs- und Temperaturmesstechnik von besonderer Bedeutung. Beschafft wurde die entsprechende Hardware. Die Auswahl erfolgte nachfolgenden Kriterien:

1. Energieeffizienz
2. Leistungsspektrum
3. Preis

Aufbau der Elektronik und Softwareentwicklung

Der in AP1 definierte Anforderungskatalog wurde in diesem AP umgesetzt. Die Bestandteile sind in Abbildung 5 zu sehen.

1. Datenverarbeitung: Die Datenverarbeitung erfolgt auf einem integrierten Mikrocontroller (STM32-Plattform), der das Herzstück der Platine darstellt.
2. Energieversorgung: Für die Energieversorgung der Sensorik wurde ein Akkuanschluss mit 6V auf Basis von LiFePo-Zellen realisiert, zusätzlich erfolgt eine unabhängige Energieversorgung direkt über eine 3V-Zelle für den Mikrocontroller, um die Wandlungsverluste zu minimieren und einen langen Standbybetrieb zu ermöglichen
3. Das Laden der Akkumulatoren erfolgt über eine kontaktlose, induktive Ladeschaltung, die speziell für diese Anwendung entwickelt wurde.
4. Datenkommunikation: Für die Datenkommunikation wurde eine PCB-Antenne integriert, die beidseitig freie Bereiche erfordert. Die allgemeine Datenkommunikation erfolgt über ein WiFi-Modul.
5. Ortungshartware: Um die Lage des Sensors im Raum genau zu spezifizieren, wurden Anschlüsse für ein 3D-Magnetometer, ein 3D-Gyroskop und 3D-Beschleunigungsaufnehmer integriert. Ergänzend ist auch der Anschluss Sensor-Mikromodule (z.B. XSense) möglich.
6. Speichermedien: Die Daten werden auf einer SD-Karte zwischengespeichert, bevor eine externe Übertragung erfolgt.
7. Weitere Schnittstellen: Für den Anschluss weiterer Sensorik (z.B. Drucksensoren, Temperatursensoren) wurden verschiedene Schnittstellen (I2C, UART, SPI, CAN, IOs) integriert.
8. Zur externen Aktivierung des Systems ist ein HALL-Sensor am Platinenrand verbaut. Nach Aktivierung wird der aktuelle Zustand für den Nutzer über eine LED signalisiert.

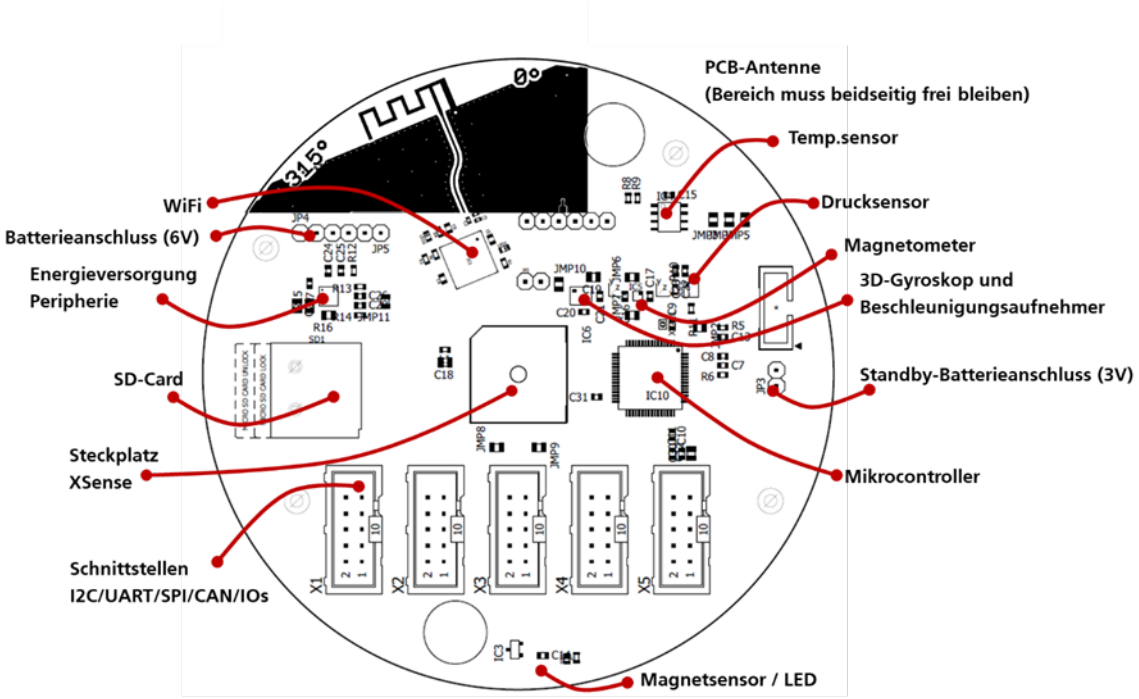


Abbildung 5: Entwickelte Platine mit ihren Einzelkomponenten

Abbildung 6 zeigt dafür erläuternd die Schnittstellendefinition. Die Schnittstellen (X1 bis X5) enthalten jeweils Anschlüsse für die Energieversorgung. Die Schnittstellen sind je nach Hardware frei konfigurierbar.

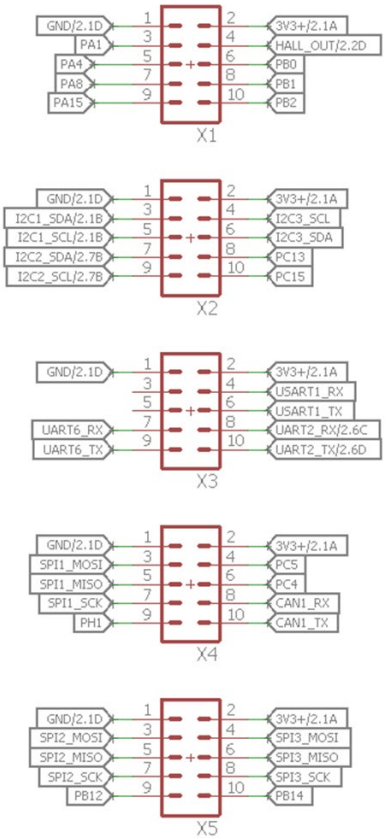


Abbildung 6: Schnittstellendefinition

In Abbildung 7 ist der Aufbau des Energiemoduls dargestellt. Diesem kommt durch den angestrebten energiearmen Betrieb eine besondere Bedeutung zu. Die kontaktlose Energieübertragung erfolgt elektromagnetisch mittels zweier Spulen, wobei eine am Sensor und eine an der Ausleseeinheit integriert ist. Es gibt ein Lade- und ein Steuermodul, die den Batteriepack ansteuern und laden. Es besteht die Möglichkeit durch Erweiterungsmodule das System für weitere zukünftige Anwendungsfälle zu modifizieren.

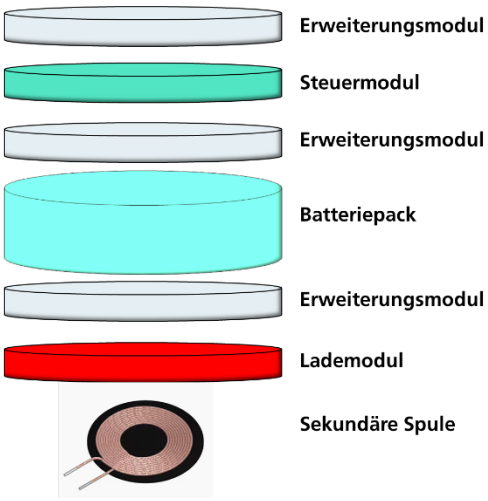


Abbildung 7: Aufbau des Energiemoduls

Für die Batteriepacks war neben der Leistung insbesondere die Größe von besonderer Bedeutung. In Abbildung 8 sind die beiden verwendeten Akkumulatoren dargestellt. Der 3.2V Akku dient als Standbypuffer für den Mikrocontroller, während der größere Akkumulator die Energie für die gesamte Sensorik bereitstellt.

70mm x 35mm

80mm x 66mm

Abbildung 8: Batterielösungen mit verschiedenen Formfaktoren

Die fertigen Module sind in Abbildung 9 zu sehen. Sie beinhalten alle Komponenten, wie sie in Abbildung 5 zu sehen sind. Insgesamt wurden je 10 Steuer- und Lademodule gefertigt. Der Durchmesser der Platine beträgt 100mm

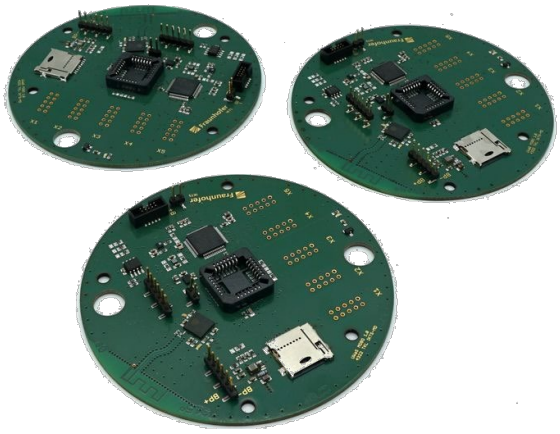


Abbildung 9: Betriebsbereite Module

Um einen reibungslosen Betrieb im Feld zu gewährleisten, muss die Firmware auf die Gegebenheiten entsprechend abgestimmt werden. Ein Schema dazu findet sich in Abbildung 10.

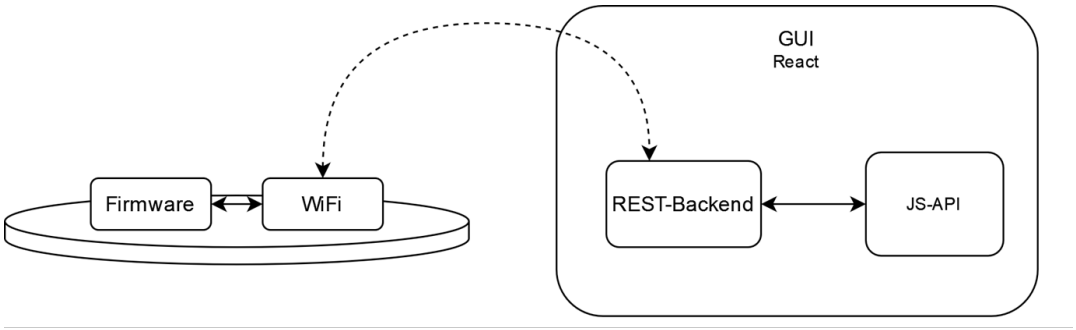


Abbildung 10: Aufbau der Firmware

Abbildung 11 beschreibt den Ablauf einer Datenverarbeitung. Die Projektbeschreibung / Datenbasis wurde in JSON gespeichert und mit einer Template-Engine (Jinja) ausgeführt. Als Ergebnis erhielt man eine Grundfirmware und einen Fallback-Handler. Diese wurde mit um die eigene Implementation ergänzt und geflasht. Die Entwicklung fokussierte sich dabei insbesondere auf 2 Bereiche, das Beschreiben eines Moduls in der Datenbasis und die Implementierung der Handler.

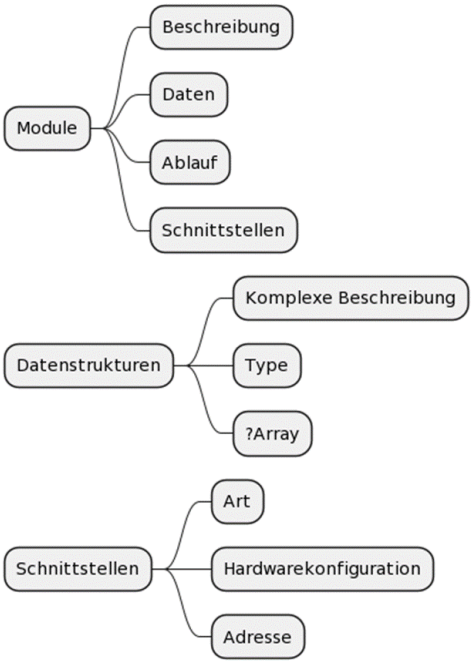


Abbildung 11: Workflow-Schema

Wie in Abbildung 12 gezeigt, wurden die Daten nach jedem Messdurchlauf auf SD-Karte geschrieben. Die Settings werden dabei von der SD-Karte gelesen und verarbeitet. Per API konnten alle 3 Strukturen gelesen und geschrieben werden.

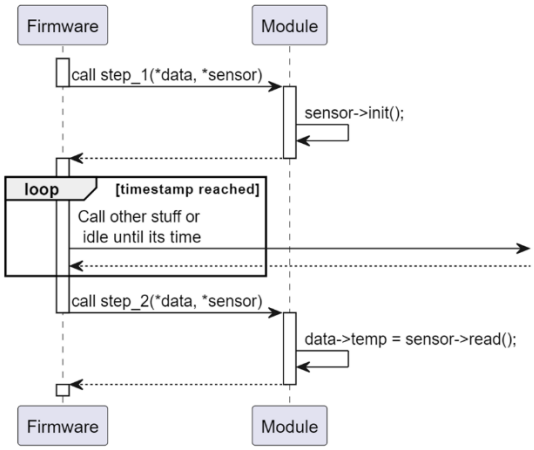


Abbildung 12: Ablaufschema

AP3: Integration (0,25 PM)

Die Integration erfolgte durch ALTOW. Das IKTS stand hier beratend zur Seite.

AP 4: Labor- und Seeversuche (0,25 PM)

Das IKTS führte erste Tests im Labor durch und unterstützte koordiniert vom IOSB-AST und projektiert vom IGD Onshore- und Offshore-Versuche an der Steganlage und im DOL.

2.4. Fraunhofer IGD

AP4: Seeversuche

Das Fraunhofer IGD war in dem Projekt für die Planung und Durchführung der praktischen Tests verantwortlich. Die geplanten Versuche im Wasser wurden in zwei Phasen unterteilt. Ein erster Test der Sensoreinheit erfolgte an der Steganlage der Fraunhofer Arbeitsgruppe Smart Ocean Technologies (Abbildung 13). Diese liegt in der Warnow in Rostock. Das Ziel hierbei war, die grundlegenden Funktionen zu testen und eventuelle Schwachstellen zu identifizieren. Dabei sollte der logistische Aufwand so gering wie möglich gehalten werden, um auftretende Probleme schnell und auf kurzem Weg lösen zu können.

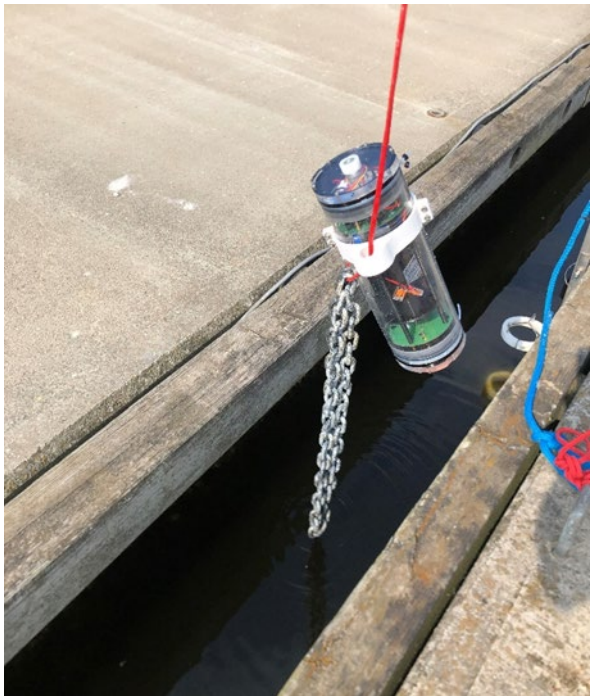


Abbildung 13: Sensor vor der Ausbringung an der Steganlage in der Warnow

Am Ender dieser Testphase wurden die aufgezeichneten Sensordaten überprüft und die Sensoreinheit für die finale Testphase im Bereich des Digital Ocean Lab vorbereitet. Für die zweite Testphase wurde eine geeignete Verankerung für die Sensoreinheit zusammengestellt, um den Sensor am Meeresboden absetzen zu können. Der Sensor selbst schwimmt an einer Ankerleine auf und befindet sich im ausgebrachten Zustand etwa zwei Meter über dem Meeresboden.

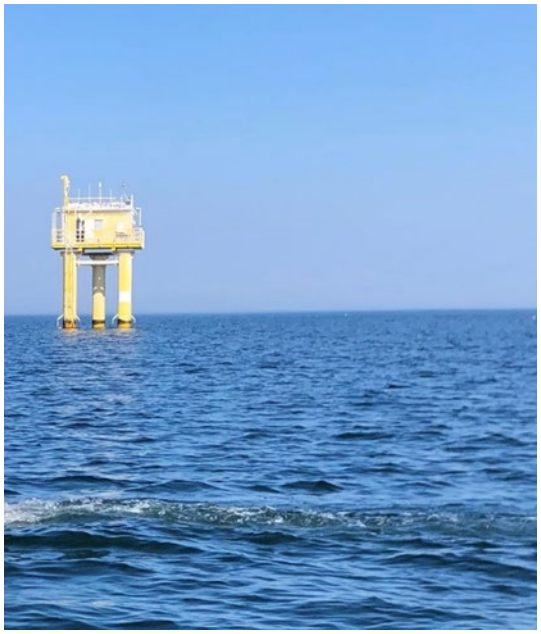


Abbildung 14: Plattform im Digital Ocean Lab

Die Sensoreinheit wurde zusammen mit ihrer Verankerung von der Forschungsplattform (Abbildung 14) im Digital Ocean Lab aus ins Wasser gelassen. Dort hat sie ein Taucher übernommen und in weniger Meter entfernt von der Plattform an einer sicheren Stelle abgesetzt. Die Leiner an der Verankerung war so lang gewählt worden, dass das lose Ende an der Plattform befestigt werden konnte. Dadurch war für die spätere Bergung des Sensors kein weiterer Tauchereinsatz nötig. Am Ende der Testphase konnte die Sensoreinheit mit ihrer Verankerung erfolgreich wieder geborgen werden (Abbildung 15). Insgesamt verblieb der Sensor etwa vier Wochen an der Position und damit etwas länger als geplant, da die Wetterbedingungen eine Bergung zu einem früheren Zeitpunkt nicht zuließen.

Abbildung 15: Motionprobe nach 4 Wochen im DOL

3. Ergänzende Informationen

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

3.1.1. Fraunhofer IOSB-AST

Die Mittel wurden entsprechend der beantragten Mittel ausgegeben. Der wesentliche Anteil an den Kosten wurde für Personalkosten verwendet, um die Arbeiten fachgerecht und qualifiziert durchführen zu können.

3.1.2. Fraunhofer IOSB

Im Rahmen des Projektvorhabens wurden für das Fraunhofer IOSB die geplanten Hardwarekosten, Reisekosten für die Integrationstreffen sowie Personalkosten abgerechnet. Es entstanden keine weiteren Belastungen.

3.1.3. Fraunhofer IKTS

Die Mittel wurden entsprechend der beantragten Mittel ausgegeben. Der wesentliche Anteil an den Kosten wurde für Personalkosten verwendet, um die Arbeiten fachgerecht und qualifiziert durchführen zu können.

3.1.4. Fraunhofer IGD

Neben den gebuchten Personalkosten wurden Sachmittel zur Beschaffung nötiger Ausrüstung und Verbrauchmaterial eingesetzt. Hierzu zählen u. a. Leinen, Anker, Auftriebs- und Anschlagmittel. Reisekosten entstanden nur in Form der Ausfahrten in das Digital Ocean Lab an Bord gecharterter Schiffe.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

4.1.1. Fraunhofer IOSB-AST

Für die Zielerreichung in diesem Projekt war die Förderung für die Durchführung der Arbeiten unbedingt erforderlich. Ohne diese hätten die hohen Risiken durch die Projektpartner getragen werden müssen, was nicht möglich gewesen wäre. Die Angemessenheit rechtfertigt sich durch den erfolgreichen Abschluss des Projektes.

4.1.2. Fraunhofer IOSB

Für die Zielerreichung in diesem Projekt war die Förderung für die Durchführung der Arbeiten unbedingt erforderlich. Ohne diese hätten die hohen Risiken durch die Projektpartner getragen werden müssen, was nicht möglich gewesen wäre. Die Angemessenheit rechtfertigt sich durch den erfolgreichen Abschluss des Projektes.

4.1.3. Fraunhofer IKTS

Für die Zielerreichung in diesem Projekt war die Förderung für die Durchführung der Arbeiten unbedingt erforderlich. Ohne diese hätten die hohen Risiken durch die Projektpartner getragen werden müssen, was nicht möglich gewesen wäre. Die Angemessenheit rechtfertigt sich durch den erfolgreichen Abschluss des Projektes.

4.1.4. Fraunhofer IGD

Mit dem Digital Ocean Lab betreibt das Fraunhofer IGD eine ideale Testeinrichtung, um die dem Projekt zugrundliegende Fragestellung zu beantworten. Dazu kommen Erfahrung in der Planung und Durchführung von Tests und Experimenten der komplexen Offshore-Umgebung. Die Infrastruktur am Standort mit ihrer Steganlage an der Warnow ermöglicht weiterhin grundlegende Tests im Wasser mit geringem logistischem Aufwand.

5. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

5.1.1. Fraunhofer IOSB-AST

Nach Projektabschluss gibt es verschiedene Möglichkeiten der Weiterentwicklung. So kann die motionProbe hinsichtlich Sensorgenauigkeit und/oder Verkleinerung weiterentwickelt werden. Es wurde so konzipiert, dass zusätzliche oder anderer Sensoren intergiert werden können, um weitere Anwendungsmöglichkeiten zu erschließen. Auch bei der Erforschung des Bewegungsverhaltens von Altmunition können mit einem solchen kostengünstigen und kleinen Sensor neue Erkenntnisse gewonnen werden, wenn Probekörper im Digital Ocean Lab ausgebracht werden und ihr Bewegungsprofil erstellt, werden kann. Auch die kommerzielle Nutzung ist denkbar, wenn der Sensor eine entsprechende Marktreife erreicht hat. Potenzielle Anwender sind Betreiber von Unterwasserpipelines, Offshore-Gründungsstrukturen oder Fischer.

Eine branchenübergreifende Nutzung ist möglich z.B. durch den Einsatz in Aquakulturen, in großen Flüssigkeitstanks, was einen außerordentlichen Fortschritt in den Innovationsfeldern Subsea Mobility & Autonomy, Sustainable Ocean Use und Digital Mission darstellt. Dafür können Kooperationen mit anderen Lehr- oder Forschungseinrichtungen (wie oben schon erwähnt im Fraunhofer MiniLab) eingegangen werden, die so auch den Ausbau des OTC vorantreiben.

5.1.2. Fraunhofer IOSB

Das erworbene Wissen zur Bewegungsschätzung und die Implementierung der modularen Algorithmen zur Lage- und Bewegungsschätzung fließt in die Algorithmen-Toolbox für mobile Roboter ein und kann in fortführenden Projekten und Anwendungen genutzt werden. So kann die Technologie nicht nur der maritimen Industrie zur Verfügung gestellt werden, sondern allgemein für Anwendungen, die eine Lage- oder Positionsschätzung erfordern. Insbesondere können neue Anwendungsfelder erschlossen werden, in denen besondere Restriktionen bezüglich der möglichen Sensorik und deren Energieverbrauch gegeben sind.

5.1.3. Fraunhofer IKTS

Für das Fraunhofer IKTS ist das erarbeitete Wissen u. a. in die im Rahmen der DGZfP durchgeführten Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen eingeflossen. Hier seien beispielsweise regelmäßig durchgeführte Lehrgänge zum BC-Kurs für Level 2 Prüfer genannt. Das IKTS hat zudem im Bereich der Forschung und Entwicklung die Offshore-Expertise mit diesem Projekt weiter ausbauen können, was bereits derzeit einen völlig neuen Arbeitsbereich eröffnet. Das IKTS ist mit einer Außenstelle in Rostock vertreten im

Rahmen des Smart Ocean Technology Centers, einem Zusammenschluss von vier Fraunhofer-Instituten. Dem IKTS wird es weiterhin durch dieses Projekt ermöglicht, derartige Anfragen aus der Industrie zu bearbeiten, die sich z. B. auch auf die Überwachung von Rohren an Land beziehen. Mit dem in diesem Projekt erworbenen Wissen können gezielt entsprechende Messsysteme konzipiert werden, die den Übergang von einer periodischen Inspektion zu einer zustandsabhängigen Überwachung ermöglichen. Ziel des IKTS ist die Bündelung von Kompetenzen durch den Auf- und Ausbau von entsprechenden Technologie-Infrastrukturen. Im Bereich der anwendungsnahen Industrieforschung sollen hierbei durch die enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern auch zukünftig Impulse gesetzt werden, z. B. durch die Einwerbung weiterer Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Durch die Durchführung und durch den erfolgreichen Abschluss dieses Projektes wird dem IKTS ein nicht unerheblicher Nutzen für die Bearbeitung von weiteren Industrie- und Förderprojekten entstehen.

5.1.4. Fraunhofer IGD

Ein Sensorsystem, wie in diesem Projekt entwickelt, stellt eine interessante Möglichkeit dar, die Arbeiten und Forschungsvorhaben im Digital Ocean Lab sinnvoll zu unterstützen. Insbesondere die Untersuchung von Wellenlasten an Offshore Strukturen, könnten von der Integration eines solchen Sensors in die Infrastruktur des Digital Ocean Labs profitieren.

6. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

6.1.1. Fraunhofer IOSB-AST

Im Rahmen des Projekts wurde keine Fortschritte von anderer Stelle bekannt, die eine Anpassung die Ziele des Projektes erforderten.

6.1.2. Fraunhofer IOSB

Im Rahmen des Projekts wurde keine Fortschritte von anderer Stelle bekannt, die eine Anpassung die Ziele des Projektes erforderten.

6.1.3. Fraunhofer IKTS

Im Rahmen des Projekts wurde keine Fortschritte von anderer Stelle bekannt, die eine Anpassung die Ziele des Projektes erforderten.

6.1.4. Fraunhofer IGD

Dem Fraunhofer IGD sind während der Projektlaufzeit keine Fortschritte bei anderen Stellen auf dem auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt geworden, die in irgendeiner Weise den Verlauf des Projekts beeinflusst hätten.

7. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF

Im Folgenden sind die Veröffentlichungen von Fraunhofer gelistet, die im Rahmen von OTC-Motionprobe entstanden sind:

1. *Poster zum 2. Clustermeeting des Ocean Technology Clusters in Rostock [Siehe Anhang]*
2. *Konferenz Paper: Oceans2024 Singapore "Concept of an autonomous in-situ sensor system for monitoring object movements caused by sea swells" Wenrich, Michael; Renkewitz, Helge; Kosleck, Sascha -> DOI: 10.1109/OCEANS51537.2024*

Im Projekt soll die Entwicklung eines in-situ Sensorsystem zum Monitoring von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen oder Strömungen realisiert und bis zu einem prototypischen Aufbau umgesetzt werden. Diese Sensoreinheit soll modular aufgebaut und kompatibel zu anderen OTC-Zukunftsclusterprojekten konzipiert werden. Sie soll sowohl als eigenständiger Sensor als auch als Ergänzung zu bestehenden technischen Systemen oder als Sensor, der an Untersuchungsobjekten angebracht wird, ausgelegt sein.

OCEAN TECHNOLOGY CAMPUS ROSTOCK

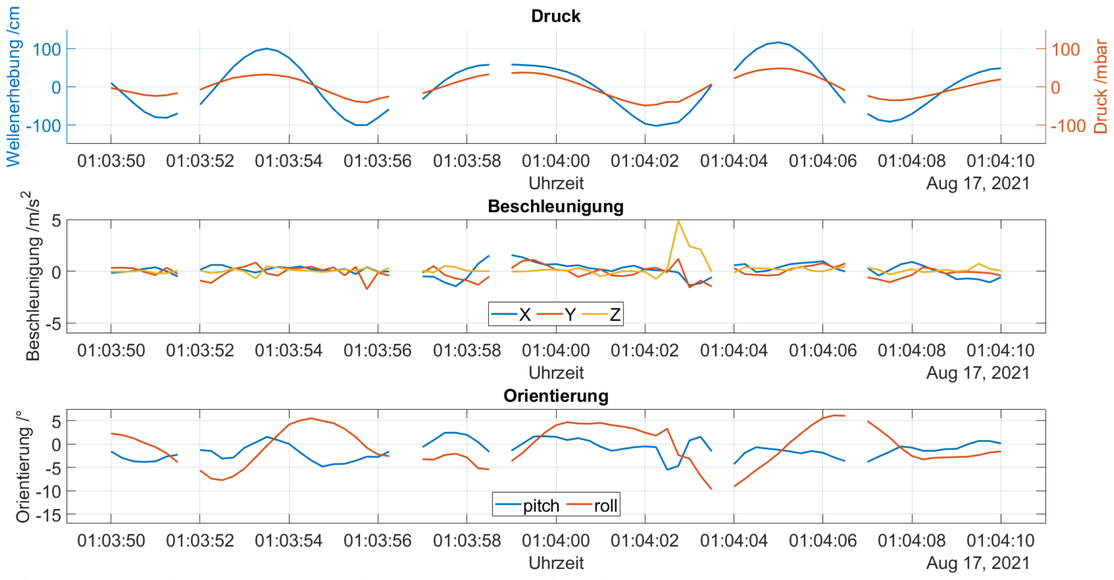
MotionProbe

autonomes in-situ Sensorsystem zum Monitoring von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen

Digital Mission

Überblick

Im Projekt soll die Entwicklung eines in-situ Sensorsystem zum Monitoring von Objektbewegungen durch Seegangsbelastungen oder Strömungen realisiert und bis zu einem prototypischen Aufbau umgesetzt werden. Diese Sensoreinheit soll modular aufgebaut und kompatibel zu anderen OTC-Zukunftsclusterprojekten konzipiert werden. Sie soll sowohl als eigenständiger Sensor als auch als Ergänzung zu bestehenden technischen Systemen oder als Sensor, der an Untersuchungsobjekten angebracht wird, ausgelegt sein.



Beispieldaten aus Vorstudien (Uni Rostock)

Anwendungsfälle

Folgende Anwendungsfälle sollen im Projekt adressiert warden:

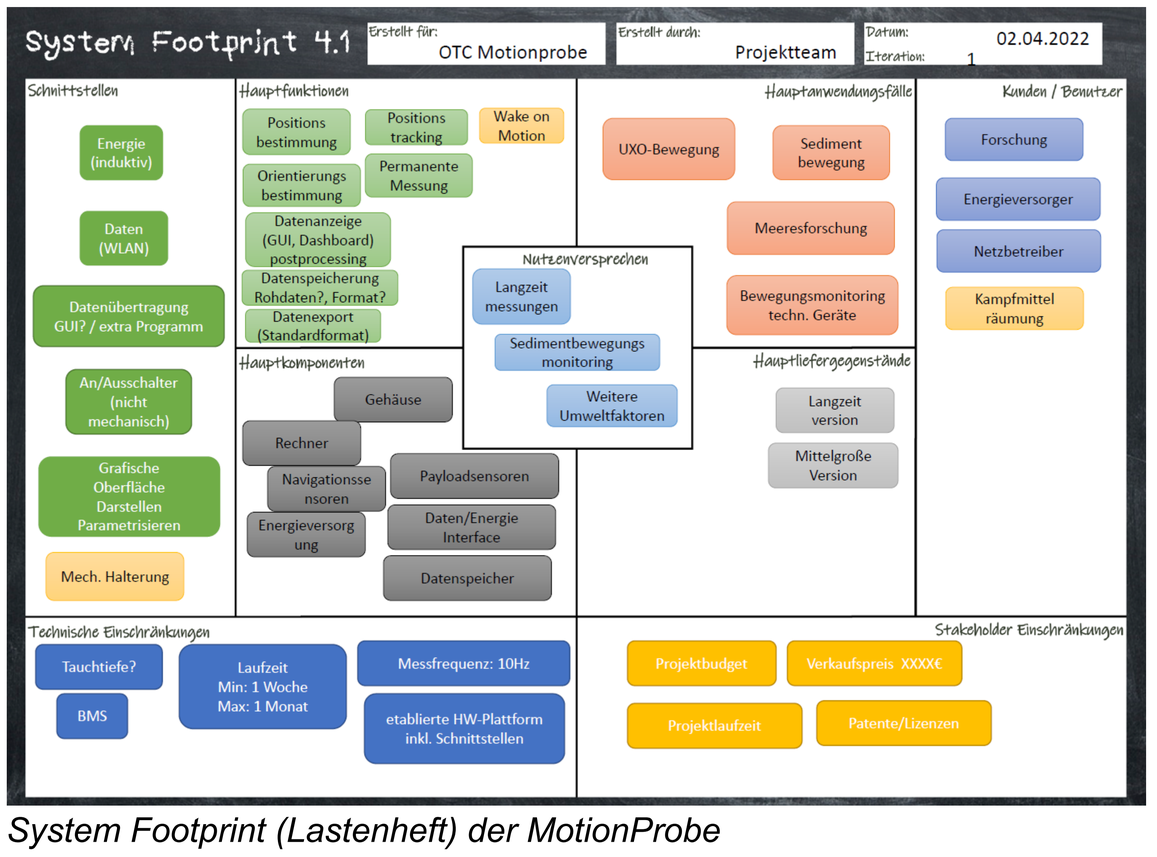
- Erfassung von Extremereignissen im Meer
- Bewegung von Messketten, Sensorketten, Schleppkörpern
- Tracking von Munitionsaltlasten
- Bewegung von Seekabeln

Konsortium

Uni Rostock, Lehrstuhl für Meerestechnik
Fraunhofer IGD-R, Rostock
Altow Digital Innovation, Rostock
Fraunhofer IKTS, Dresden
Fraunhofer IOSB, Karlsruhe
Fraunhofer IOSB-AST, Ilmenau

Kontakt Projektleitung

Helge Renkewitz
Fraunhofer IOSB-AST
helge.renkewitz@iosb-ast.fraunhofer.de
03677 / 461170

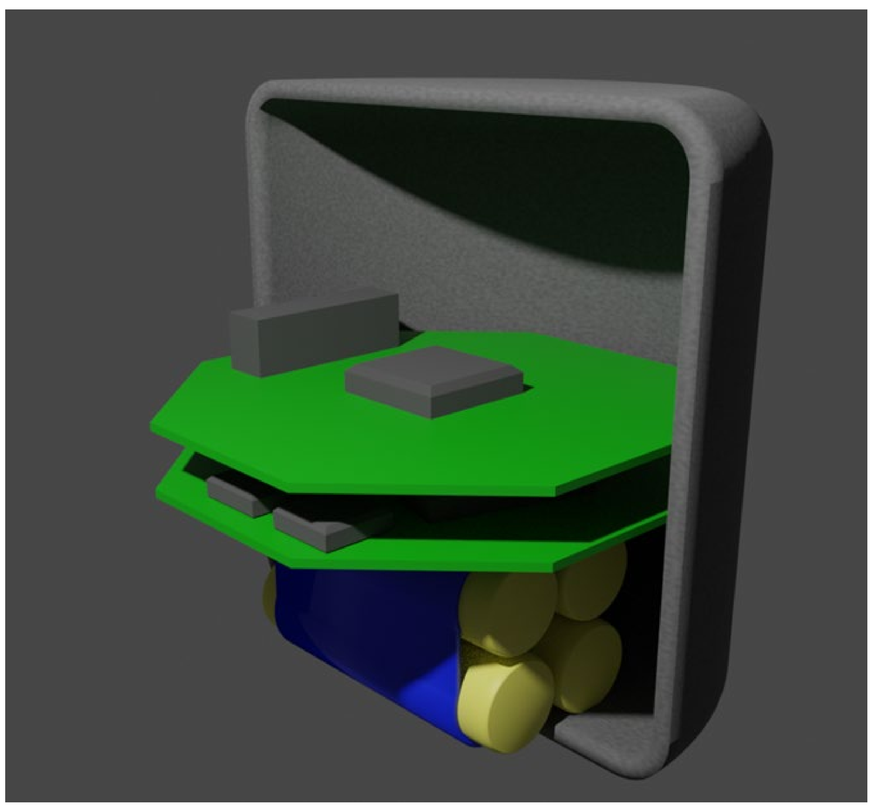


System Footprint (Lastenheft) der MotionProbe

Verwertungsidee

Die mit dem Sensor generierten Daten zur Bewegung von Objekten am Meeresgrund und in der Wassersäule bilden eine wichtige Grundlage zur Steigerung der Verlässlichkeit von Strömungssimulationen und den darauf aufbauenden Vorhersagemodellen.

Der Wasserdruck, die Position und die Orientierung sind für fast jedes technische Unterwassersystem relevante Informationen. Diese Informationen zuverlässig und unabhängig von weiteren technischen Systemen erheben zu können, stellt einen erheblichen Nutzen für alle Partner dar. Der Sensor soll die Möglichkeit erhalten, modular erweiterbar zu sein.



erste Konzeptstudie zum modular erweiterbaren Sensor

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

CLUSTERS 4 FUTURE
Innovationsnetzwerke für unsere Zukunft