Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

mFUND
Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Schlussbericht

Gesamtkonzept Digitaler Zwilling, Kommunikation und Sensorkonzept

Projekt DAVE

Daten- und Verarbeitungsmodell inkl. Prototyp für digitalen Zwilling zur autonomen Navigation eines Binnenschiffes

1 Kurze Darstellung 4
1.1 Aufgabenstellung 4
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 4
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 5
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand 5
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 7
2 Eingehende Darstellung 8

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses 8
2.1.1 AP 2 Digitaler Zwilling 8
2.1.2 AP 3: Sensor– / IT- Konzept 11
2.1.3 AP 4 Sensordatenfusion 35
2.1.4 AP 5 Kommunikationskonzept 36
2.1.5 AP 6 Verkehrsflussanalyse 41
2.1.6 AP 7 Integration und Testphase 43
2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 46
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 46
2.4 Voraussichtlicher Nutzen 47
2.5 Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens durch andere Stellen 48
3 Erfolgskontrollbericht 51
3.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen 51
3.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse 51
3.3 Fortschreibung des Verwertungsplans 51
3.3.1 Erfindungen / Schutzrechtanmeldungen 51
3.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsergebnisse 51
3.3.3 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten 52
3.3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 52
4 Arbeiten, die zu keiner Lösung führten 52
5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer 52
6 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung 53

Inhalt

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Das Projekt DAVE soll in Form eines Konzepts eine wichtige Grundlage liefern, um zukünftig den Digitalen Zwilling eines Wasserfahrzeugs mit dem der Wasserstraße zu vereinen und damit Remote Operations, autonomes Fahren und Simulationen zur Analyse des Systemverhaltens sowie zum Lösen von Optimierungsaufgaben zu unterstützen. Die Simulationen können bspw. im Rahmen von weiterführenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben genutzt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt im Kontext autonomer Operation sowie unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten zu erhöhen. Das Projektvorhaben verfolgt konkret folgende Zielstellungen:

- Erarbeitung und Umsetzung eines umfangreichen Sensorkonzepts, das sowohl schiffseitig als auch infrastrukturseitig alle notwendigen Daten erfassen kann, um ein realitätsnahes Abbild des Systems und seiner Umgebung zu gewährleisten

- Konzeptionierung und Vorbereitung des Digitalen Zwillings mit allen Schnittstellen, Datenformaten und Übertragungsprotokollen

- Erarbeitung und Umsetzung eines validen Kommunikationskonzeptes zwischen Schiff, Infrastruktur und Verkehrsleitzentralen zum Datenaustausch sowie einer Fallback Ebene bei kurzzeitigen Verbindungsabbrüchen

- Anwendung von Methoden der Sensorfusion zur Steigerung der Qualität und Zuverlässigkeit der erfassten Daten

- Erfassung und Aufbereitung aller relevanten Daten für den digitalen Zwilling und Bereitstellung eines Datasets in der mCloud (Mobilithek)

- Entwicklung von KI-Modulen zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung in Bezug auf die Analyse des Verkehrsflusses sowie der Vorbereitung einer assistierten Steuerung eines Schiffes

- Erstellen einer Simulationsumgebung zur Modellierung von der Übertragung synthetischer Daten, sowie zur Visualisierung und Validierung der Ergebnisse

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Technische Hochschule Lübeck erhielt im Rahmen des Teilprojektes DAVE 125.000 € an Förderung. Auf Beschäftigte entfielen 114.360 €, die auf wissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte aufgeteilt wurden. Auf die Sachmittel inkl. Reisen entfielen 10.640 €.

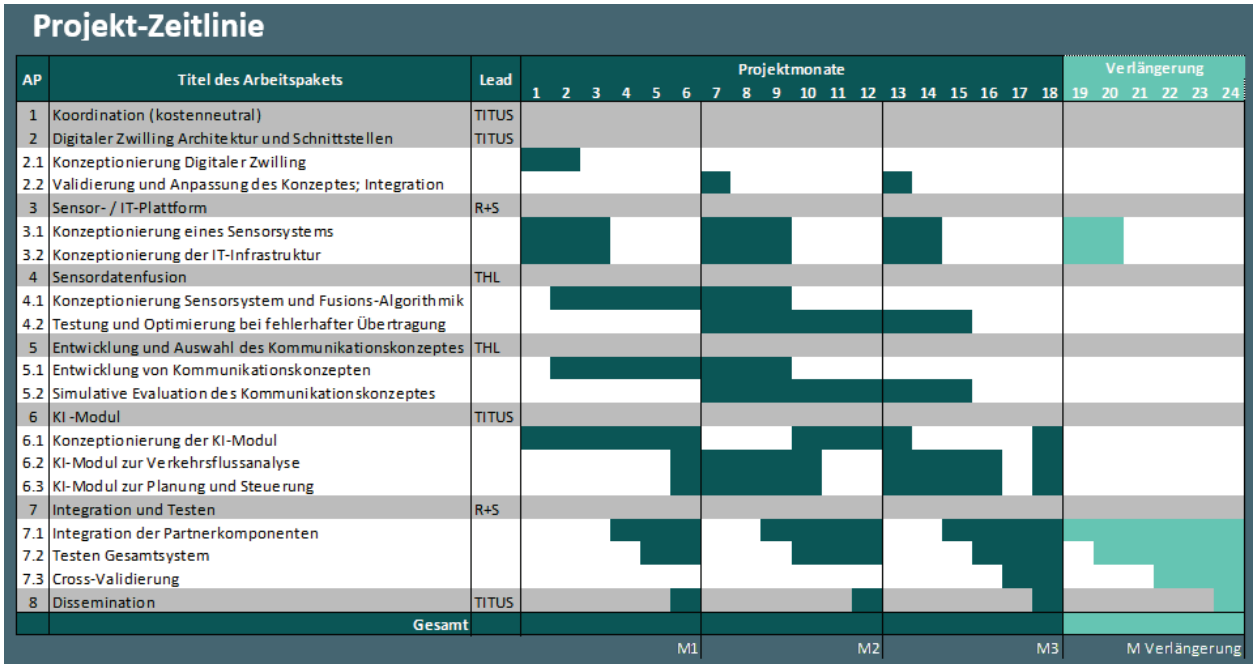
R+S Stolze erhielt im Rahmen des Teilprojektes DAVE 125.000 € an Förderung. Auf Beschäftigte entfielen 205.711 €, die auf wissenschaftliche Mitarbeiter, technische Zeichner sowie auf Projektmanagement aufgeteilt wurden. Auf die Sachmittel inkl. Reisen entfielen 24.075 €.

Der Konsortialführer und Partner TITUS ist während der Laufzeit des Projekts aus dem Projekt ausgeschieden. R+S Stolze hat die Konsortialführerschaft übernommen. Die Arbeitspakete von TITUS konnten nicht weitergeführt werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Projektdurchführung wurde ein iterativer Ansatz gewählt. Es sind 3 Iterationen à 6 Monate geplant, wo die wesentlichen Arbeitspakete jeweils einmal bearbeitet werden. Die Ergebnisse der Arbeitspakete werden auf den Meilensteinen am Ende jeder Iteration im Projekt evaluiert und fließen in die weitere Arbeit ein. Die ursprünglich auf eine Laufzeit von 18 Monaten ausgerichtete Projektplanung wurde um sechs Monate verlängert.

Der Projektplan lautet wie folgt:



1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Das Projekt startete mit einer umfassenden Evaluation verschiedener Sensoren aus der Automobil- und Schiffsindustrie. Ziel dieser Phase war es, die geeignetsten Sensoren für die speziellen Anforderungen der Binnenschifffahrt zu identifizieren. Dabei wurden sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Robustheit der Sensoren unter maritimen Bedingungen geprüft.

Im Anschluss daran wurden zwei Systeme entwickelt: ein Prototyp und ein System für den Einsatz auf einem realen Schiff. Diese beiden Systeme dienten als Testplattformen, um das entwickelte Sensorkonzept in der Praxis zu erproben und zu optimieren. Die Erstellung dieser Systeme war

ein wichtiger Schritt, um eine solide Grundlage für zukünftige Forschungen zu schaffen und die praktische Anwendbarkeit der Technologie zu demonstrieren.

Die Implementierung und Inbetriebnahme des Prototyps beinhalteten die sorgfältige Kalibrierung der Sensoren. Diese Kalibrierung war entscheidend, um präzise und verlässliche Daten zu gewährleisten. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil war die Entwicklung einer Sensordatenfusion, bei der die Daten aus der Kamera und dem LIDAR kombiniert wurden. Diese Fusion ermöglichte eine detaillierte und genaue Erfassung der Umgebung.

Zusätzlich wurde eine Evaluation der Kommunikation durchgeführt. Hierbei wurden verschiedene Protokolle untersucht und schließlich Ethernet und NMEA0183 als die geeignetsten Protokolle ausgewählt. Diese Protokolle ermöglichen eine zuverlässige und effiziente Kommunikation zwischen den verschiedenen Sensoren und dem Verarbeitungssystem.

Zur Validierung der Sensordaten wurden spezifische Testszenarien entwickelt. Diese Szenarien umfassten verschiedene Umwelt- und Betriebsbedingungen, um die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Sensoren unter realistischen Bedingungen zu überprüfen.

Die ersten Tests des Prototyps sowie die Feinjustierung der Sensoren fanden in einer Fertigungshalle der R+S Stolze statt. Diese kontrollierte Umgebung bot die Möglichkeit, die Systeme gründlich zu testen und notwendige Anpassungen vorzunehmen.

Nach den erfolgreichen Tests in der Fertigungshalle wurden erste Tests auf dem Wasser durchgeführt. Hierfür wurde ein Elektroboot der Firma "Boot Now" eingesetzt, mit welchem Fahrten um die Lübecker Altstadt unternommen wurden. Diese Tests auf dem Wasser waren entscheidend, um die Sensoren in ihrem eigentlichen Einsatzgebiet zu erproben und ihre Leistungsfähigkeit in einer realen maritimen Umgebung zu validieren.

Parallel zu diesen Tests wurde auch eine erste Version der Brückendetektion entwickelt. Die Brückendetektion ist ein kritischer Bestandteil des Systems, da sie dazu dient, Hindernisse rechtzeitig zu erkennen und Kollisionen zu vermeiden. Die Sensoren wurden während dieser Phase weiter kalibriert, um ihre Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu optimieren.

Zu guter Letzt wurde das System auf dem Binnenschiff GMS Orca, ein 95 Meter langer Trockenfrachter mit 1595 Tonnen Tragfähigkeit, installiert und in Betrieb genommen. Der Reeder (Binnenschifffahrt Stephan van der Pütten, kurz VDP) gestattete uns, eine sehr attraktive Route in Hannover mit unserem System zu begleiten. Während dieser ca. 5-stündigen Fahrt, konnte das System zum ersten Mal unter realen Bedingungen auf einem echten Binnenschiff erprobt und wertvolle Daten gesammelt werden.

Parallel dazu arbeitete das Team Titus an der Entwicklung einer ersten Version der Verkehrsflussanalyse. Diese Analyse ist ein weiterer wichtiger Aspekt des Projekts, da sie dazu beiträgt, den Verkehr auf den Wasserstraßen effizienter zu steuern und potenzielle Engpässe zu identifizieren und zu vermeiden.

All diese Aktivitäten bildeten die Grundlage für die Weiterentwicklung und Optimierung des Systems. Sie waren entscheidend, um die Ziele des Projekts zu erreichen und den Weg für zukünftige Anwendungen der Technologie im Bereich der Binnenschifffahrt zu ebnen.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des DAVE-Projekts wurde aktiv der Austausch mit anderen Projekten der mFUND-Förderlinie auf der mFUND Konferenz 2023 in Berlin und dem vergleichbaren Projekt CAPTN in Schleswig-Holstein gesucht, um Synergien zu nutzen und wertvolle Einblicke in aktuelle Entwicklungen zu erhalten. Der erste Prototypentest im Wasser fand in Zusammenarbeit mit BoatNow in Lübeck statt, wodurch wichtige Erkenntnisse zur Funktionalität der Sensorplattform in realen Bedingungen gewonnen wurden.

Ein weiterer wichtiger Schritt war die erfolgreiche Testfahrt auf dem Schiff GMS Orca des Reeders VDP, die über fünf Stunden dauerte. Diese Testfahrt unter realen Bedingungen ermöglichte es, die Leistungsfähigkeit der DAVE-Plattform umfassend zu überprüfen und wertvolle Daten für die Weiterentwicklung zu sammeln.

Zudem nutzte das DAVE-Team die Oceans 2024-Konferenz in Singapur mit einer Vorstellung eines Papers (Inland Waterway Vessel Autonomy: Sensor and Communication Design - IEEE Oceans 2024 https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10682262) als Plattform für Networking und Wissenstransfer. Durch Gespräche mit internationalen Experten und Forschern wurden aktuelle Trends und Herausforderungen der autonomen Schifffahrt erörtert und potenzielle Kooperationen für zukünftige Projekte angeregt. Die letzte Konferenzteilnahme war in Trondheim bei dem Austausch und der Vorstellung der wissenschaftlichen Veröffentlichung Bridge Detection in Autonomous Shipping: A YOLOv8 Approach with Autodistill and GroundedSAM (https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2867/1/012019) auf der zusammen durchgeführten Konferenz MTEC 2024 International Maritime and Port Technology and Development Conference und ICMASS 2024 The 6th International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships.

Neben internationalen Konferenzen wurden Inhalte des Projekts DAVE auch an der Technischen Hochschule präsentiert und veröffentlicht (Sensor Fusion for Object Localization with ROS 2 - 5. KuVS-Fachgespräch zum Thema Lokalisierung https://repos.hcu-hamburg.de/handle/hcu/1017).

Der Prototyp selbst wurde zusätzlich auf verschiedenen Veranstaltungen vorgestellt, darunter: KI-Erlebnistag und Night of AI im Rahmen der Woche der KI in Lübeck, 6. Konferenz Bahntechnik in Kiel sowie in Malente bei der Vorstellung der REAKT-Initiative. Neben einem breiten Publikum wurde der Prototyp so unter anderem auch Bundeswirtschaftsminister Habeck und Schleswig-Holsteins Wirtschaftsminister Madsen vorgestellt. Weitere Möglichkeiten der Präsentation gegenüber der IHK (IHK Magazin Ein digitaler Zwilling für Binnenschiffe https://www.ihk.de/schleswig-holstein/ihk-magazin/maritime-wirtschaft/ein-digitaler-zwilling-fuer-binnenschiffe-6131888), KMUs sowie Studenten ergaben sich bei verschiedenen Führungen und Veranstaltungen am Kompetenzzentrum CoSA in Lübeck.

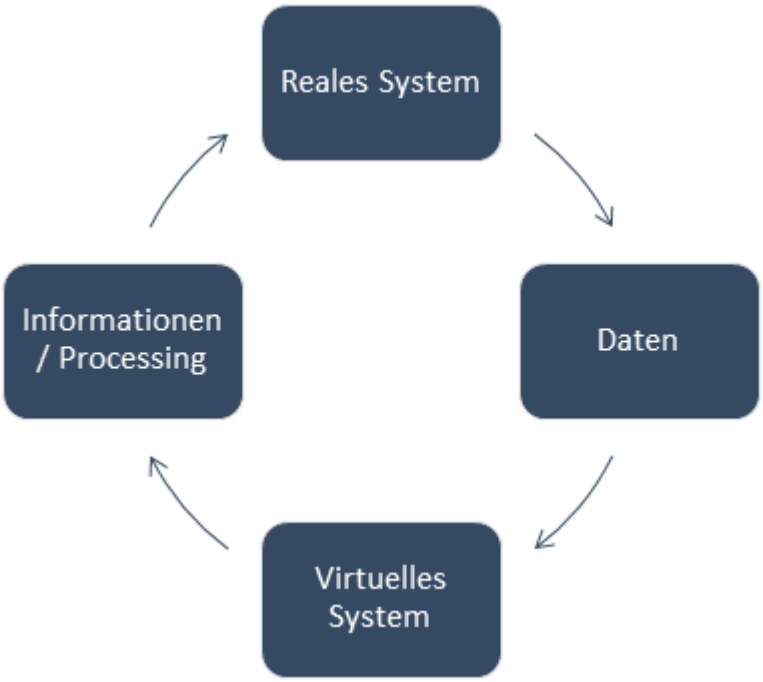
2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Die bereitgestellten Fördermittel wurden für Personalmittel der Konsortialpartner und den Materialeinkauf zur Entwicklung und Implementierung der Sensorplattform sowie der generativen KI-Systeme verwendet. Diese Plattform wurde in einer realen Umgebung getestet und validiert, wobei Rückschlüsse auf eine mögliche Integration in reale Schiffe gezogen wurden. Die durch die Tests gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten die Formulierung von Konzepten für Assistenz- und Steuerungssysteme, die potenziell in einem weiteren Projektantrag vertieft werden können. Die initial aufgestellte These zur Machbarkeit und Funktionalität konnte durch verschiedene Tests bestätigt werden.

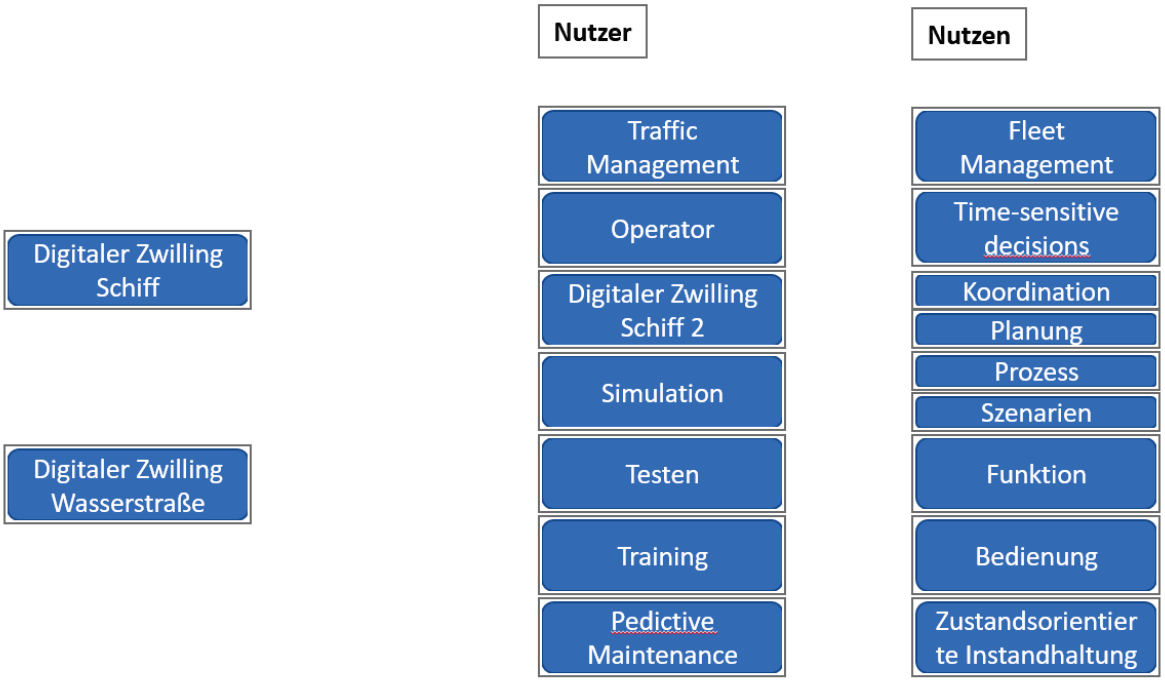
Die wissenschaftlichen und technischen Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt und zu den jeweiligen Arbeitspaketen des Projektes zugeordnet

2.1.1 AP 2 Digitaler Zwilling



Konzeptionierung Digitaler Zwilling

Anforderung an den Digitalen Zwilling basieren auf dem Workshop vom Dezember 2022 und weiterführende Diskussionen während der monatlichen Statusmeetings. Im Rahmen der Diskussionen der Partner wurden die Einflussparameter und Nutzer des digitalen Zwillings im Kontext des DAVE-Projekts identifiziert und deren Berücksichtigung sowie die sich daraus ergebenden Anwendungszwecke und potenziellen Nutzen erörtert.



Grundsätzlich ergeben sich im Rahmen des Projektes zwei Schnittstellenschwerpunkte des Digitalen Zwillings.

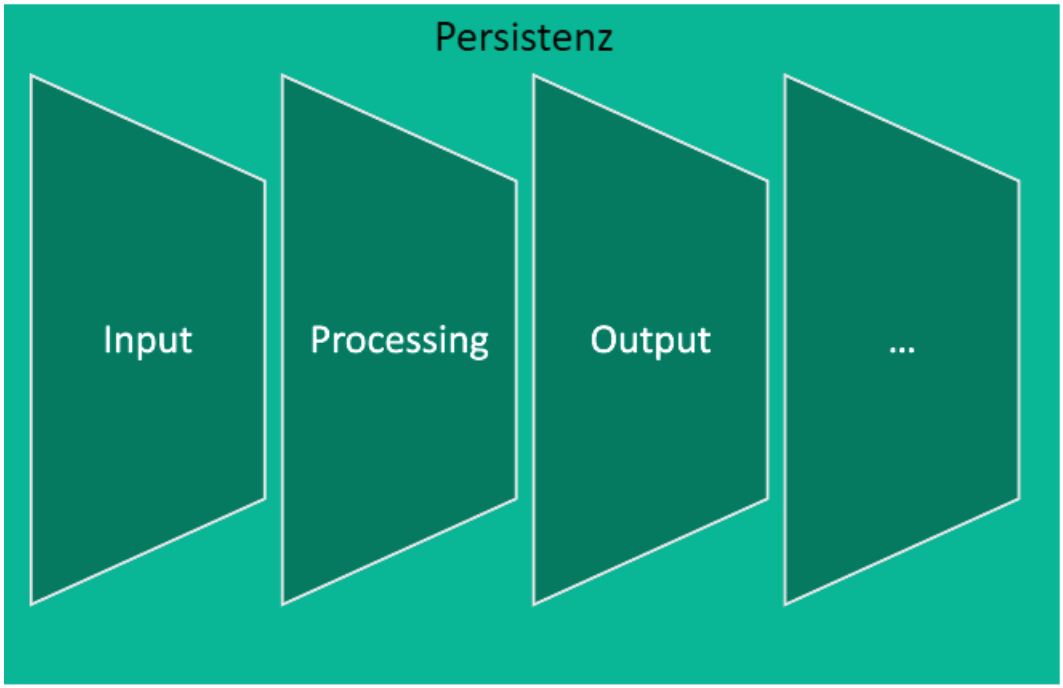
Einerseits soll der Digitale Zwilling das reale System Schiff und andererseits das reale System Wasserstraße mit ihren Einflussparametern zusammenführen und in einer digitalen Umgebung abbilden. Einflussparameter wie GPS Koordinaten, Geschwindigkeit, Ziel, Ladung und direkte Umgebung sollen schiffsseitig erfasst und weitergebeben werden. Parameter aus dem System Wasserstraße wie Wetterbedingungen, Pegelstände, Sperrungen und Schleusenaktivitäten sollen ebenfalls als Einflussgrößen in den Digitalen Zwilling mit einfließen. (Vollständigkeit der Parameterauflistung ist hier nicht gewollt)

Die Parameteraufnahme erfolgt in DAVE über die vom Schiff bereits bereitgestellten Sensoren. Zur Objekterkennung im Nahfeld des Schiffes wird durch den Projektpartner R&S Stolze eine Sensorplattform in das Schiff integriert, welche zusätzliche Parameter für den Digitalen Zwilling liefert.

Die Datenbereitstellung aus dem System Wasserstraße müssen über das Internet bezogen werden. Ausgemachte Datenquellen sind hierbei das elektronische Kartendarstellungs- und Informationssystem ECDIS, Pegelonline, Wetterdienste und AIS Daten (fleetmon). Für die Erstellung einer KI basierten Verkehrsanalyse sind die AIS Daten besonders von Interesse.

Architektur:

Diese umfasst Input, Processing und Output.
Beim Meeting von Titus kamen hier noch 2 weitere Hauptarchitekturpunkte hinzu. Stakeholder und Application/Usage



Input: Sensordaten vom Boot und von Land, Verkehrsinformationen, User, Kommunikation, Hafeninformationen

Processing: AI, Sensorfusion, Visualisierung, Datenfusion, Normalisierung / Anonymisierung der Daten, Vorbereitung zur Datenweiterleitung

Output: Visulisierung, Unfallmanagement, Virtualisierte Datendarstellung, Verkehrsmanagement, Verkehrsleitung, Logistik

Persistenz sind die all umfassenden Daten

Schnittstellen:

Boot / Sensorplattform (Siehe Sensorkonzept R&S Stolze)

Groundstation – Wasserstraße (ECDIS, Pegelonline, DWD, AIS

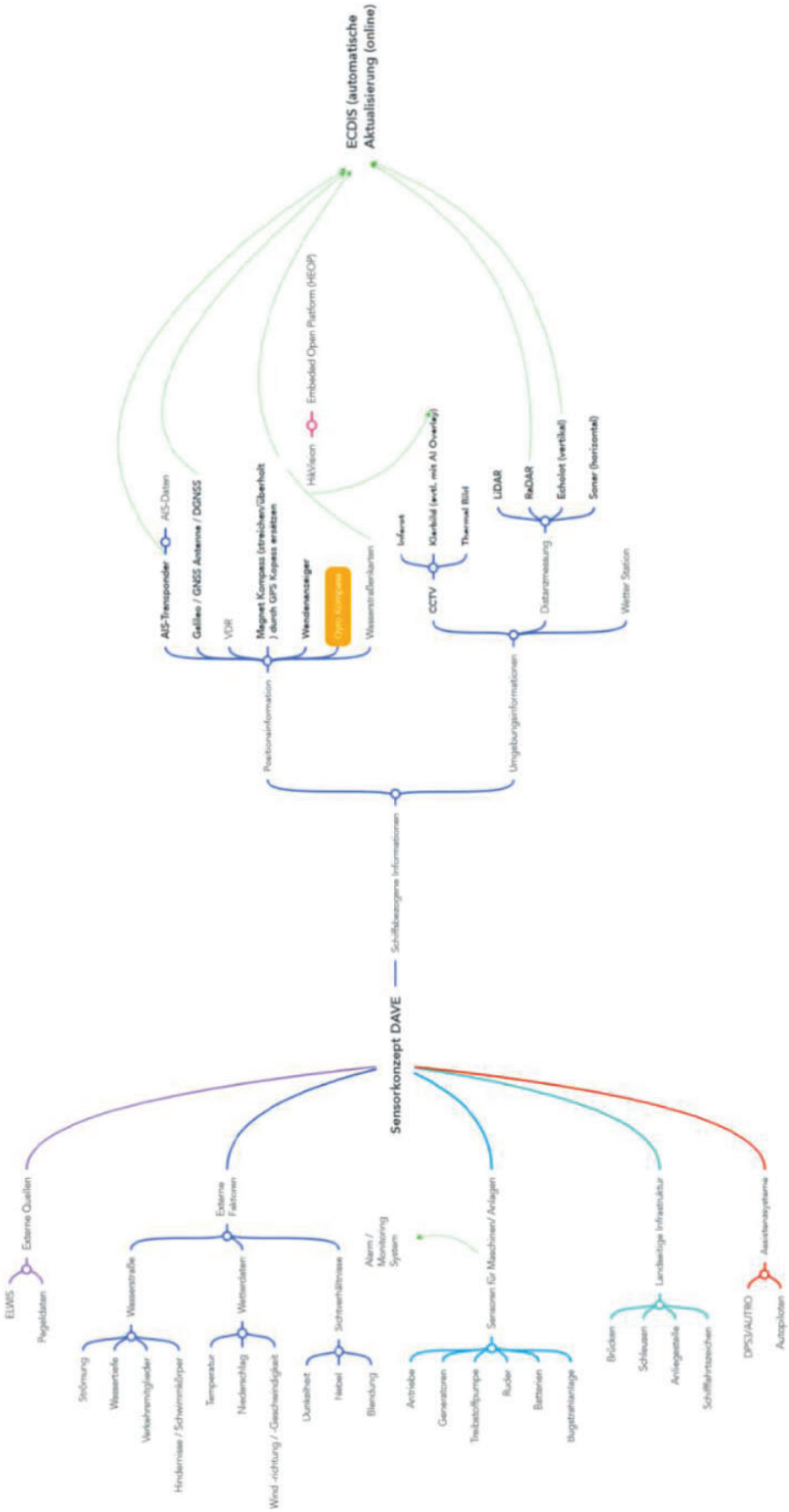
2.1.2 AP 3: Sensor– / IT- Konzept

Im Kontext von Schiffssystemen und digitalen Zwillingen stellt die Sensortechnologie eine kritische Komponente dar. Sie fungiert als Schnittstelle zwischen der physischen Welt und der digitalen Repräsentation, indem sie ständig Daten erfasst, die zur Aktualisierung und Kalibrierung des digitalen Modells verwendet werden. Ein durchdachtes Sensorkonzept ist daher von entscheidender Bedeutung, um die Funktionalität und Effizienz des digitalen Zwillings zu gewährleisten.

Sensoren können eine Vielzahl von Daten sammeln, die für die Leistung und den Betrieb des Schiffes relevant sind. Diese Daten können in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: schiffsbezogene- und externe Daten. Schiffsbezogene Daten liefern Informationen über den Zustand und die Performance des Schiffes selbst, einschließlich Parameter wie Geschwindigkeit, und Position, während externe Daten Informationen über die Umgebung des Schiffes liefern, einschließlich meteorologischer Daten, Seegangs Bedingungen, und Verkehrsinformationen.

Die Auswahl und Implementierung geeigneter Sensoren erfordert eine genaue Untersuchung verschiedener Aspekte. Zu diesen gehören die Prüfung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Sensoren, die Bewertung ihrer Kompatibilität mit den vorhandenen Systemen an Bord und die Berücksichtigung der Anforderungen an die Datenverarbeitung und -integration.

Das hier präsentierte Sensorkonzept wurde entwickelt, um diese Herausforderungen anzugehen und einen robusten, flexiblen und effizienten Ansatz für die Datensammlung in digitalen Zwillingen zu bieten. Es bietet einen Leitfaden für die Auswahl und Implementierung von Sensoren zur Überwachung des Schiffs und seiner Umgebung und legt den Grundstein für die weitere Entwicklung und Optimierung von digitalen Zwillingslösungen in der Schifffahrt.


ECDIS (automatische Aktualisierung (online)
AIS-Transponder
AIS-Daten
Galileo / GNSS Antenne / DGNSS
VDR
Magnet Kompass (streichen/überholt) durch GPS Kompass ersetzen
Wendeanzeiger
Gyro Kompass
Wasserstraßenkarten
HiVision
Embedded Open Platform (HEOP)
Infrarot
Klarbild (evtl. mit AI Overlay)
Thermal Bild
CCTV
LIDAR
RaDAR
Echolot (vertikal)
Sonar (horizontal)
Distanzmessung
Wetter Station
Positionsinformation
Umgebungsinformationen
Schiffsbezogene Informationen
Sensorkonzept DAVE
Externe Quellen
ELWIS
Pegeldaten
Externe Faktoren
Wasserstraße
Seekrümmung
Wassertiefe
Verkehrsmitgleider
Hindernisse / Schwimmkörper
Wetterdaten
Temperatur
Niederschlag
Wind -richtung / -Geschwindigkeit
Sichtverhältnisse
Dunkelheit
Nebel
Blendung
Alarm / Monitoring System
Sensoren für Maschinen/ Anlagen
Antriebe
Generatoren
Treibstoffpumpe
Ruder
Batterien
Flugstrahlanlage
Landseitige Infrastruktur
Brücken
Schleusen
Anlegestelle
Schiffahrtszeichen
Assistenzsysteme
DPS3/AUTRO
Autopiloten

2.1.2.1 Positionsinformationen

2.1.2.1.1 GNSS

Akronym ausgeschrieben: Global Navigation Satellit System

Verwandte Systeme / Begriffe:
DGPS - Differenzielle GPS-Korrektur
DGNSS - Differential GNSS-Korrektur
Hinter diesen beiden Begriffen verbirgt sich das gleiche System. Signalübertragungs-geschwindigkeiten werden durch die Ionosphäre beeinflusst, wodurch die Position ungenau wird. Mittels DGPS-Daten wird dieser Fehler herausgerechnet bzw. Reduziert. Diese Daten werden von lokalen Sende-Stationen bereitgestellt

Kurz-Erläuterung:
Überbegriff der Satelliten-Kommunikation. Diverse Länder haben ihr eigenes System. USA nennt es "GPS", Russland "GLONASS", China "BeiDou-2" und Europa nennt es "Galileo". Liefert Informationen über: Position, Geschwindigkeit (Berechnung auf Basis mehrere sequenzielle Positionsmessungen) und Kurs.

GNSS - Galileo:
Galileo ist die Europäische GNSS-Lösung. Galileo ist theoretisch um den Faktor 10 genauer als die Konkurrenzsysteme (GPS, GLONASS, BeiDou). Galileo kann in die folgenden "Dienste" eingeteilt werden:

- Offener Service (OS): 1,5m Genauigkeit bei Verwendung eines 1-frequenz-Empfängers bzw. 0,1 -0,5m Genauigkeit bei Verwendung eines 2-frequenz-Empfängers.
- High Accuracy Service (HAS): 0,2m Genauigkeit. Erzielt durch Korrekturberechnungen (ähnlich wie bei DGNSS)
- Commercial Authentication Service (CAS): wie HAS + Verschlüsselung.

Diese Genauigkeit ist somit sehr hoch. Jedoch stellt die Verfügbarkeit ein Problem bei GNSS dar. Galileo gibt an, dass die "Zielverfügbarkeit" bei 99% liegt. Diese Verfügbarkeit inkludiert nicht den GNSS-Ausfall - erzeugt durch Datenabriss aufgrund von Blockierungen/Schleusen/Brücken/Tälern - sondern beschreibt lediglich die Theoretische Verfügbarkeit. Aufgrund von u.a. Sonnenwinden müssen stellenweise Satelliten ausgeschaltet werden, was zum (teil-)Ausfall des Systems führt und so die Verfügbarkeit auch bei "nicht-Blockierung" des Signals, nie zu 100% gewährleistet werden kann. Hinzu kommt die Möglichkeit des Spoofings, weshalb der CAS-Dienst klar zu bevorzugen ist. Leider gibt es bisher noch keine Marine-Zertifizierten Systeme die Galileo verwenden.

GNSS - GPS :
GPS ist die amerikanische Lösung von GNSS, welche auch für den Maritimen Sektor Zertifiziert ist. In der Praxis wird in der Regel eine Genauigkeit von 1m erreicht (etwa 10mal so genau wie von Herstellern angegeben). Theoretisch unterliegt GPS aber Galileo. Auch hier stellt die Verfügbarkeit aufgrund von Datenabrissen und fehlerhaften Daten (Geisterechos) ein Problem dar. Aktuell sind etwa 85% aller Binnenschiffe (Zone 3) und 100% in der Seefahrt (Zone 2) mit einem GPS-System ausgestattet.

GNSS – Kompasse:

Ein Kompass, der mithilfe von zwei oder drei GPS-Empfängern die Nordrichtung bestimmt. Normale GNSS-Systeme haben nur einen Empfänger - GNSS-Kompasse hingegen mehrere, wodurch sie bedeutend präziser sind. Auch kann bei stillstand die Nordrichtung bestimmt werden. GPS-Kompasse sind heutzutage der Standard in der Binnenschifffahrt.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Hochgenau: in der Praxis auf ca 1m - wird bei Neubauten standartgemäß verebaut - sollte der alte Magnetkompass erneuert werden müssen (Re-Klassifizierung) wird in der Regel ein GNSS Kompass verbaut. - Bestimmung der Nordrichtung auch bei stillstand möglich.	- Teuer im vergleich zu einer klassischen Antenne - zwar präzise, aber nicht immer verfügbar (Brücken und insbesondere in Schleusen)	- momentan keine Alternative vorhanden. - zukünftig geg. GALILEO - SLÀM Basierte lösung bei ausfall von GPS.

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Unabdingbar für ein reales Schiff um die Position zu ermitteln. Für die Ermittelung der Drehgeschwindigkeit ist dieser allerdings zu langsam.	- IMU 10 degrees of freedom - könnte eine alternative sein (bestimmung der Richtung/Lage/Änderung) - liefert einen Mehrwert für die Platform.

2.1.2.1.2 AIS

Akronym ausgeschrieben: Automatic Identification System

Verwandte Systeme / Begriffe:
VDES: VHF Data Exchange System (Nachfolger zu AIS, welche jedoch noch in der Konzeptionierungsphase ist.)

Kurz-Erläuterung:
AIS ist ein maritimes Kommunikationssystem, das zur automatischen Übermittlung von Schiffspositionen und Navigationsinformationen zwischen Schiffen und Küstenstationen verwendet wird. Es dient zur Verbesserung der Sicherheit und Effizienz der Schifffahrt, insbesondere in stark befahrenen Wasserstraßen und bei eingeschränkter Sicht.

AIS arbeitet auf der Basis von VHF-Funkfrequenzen und sendet regelmäßig Informationen wie Schiffsidentifikation, Position, Kurs, Geschwindigkeit, Schiffstyp und andere für die Navigation relevante Daten. Diese Informationen werden von anderen Schiffen in der Nähe und Küstenstationen empfangen, die sie auf Navigationsdisplays, ECDIS oder elektronischen Seekarten darstellen können.

Durch den Austausch von AIS-Daten können Schiffsbesatzungen den Verkehr in ihrer Umgebung besser überwachen, Kollisionen vermeiden, effizientere Routen planen und im Notfall schnell Hilfe anfordern. AIS wird auch von Küstenbehörden und Verkehrszentralen eingesetzt, um den Schiffsverkehr zu überwachen, die Sicherheit zu erhöhen und Umweltauflagen durchzusetzen.

Die Genauigkeit oder besser, die Aktualität von Inland AIS Daten hängt primär davon ab, um welche Schiffsklasse es sich handelt und mit welcher Geschwindigkeit sich das Schiff bewegt:

Fahrzeug	Sendeintervall
Klasse A, vor Anker oder festgemacht, nicht schneller als 3 kn	3 min
Klasse A, vor Anker oder festgemacht, schneller als 3 kn	10 s
Klasse A, bis zu 14 kn	10 s
Klasse A, bis zu 14 kn bei Kursänderung	3 ⅓ s
Klasse A, 14 bis 23 kn	6 s
Klasse A, 14 bis 23 kn bei Kursänderung	2 s
Klasse A, mehr als 23 kn	2 s
Klasse B, bis zu 2 kn	3 min
Klasse B, 2 bis 14 kn	30 s
Klasse B, 14 bis 23 kn	15 s (30 s bei hoher Frequenzauslastung)
Klasse B, mehr als 23 kn	5 s (15 s bei hoher Frequenzauslastung)

Dies hat zur Folge, dass AIS Daten "alt" sein können, da Schiffe natürlich eine Strecke X fahren, während die neuen Daten noch nicht übermittelt wurden (entsprechend o.g. übermittlungsraten).

Hinzu kommt, dass die Daten im Broadcast gesendet werden und dementsprechend die Quelle/Absender nicht verifiziert werden kann (Es erfolgt kein hand-shake / analog zu UDP bei Ethernet). Aus diesem Grund, ist eine Verschlüsselung der Daten auch nicht sinnoll, da diese nicht end-zu-end möglich ist. Hieraus ergibt sich auch das Problem der Vertrauenswürdigkeit (spoofing), sowie Datenverlust/-nichterhalt, ohne dies zu bemerken.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Möglichkeit, die **Position anderer Schiffe** zu ermitteln (sowie diversen weiteren Informationen, z.b. Kurs, Geschwindigkeit, etc.)	- Häufiger Systemausfall in der Praxis. - Daten können veraltet sein (Sendeintervall). - Daten können falsch sein (Spoofing, falscher Einbau oder falsche Inbetriebnahme).	- Radar - Ultraschall - Lidar - Kamera

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
AIS darf keine relevante Datenquelle für unser System darstellen. Nachfolge-System "VDES" steckt noch in der absoluten Planungsphase. Mit der Einführung ist noch lange nicht zu rechnen.	- Daten werden nicht immer gepflegt vom Kapitän - VDES soll die unverschlüsselter Kommunikation lösen. - Class A und Class B (sendestärken)

2.1.2.1.3 Wendeanzeiger

Kurz-Erläuterung:

Ein Wendeanzeiger misst die Drehung des Schiffes um die Hochachse mit Hilfe eines mechanischen Kreisels und zählt zur Standartausrüstung in der Binnenschifffahrt. Er ist Voraussetzung, um mit GNSS fahren zu dürfen (Backup, falls GNSS ausfällt). Ein Wendeanzeiger zeigt an, wie schnell ein Schiff eine Kurve fährt. Der Ausgegebene Wert ist in Grad pro Minute (°/min) angegeben.

Ein Wendeanzeiger misst die Drehgeschwindigkeit zwar hoch genau, kann aber den durch die Strömung verursachten seitlichen Versatz, nicht erfassen. Auch misst er die Drehgeschwindigkeit unmittelbar. GNSS ist im direkten Vergleich viel zu träge, da erst eine Strecke X gefahren werden muss, um anhand der vergangenen Daten, die Drehgeschwindigkeit zu berechnen. Es gibt momentan keine bessere Lösung - Einziger Nachteil ist die Mechanik welche für die Re-Klassifizierung, gewartet werden muss (Standard für alle Klasse-Relevanten Systeme). Nach BinSchUO (Binnenschiffsuntersuchungsordnung) darf ein Wendeanzeiger einen Fehler von <=10% im Vergleich zur tatsächlichen Wende Geschwindigkeit (Grad/Minute) ausgeben. Dies erscheint sehr groß, ist im Vergleich zu GNSS jedoch hochgenau.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Möglichkeit, die Drehgeschwindigkeit (Rate of Turn) zu ermitteln. - Hochgenau und keine Verzögerung - RoT ist DIE größe, mit der ein Schiff gesteuert wird.	- keine Kontra Punkte vorhanden	- GPS Kompass, da dieser auch bei geringen Geschwindigkeiten die Drehgeschwindigkeit ermitteln kann. - Zur Steuerung des Schiffes ist der Kompass viel zu Träge und stellt keine alternative zum Wendeanzeiger dar.

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Unabdingbar für ein reales Schiff um die Drehgeschwindigkeit verzögerunsfrei zu ermitteln.	- IMU

2.1.2.2 Umgebungsinformationen

Umgebungsinformationen sind ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Sensorkonzeptes des digitalen Zwillings. Diese Daten, die Aspekte der unmittelbaren Umgebung des Schiffes abdecken, sind unerlässlich für die sichere und effiziente Schiffsführung. Sie ermöglichen die genaue Modellierung des Schiffs und seiner Umgebung in Echtzeit und unterstützen dabei, fundierte Entscheidungen zu treffen und potenzielle Risiken zu minimieren. Diese Einleitung wird einen Überblick über die Bedeutung und die verschiedenen Aspekte von Umgebungsinformationen im Rahmen eines Sensorkonzepts für digitale Zwillinge im maritimen Bereich geben.

2.1.2.2.1 ECDIS

Akronym ausgeschrieben: Electronic Chart Display and Information System

Kurz-Erläuterung:

ECDIS ist ein computergestütztes Navigationssystem, das zur Darstellung von digitalen Seekarten und zur Integration von Echtzeitpositionsinformationen verwendet wird. ECDIS ersetzt traditionelle papierbasierte Seekarten und bietet Schiffsbesatzungen eine kontinuierliche, automatische und präzise Positionsbestimmung. Das System ermöglicht die Planung und Überwachung der Schiffsrouten unter Berücksichtigung von Hindernissen, Gefahren und Umweltbedingungen.

Zu den Hauptfunktionen von ECDIS gehören die Anzeige von Navigationsinformationen wie GPS-Position, Geschwindigkeit, Kurs und Wasserstände, die Integration von Sensordaten wie RADAR und AIS, sowie Alarme und Warnungen für die Annäherung an Gefahren oder Verletzungen von Sicherheitsgrenzen. ECDIS trägt zur Verbesserung der Navigations-sicherheit, Effizienz und Umweltverträglichkeit bei und ist in vielen kommerziellen und militärischen Schiffen im Einsatz.

ECDIS Kombiniert Seekarte (ENC), Schiffsdaten (AIS) und Sensordaten von Echolot, Radar und GNSS mit dem Ziel der Bündelung und Visualisierung von Navigationsdaten. Es könnten die Tiefgänge hinterlegt werden (Wasser Pegel vom BSH). Jedoch wird die Struktur des Bodens nicht berücksichtigt, welche sich aufgrund der Strömung, ändern kann. Der eigene Tiefgang des Schiffes kann in der ECDIS hinterlegt werden. So kann farblich angezeigt werden, wie breit die mögliche Fahrrinne ist (theoretisch).
ECDIS ist verpflichtend zu nutzen, vorausgesetzt, für die zu befahrende Wasserstraße existiert Kartenmaterial.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Liefert Wasserstaßen Karten - Verpflichtend in der Binnenschiffahrt - Zeigt mögliche Fahrlinien und deren Breite in Abhängigkeit vom Tiefgang	- Die Beschaffenheit der Wasserstraßen ändern sich regelmässig (Fahrtlinien-Tiefe und Breite) - nicht alle Wasserstraßen sind Kartographiert - Menschliche auswertung muss erfolgen	- Ultraschall für den Nahbereich - 2D Sonar unter der Wasseroberfläche - Radar für den Fernbereich - Echolot für Fahrlinienbreite - muss zweifach installiert sein, wenn keine Papierkarten vorhanden sein sollte

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Zusammen mit GNSS, kann eine Fahrbahn erstellt/berechnet werden. Ohne Kartenmaterial ist das Autonome Fahren schwer realisierbar.	- Es gibt verschiedene Karten (Auflösungen bzw. entfernungen) -

2.1.2.2.2 Echolot

Kurz-Erläuterung:

Ein Echolot ist ein Gerät, das verwendet wird, um die Tiefe von Gewässern zu messen. Durch das Senden von Schallimpulsen aus einem Sender und das Aufzeichnen der Zeit, die benötigt wird, bis die Schallwellen auf den Meeresboden treffen und zurück zum Empfänger reflektieren, kann die Tiefe des Wassers errechnet werden. Moderne Echolote können auch weitere Informationen wie Wassertemperatur, Fischvorkommen und Bodenbeschaffenheit erfassen. Echolote werden häufig in der Seeschifffahrt und Fischerei eingesetzt, um eine sichere Navigation und den Fang von Fischen zu erleichtern.

Echolote in der Binnenschifffahrt sind bedeutend präziser als Hoch-See Echolote, da letztere eine bedeutend größere Strecke zwischen Kiel und Grund messen bzw. "durchdringen" müssen. Elementar bei der Echolot Messung ist die Berücksichtigung der Ausbreitungsgeschwindigkeit c (m/s), welche abhängig ist von der T = Wassertemperatur (°C), S = Salzgehalt (‰) und D = Wassertiefe (m) ist. Wassertemperatur und Salzgehalt unterscheiden sich je nach tiefe, was gerade Echolote auf See, beeinträchtigt. Auch wirkt sich die Krängung des Schiffes auf die Messergebnisse aus - was jedoch aufgrund der geringen Tiefe in der Binnenschifffahrt vernachlässigt werden kann.

Echolot kann sehr gut eine Distanz ermitteln, nicht jedoch die Größe/Form/Beschaffenheit zu diesem Objekt erkennen.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Möglichkeit, den Tiefgang zu messen. - 80% Aller Binnenschiffe haben ein Echolot	- misst senkrecht: Keine Informationen darüber, wie der Tiefgang am Bug oder davor ist.	- ECDIS - Tiefgangs-Daten können eingekauft werden bei "CoVadem Services BV" - Pegel online - Infos zu aktuellen Pegelständen.

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
- entweder müssen diese Daten eingekauft werden oder mittels Echolot gemessen werden.	- Pegel online - Infos zu aktuellen Pegelständen.

2.1.2.2.3 Ultraschall unter Wasser – SONAR

Akronym ausgeschrieben: Sound, NAvigation and Ranging

Kurz-Erläuterung:
Ultraschall unter Wasser, auch bekannt als Sonar, ist ein System, das Schallwellen mit hoher Frequenz verwendet, um Objekte und Strukturen unter Wasser zu erkennen, zu lokalisieren und zu vermessen. Es basiert auf dem Prinzip der Echolotung, bei dem gesendete Schallwellen von Objekten reflektiert werden und zurück zum Sender gelangen. Die Analyse dieser reflektierten Wellen ermöglicht es, Distanzen, Größen und Formen von Objekten zu bestimmen, und wird in der Schifffahrt, Unterwasserforschung und militärischen Anwendungen eingesetzt.

Verwandte Systeme / Begriffe:
Echolot: Ein Gerät zur Messung der Tiefe von Gewässern durch die Verwendung von Ultraschall.

- Seitenlotaufnehmer: Ein Gerät zur Messung der seitlichen Entfernung von Objekten durch die Verwendung von Sonar.
- Passive Sonar-Systeme: Systeme, die Schallwellen von natürlichen oder von anderen Objekten abgegebenen Geräuschen aufzeichnen und analysieren, um Objekte im Wasser zu identifizieren.
- Aktive Sonar-Systeme: Systeme, die Schallwellen erzeugen und messen, um Objekte im Wasser zu lokalisieren.
- Fächersonar: Ein Sonarsystem, das Schallwellen in einem breiten Winkel ausstrahlt, um ein größeres Gebiet abzudecken.
- Doppelfrequenzsonar: Ein Sonarsystem, das zwei verschiedene Frequenzen von Schallwellen ausstrahlt, um ein besseres Bild von Objekten im Wasser zu erhalten.
- Multibeam-Sonar: Ein Sonarsystem, das eine Vielzahl von Schallstrahlen ausstrahlt, um ein detailliertes 3D-Bild von Objekten unter Wasser zu erstellen.

Vor / Nachteile + Zuverlässigkeit:

Sonare funktionieren wie Echolote, vermessen messen jedoch die voraus liegende Umgebung (Echolot = Senkrecht). Auch hier spielen die unter "Echo Lot" beschriebenen Faktoren eine Rolle, wenn auch nur im geringen Ausmaß, da sowohl Salzgehalt und Temperatur sich in der Horizontalen des Gewässers, nur minimal unterscheiden. Die Genauigkeit nimmt mit der Entfernung ab. Da für uns jedoch gerade der Nahbereich von Interesse ist (wo Radar sehr ungenau ist bzw. überhauptkeine Daten liefert) ist Sonar weiterhin interessant.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Möglichkeit, die Umgebung zu vermessen. - 3D Informationen - Unabhängig von Umwelteinflüssen. - erfassen von Objekte, unabhängig vom Material.	- Detektiert lediglich Objekte **unterhalb der Wasserlinie.** - niedriege Auflösung - Aufgrund der Flusstiefe, stark begrenzte reichweite.	- Radar für den Fernbereich - LiDAR für den Nahbereich Bsp.: Schleusen - Kamera

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Da die schwer zu detektierenden Objekte über Wasser liegen (Brücken) und Schwimmkörper oberhalbe der Wasselinie größer sind als unterhalb, ist diese Technik für uns **nicht zu gebrauchen.**	- Grüner laser - in etwicklung (vermutlich keine option für uns / nicht marktreif)

2.1.2.2.4 Ultraschall über Wasser

Kurz-Erläuterung:

Ultraschallsensoren über Wasser sind elektronische Geräte, die Schallwellen mit hoher Frequenz verwenden, um die Entfernung, Position und Geschwindigkeit von Objekten oberhalb der Wasseroberfläche zu erfassen. Sie arbeiten auf der Grundlage der Echolotung, bei der Ultraschallsignale ausgesendet und die von Objekten reflektierten Echos empfangen werden. Die Zeit, die das Signal benötigt, um zum Objekt und zurück zum Sensor zu gelangen, wird zur Berechnung der Entfernung verwendet.
Auf Schiffen können Ultraschallsensoren für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, wie z.B. zur Kollisionsvermeidung, zur Überwachung von Hindernissen und Objekten in der Nähe. Solche Sensoren sind besonders nützlich in schlechten Sichtverhältnissen oder bei Nacht, wenn die optische Wahrnehmung eingeschränkt ist. Ultraschallsensoren tragen zur Verbesserung der Sicherheit und Effizienz der Schiffsnavigation bei und können in Kombination mit anderen Navigationssystemen wie Radar, ECDIS oder GPS verwendet werden.

Ultraschallsensoren über Wasser, die für Schiffe eingesetzt werden, befinden sich derzeit noch in der Entwicklungsphase, und es sind noch keine fertigen Systeme auf dem Markt erhältlich. Unternehmen wie IN/Argonav sind jedoch mit ihrer Forschung in diesem Bereich relativ weit fortgeschritten. Es wird erwartet, dass in den nächsten zwei Jahren marktreife Produkte verfügbar sein werden. Sobald diese innovativen Ultraschallsensoren auf den Markt kommen, werden sie die Schiffsnavigation und Sicherheit weiter verbessern und die Möglichkeiten der Schiffsüberwachung und -steuerung erweitern. Auch interessant ist die bisherige Arbeit der Uni-Antwerpen (klick).

Vor / Nachteile + Zuverlässigkeit:

Momentan am Markt verfügbare Sensoren haben leider eine maximale Reichweite knapp 10 Metern. Zukünftig ist Sonar über Wasser unabdingbar für das Autonome Fahren da die Bilder, gerade in Schleusen essenzielle Infos liefern. Radar liefert in Schleusen keinerlei Infos (da alles zu nah ist). Über die Zuverlässigkeit der zukünftigen Sensoren, kann zum heutigen Zeitpunkt noch keine Aussage getroffen werden. Anzunehmen ist aber, dass diese den momentan verfügbaren Sensoren, in punkto Reichweite und Genauigkeit, weit überlegen sein werden.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Detektiert **Objekte oberhalb der Wasserlinie** (bsp.: Brücken, Gegenverkehr). - erfassen von Objekte, unabhängig vom Material. - weit Fortgeschritten aufgrund der Automobilindustrie - 3D Informationen	- Umwelteinflüsse spielen anders als bei der unterwassermessung, eine Rolle (Radar ist im vergleich zwar unempfindlicher, aber nicht signifikant) - Produkte aus der Automobilindustrie haben eine zu geringe **Reichweite (oft nur 10m)** - Niedrige Auflösung - laute umgebungen stellen ein Problem dar.	- Radar für den Fernbereich - LiDAR für den Nahbereich und Fernbereich Bsp.: Schleusen - Kamera

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Diverse Universitäten/Firmen arbeiten an 3D-Sonar anlagen zur Vermessung der umgebung im Maritimen Bereich mit höheren Reichweiten.. Eine Markteinführung wird vermutlich innerhalb der nächsten 1-2 Jahre stattfinden (Fa. Argonav ist in DE am weitesten) Diese Technik ist **zur zuverlässigen Objekt Detektion, unabdingbar.**	- für das Konsortium keine hohe priorität. Redundanz wird durch LiDar, Kamera und Radar geschaffen.

2.1.2.2.5 LiDAR

Akronym ausgeschrieben: Light Detection and Ranging

Kurz-Erläuterung:
LiDAR (Light Detection and Ranging) ist eine Fernerkundungs-Methode, die Laserlicht verwendet, um die Entfernung, Position und Form von Objekten oder Oberflächen genau zu messen. Bei diesem Verfahren werden Laserimpulse ausgesendet und deren reflektiertes Licht von Sensoren erfasst. Durch Berechnung der Zeit, die das Licht benötigt, um zum Objekt und zurückzugelangen, kann die Entfernung zum Objekt bestimmt werden. LiDAR wird häufig in Geowissenschaften, Vermessung, Kartierung, Forstwirtschaft, Stadtplanung und autonomer Fahrzeugtechnik eingesetzt. Es ermöglicht die Erstellung von hochpräzisen dreidimensionalen Modellen der Umgebung und wird sowohl in terrestrischen als auch in luftgestützten Anwendungen verwendet.

Verwandte Systeme / Begriffe: Unterkategorie der „ToF-Sensoren“ (time off flight)
Vor / Nachteile + Zuverlässigkeit:

Vorteile von LiDAR:

- Hohe Auflösung: LiDAR-Systeme bieten eine extrem hohe Auflösung und Genauigkeit, was sie ideal für detaillierte Umgebungserfassung macht.

- Unabhängigkeit von Lichtbedingungen: Im Gegensatz zu einigen anderen Sensortechnologien, funktioniert LiDAR sowohl tagsüber als auch nachts effektiv, da es seine eigene Lichtquelle verwendet.
- Wetterresistenz: LiDAR kann auch unter schwierigen Wetterbedingungen, wie starkem Regen, effektiv arbeiten, obwohl die Leistung in solchen Situationen etwas reduziert sein kann.

Nachteile von LiDAR:

- Hohe Kosten: Die Komplexität und Präzision von LiDAR-Systemen führen zu höheren Kosten im Vergleich zu anderen Sensortechnologien.
- Datenvolumen: Die hohe Auflösung und Genauigkeit von LiDAR erzeugt eine große Menge an Daten, die Verarbeitungsprobleme in Echtzeitanwendungen verursachen können.
- Fehlender Standard: Es gibt derzeit keinen einheitlichen Standard für LiDAR-Systeme, was zu Problemen bei der Integration und Kompatibilität führen kann.
- Empfindlichkeit gegenüber starkem Licht: LiDAR kann durch starke Lichtquellen, wie die tief stehende Sonne, beeinträchtigt werden, da diese das reflektierte Signal überlagern können.
- Sicherheitsbedenken: LiDAR verwendet Laserstrahlen, die potenziell schädlich für das menschliche Auge sein können. Die genauen Sicherheitsbedingungen können je nach System variieren und es existieren Sicherheitsstandards wie die DIN EN 60825-1, um potenzielle Gefährdungen zu minimieren.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- ermöglicht **exakte und zuverlässige Distanzmessungen**. - relativ unabhängig von Umwelteinflüssen. (zwiespalt /abhängig vom Hersteller) - hohe Auflösung und reichweite - 3D informationen	- teuer - in Abhängigkeit des Abstrahlwinkels, kann das Menschliche Auge verletzt werden. Schädlichkeit kann nicht pauschalisiert werden da es keinen Standard gibt. - möglicher ausfall bei sehr flacher Sonneneinstrahlung	- Ultraschall - Radar - Kamera

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Lidar ist für schwiriege manöver, wie z.B. bei **Schleusenfahrten, unabdingbar.**	- Hesei (Hesai) - preiswerte alternative zu Velodyne - Ouster wird von Titus momentan vedrwendet. - aktuelle technik: Solid state / keine mechanik

2.1.2.2.6 RADAR

Akronym ausgeschrieben: RAdio Detection And Ranging

Kurz-Erläuterung:

Radar ist ein System, das Radiowellen verwendet, um die Position, Entfernung und Geschwindigkeit von Objekten wie Flugzeugen, Schiffen, Fahrzeugen oder Wetterphänomenen zu erkennen und zu verfolgen. Ein Radar besteht aus einem Sender, der elektromagnetische Wellen aussendet, und einem Empfänger, der die von Objekten reflektierten Wellen empfängt. Die Laufzeit der Wellen von Sender zu Objekt und zurück zum Empfänger wird gemessen, um die Entfernung zu berechnen. Die Doppler-Verschiebung der reflektierten Wellen wird verwendet, um die Geschwindigkeit des Objekts zu bestimmen.

Radar wird in vielen Anwendungen eingesetzt, wie z.B. in der Luft- und Seefahrt, im Militär, in der Wettervorhersage, im Verkehrswesen und in der Raumfahrt. Es ist ein wichtiges Instrument zur Navigation, Überwachung, Erkennung und Kollisionsvermeidung.

Vor / Nachteile + Zuverlässigkeit:

Radar ist in den Schleusen grundsätzlich ohne Funktion. Auch Brücken stellen ein großes Problem dar. Radar erkennt nur Objekte, die auch Radar Strahlung (elektromagnetische Wellen) reflektieren. Heutzutage werden Brücken mit Radarreflektoren ausgestatten um sicherzustellen, dass diese erkannt werden. Hierbei ist zu beachten, dass lediglich die Entfernung, nicht aber die Höhe, Breite oder Tiefe der Brücke ermittelt werden kann. Mehrfachreflektion, insbesondere bei Stahlbrücken stellt jedoch weiterhin ein Problem dar.

Radaranlagen haben in der Binnenschifffahrt bei einer "mittleren" Messentfernung eine Genauigkeit von einigen Metern. Im Nahbereich (bspw. Begegnung von zwei Binnenschiffen) sind die Ergebnisse nicht brauchbar. Des Weiteren können sogenannte Geisterechos auftreten, bei denen Objekte im Radarbild angezeigt werden, welche tatsächlich aber nicht vorhanden sind (aufgrund von Mehrfachreflektion). So könnte beispielsweise eine Brücke mehrfach dargestellt werden obwohl diese tatsächlich nicht existieren. Hinzu kommt die sinkende Genauigkeit bei starkem Regen oder starkem Schneefall. Das größte Problem stellen jedoch zum Beispiel Steilufer dar, bei denen das Radar gänzlich abgeschattet wird.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Detektiert Objekte oberhalb der Wasserlinie (bsp.: Brücken, Gegenverkehr). - Weitgehend unabhängig von Umwelteinflüssen. - 3D Informationen, hohe Reichweite	- Niedrige Auflösung - Erfassen nur Objekte die elektromagnetisch wechselwirken - Geister-Echos liefern regelmäßig fehlinformationen - Erkennt Brücken heufig, aber liefert keine Informationen über deren Höhe und Tiefe.	- Kamera für den Fernbereich Bsp.: Brücken - LiDAR für den Nahbereich Bsp.: Schleusen - Bei Radar Ausfall an bspw. Steilufern können ECDIS und AIS informationen über den Flussverlauf und gegenverkehr liefern.

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Diese Technik ist zur zuverlässigen Objekt Detektion, **unabdingbar**.	-

2.1.2.2.7 Kamera

Kurz-Erläuterung:

IP-Kameras mit Wärmebild- und Klarbildfunktionen sind Überwachungskameras, die sowohl Infrarot- als auch sichtbares Licht erfassen, um detaillierte und hochauflösende Bilder bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen bereitzustellen. Diese Kameras verfügen über zwei separate Sensoren: einen für Wärmebildaufnahmen, der auf Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) reagiert, und einen für Klarbildaufnahmen, der auf sichtbares Licht reagiert.

Die Wärmebildfunktion ermöglicht es, Objekte und Personen auch bei völliger Dunkelheit, Nebel oder Rauch zu erkennen, indem sie Temperaturunterschiede in der Umgebung detektiert. Dies ist besonders nützlich für Überwachungszwecke, Sicherheitsanwendungen und die Erkennung von Wärmelecks oder potenziellen Brandherden.

Die Klarbildfunktion liefert hochauflösende Farbbilder, die bei guten Lichtverhältnissen oder mit Unterstützung von zusätzlicher Beleuchtung detaillierte Informationen über die Szene bieten. Dies ermöglicht eine bessere Identifikation von Objekten, Personen und Umgebungsmerkmalen.

Durch die Kombination von Wärmebild- und Klarbildfunktionen in einer IP-Kamera können Nutzer sowohl bei Tag als auch bei Nacht und unter verschiedenen Umweltbedingungen eine zuverlässige Überwachung und Erkennung gewährleisten. Diese Kameras sind für den Einsatz in verschiedenen Anwendungen geeignet, wie z.B. in der Industrie, im Verkehrswesen, bei der Sicherheitsüberwachung oder im maritimen Bereich.

Vor / Nachteile + Zuverlässigkeit:

Vorteile von IP-Kameras mit Wärmebild- und Klarbildfunktionen:

- Verbesserte Sichtbarkeit: Durch die Kombination von Wärmebild- und Klarbildtechnologie können diese Kameras unter verschiedenen Licht- und Wetterbedingungen zuverlässige Überwachungsergebnisse liefern. Sie funktionieren auch bei völliger Dunkelheit, Nebel, Rauch und Schatten effektiv.
- Erkennung von Wärmequellen: Die Wärmebildfunktion kann Wärmelecks, potenzielle Brandherde und unerwünschte Aktivitäten identifizieren, die für das menschliche Auge unsichtbar sind, was die Sicherheit und Effizienz erhöht.

- Flexibilität: IP-Kameras mit Wärmebild- und Klarbildfunktionen sind vielseitig einsetzbar und eignen sich für zahlreiche Anwendungen, darunter Sicherheitsüberwachung, Verkehrsmanagement, Industrieüberwachung und maritime Überwachung.
- Netzwerkkonnektivität: Dank ihrer IP-Fähigkeiten lassen sich diese Kameras problemlos in bestehende Netzwerke integrieren und ermöglichen eine Fernüberwachung über das Internet oder lokale Netzwerke.

Nachteile von IP-Kameras mit Wärmebild- und Klarbildfunktionen:

- Potenzial für Fehlinformationen: Wärmebildsensoren können gelegentlich durch Umweltfaktoren wie starke Sonneneinstrahlung, Reflexionen oder Tiere verfälschte Daten liefern. Dies kann zu Fehlinterpretationen führen und die Effektivität des Systems einschränken.

Zuverlässigkeit:

Die Zuverlässigkeit von IP-Kameras mit Wärmebild- und Klarbildfunktionen hängt von der Qualität der verwendeten Sensoren, der Verarbeitungsleistung und der Netzwerkkonnektivität ab. Hochwertige Kameras bieten in der Regel eine gute Zuverlässigkeit und Leistung, solange sie ordnungsgemäß installiert und gewartet werden. Um eine optimale Leistung und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, sollten Kameras regelmäßig überprüft und ihre Linse gereinigt werden. Zudem sollte bei der Installation auf eine korrekte Positionierung und Ausrichtung geachtet werden, um mögliche Einschränkungen in der Sichtbarkeit zu minimieren.

Performance-Aspekt	Mensch	Radar	LiDAR	Kamera
Objekterkennung	Gut	Gut	Gut	Ausreichend
Objektklassifizierung	Gut	Schlecht	Ausreichend	Gut
Distanzschätzung	Ausreichend	Gut	Gut	Ausreichend
Kantenerkennung	Gut	Schlecht	Gut	Gut
Spurverfolgung	Gut	Schlecht	Schlecht	Gut
Sichtweite	Gut	Gut	Ausreichend	Ausreichend
Leistung bei schlechtem Wetter	Ausreichend	Gut	Ausreichend	Schlecht
Leistung bei Dunkelheit	Schlecht	Gut	Gut	Ausreichend
Schildererkennung	Gut	Schlecht	Schlecht	Gut
Kosten	n/A	Hoch	Hoch	Mittel

2.1.2.2.8 Wetterstation

Kurz-Erläuterung:

Eine Wetterstation auf einem Schiff ist ein System zur Sammlung, Überwachung und Analyse von Wetterdaten und Meeresbedingungen. Sie ist mit verschiedenen meteorologischen und ozeanographischen Sensoren und Instrumenten ausgestattet, um Informationen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und -richtung, Luftdruck, Niederschlagsmengen und Wellenhöhen zu erfassen. Diese Daten werden fortlaufend überwacht, um den Schiffsführern und der Besatzung dabei zu helfen, sichere und effiziente Navigationsentscheidungen zu treffen, und können auch an Land zur Verbesserung der Wettervorhersage und der maritimen Sicherheit weitergegeben werden.

Vor / Nachteile + Zuverlässigkeit:

Vorteile einer Wetterstation auf einem Schiff:

- Echtzeitinformationen: Eine Schiffs-Wetterstation liefert aktuelle Wetter- und Meeresbedingungen, die für sichere Navigation und Entscheidungsfindung an Bord entscheidend sind.
- Frühwarnsystem: Die Wetterstation kann dazu beitragen, gefährliche Wetterbedingungen wie Stürme, Starkwind und hohe Wellen frühzeitig zu erkennen, wodurch das Schiff seine Route anpassen kann, um möglichen Gefahren auszuweichen.
- Forschung und Umweltüberwachung: Schiffs-Wetterstationen unterstützen die Sammlung von Langzeitdaten, die zur Untersuchung von Wetterphänomenen, Ozeanströmungen und Klimaveränderungen beitragen.

Nachteile einer Wetterstation auf einem Schiff:

- Beeinflussung durch Schiffsbewegungen: Schiffsbewegungen und Vibrationen können die Messgenauigkeit einiger Sensoren beeinträchtigen.

Zuverlässigkeit:

Die Zuverlässigkeit einer Schiffs-Wetterstation hängt von der Qualität der verwendeten Instrumente, der ordnungsgemäßen Installation und Wartung sowie von den Umgebungsbedingungen ab. Moderne Wetterstationen sind in der Regel zuverlässig, solange sie gut gewartet werden. Dennoch können Faktoren wie extreme Wetterbedingungen, Schiffsbewegungen und Vibrationen die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen beeinträchtigen. Es ist wichtig, die Wetterdaten von einer Schiffs-Wetterstation in Kombination mit anderen Informationsquellen wie Wettervorhersagen und Satellitenbildern zu nutzen, um ein vollständigeres Bild der Wetter- und Meeresbedingungen zu erhalten.

Zusammenfassung + Konsortium Ergebnis:

Pro	Con	Redundanz / Fusion
- Misst Windrichtung und Windgeschwindigkeit - Günstig - Zuverlässige Messwerte - Druck, Temperatur	- Windrichtung und Windgeschwindigkeit wirken sich auf jedes Schiff anders aus (Abdrift), was eine Auswertung sehr erschwert.	**- Online Daten**

Meinung Stolze	Konsortium Ergebniss
Aufgrund des nur schwer errechenbaren Auswirkung des Windes, ist es einfacher, das Ergebniss zu messen (Abdrift) und dagegenzusteuern.	- luftdruck fällt stark -> wetterveränderung - prüfen: ab wann farhten eingestellt werden müssen. - in abhängigkeit der lichtstärke, müssen Laternen gesetzt werden. -Unwetter hat zur folge, dass es dunkel ist -> licht einschalten.

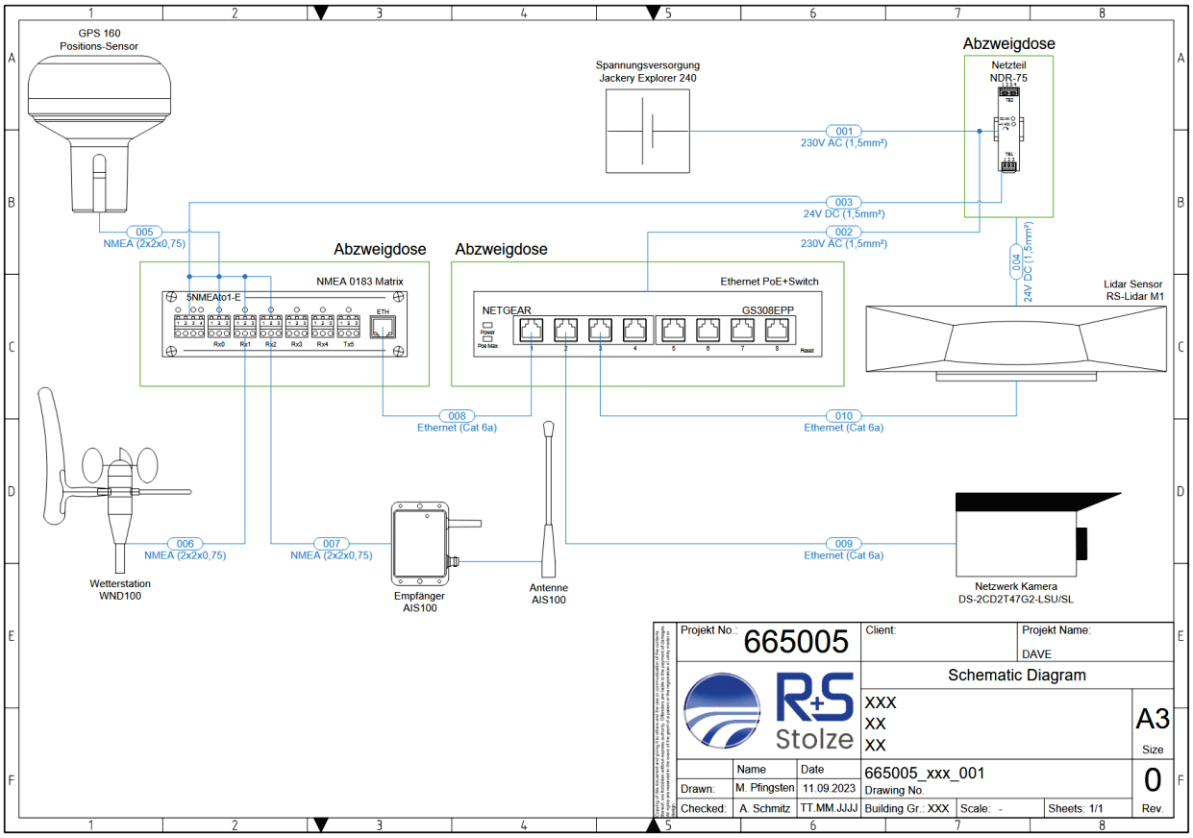
2.1.2.2.9 Sensorplattform

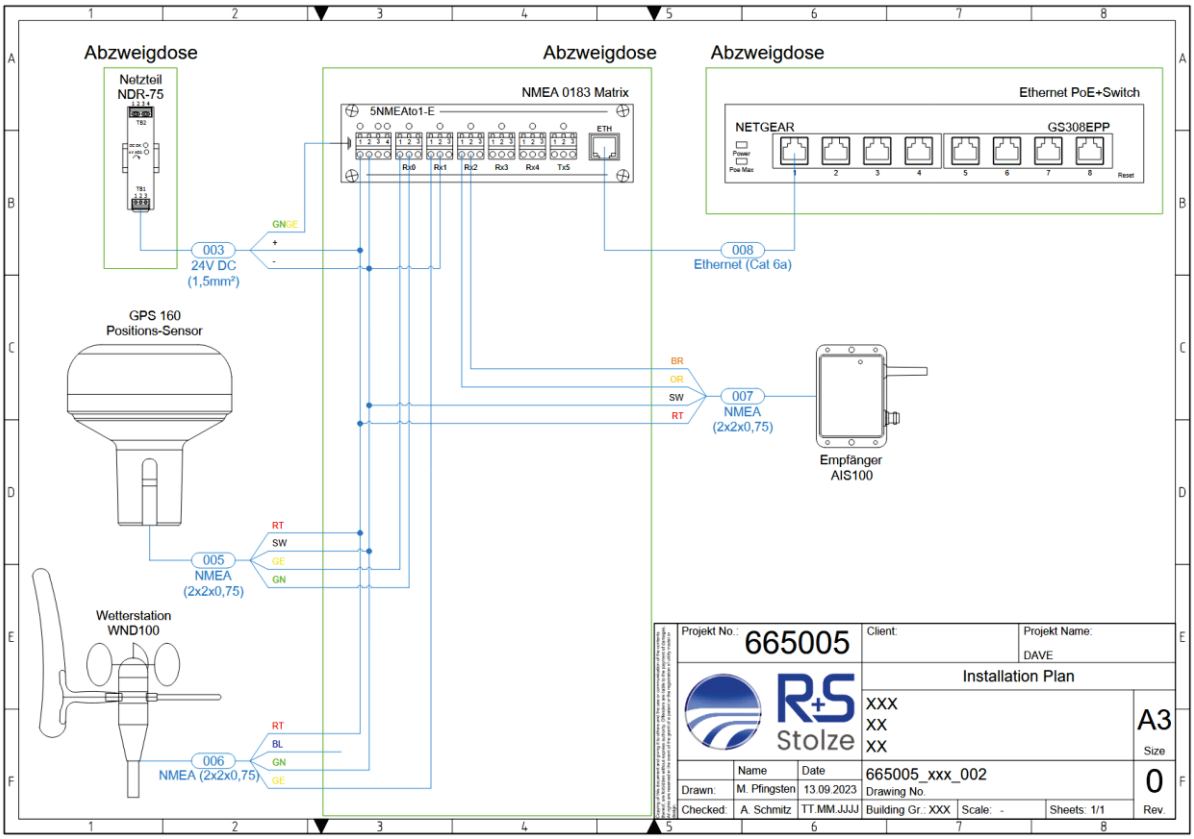
Um das Konzept zu validieren, ist der Aufbau eines Prototyp-Sensorsystems unerlässlich. Dieser Ansatz stellt sicher, dass die Zuverlässigkeit und Effektivität in realen Szenarien gewährleistet ist. Der Prototyp besteht aus folgenden Komponenten:

- LiDAR: RoboSense RS-LiDAR-M1
- Kamera: Hik Vision DS-2CD2T47G2-LSU/SL
- NMEA-Matrix: Veinland 5NMEAto1-E
- Windsensor: DigitalYacht WND100
- AIS-Empfänger: DigitalYacht AIS100
- GNSS-Empfänger: DigitalYacht GPS160
- Switch: NETGEAR GS308EPP PoE Switch
- Stromversorgung: Ecoflow River 2 Max & Jackery Explorer 200
- Stromversorgung: Mean Well NDR-75-24

Die Komponenten wurden in einer Eurobox unter Verwendung mehrerer wasserdichter Boxen montiert. Die Sensoren sind auf einer Platte montiert, die am Deckel der Box befestigt ist. Die Kamera und der LiDAR sind zentral platziert, wobei die Kamera oberhalb des LiDARs positioniert ist. Die beiden GPS-Sensoren befinden sich auf der rechten Seite des Deckels, während der Windsensor auf der linken Seite angebracht ist. Der Jetson Orin AGX, sichtbar im Hintergrund, ist nicht fest in der Box installiert und kann flexibel positioniert werden.

Für die interne Datenkommunikation und die Integration maritimer Sensoren in den Prototypen wird eine NMEA-zu-Ethernet-Matrix verwendet. Die Matrix verbindet eine Reihe von NMEA-Geräten, darunter AIS zur Schiffsidentifikation, GPS zur Standortverfolgung und einen Windsensor zur Erfassung von Umweltdaten, mit unserer Verarbeitungseinheit. Diese Komponenten sind entscheidend, um die Effektivität der NMEA-Matrix bei der Handhabung diverser Datenquellen zu testen, insbesondere im Hinblick auf die mögliche Integration in bestehende Schiffe mit vorhandenen NMEA-Systemen.


GPS 160
Positions-Sensor
Spannungsversorgung
Jackery Explorer 240
Abzweigdose
Netzteil
NDR-75
001
230V AC (1,5mm²)
003
24V DC (1,5mm²)
002
230V AC (1,5mm²)
005
NMEA (2x2x0,75)
004
24V DC (1,5mm²)
Abzweigdose
NMEA 0183 Matrix
5NMEAto1-E
Abzweigdose
Ethernet PoE+Switch
NETGEAR
GS308EPP
Lidar Sensor
RS-Lidar M1
008
Ethernet (Cat 6a)
010
Ethernet (Cat 6a)
006
NMEA (2x2x0,75)
007
NMEA (2x2x0,75)
009
Ethernet (Cat 6a)
Wetterstation
WND100
Empfänger
AIS100
Antenne
AIS100
Netzwerk Kamera
DS-2CD2T47G2-LSU/SL
Projekt No.: 665005
Client:
Projekt Name: DAVE
Schematic Diagram
R+S Stolze
XXX
XX
XX
A3
Size
Name
Date
Drawn: M. Pfingsten 11.09.2023
Checked: A. Schmitz TT.MM.JJJJ
665005_xxx_001
Drawing No.
Building Gr.: XXX
Scale: -
Sheets: 1/1
0
Rev.


Abzweigdose
Netzteil
NDR-75
Abzweigdose
NMEA 0183 Matrix
5NMEAto1-E
Abzweigdose
Ethernet PoE+Switch
NETGEAR
GS308EPP
003
24V DC
(1,5mm²)
GN GE
+
-
008
Ethernet (Cat 6a)
GPS 160
Positions-Sensor
BR
OR
SW
RT
007
NMEA
(2x2x0,75)
Empfänger
AIS100
RT
SW
GE
GN
005
NMEA
(2x2x0,75)
Wetterstation
WND100
RT
BL
GN
GE
006
NMEA (2x2x0,75)
Projekt No.: 665005
Client:
Projekt Name: DAVE
Installation Plan
R+S Stolze
XXX
XX
XX
A3
Size
Name
Date
Drawn: M. Pfingsten 13.09.2023
Checked: A. Schmitz TT.MM.JJJJ
665005_xxx_002
Drawing No.
Building Gr.: XXX
Scale: -
Sheets: 1/1
0
Rev.

2.1.2.2.10 Hinblick IT-/Sensor Infrastruktur "Reales Schiff"

Mit Hinblick auf ein Reales Schiff, muss die dargestellte Sensorplattform sowohl erweitert als auch dezentral in das Schiff integriert werden. Hierbei sind weitere Sensoren notwendig, wie:

- Radar: Unabdingbar für eine zuverlässige Objekterkennung, gerade auf größeren Distanzen.
- Sonar oder Kurzstreckenradar: Im Nah-Bereich ist Lidar zwar sehr genau, jedoch weiterhin sehr teuer in der Anschaffung. Für Kompliziertere Manöver, wie z.B. eine Schleusenfahrt, sind cm-genaue Messungen zu allen Seiten des Schiffes Nötig. Hierfür stellen Sonar oder Kurzstreckenradar eine Wirtschaftliche Lösung dar, da bei diesem Manöver keine mittleren oder größere Distanzen gemessen werden müssen.
- Wendeanzeiger: Zwar liefern Sensoren/Systeme wie GNSS, Radar, Lidar, Kamera oder Sonar im gemeinsamen Verbund auch akkurate Informationen über die „rate-of-turn" des Schiffes, jedoch ist der Wendenanzeiger verpflichtend zu installieren und fungiert so als fall-back System um eine größere Sensor-Redundanz zu erreichen.
- Stereokamera: Abhängig von der Baseline (dem Abstand beider Kameramittel-punkte) können unterschiedliche Reichweiten realisiert werden. Fertige Modelle bieten Reichweiten von 20 bis 60 Metern, individuelle Konfigurationen mit einer Baseline von 2 Metern können Reichweiten von theoretisch 800 Metern errei-chen. Die Genauigkeit nimmt mit zunehmender Entfernung stark ab. https://support.stereolabs.com/hc/en-us/articles/20851232732311-Setting-up-your-Stereo-Rig-with-two-ZED-X-One-cameras?_gl=1*jpadxa*_gcl_au*MTc3ODg5OTM3Mi4xNzI1Mjg0OTMz

Radar, Sonar und Wendenanzeiger sprechen grundsätzlich nativ NMEA0183 und können leicht in das System integriert werden. Lediglich die in der Automobil-Industrie anzutreffenden Kurzstreckenradare müssten in NMEA0183 übersetzt werden, was aber kein Problem darstellt. Hinsichtlich der Dezentralen Integration ist das System sehr flexibel aufgebaut da auf den NMEA Standard gesetzt wird. Lediglich die maximale Leitungslänge der $Cat6_A$ Ethernet Strecken (Kamera, Lidar) sind auf 90 Meter limitiert. Für noch längere Schiffe schaffen PoE-Repeater eine kostengünstige Abhilfe.

Durch den dezentralen Aufbau der Sensorplattform wird auch die Durchführung von IT Security Maßnahmen notwendig sein.

Dies geht damit einher da, das System auf die Erfassung, Verarbeitung und Nutzung von Sensordaten, die Echtzeiteinblicke in die Umgebung des Schiffs bieten und zu Steuerungs- und Assistenzzwecken verwendet werden können, angewiesen ist.

Netzwerk- und Kommunikationssicherheit:

Ziel ist der Schutz der internen und externen Kommunikationssysteme der Sensorplattform. Dies umfasst sowohl die interne Sensor-zu-Sensor-Kommunikation als auch die externe Kommunikation zwischen Schiff und externer Infrastruktur.

Maßnahmen:

Verschlüsselung der Kommunikation: Alle Daten, die intern und extern übertragen werden, sollten durch TLS (Transport Layer Security) oder VPN-Verschlüsselung gesichert werden.

Zugriffskontrollen: Implementierung von rollenbasierten Zugriffskontrollen (RBAC) für den Zugriff auf Netzwerk- und Kommunikationsdienste.

Protokollsicherheit: Nutzung von sicheren Kommunikationsprotokollen wie NMEA 0183 für interne Systeme und Ethernet/5G für externe Kommunikation. Ein zusätzlicher Schutzmechanismus sollte für die Datenübertragung über Starlink oder ähnliche Netzwerke eingerichtet werden.

Authentifizierung und Autorisierung

Um unbefugten Zugriff auf die Systeme und Daten zu verhindern, muss ein robustes Authentifizierungs- und Autorisierungsverfahren implementiert werden.

Maßnahmen**:**

Multi-Faktor-Authentifizierung (MFA): Für alle Benutzerzugriffe auf die Systeme sollte MFA genutzt werden, um zusätzliche Sicherheitsebene zu gewährleisten.

Zugriffsbeschränkungen: Festlegung klarer Zugriffsrechte, z.B. nur autorisiertes Wartungspersonal hat physischen Zugriff auf die Sensorplattform; Remote-Operatoren dürfen nur auf bestimmte, nicht sicherheitskritische Funktionen zugreifen.

Zertifikatbasierte Authentifizierung: Nutzung von Zertifikaten für die sichere Authentifizierung von Geräten und Sensoren im Netzwerk.

Datenintegrität und -sicherheit

Sicherung der Verfügbarkeit und Integrität der Daten, die von den Sensoren und den Kommunikationssystemen erfasst und verarbeitet werden.

Maßnahmen:

Datenverschlüsselung: Alle Daten, die auf dem Schiff oder extern gespeichert werden, sollten mit AES-256 oder einem gleichwertigen Verschlüsselungsstandard gesichert werden.

Datenintegritätsprüfungen: Regelmäßige Integritätsprüfungen der Sensordaten zur Erkennung und Verhinderung von Datenmanipulation.

Zugriffsbeschränkungen auf Daten: Sicherstellung, dass nur autorisierte Systeme und Benutzer auf gespeicherte und verarbeitete Daten zugreifen können.

Physische Sicherheit

Schutz der physischen Komponenten und der Sensoren, die an Bord des Schiffs installiert sind, vor unbefugtem Zugriff oder physischen Schäden.

Maßnahmen:

Zugangskontrolle: Physische Zugangskontrolle zu den technischen Bereichen des Schiffs, die die Sensorplattform und die Datenverarbeitungsgeräte enthalten.

Sicherer Aufbau: Die Sensoren sollten, wenn nötig, in wasserdichten und robusten Gehäusen installiert werden, um sie vor Umwelteinflüssen und Sabotage zu schützen.

Überwachung und Protokollierung

Um die Sicherheit des Systems zu gewährleisten und mögliche Vorfälle nachvollziehen zu können, ist eine kontinuierliche Überwachung und Protokollierung notwendig.

Maßnahmen:

Echtzeitüberwachung: Einsatz eines zentralisierten Systems zur Überwachung aller Netzwerkaktivitäten und des Datenflusses in Echtzeit. Durch Systeme wie NAGIOS oder ICINGA.

Protokollierung und Analyse: Speicherung von Logdaten über Zugriffe und Systemereignisse. Diese Logdaten sollten regelmäßig überprüft werden, um Anomalien oder mögliche Sicherheitsverletzungen zu erkennen.

Alarmierung bei Sicherheitsvorfällen: Einrichtung eines Alarmsystems, welches sofort die Crew über mögliche Sicherheitsverstöße oder ungewöhnliche Aktivitäten informiert.

Um den variierenden Anforderungen an das Assistenzsystem und die Sensoranzahl gerecht zu werden, ist eine flexible und skalierbare IT-Infrastruktur notwendig. Hierfür empfiehlt sich der Einsatz kaskadierender Enterprise-Systeme führender Anbieter wie Cisco Systems, HP Aruba oder Ubiquiti. Diese modularen Netzwerke bieten die erforderliche Flexibilität und Leistungsfähigkeit, um die Sensordaten zuverlässig zu übertragen und zu verwalten.

Ein Beispiel für eine passende Hardwarekonfiguration wären Cisco Catalyst 9300 Series Switches, die hohe Flexibilität und Sicherheit bieten. Alternativ bieten HP Aruba 5400R zl2 Switches eine ähnliche modulare Architektur, die sich ebenfalls gut für dynamische Netzwerke eignet. Ubiquiti UniFi Switch Pro Aggregation bietet eine kostengünstigere Lösung, die für kleinere oder mittelgroße Netzwerke, wie sie bei kleineren Schiffen vorkommen könnten, optimal ist.

Da die Netzwerksicherheit entscheidend für den Betrieb, sollte eine Enterprise-Grade-Firewall eingesetzt werden. Diese schützt das System vor externen Bedrohungen und sorgt für die sichere Verarbeitung und Übertragung von Sensordaten. Empfehlenswerte Hardware umfasst die Cisco Firepower 1000 Series, die in Echtzeit Bedrohungen erkennt und hohen Netzwerkverkehr bewältigt. Alternativ bieten Fortinet FortiGate 100F oder Palo Alto Networks PA-220 Firewalls ebenfalls eine umfassende Bedrohungserkennung und Datensicherheit und lassen sich nahtlos in bestehende Netzwerkarchitekturen integrieren.

Für die zuverlässige Kommunikation zu externen Quellen, etwa zur Übermittlung von Navigationsdaten oder zur Kommunikation mit der Verkehrsinfrastruktur, ist eine Multi-WAN-Lösung ratsam, die auf einer Kombination mehrerer 5G-Anbieter und möglicherweise Starlink basiert. Diese Kombination stellt sicher, dass die Verbindung auch in abgelegenen Gebieten stabil bleibt. Hardwarelösungen wie der Peplink MAX Transit 5G Router oder die Cradlepoint R1900 Serie sind für den mobilen Einsatz optimiert und unterstützen Multi-WAN für eine ausfallsichere Verbindung. Ergänzend kann das Starlink Maritime Kit integriert werden, um auch auf dem Wasser einen Hochgeschwindigkeits-Internetzugang zu gewährleisten.

Für Assistenzsysteme und KI-Module, muss die Serverinfrastruktur ebenfalls erweiterbar und KI-optimiert sein. NVIDIA bietet hierfür mit der Jetson-Serie eine ideale Plattform. So ist der NVIDIA Jetson AGX Xavier eine kompakte Lösung, die sich hervorragend für maschinelles Lernen und Edge-Computing eignet. Für komplexere KI-Anwendungen, wie etwa die Sensorfusion oder die Bildverarbeitung in Echtzeit, ist der leistungsstärkere NVIDIA Jetson Orin AGX zu empfehlen. Falls umfangreichere Inferenz- und Trainingsaufgaben erforderlich sind, könnte ein Tower-Server wie der Dell PowerEdge T340, ausgestattet mit NVIDIA T4 GPUs, eine skalierbare Option bieten.

2.1.3 AP 4 Sensordatenfusion

Zur Verbesserung der Sensordatenverarbeitung wurden geeignete Methoden für die Kalibrierung der Sensoren Kamera und LiDAR ausgewählt und erfolgreich implementiert. Die extrinsische Kalibrierung von Kamera zu LiDAR wurde durchgeführt, um eine genaue räumliche Zuordnung zwischen den beiden Sensortypen sicherzustellen. Mittels der dadurch gewonnenen Projektionsmatrix, Transformations- und Verzerrungsmatrix war es möglich, die 3D Punktwolke des LiDAR in das 2D Kamerabild zu projizieren.

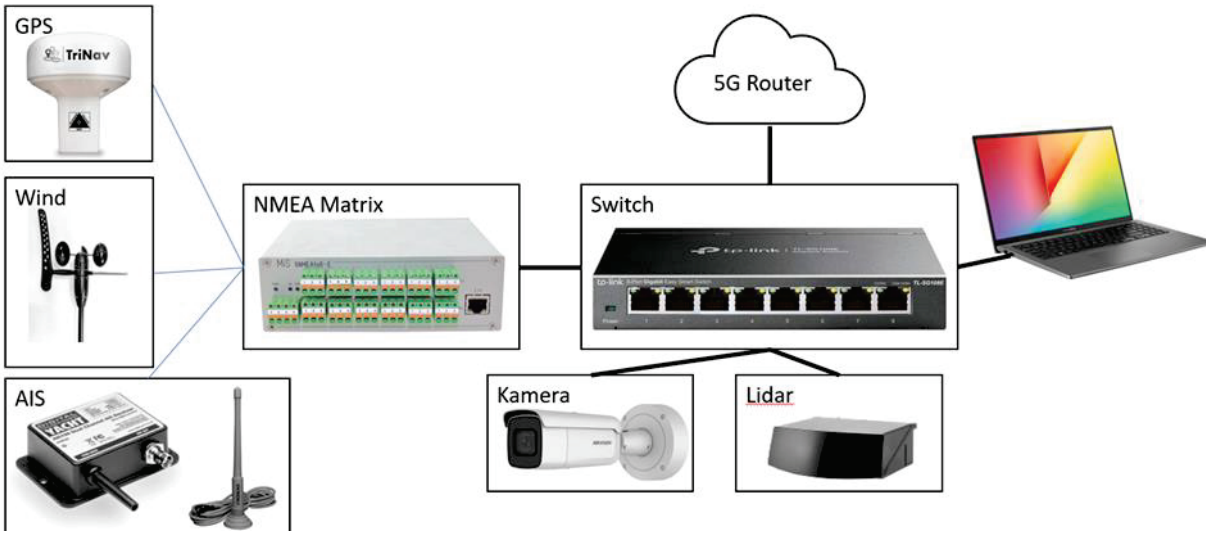
Die Fusion wurde im Anschluss mit dem KI-Modul verknüpft, um eine effektive Verarbeitung und Interpretation der Daten zu ermöglichen. Als Anwendungsfall konnte die Ermittlung der Entfernung detektierter Objekte wie zum Beispiel Brücken realisiert werden. Diese Funktionalität liefert einen erheblichen Mehrwert für autonome Steuerungsaufgaben, indem eine genaue Positionsbestimmung und Objektgrößenanalyse ermöglicht wird. Die Implementierung dieser Sensorkalibrierungsmethoden stellt somit einen bedeutenden Fortschritt in der Entwicklung von autonomen Systemen dar.

2.1.4 AP 5 Kommunikationskonzept

Das nachfolgend erläuterte Kommunikationskonzept baut auf dem im Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Sensorkonzept auf. Aus dem Sensorkonzept gehen folgende Sensoren hervor, die genutzt werden, um ein Abbild der Umgebung zu erstellen.

Komponenten	Sensor	Schnittstelle	Link
AIS	AIS100 (NMEA 0183)	RS232	AIS100 - AIS-Empfänger mit NMEA 0183 - Digital Yacht
GPS	GPS160 NMEA 0183	RS422	GPS160 - GPS Antenne NMEA 0183 - Digital Yacht
Wind	WND100 WINDGEBER	RS232	WND100 - elektronischer Windmesser - Digital Yacht
LiDAR	RS-LiDAR-M1	Ethernet	Automotive Grade LiDAR - RS-LiDAR-M1 - RoboSense - RoboSense - LiDAR for Autonomous Driving, Robots, V2X
Kamera	8MP Powered by darkfighter Moto Varifocal Bullet Network Camera	Ethernet	https://www.hikvision.com/mena-en/products/IP-Products/Network-Cameras/Ultra-Series-SmartIP-/DS-2CD3685G0-IZS/
NMEA	5NMEAto1-E – NMEA Matrix	RS422, RS232, Ethernet	5NMEAto1-E - NMEA Matrix 5/1-Kanal/Ethernet - VEINLAND

Um einen umfassenden Überblick zu geben, wird das Kommunikationskonzept aus zwei Perspektiven vorgestellt. Die physikalische Perspektive beleuchtet alle Hardware-Schnittstellen der Sensoren, während die logische Perspektive die beteiligten Kommunikationsprotokolle bzw. die zugrundeliegende Software beschreibt. Nachfolgend ist der grundlegende Aufbau des Prototypen schematisch dargestellt.



2.1.4.1 Physikalische Sicht

Aufgrund der unterschiedlichen Kommunikationsmöglichkeiten und verschiedenen Teilnehmern wurde die Physikalische Sicht in eine externe und interne Ansicht aufgeteilt. Die interne Ansicht beschreibt alle Komponenten und Schnittstellen bzw. Sensoren, die lokal auf dem Schiff vorhanden sind. Die externe Ansicht hingegen betrachtet die Verbindung zwischen dem Schiff und anderen Teilnehmern. Die Verbindung beider Ansichten wird in dem Konzept als „Ship to X“ bezeichnet.

Dass die interne physikalische Sicht des Kommunikationskonzepts für die Erstellung eines digitalen Zwillings von Schiffen auf Binnenschifffahrtsstraßen umfasst eine Reihe von Hardwarekomponenten. Darunter LiDAR-, GPS-, Kamera- und AIS-Sensoren, die mit einem Host-PC verbunden sind. Kamera, LiDAR, PC sowie die NMEA Matrix sind per Ethernet mit einem Netzwerk Switch verbunden. Die NMEA Matrix ermöglicht die Verbindung der Sensoren für GPS Position, Windgeschwindigkeit sowie –Richtung und des AIS über die serielle Schnittstelle RS422 und RS232 mit dem restlichen System. Eingehende serielle Signale der verbundenen Sensoren werden dafür über Ethernet weitergeleitet. An dem PC ist zusätzlich über USB eine Festplatte als Erweiterung des Datenspeichers angeschlossen.

Der LiDAR-Sensor ist für die hochauflösende Objekterkennung und die Kartierung der Umgebung zuständig. Das GPS-System liefert genaue Lokalisierungs- und Navigationsinformationen. Das Kamerasystem erleichtert die visuelle Wahrnehmung, die Objekterkennung und das Verständnis der Umgebung. Insbesondere durch die Kombination von LiDAR und Kamera kann dem Kamerabild eine Information über die Tiefe gegeben werden. Der AIS-Sensor ermöglicht die Identifizierung von Schiffen, die Vermeidung von Kollisionen und die Kommunikation mit anderen Schiffen. Die Sensoren können mit SBCs verbunden, die als Schnittstelle zwischen den Sensoren und dem Host-PC dienen, oder direkt am Host betrieben werden. Zusammen ermöglicht diese Hardware-Infrastruktur eine nahtlose Integration, eine mögliche verteilte Verarbeitung und effiziente Kommunikation innerhalb des autonomen Schiffssystems.

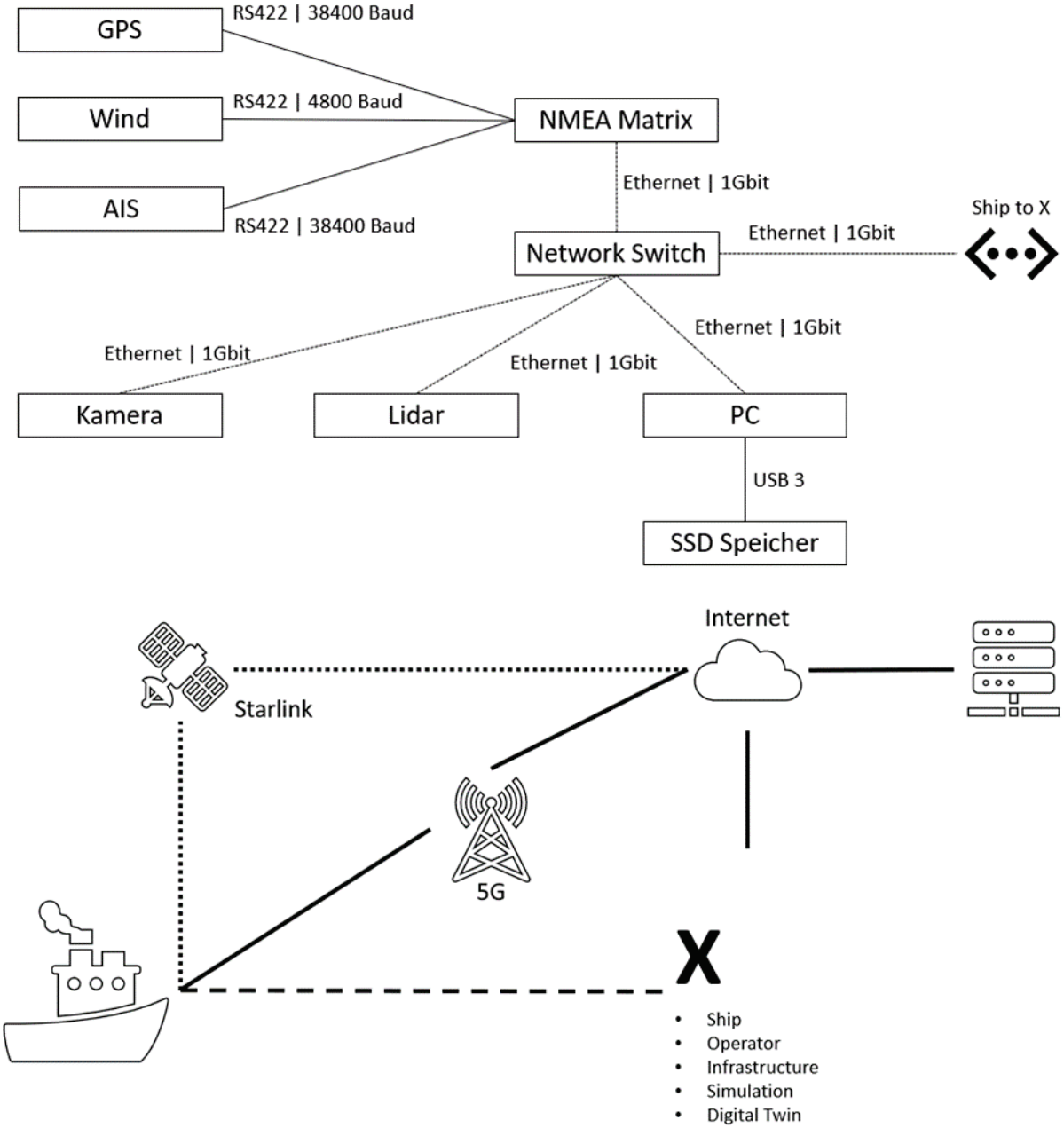
Eine weitere Verteilung des Systems über dezentrale Einplatinencomputer (SBCs) ist optional und ermöglicht eine flexible Positionierung und Integration der Sensoren auf einem beliebigen Schiff. Die SBCs dienen dabei als Schnittstellen und erleichtern die Datenerfassung und -verarbeitung, während der Host-PC als zentrale Steuereinheit die Kommunikation zwischen den Sensoren, SBCs und externen Einheiten koordiniert. Die genannten Komponenten ermöglichen eine hochauflösende Objekterkennung, präzise Lokalisierung und Navigation, visuelle Wahrnehmung sowie eine Schiffsidentifikation. Die Integration dieser Komponente in dem Kommunikationskonzept ermöglicht eine nahtlose Datenerfassung und -verarbeitung. Der verteilte Charakter des Systems ermöglicht Fehlertoleranz und Redundanz. Es können mehrere SBCs und Docker-Container eingesetzt werden, wodurch die Redundanz der Sensoren und Mechanismen zur Fehlerbehebung im Falle von Ausfällen oder Ungenauigkeiten einzelner Komponenten gewährleistet sind.

In der externen physikalischen Sicht des Konzepts werden verschiedene Technologien betrachtet um eine zuverlässige Kommunikation zwischen dem Schiff und externen Stellen (Schiffen, Remote Operator, Infrastruktur) zu ermöglichen. Die derzeitig betrachteten Technologien sind 5G und Starlink. Vorstellbar wäre aber auch eine noch nicht näher definierte „direkte“ Verbindung.

Um eine zuverlässige und effiziente Kommunikation zu gewährleisten, sieht das Konzept die Nutzung eines 5G-basierten Systems oder des Starlink-Satelliten-Internetdienstes vor. 5G-Netzwerke bieten eine hohe Bandbreite und eine geringe Latenzzeit, was einen Datenaustausch von Sensordaten, Steuerbefehlen und sicherheitsrelevanten Informationen in Echtzeit, eine schnelle Entscheidungsfindung und somit schnelle Reaktionen ermöglicht. Alternativ zu der Nutzung eines 5G-Netzwerks bietet der von SpaceX entwickelte Starlink-Satelliteninternetdienst ein globales

Satellitennetzwerk, das eine kontinuierliche Konnektivität auch in abgelegenen Seegebieten gewährleistet und eine nahtlose Hochgeschwindigkeitskommunikation mit externen Teilnehmern und anderen Schiffen ermöglicht. Durch die Integration dieser zuverlässigen Kommunikationstechnologie werden die Autonomie und Sicherheit eines potenziell autonomen Schiffs verbessert. Ebenso wird ein effektiver und sicherer Betrieb in verschiedenen, vorrangig abgelegenen Umgebungen ermöglicht.

Unabhängig von der genutzten Technologie bietet eine dauerhafte Datenverbindung die Möglichkeit weitere Informationen über externe Anbieter in Form einer API einzubeziehen, die im Hinblick auf eine große Datengrundlage einer KI von Vorteil sein können.



2.1.4.2 Logische Sicht

Die vorgeschlagene Kommunikationsarchitektur für autonome Schiffe basiert auf dem Robot Operating System 2 (ROS2), der ROS2-Middleware Data Distribution Service (DDS) und Docker-Containern. Die Kombination genannter Bestandteile bietet eine leistungsstarke logische Softwaregrundlage für eine nahtlose Integration, verteilte Verarbeitung, effiziente Kommunikation und Kontrolle im Kontext des autonomen Schiffsbetriebs.

ROS2, eine flexible und skalierbare Plattform, bildet das Rückgrat der Systemarchitektur. Es ermöglicht eine modulare Entwicklung, bei der die Softwarekomponenten für jeden Sensor, jedes Steuerungssystem und jedes Kommunikationsmodul unabhängig voneinander entwickelt werden können. Diese Modularität fördert die einfache Integration, Wiederverwendbarkeit und Wartbarkeit der Software. Im Gegensatz zu seinem Vorgänger ROS ist ROS2, wurde der traditionelle ROS-Master durch den dezentralen Data Distribution Service (DDS) ersetzt, wobei die bekannten ROS-Topics weiterhin verwendet werden. Die ROS2-DDS-Middleware gewährleistet einen zuverlässigen und effizienten Datenaustausch innerhalb des Systems. DDS verwaltet die Datenübertragung, die Synchronisation und die Weiterleitung von Nachrichten zwischen verschiedenen Softwarekomponenten. Durch den Einsatz von DDS kann das System kritische Nachrichten priorisieren, eine Kommunikation mit geringer Latenz erreichen und Quality of Service (QoS)-Konfigurationen unterstützen, um spezifische Anforderungen der Anwendung zu erfüllen.

Um die nahtlose Integration und Bereitstellung von Softwaremodulen zu erleichtern, werden Docker-Container eingesetzt. Diese Container kapseln die erforderlichen Softwarekomponenten, einschließlich Datenerfassung, Verarbeitung, Sensorfusion, Steuerungsschnittstellen und Kommunikationsmechanismen. Docker-Container bieten Vorteile wie Isolierung, Modularität, Skalierbarkeit, Portabilität und Ressourceneffizienz, die eine vereinfachte Bereitstellung auf verschiedenen Hardwareplattformen ermöglichen.

NMEA Nodes: Für die an der NMEA Matrix angeschlossenen Sensoren werden jeweils eigene Nodes erstellt, die nahezu identisch sind. Die Matrix sendet die NMEA Nachrichten von jedem Sensor per UDP an die IP Adresse des Host Rechners auf einen bestimmen Port. Über den Port unterscheiden sich die erstellten Nodes. Jede Node empfängt die Nachrichten eines bestimmten Ports und veröffentlicht diese in einem entsprechenden Topic über DDS.

API Node: Die API Node ist ein Publisher, der das Gesamtsystem mit weiteren externen Informationen versorgt. Die Informationen stammen aus Abfragen der in 3.2.4.5. aufgeführten API's.

LiDAR Node: Die LiDAR Node stellt eine Verbindung (per UDP) mit der IP Adresse des LiDAR Sensors her und published die Punktewolke in einem eigenen Topic. Gleichzeitig wird das in ROS integrierte Programm RViZ gestartet, das eine Visualisierung der LiDAR Punkte im Raum liefert.

Kamera Node: Liefert einen Stream der Kamera.

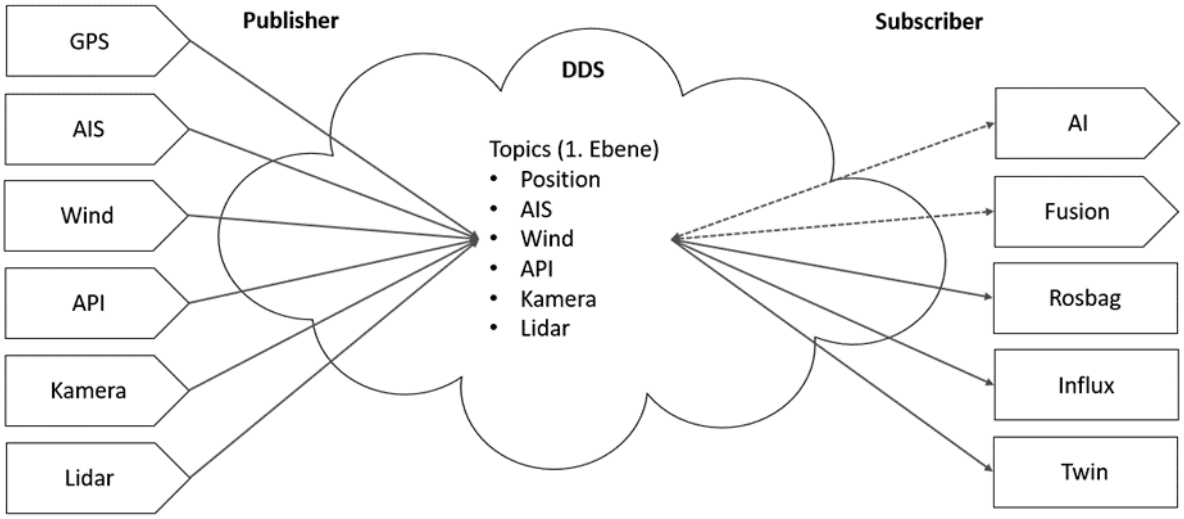
AI Node: Die AI Node ist zuständig für eine optimale Routenplanung unter Berücksichtigung der Kollisionsvermeidung. Dazu wird eine Objektdetektion durchgeführt.

Fusions Node: Die Fusions Node subscribed auf die Topics vom LiDAR Sensor sowie der Kamera und führt eine Fusion der beiden Sensordaten durch.

Rosbag Node: Die Rosbag Node ist ein Subscriber auf alle Topics. Die Daten werden gespeichert in einer Datenbank und werden in einer Datei bereitgestellt. Über ROS-Funktionen können die mit Rosbag aufgenommenen Daten wieder abgespielt und in einer Simulation visualisiert werden.

Database Node: Die Database Node subscribed wie die Rosbag Node ebenfalls auf alle Topics. Ziel der Influx Datenbank ist jedoch nicht das dauerhafte speichern der Daten. Die Datenbank

wird für eine Darstellung der Echtzeitdaten in Grafana verwendet. So können während der Fahrt die Daten überprüft werden.



2.1.4.3 Unterschied zum normalen Schiff

Im Gegensatz zum betrachteten Kommunikationskonzept für den Prototypen sind auf einem realen Schiff weitere Sensoren zu finden, die autonome Steuerungsaufgaben begünstigen. Zu diesen Sensoren zählen das ECDIS, Echolot sowie Radar. Anstatt einer im Prototyp verwendeten GPS Antenne wird auf einem Realen Schiff eine Kombination aus GPS-Kompass und Wendeanzeiger für die Bestimmung der Position verwendet. Nachfolgend sind die wesentlichen Unterschiede zwischen den Sensoren der Prototypenplattform und einem realen Schiff dargestellt.

Sensor Typ	Schnittstelle	Sensor Plattform	Reales Schiff
ECDIS	NMEA 0183	nein	ja
Echolot	NMEA 0183	nein	ja
Radar	NMEA 0183	nein	ja
LiDAR	Ethernet	ja	ja
Kamera	Ethernet	ja	ja
Wetterstation	NMEA 0183	ja	ja
GPS-Antenne	NMEA 0183	ja	nein
GPS-Kompass	NMEA 0183	nein	ja
AIS	NMEA 0183	ja	ja
Wendeanzeiger	NMEA 0183	nein	ja

2.1.4.4 Datenmodell

Das Datenmodell ist im Abschnitt 3.2.2. dargestellt. Es beschreibt die Struktur der Daten und legt fest, wie diese in Beziehung zueinander stehen. So unterscheiden wir primärseitig zwischen Positionsinformationen und Umgebungsinformationen. Zu den Positionsinformationen gehören all die Informationen, die Daten über die eigene Position, Ausrichtung geplanter Route liefern, wie

zum Beispiel: AIS, GNSS/DGNSS, Wendeanzeiger und Wasserstraßenkarten. Zu den Umgebungsinformationen gehören all die Daten, die mittels Schiffssensorik, Informationen aus der allgemeinen Umgebung sammeln, wie z.B.: CCTV (Infrarot Bilder, RGB Bilder, Thermal Bilder), Distanzmessungen (LiDAR, RaDAR, Sonar) sowie Wetterstationen.

Sekundärseitig wird zwischen externen Faktoren (Wasserstraße, Wasserdaten, Sichtverhältnisse), Interne Faktoren bzw. Status der Maschinen Sensorik (Antriebe, Generatoren, Treibstoff und sonstige Tankmesswerte) und der Landseitigen Infrastruktur Unterschieden.

2.1.4.5 Externe Quellen

Als externe Quellen werden verschiedene APIs abgerufen. Die Informationen der API Requests werden in Form von separaten Publishern im ROS-System veröffentlicht. Die zusätzlichen Daten aus den APIs beziehen sich hauptsächlich auf Wetterdaten und Pegelstände. Um die externen Informationen ortsgenau abzurufen, wird im Vorfeld die GPS Position ermittelt. Diese ist im System unter der Topic „gps“ veröffentlicht. Folgend werden die einzelnen APIs kurz beschrieben.

Euris: www.eurisportal.eu https://www.eurisportal.eu/visuris/api/Bridges/Get-Bridge?isrs={isrs_code}

Pegel: Um Pegelinformationen von www.pegelonline.wsv.de zu erhalten, wird die ID einer nahe gelegenen Station benötigt. Um die ID zu erhalten, werden alle verfügbaren Stationen in einem Radius um die Position abgefragt. Sind mehrere Stationen verfügbar, wird die erste, die nächste verwendet. Mit der ID kann der aktuelle Wert für den Pegel abgefragt werden. Das Ergebnis einer Stationsabfrage sieht folgendermaßen aus:

{ "uuid": "f4f9f7fb-eeff-46dc-9727-04d8aa56240a", "number": "9620090", "shortname": "LÜBECK-BAUHOF", "longname": "LÜBECK-BAUHOF", "km": 7.79, "agency": "STANDORT LÜBECK", "longitude": 10.703065068850526, "latitude": 53.89300775573521, "water": "shortname": "TRAVE", "longname": "TRAVE"}

Die Rückgabe der Abfrage des Pegels an der jeweiligen Station enthält folgende Infromationen:

{"timestamp": "2023-07-03T13:39:00+02:00", "value": 468.0, "stateMnwMhw": "normal", "stateNswHsw": "unknown" }

Sea_warn: Von der API https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/app-prod-static.warnwetter.de/v16/sea_warning_text.json können Wetterwarnungen für ausgewählte Seegebiete der Nord- und Ostsee vom Deutschen Wetterdienst abgerufen werden. Diese werden in Textform zurückgegeben. Nachfolgend beispielhaft eine Abfrage:

{"WARNHINWEISE und VORHERSAGEN für ausgewählte Seegebiete der Nord- und Ostsee ausgegeben vom Deutschen Wetterdienst am Montag, 03.07.2023, 12:30 Uhr Warnhinweise: Bis Dienstag Abend ist in folgenden Vorhersagegebieten mit Sturm zu rechnen: Zentrale Ostsee: Bis Dienstag Abend ist in folgenden Vorhersagegebieten mit Starkwind zu rechnen: Nördliche Ostsee: Vorhersage gültig bis Dienstag Abend: Westliche Ostsee : West bis Südwest um 6, Schauerböen, strichweise Gewitter, See Ostteil 2 Meter. Nächste Aktualisierung: spätestens Montag, 03.07.2023, 18:30 Uhr Deutscher Wetterdienst / Seewetterdienst Hamburg"}

Weather_marine: Über die API basierend auf dem Deutschen Wetterdienst, bereitgestellt von open-meteo https://marine-api.open-meteo.com/v1/marine?latitude=54.0&longitude=10.5&hourly=wave_height,wave_direction&timezone=Europe%2FBerlin können Daten

über die Wellen an einem bestimmten Ort abgerufen werden. Diese werden im stündlichen Verlauf übermittelt.

{"latitude":54.0, "longitude":10.5, "generationtime_ms":0.23090839385986328, "utc_offset_seconds":7200, "timezone":"Europe/Berlin", "timezone_abbreviation":"CEST", "hourly_units":{"time":"iso8601","wave_height":"m","wave_direction":"°"}, "hourly":{"time":["2023-07-03T00:00", …], "wave_height":[0.30, …], "wave_direction":[258, …]}}

Weather: Ebenfalls von open-meteo bereitgestellt, liefert die API https://api.open-meteo.com/v1/dwd-icon?latitude=53.86&longitude=10.68&current_weather=true&windspeed_unit=kn&timezone=Europe%2FBerlin Daten über das aktuelle Wetter, die vom Deutschen Wetterdienst erhoben wurden. Zu den Daten gehören Temperatur, Windgeschwindigkeit und -Richtung sowie ein Wettercode. Nachfolgend eine Beispiel Abfrage:

{"latitude":53.86, "longitude":10.68, "generationtime_ms":0.24199485778808594, "utc_offset_seconds":7200, "timezone":"Europe/Berlin", "timezone_abbreviation":"CEST", "elevation":16.0, "current_weather": {"temperature":16.4, "windspeed":7.6, "winddirection":241.0, "weathercode":95, "is_day":1, "time":"2023-07-03T13:30"}}

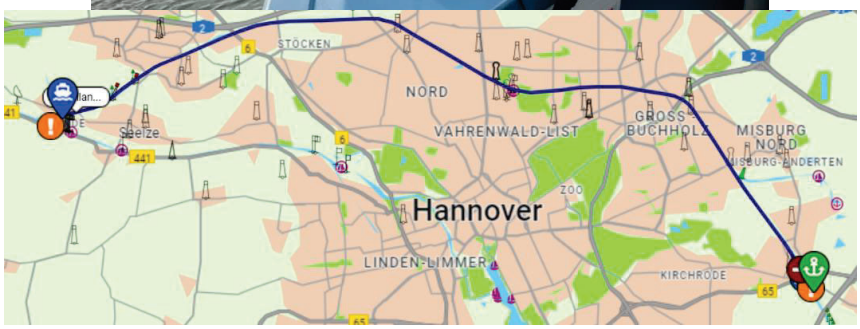
2.1.5 AP 6 Verkehrsflussanalyse

Entfällt - Aufgrund der Insolvenz des Konsortium Partners Titus.

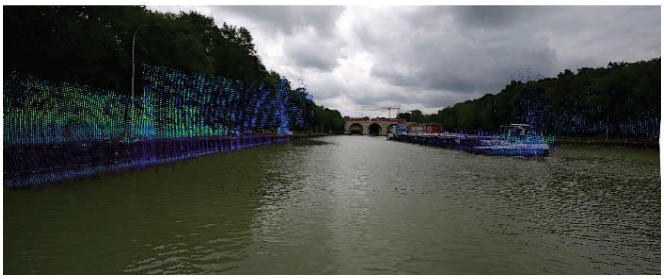
2.1.6 AP 7 Integration und Testphase

Ein erster Test der Sensorplattform konnte im Oktober mittels eines von Boat Now gestellten Elektroboots auf der Trave durchgeführt werden. Weitere geplante Tests der Plattform auf dem Forschungsboot des Projektpartners Titus Research auf Trave, Elbe-Lübeck-Kanal sowie Spree-Oder und Rhein konnten nicht durchgeführt werden, da das Forschungsboot von Titus nicht zur Verfügung stand. Der erste Test diente dazu die erfolgreiche Integration der Sensoren sowie die Funktionsfähigkeit des Prototypen zu bestätigen.

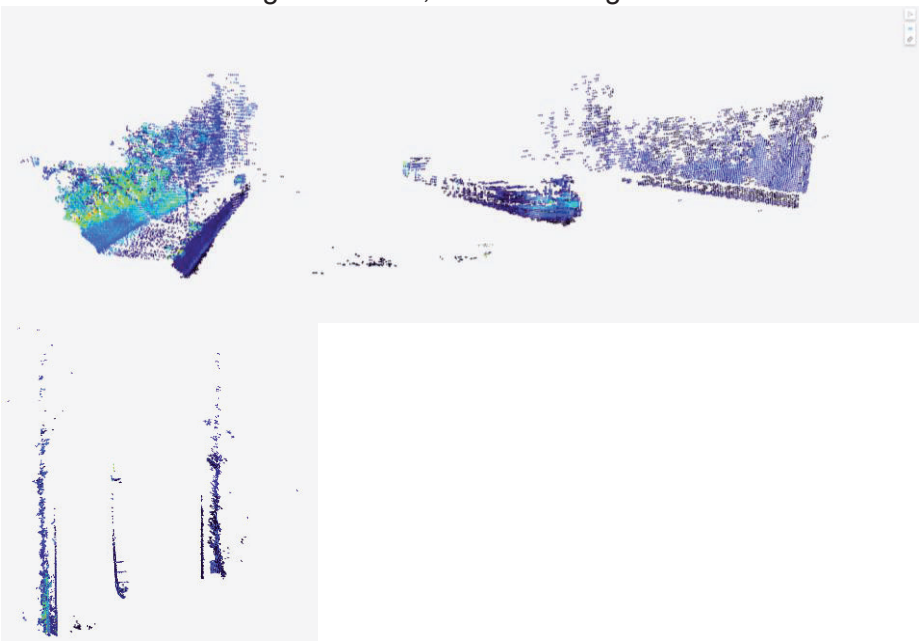
Eine abschließende Testfahrt fand im Juni 2024 statt. Hierbei konnten wir die Reederei VDP akquirieren und so die Sensorplattform zum ersten Mal unter realen Bedingungen testen. Konkret stand uns ein 95m Trockenfrachter zu Verfügung, welchen wir auf einer ca. 5-stündigen Fahrt auf dem Mittellandkanal in Hannover mit unserer Sensorplattform ausstatten durften. Diese Testfahrt war aufgrund der Wasserstraße besonders interessant. Auf der Stecke (siehe Wasserkarte im Folgenden) lagen in Summer 41 Brücken und gegen Ende der Fahrt auch noch eine Schleuse. All diese Potentiellen „Hindernisse“ wurden von der Sensorplattform erfasst.



Auf den folgenden beiden Bildern sind Auszüge der aufgenommen Kamera- und Lidar Daten. Zu sehen ist in der Ferne die Schleuse, welche sich am Ende der Testfahrt befand. Steuerbord-Seitig ist ein weiteres Frachtschiff zu sehen, welches von dem Lidar-Sensor erfasst und mittels Punktewolke, auf das RGB-Bild der Kamera projiziert wird.



Das folgende Bild stellt die zuvor gezeigte Punktewolke ohne RGB Bild dar. Das Steuerbordseitige Schiff sowie Kaimauern zu beiden Flussseiten sind gut erkennbar. Die Schleuse befindet sich jedoch noch in zu weiter Entfernung (>200 Meter), weshalb der Lidar Sensor diese nicht erfasst hat. Diese Fahrt zeigte deutlich, dass die Lidar Technologie weiterentwickelt werden muss, um deutlich größere Distanzen zu erfassen. Dies ist notwendig, da Schiffe im Vergleich zu Autos, ein deutlich trägeres System darstellen und somit bedeutend früher Informationen der Wasserstraße vorliegen müssen, um rechtzeitig Kurskorrekturen durchführen zu können.



Das nebenstehende Bild stellt die vom LiDAR erstellte Punktwolke aus der Vogelperspektive dar. Ausgehend von dieser Perspektive, die in ihrer Darstellung einem Radarbild ähnelt, können navigatorische Entscheidungen getroffen werden. Die Kaimauern und das entgegenkommende Schiff sind gut zu erkennen.

Mit den auf dem Mittellandkanal aufgenommenen Daten wurde auch die entwickelte KI Segmentierung basierend auf dem YOLO v8 Modell getestet. Segmentiert werden vorrangig Brücken sowie Wasser, das den schiffbaren Bereich bestimmt. Auf dem nachfolgenden Bild sind die beiden segmentierten Klassen gut zu erkennen. Die Confidence des Modells, angegeben neben dem Label ist in beiden Fällen mit 98% sowie 87% durchaus hoch.

bridge 0.87
water 0.98

2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Projektmittel flossen hauptsächlich in die technische Entwicklung des DAVE-Systems, wobei der Fokus auf Grundlagenforschung und Marktanalyse, sowie das Erstellen von Verkehrsflussanalysen und Sensorfusionen lag. Personalmittel wurden für die technische Zeichnung und die Recherche und Beschaffung der Sensoren sowie für die Integration der Plattform mit dem Nvidia Jetson und die Programmierung der ROS-Nodes eingesetzt. Ein Teil der Mittel konnte durch den Ausfall der Titus Research GmbH nicht wie ursprünglich geplant eingesetzt werden, wodurch Themen wie das intensive Erarbeiten der IT-Sicherheit des Forschungsboots und der Implementierung der KI-Module und Testfahrten reduziert bzw. übernommen und weitergeführt wurden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Arbeiten waren sowohl notwendig als auch angemessen, um die gesteckten Ziele zu erreichen und die Binnenschifffahrt zukunftsfähig zu machen. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit lassen sich anhand der folgenden Punkte erläutern:

1. Technologische Modernisierung und Zukunftssicherheit:

Die Binnenschifffahrt steht vor der Herausforderung, ihre Effizienz und Sicherheit zu steigern, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Entwicklung eines umfassenden Sensorkonzepts, das als Grundlage für die autonome Navigation und assistive Systeme dient, ist ein zentraler Schritt. Die Möglichkeit, bestehende Schiffe nachzurüsten und vorhandene Systeme durch Nutzung des NMEA0183-Protokolls und dessen Weiterverarbeitung in IP zu integrieren, stellt eine kosteneffiziente Lösung dar, die die Modernisierung der Flotte fördert.

2. Verbesserung der Sicherheit und Effizienz:

Die Sensordatenfusion aus LIDAR und Kamera verbessert die Objektdetektion und Validierung erheblich. Durch die Kombination dieser Sensoren können präzise Entfernungsdaten bereitgestellt werden, die für eine sichere und effiziente Navigation unerlässlich sind. Dies trägt zur Vermeidung von Kollisionen und zur besseren Kontrolle der Schiffe bei, was sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz im Schiffsverkehr erhöht.

3. Grundlage für autonome Navigation:

Die Validierung des IT-Infrastrukturkonzeptes mit einem leistungsfähigen AI Edge Computer wie dem NVIDIA Jetson, zusammen mit dem ROS2-System, Gigabit-LAN und einer NMEA-Matrix, legt die Basis für die Entwicklung fortschrittlicher assistiver Navigationssysteme. Diese Systeme sind essenziell für die schrittweise Einführung autonomer Schifffahrtslösungen, die langfristig die Personalkosten & den Fachkräftemangel senken und die Betriebseffizienz erhöhen können.

4. Umfassende Kommunikationsarchitektur:

Die vorgeschlagene Kommunikationsarchitektur, basierend auf ROS2, DDS und Docker-Containern, bietet eine leistungsstarke logische Softwaregrundlage für eine nahtlose Integration, verteilte Verarbeitung und effiziente Kommunikation. Die Nutzung von 5G und Starlink für die externe Kommunikation gewährleistet eine zuverlässige und schnelle Datenübertragung, die für die Echtzeitnavigation und autonome Entscheidungsfindung notwendig ist.

5. Forschung und Entwicklung:

Die geleistete Arbeit schafft eine solide Grundlage für zukünftige Forschung und Entwicklung im Bereich der autonomen Binnenschifffahrt. Durch die Erstellung und Validierung eines Prototyps sowie dessen Tests in realen Umgebungen wurde wertvolles Wissen generiert, das für die Weiterentwicklung und Optimierung der Systeme genutzt werden kann. Dies ist unerlässlich, um technologischen Fortschritt zu gewährleisten und Innovationen voranzutreiben.

6. Anpassung an reale Bedingungen:

Die Arbeiten haben gezeigt, dass die Sensorplattform des Prototyps auch auf realen Schiffen erweitert werden kann. Zusätzliche Systeme wie ECDIS, Echolot und Radar sowie der Einsatz eines GPS-Kompasses und Wendeanzeigers anstelle einer einfachen GPS-Antenne auf realen Schiffen sind notwendig, um die Navigation unter realen Bedingungen zu gewährleisten. Diese Anpassungen ermöglichen es, die entwickelten Technologien effektiv in die bestehende Schiffsflotte zu integrieren und die Anforderungen der praktischen Anwendung zu erfüllen.

7. Wirtschaftliche und ökologische Vorteile:

Die Modernisierung der Binnenschifffahrt durch autonome und assistive Technologien trägt zur Reduzierung von Betriebskosten und Emissionen bei. Effizientere Navigationssysteme können den Treibstoffverbrauch senken und somit die Umweltbelastung verringern. Zudem steigern sie die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt gegenüber anderen Transportmodi.

Insgesamt waren die geleisteten Arbeiten notwendig, um die Herausforderungen der Binnenschifffahrt zu adressieren und zukunftsweisende Lösungen zu entwickeln. Die Angemessenheit der Maßnahmen zeigt sich in der erfolgreichen Integration moderner Technologien, der Verbesserung von Sicherheit und Effizienz sowie der Schaffung einer robusten Basis für zukünftige Entwicklungen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen

Die im Projekt entwickelten Technologien und Konzepte versprechen vielfältige Vorteile für die Binnenschifffahrt. Der voraussichtliche Nutzen lässt sich in mehreren Bereichen zusammenfassen:

1. Verbesserung der Sicherheit:

Die Sensordatenfusion aus LIDAR und Kamera ermöglicht eine verbesserte Objektdetektion und Kollisionsvermeidung. Dies führt zu einer erheblichen Erhöhung der Sicherheit sowohl für die Schiffe selbst als auch für die Besatzungen und andere Verkehrsteilnehmer auf den Wasserstraßen.

2. Kosteneinsparungen:

Autonome Systeme können die Notwendigkeit für menschliche Eingriffe reduzieren, was langfristig zu einer Senkung der Personalkosten führt. Zudem ermöglichen effizientere Navigationssysteme eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs, was die Betriebskosten weiter senkt.

3. Umweltfreundlichkeit:

Durch die optimierte Routenplanung und den reduzierten Treibstoffverbrauch wird die Umweltbelastung verringert. Dies trägt zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen und zur Reduzierung der Emissionen in der Binnenschifffahrt bei. Die Möglichkeit der Nachrüstung von bestandsschiffen führt weiterhin zu einer nachhaltigen Schiffsindustrie

4. Datenbasierte Entscheidungsfindung:

Die kontinuierliche Erfassung und Analyse von Sensordaten ermöglichen eine fundierte Entscheidungsfindung. Echtzeitdaten können zur Verbesserung der Betriebsabläufe und zur frühzeitigen Erkennung von Problemen genutzt werden.

5. Verbesserte Kommunikation und Integration:

Durch die Nutzung moderner Kommunikationssysteme wie 5G und Starlink wird eine zuverlässige und schnelle Datenübertragung gewährleistet. Dies ermöglicht eine nahtlose Integration und Kooperation mit externen Stellen, wie anderen Schiffen, Verkehrszentralen und Remote-Operatoren.

6. Innovationsförderung:

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Technologien legen die Grundlage für weitere Forschungen im Bereich der autonomen Binnenschifffahrt. Sie fördern die Forschung und Entwicklung neuer Anwendungen und tragen zur ständigen Verbesserung der autonomen Systeme bei.

7. Flexibilität und Skalierbarkeit:

Die modulare und skalierbare Architektur des Systems ermöglicht eine flexible Anpassung an unterschiedliche Schiffstypen und Einsatzbedingungen. Dies gewährleistet, dass die Technologien sowohl auf kleinen als auch auf großen Schiffen implementiert werden können.

Zusammengefasst bietet das Projekt erhebliche Vorteile für die Binnenschifffahrt, indem es Effizienz, Sicherheit, Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit steigert und gleichzeitig die Grundlage für zukünftige Entwicklungen und Innovationen schafft.

2.5 Bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens durch andere Stellen

Im Bereich der autonomen Schifffahrt existieren Projekte von Unternehmen wie AiveNautics und anderen Akteuren, die ähnliche Themen bearbeiten, jedoch meist auf einer geringeren Anzahl von Sensoren basieren. Bei der Oceans24 und durch Gespräche mit der Universität Rostock wurden relevante Erkenntnisse zu autonomen Navigationslösungen gesammelt. Hierbei könnte eine Zusammenarbeit in weiteren Projekten Synergien erzeugen und eine Weiterentwicklung der DAVE-Plattform unterstützen. Ggf. könnten Systeme wie dies von AiveNautics ein Bestandteil einer neuen Revision einer mobilen upgrade Einheit sein.

Im Bereich der mobilen Sensorik seitens der NTNU Norwegen ein mobiles Sensor Rig vorgestellt, welches die Aufnahme von Datensets erHYPERLINK "https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2867/1/012025/pdf" leichtern soll. Konzepte aus diesem Rig könnten zukünftig für eine kleinere, noch flexiblere DAVE Variante Anwendung finden. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2867/1/012025/pdf

Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projekts wurden zahlreiche Social Media Postings auf Plattformen wie XING und LinkedIn veröffentlicht, um den aktuellen Stand und Fortschritte regelmäßig mitzuteilen. Diese Postings halfen dabei, ein breites Publikum über die Entwicklungen und Erfolge des Projekts zu informieren und das Interesse an der Technologie zu steigern.

Ein weiteres Highlight war die Teilnahme an der MFUND Konferenz im Dezember 2023, bei der wichtige Aspekte des Projekts vorgestellt und diskutiert wurden. Diese Konferenz bot eine hervorragende Gelegenheit, sich mit anderen Experten auszutauschen und wertvolle Rückmeldungen zu erhalten.

Zur wissenschaftlichen Verbreitung der Projektergebnisse wurde ein wissenschaftliches Paper erstellt, das auf der Konferenz OCEANS24 in Singapur präsentiert wurde. Die Teilnahme an dieser renommierten Konferenz ermöglichte es, die Forschung einem internationalen Publikum vorzustellen und wertvolle Kontakte zu knüpfen. Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen wurden auf dem 5. KuVS-Fachgespräch zum Thema Lokalisierung und der MTEC-ICMASS-2024 präsentiert.

Darüber hinaus nahm das Projektteam an einer Fachkonferenz der IHK teil, um die Fortschritte und Anwendungen der entwickelten Technologien zu präsentieren. Diese Konferenz bot eine Plattform, um die industriellen Anwendungen und die Bedeutung der Forschungsergebnisse für die Wirtschaft zu erläutern.

Die Forschungsergebnisse des Projekts DAVE wurden auch auf der 6. Bahnkonferenz am 7. Februar vorgestellt. Bei dieser Veranstaltung, an der unter anderem der Landes-Wirtschaftsminister Madsen teilnahm, konnten die Ergebnisse einem interessierten Fachpublikum präsentiert werden. Die Teilnahme an dieser Konferenz unterstrich die Relevanz der Forschung für die Verkehrs- und Transportbranche.

Ein weiteres wichtiges Ereignis war die Vorstellung der REAKT-Initiative am 28. März. Bei dieser Veranstaltung, bei der auch der Bundeswirtschaftsminister Habeck anwesend war, wurden die entwickelten Technologien einem breiten Publikum präsentiert. Diese Vorstellung bot eine wertvolle Gelegenheit, die Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Technologien einem breiten und einflussreichen Publikum nahe zu bringen.

Diese Aktivitäten trugen erheblich zur Verbreitung der Projektergebnisse bei und halfen, die entwickelten Technologien einem breiten Publikum bekannt zu machen, das Interesse und die Akzeptanz zu steigern und potenzielle Partnerschaften und Kooperationen zu fördern.