

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht

AMISIA

Advanced Port Maintenance:

Intelligent, Sustainable, Innovative and Automated Dredging

Durchführende Stelle:	DLR e.V., Escherweg 2, 26121 Oldenburg
Förderkennzeichen:	19H221003D
Projektleitung:	Dr.-Ing. Matthias Steidel
Wissenschaftliche Leitung:	Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn
Durchführungszeitraum:	01.01.2022 – 31.12.2024
Datum des Berichts	30.06.2025

Vorbemerkungen

Das Projekt war ursprünglich vom 01.10.2021 bis zum 30.09.2024 geplant. Durch den Übergang des Verkehrsbereichs des OFFIS e.V. in das neue DLR Institut „Systems Engineering für zukünftige Mobilität“ wurde die Projektarbeit durch das OFFIS zum 31.12.2021 beendet und ab diesem Zeitpunkt durch das DLR fortgeführt. Da das Projekt faktisch vom gleichen Projektteam weitergeführt wurde, berichtet dieser Abschlussbericht jedoch über den gesamten Projektzeitraum.

Kurzdarstellung des Projekts

Aufgabenstellung des Teilvorhabens

Das Projekt AMISIA hat sich das Ziel gesetzt, die Produktivität und Umweltfreundlichkeit der Unterhaltungsbaggerung im Emdener Hafen unter Einsatz innovativer Technologien und autonomer Systeme zu steigern.



Abbildung 1: Der Emdener Hafen ist Einsatz- und Erprobungsgebiet des hochautomatisierten Baggerschiffs, welches in der Durchführbarkeitsstudie AMISIA konzipiert werden soll. © Adobe Stock – Wolfgang Buchholz

Für die tidenbeeinflussten deutschen Seehäfen ist die Gewährleistung der zugesicherten Mindesttiefen essentiell. Die dafür notwendige Unterhaltungsbaggerung sichert den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit zu. Beides ist eine Grundvoraussetzung für ein einwandfreies und effizientes Funktionieren der Umschlagprozesse in Häfen. Darüber hinaus kommt im Emdener Hafen (Abbildung 1) mit dem Rezirkulationsprozess ein ökologisch verträgliches Unterhaltungsverfahren zum Einsatz, welches allerdings kontinuierlich erfolgen muss. Dies geht mit dem Einsatz hochspezialisierter und umgerüsteter Schiffe einher, auf denen speziell geschultes

Personal arbeitet. Auf Grund des Arbeitsmarktwandels ist dieses Personal nur noch schwer zu finden. Dies macht die Unterhaltungsbaggerung zu einem hohen Kostenfaktor für die Hafenbetreiber.

In AMISIA wurde daher ein hochautomatisiertes Baggerschiff für das kontinuierliche Rezirkulationsverfahren konzipiert und erprobt. Das Konzept beinhaltet drei Automatisierungsstufen, die unter anderem eine Fernsteuerung des Baggerschiffs von einem landbasierten Kontrollzentrum ermöglicht. Es werden technologische Automatisierungskonzepte für Navigation, Kollisionsvermeidung und den Rezirkulationsprozess entworfen und erprobt. Durch die weitestgehende Automatisierung sollen die laufenden Fixkosten für die Hafenbetreiber gesenkt werden. Gleichzeitig wird durch die Automatisierung des Rezirkulationsprozesses der Mangel an qualifiziertem Fachpersonal adressiert. Ein möglicher 24/7 Einsatz eines hochautomatisierten Baggerschiffs soll das Hafenwasser zu jeder Zeit schiffbar halten, wodurch zum einen die geplanten Schiffsankünfte hafenseitig zugesichert werden können und zum anderen mögliche Unfälle in den Hafengewässern durch sich absetzendes Sediment vermieden werden. Durch ein hochautomatisiertes Baggerschiff kann folglich sowohl die Betriebssicherheit in den Häfen gewährleistet werden als auch die pünktliche und zuverlässige Abfertigung der Schiffe gewährleistet werden. Insbesondere Letzteres ist für die deutschen Seehäfen essentiell um Produktivitätssteigerungen mit einem einhergehenden Wettbewerbsvorteil im internationalen Vergleich zu großen europäischen Seehäfen (z.B. Rotterdam oder Antwerpen) zu erzielen.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt AMISIA wurde durch ein Projektkonsortium, bestehend aus dem Hafeninfrastrukturunternehmen Niedersachsen Ports (NPorts), dem Ingenieurdienstleister MAREVAL AG und der Forschungseinrichtung DLR durchgeführt. Dem Konsortium angeschlossen waren weiterhin die assoziierten Partner Allianz Global Corporate & Specialty SE (AGCS), Ibeo Automotive Systems GmbH und die Götting KG.

Bedingt durch die Corona-Pandemie wurde das Projekt direkt mit regelmäßigen Meetings in digitaler Form begonnen und diese einfache Art der Koordination über die Laufzeit des Projekts beibehalten.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war ursprünglich vom 01.10.2021 bis zum 30.09.2024 geplant und kostenneutral um 3 Monate zu einer abschließenden Laufzeit vom 01.10.2021 bis zum 31.12.2024 verlängert.

Das Ausscheiden der Allianz als Konsortialpartner kurz vor Einreichung des Antrags hat die Arbeitsplanung des Projekts kurzfristig geändert. Insbesondere für die Arbeiten an Arbeitspaket 9 (Versicherbarkeit) fehlen dadurch die Kompetenzen im Projekt. Dies konnte grundsätzlich durch die Beteiligung der Allianz als assoziierte Partner zum Teil aufgefangen werden, jedoch verzögerte sich dadurch die Bearbeitung des Arbeitspaket, was eine kostenneutrale Verlängerung notwendig machte.

Das Gesamtprojekt war in 13 Arbeitspakete strukturiert, wovon jedes Arbeitspaket durch einen Konsortialpartner hauptverantwortlich geführt wurde.

Tabelle 1 Arbeitspakete und Verantwortlichkeiten im Projekt

	Titel	Hauptverantwortlich
AP1	Projektmanagement und Öffentlichkeitsarbeit	NPorts
AP2	Operative Anforderungserhebung	NPorts
AP3	Operative & ökonomische Betriebskonzeption	NPorts
AP4	Auswertung bisheriger Messdaten	DLR
AP5	Technologische Automatisierungskonzeption	DLR
AP6	Schiffbauliche Konzeption	MAREVAL
AP7	Konzeption der automatisierten Rezirkulation	MAREVAL
AP8	Risikoabschätzung	MAREVAL
AP9	Bewertung der Versicherbarkeit	NPorts
AP10	Konzeption von V&V-Methoden für die Hochautomation	DLR
AP11	Konzeption der Genehmigung	NPorts
AP12	Experimentelle Feldtests	DLR
AP13	Gesamtwertung & Übertragbarkeit	DLR

Stand der Wissenschaft und Technik

Zu Beginn des Projekts wurden zum einen die relevanten Regularien, die für den Projektkontext wichtig sind, erhoben und zum anderen wurden nationale und internationale Vorhaben betrachtet und eine Abgrenzung vorgenommen.

Relevante Regularien

Auf regulativer Ebene ist die Arbeit der Internationalen Schifffahrtsorganisation (IMO) zu erwähnen, die untersucht, wie „Maritime Autonomous Surface Ships“ (MASS) verkehrssicher und umweltfreundlich betrieben werden können. Die „Interim Guidelines for MASS Trials“ (MSC. 1-Circ.1604) [1] beziffert Voraussetzungen die zu erfüllen sind, um MASS sicher erproben zu können.

Mit der Richtlinie „Autonomous and remotely-operated ships“ [2] bietet die DNV aus Sicht einer Klassifikationsgesellschaft eine Beschreibung, wie während der Entwicklung und Erprobung von hochautomatisierten Schiffen die Technologiekonzepte zu dokumentieren sind. Des Weiteren beschreibt die Richtlinie, wie Behörden in diesen Prozess mit einbezogen werden sollen.

Das Bureau Veritas (BV) beschreibt in der Guideline N641 „Guidelines for Autonomous Shipping“ [3] einen regulatorischen Rahmen für die Risikobewertung von autonomen Systemen auf Schiffen und Offshore-Einheiten. Der Guideline sind Empfehlungen in Bezug auf die Funktionalität der wesentlichen Systeme bei der Entwicklung und im Betrieb der autonomen Systeme zu entnehmen. Ziel der Guideline ist es, dass die autonomen Systeme ein definiertes Sicherheitsniveau erreichen.

Um die Industrie bei der Entwicklung autonomer maritimer Systeme zu unterstützen bietet das American Bureau of Shipping (ABS) mit den „Advisory on Autonomous Functionality“ ein entsprechendes Rahmenwerk. Die Absicht dahinter ist alle Beteiligten bei der Entwicklung und Anwendung autonomer Systeme mit einem strukturierten Prozess zu unterstützen. Das ABS erklärt dabei, dass von Land aus unterstützende Automatisierungssysteme in Zukunft eine große Rolle spielen werden und präsentiert hierfür ebenfalls ein Rahmenwerk, um „Remote Control and Operations Centres“ zu entwickeln [4].

Mit dem „LR Unmanned Marine Systems Code“ legt das Lloyd Register (LR) einen Rahmen vor, der den Zertifizierungsprozess, die Konstruktion, den Bau und Instandhaltung von MASS so unterstützt, dass eine entsprechende Zertifizierung möglich ist. Das Rahmenwerk bietet darüber hinaus eine Struktur zur Verifizierung der autonomen Systeme, sodass die Entwicklung von einer parallelen Überprüfung begleitet werden kann [5].

Eine vergleichbare Richtlinie des Registro Italiano Navale (RINA) konnte nicht identifiziert werden.

Internationale Vorhaben zu hochautomatisierten Schiffen zum Projektbeginn

In Zusammenarbeit mit Kongsberg Maritime und dem American Bureau of Shipping (ABS) entwickelt die dänische Schlepperreederei Svitzer den ferngesteuerten Schlepper RECOTUG. Von einer Landstation aus soll der RECOTUG während des gesamten Schleppvorgangs ferngesteuert werden. Für die Inbetriebnahme und Zertifizierung sollen durch ABS die existierenden Klassenrichtlinien angepasst bzw. ergänzt.

Das südkoreanische Ministerium für Ozeane und Fischerei fördert mit dem Korean Autonomous Surface Ship Project (KASS) ein Vorhaben zur Technologieentwicklung für Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). Im Fokus stehen hierbei sogenannte Kerntechnologien, die für den sicheren Betrieb von MASS ausschlaggebend sind. Hierzu gehören unter anderem intelligente Navigationssysteme und die Automation des Maschinenraumes. Zum Abschluss des Vorhabens sollen die entwickelten Technologien demonstriert werden.

Mit der Yara Birkeland wurde ein emissionsfreies und für die autonome Fahrt konzipierte Containerschiff. Das elektrisch betriebene Containerschiff soll in Zukunft autonom Düngemittel zwischen den einzelnen Standorten des Unternehmens transportieren. Allerdings soll das Schiff zunächst mit einer Besatzung betrieben werden und im laufenden Betrieb schrittweise automatisiert werden.

Ein Projektkonsortium bestehend aus 22 japanischen Unternehmen und mit der NYK Line Reederei an der Spitze strebt die Konzeption, den Bau und die Erprobung von MASS an. Es sollen entweder bereits

existierende Automatisierungstechnologien verwendet bzw. die fehlenden entwickelt werden, u.a. für die Navigation und das automatische An- und Ablegen.

Im Rahmen von AMISIA sollen die Erkenntnisse und technologischen Konzepte aus diesen Vorhaben betrachtet werden und hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit für den eigenen Anwendungsfall überprüft werden. Die Navigation innerhalb eines Hafenbeckens samt des Rezirkulationsprozesses stellen präzise Anforderungen an die Positionierungs- und Navigationsgenauigkeit autonomer Systeme. Ob diese in den internationalen Forschungsprojekten zu MASS bereits so erfüllt sind und damit für AMISIA nutzbar werden, soll im Rahmen des Projekts geprüft werden

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Der Erfolg des Projekts hing maßgeblich von der engen und regelmäßigen Zusammenarbeit aller Partner ab. Um dies zu gewährleisten, wurden bereits zu Projektbeginn alle zwei Wochen Videokonferenzen eingeführt. Diese regelmäßigen Treffen ermöglichten es den Projektpartnern, stets informiert zu bleiben, Fortschritte zu besprechen und gemeinsam Lösungen für Herausforderungen zu erarbeiten. Zusätzlich zu den Videokonferenzen fanden auch persönliche Treffen der Partner statt. Diese Konsortialtreffen, die entweder einen halben oder ganzen Tag umfassten, boten Raum für ausführlichere Diskussionen und konzentrierten sich auf spezifische Planungsthemen.

Im Laufe des Projekts erstreckte sich die Zusammenarbeit nicht nur auf das Konsortium, sondern schloss auch verschiedene externe Stakeholder ein. Im Oktober 2021 erfolgte eine Besichtigung der Seekrabbe in Norddeich, bei der ein fachlicher Austausch mit dem Baggerpersonal über die Baggerprozesse stattfand. Im Mai 2022 und erneut im November 2024 trafen sich die Projektpartner mit dem Emden Hafenkapitän, um über Automatisierung zu sprechen. Weitere Treffen dienten der Klärung spezifischer Fragen. Im Juni 2023 wurde ein Treffen mit der Allianz abgehalten, um versicherungsrechtliche Aspekte zu diskutieren. Im November 2024 folgte ein weiteres Treffen bei der Allianz, diesmal mit dem Schwerpunkt auf der Risikobewertung für maritime Systeme.

Darüber hinaus wurde das Projekt AMISIA im Juni 2024 auf dem Treffen der Begleitforschungsgruppe zu BinSmart präsentiert, wo ein fachlicher Austausch über die Automatisierung im Binnenbereich stattfand. Abschließend wurden die Projektergebnisse im November 2024 bei der Sitzung der AG Automatisierte Maritime Systeme der Gesellschaft zur Ortung und Navigation diskutiert.

Eingehende Darstellung

Darstellung der Projektergebnisse

AP2 Operative Anforderungserhebung

Zielsetzung AP2:

- Analyse der Anforderungen an ein in verschiedenen Automatisierungsstufen betriebenes Baggerschiff
- Variantenbetrachtung: Unter Zuarbeit der Projektpartner sollen unterschiedliche Variantenoptionen entwickelt werden, die zum Ziel führen, die zugesagten Gewässertiefen herzustellen (z.B. V1: Autonom als Binnenschiff im Binnenhafen, im Außenhafen nicht-autonom; Entnahmebaggerung in Kooperation mit WSA und nicht durch eigenes Schiff; V2: Seeschiff, autonom im Binnenhafen, konventionell im Außenhafen, Verklappung durch eigenes Schiff etc.)

Zielerreichung AP2:

AP2 wurde zum Projektbeginn bearbeitet und hatte das Ziel, zunächst bei allen Projektpartnern ein gemeinsames Verständnis des Baggerprozesses im Emden Hafen zu schaffen. Dazu wurde ein konsortialinterner Workshop zum "Emden Verfahren" unter Anleitung der Expertinnen von NPorts mit allen Projektpartnern durchgeführt. Darüber hinaus wurde ein Besichtigungstermin für ein Baggerschiff von NPorts im Hafen von Norddeich organisiert. Durch die dabei geführten Expertengespräche mit der Besatzung hat das DLR detaillierte Einblicke in das Verfahren bekommen. Diese Erkenntnisse hat das DLR bei der Erstellung einer Prozesslandkarte des Unterhaltungsprozesses einschließlich der beteiligten Personen zugrunde gelegt. Diese wurde nach der BPMN 2.0 Notation modelliert und in Zusammenarbeit mit den Fachexpertinnen von NPorts finalisiert. Sie ist im Anhang in Abbildung A 1 zu sehen und diente als Basis der dann erfolgten Anforderungserhebung.

Zur Definition der Anforderungen hat das DLR das in der Industrie übliche Spiralmodell nach [1] verwendet. Es beinhaltet ein iteratives Vorgehen und ermöglicht so eine hochgradige Spezifizierung der definierten Anforderungen unter der frühzeitigen Einbeziehung aller Stakeholder. Darüber hinaus beinhaltet das Spiralmodell eine Schablone zur Formulierung der Anforderungen, um den Interpretationsspielraum zu verringern. Dazu hat das DLR den Konsortialpartnern eine Einführung in die Masterschablone nach [2] gegeben und so eine einheitliche Vorstellung bei der späteren Systemkonzeption geschaffen. Anforderungen lassen sich in End User Anforderungen, Funktionale Anforderungen und Technische Anforderungen unterteilen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden End User Anforderungen für unterschiedliche Automationsstufen definiert und in Form eines Lastenhefts dokumentiert. Für das DLR lag der Fokus dabei auf der automatisierten Navigation des Baggerschiffs. Diese beinhaltet das Subsystem zur Fernsteuerung, das dafür notwendige Remote Operations Center und die Kollisionsvermeidung.

Die einheitliche Formulierung der Anforderungen unter Verwendung der Masterschablone ermöglichte es dem DLR, eigene Forschungsansätze zur Generierung von Testfällen anzuwenden. So wurde in AP2 die Grundlage zur strukturierten Verifikation und Validierung von maritimen Automatisierungstechnologien im Rahmen des Projekts gelegt.

Referenzen

[1] J. Ludewig und H. Lichter (2007): Software Engineering: Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken, 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt-Verl.

[2] C. Rupp (2014): Requirements-Engineering und -Management. Aus der Praxis von klassisch bis agil. 6. aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (Hanser eLibrary).

Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446443136>.

AP4 Auswertung existierender Messdaten

Zielsetzung AP4:

- Aufbereitung und Auswertung existierender Baggermessdaten aus Abrechnungsunterlagen, die u.a. Peildaten, Informationen zur Dichte, den Scherkräften und der Viskosität des Sediments beinhalten

Zielerreichung AP4:

Für die Konzeption einer V&V Methode für die Hochautomation (AP10) und die Entwicklung einer automatisierten Bahnplanung für Baggerschiffe ist Wissen über typische Fahrmuster bei der Gewässerunterhaltung in Emden nötig. Zu diesem Zweck hat das DLR in Zusammenarbeit mit nPorts eine Sensorbox, bestehend aus einer AIS-Antenne und einem RADAR, im Emden Hafen installiert. Abbildung 2 zeigt die in Emden installierte Sensorbox. Mit Hilfe der Sensorbox kann der gesamte Verkehr im Hafen wahrgenommen werden, wobei insbesondere die Fahrdaten des existierenden Baggerschiffs - der ANNA - von Relevanz sind. Um diese Fahrdaten zu erheben, wurde ein zweimonatiger Mitschnitt des Verkehrs aus 2021, welcher durch die Sensorbox aufgenommen wurde, als Datenbasis genommen. Um die Daten aufzubereiten und zu analysieren wurde das Vorgehensmodell CRISP-DM nach [1] eingesetzt, da es als Standardmodell in der Datenaufbereitung genutzt wird. Die Schritte des CRISP-DM Modells und das verwendete Vorgehen sind in Tabelle 2 zu sehen.



Abbildung 2: Installierte Sensorbox im Emden Hafen an der Seeschleuse.

Tabelle 2: Beschreibung der CRISP-DM Phasen nach [1] und Umsetzung im Projekt

Schritt	Beschreibung	Vorgehen
Business Understanding	Verstehen von Projektzielen und Anforderungen und Konvertierung in Problemdefinition und Projektplan zur Erreichung der Ziele	Einarbeitung in Zielsetzung AP4, Rezirkulationsverfahren, Relevanz von Solltiefen, Dichten, Scherkräften, Wassertiefen und Verfahren zur Erhebung und Aufbereitung der Daten des Baggerschiffes mit dem Differentialmodell. Beobachtung seitens nPorts, dass sich Bahnen ähneln, somit eine Regelmäßigkeit und Muster beim Rezirkulieren existiert.
Data Understanding	Sammlung von Daten, Verstehen der Daten und Formulierung erster Hypothesen für versteckte Informationen	Einarbeitung in Daten und Bedeutung der Daten, welche von nPorts bereitgestellt wurden. Dies umfasst Peildaten, Hafengebiete und Solltiefen, Schiffstracks, Tagesberichte und Jahresunterhaltungsmengen.
Data Preparation	Alle Aktivitäten um finales Datenset zu konstruieren. Auswählen relevanter Tabellen, Attribute, Datenbereinigung, Erstellen neuer Attribute und Datentransformation für Modellierungstools	Konvertierung der Daten in geeignete Analyseformate. Hierzu Extraktion der Soll-Tiefen und Hafengebiete aus von nPorts bereitgestelltem Datensatz und Kombination mit den Messpunkten der Peilpläne. Filtern von AIS Daten der ANNA aus gesamten Verkehrsdaten in Emden und kombinieren mit Abrechnungsunterlagen, um Rezirkulationsfahrten isoliert zu betrachten.
Modeling	Modellierung der Daten und Konstruktion neuer Daten	Erstellung und Visualisierung eines Differenzialmodells, welches den Unterschied zwischen Soll- und Ist-Tiefe modelliert. Danach Vergleich des Differentialmodells mit historischen Bahnen der ANNA unter Hinzunahme der Tagesberichte. Herausarbeitung von Mustern in den Differentialmodellen und Fahrmuster im Rahmen der Datenanalyse. Hierzu wurde anhand der bestehenden Daten ein prototypischer Track ausgearbeitet. Identifikation von Manövern an kritischen Stellen zur Ableitung von Prüfscenarien für AP10.
Evaluation	Evaluierung der Modellierung und der Ergebnisse der vorherigen Schritte	Überprüfung und Bewertung der Fahr- und Differentialmuster mithilfe von Fachexperten von nPorts im Rahmen von Experteninterviews.
Deployment	Definieren und Umsetzen von Aktionen um die kreierten Modelle in der Praxis einzusetzen	Überprüfung und Evaluation der extrahierten Muster, kritischen Manövern und prototypischem Track in Feldtests.

Zunächst wurden relevante Begriffe und Messgrößen für die Rezirkulation im Rahmen des Business Understanding geklärt. Hierbei wurde in Gesprächen mit nPorts herausgearbeitet, dass Dichte und Scherkräfte der Solltiefe und die Wassertiefen relevant sind. Dichte und Scherkräfte werden durch Entnahme von Sedimentproben bestimmt und Peiltiefen durch ein Arbeitsboot mit einem Single Beam Echolot generiert. Anhand der Peildaten werden parallel zur Erarbeitung eines Grundarbeitsschemas die Peildaten manuell aufbereitet, geglättet und in einem Differentialmodell in Verhältnis zu den Soll-Tiefen gesetzt. Dieses Modell wird mittels der Software QView auf das Baggerschiff geladen. Nach dem Baggervorgang erfolgt eine landseitige Auswertung der Daten in der die Dichte in das Verhältnis zum rezirkulierten Volumen gesetzt wird. NPorts Beobachtungen zufolge ähneln sich die Bahnen des Schiffes, was auf eine Regelmäßigkeit und Muster beim Rezirkulieren schließen lässt. Diese Muster wurden im Verlauf des Arbeitspaketes im Zuge der Datenauswertung analysiert.

Im nächsten Schritt wurden für das Data Understanding relevante Daten und deren Quellen und Datenformate für die Analyse identifiziert. Diese umfassen Peildaten, Hafengebiete und Soll-Tiefen, Schiffstracks und Tagesberichte der ANNA sowie Jahresunterhaltungsmengen.

Im Zuge der Data Preparation wurden nachfolgend die Daten von nPorts in ein einheitliches Format gebracht und bereinigt. Zunächst wurden hierzu Positionsdaten der Hafengebiete und Soll-Tiefen in den jeweiligen Bereichen in ein verarbeitbares Datenformat überführt, um Soll-Tiefen den einzelnen Hafengebieten zuzuweisen. Verkehrsdaten der Schiffe, welche mit der Sensorbox aufgenommen wurden, wurden im Zuge einer Datenbereinigung auf im Hinblick auf Einträge der ANNA gefiltert. Die gefilterten Verkehrsdaten wurden danach mit der Zeiterfassung aus den Abrechnungsunterlagen der ANNA fusioniert, welche von nPorts zur Verfügung gestellt wurden. Die fusionierten Daten wurden genutzt, um den Zweck der Fahrten zu identifizieren und somit den Datensatz zu bereinigen, indem Wartungsfahrten und Stand-By Zeiten der ANNA herausgefiltert wurden. Somit konnten Rezirkulationsfahrten isoliert betrachtet werden und dienten als Grundlage für die Analyse typischer Fahrmuster, welche nächsten Schritt betrachtet wurden.

Im Schritt des Modelings wurde die Arbeitshypothese aufgestellt, dass in Bereichen höherer Differenz der Soll- und Ist-Tiefe eine erhöhte Fahrfrequenz des Baggerschiffes zu erwarten ist. Des Weiteren wurde im Zuge der Planung das Herausarbeiten von Fahrmustern der ANNA und Mustern in den Differentialmodellen als Aufgaben definiert. Um die Arbeitshypothese zu evaluieren wurde ein Differentialmodell entwickelt, welches den Unterschied zwischen gemessenen Tiefen und Soll-Tiefen in den einzelnen Hafengebieten modelliert. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt des Differentialmodells im Bereich des Industriedhafens. Um dies in Korrelation mit den Baggeraktivitäten der ANNA zu setzen, wurden im Anschluss die Unterhaltungsgebiete und Häufigkeiten der Baggeraktivität untersucht. Hierzu wurde eine Häufigkeitsanalyse der Koordinaten der einzelnen AIS-Datenpunkte durchgeführt, dessen Ergebnis in Form einer Heatmap in Abbildung 4 zu sehen ist. Dabei zeigt sich insbesondere eine verstärkte Baggeraktivität im Bereich des Binnen- und neuen Binnenhafens sowie dem Außenhafen. Diese Bereiche wurden als relevante Bereiche für die Rezirkulation identifiziert. Hierbei zeigt sich, dass insbesondere im Bereich der großen Seeschleuse und im Außenhafen vermehrte Rezirkulationsaktivität stattfindet. Zudem zeigt sich bei Gegenüberstellung des Differentialmodells und der Heatmap, dass in Bereichen mit hoher Differenz zwischen Soll- und Ist-Tiefen eine erhöhte Fahrfrequenz erreicht wird und die Arbeitshypothese somit bestätigt wird. Die Tiefen des Differentialmodells korrelieren somit mit den Fahrfrequenzen der ANNA.

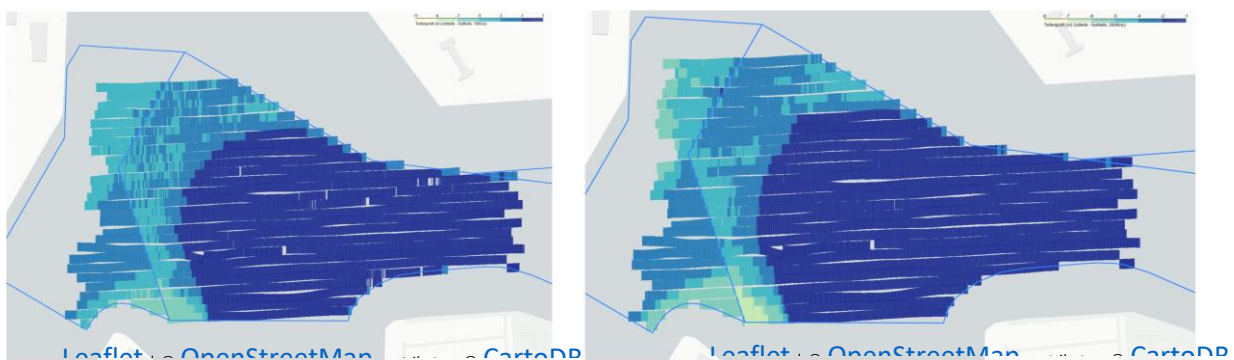


Abbildung 3 Ausschnitt des Differentialmodells (Ist-Tiefe - Soll-Tiefe) für das 15 kHz (links) und 200 kHz (rechts) Single Beam Echolot

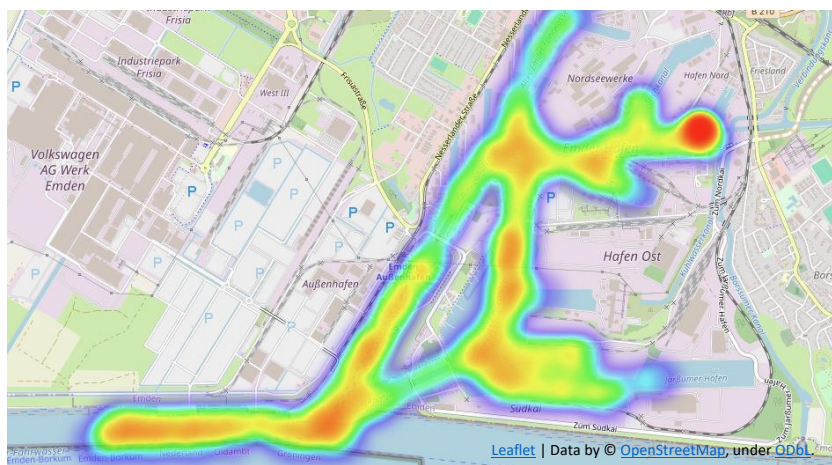


Abbildung 4 Heatmap der AIS-Datenpunkte des Baggerschiffes ANNA im Zeitraum April 2020 bis Mai 2021

Um im nachfolgenden Schritt eine detailliertere Übersicht der typischen Fahrmuster der ANNA zu generieren, wurden alle Rezirkulationsfahrten aus dem Datensatz visualisiert und Phasen einer solchen Fahrt mithilfe der Geschwindigkeit in Transferphasen, Wartephasen und Arbeitsphasen aufgeteilt, um die Rezirkulation eines Fahrzyklus zu betrachten. Die typischen Fahrmuster und eine Übersicht des Unterhaltungsgebietes der ANNA sind in Abbildung 5 zu sehen, basieren auf den bereinigten Verkehrsdaten und korrelieren ebenfalls mit den Peildaten aus dem Differentialmodell, welches entwickelt wurde.



Abbildung 5: Überblick über die typischen Unterhaltungsgebiete der ANNA basierend auf AIS und RADAR-Daten.

Neben den allgemeingültigen Fahrmustern während der Unterhaltung ist das Schiffsverhalten an kritischen Stellen, wie bspw. an Kaimauern oder Dalben, von besonderem Interesse für das DLR. Die Manöver, die das Baggerschiff an diesen kritischen Stellen vollzieht, werden als Grundszenarien für eine spätere Erprobung der automatisierten Systeme vom DLR extrahiert. Abbildung 6 enthält exemplarisch typische Manöver der ANNA entlang einer Kaimauer im Emden Hafen. Insbesondere Fahrmanöver bei denen das Baggerschiff auf die Kaimauer zufährt und danach Richtung Steuer- oder Backbord abdreht, um parallel zur Kaimauer zu rezirkulieren, wie in Abbildung 7 zu sehen, sind von besonderer Bedeutung und für AP8 (Risikoabschätzung) und AP10 (Konzeption von V&V Methoden für die Hochautomation) von hoher Relevanz.

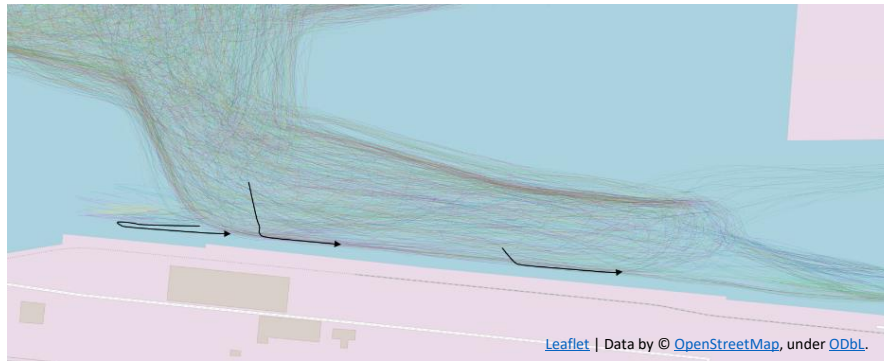


Abbildung 6: Sammlung typischer Manöver der ANNA entlang einer Kaimauer.

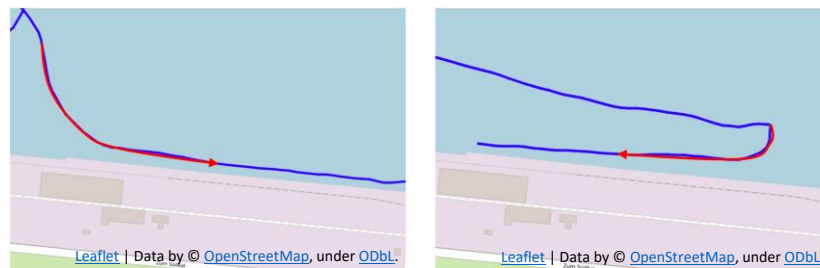


Abbildung 7: Exemplarische Kaimauermanöver der ANNA aus dem Verkehrsdatensatz

Basierend auf dem typischen Fahrmustern und den Rezirkulationsgebieten wurde im Anschluss ein prototypischer Track modelliert, welcher alle relevanten Fahrgebiete und Fahrmuster abbildet und als Basis für eine weitere Evaluation der automatisierten Routenplanung dient. Dieser ist in Abbildung 8 zu sehen und umfasst alle Emdener Hafengebiete, die derzeit durch das Baggerschiff ANNA unterhalten werden. Der prototypische Track wurde im Rahmen von Experteninterviews mit Fachexperten von nPorts im Rahmen der Evaluation untersucht und als geeignet für eine automatisierte Routenplanung bewertet. Im Schritt des Deployments wurden die erarbeiteten Muster, kritischen Fahrmanöver und Fahrgebiete genutzt, um Szenarien für eine automatisierte Baggermissionsplanung zu entwerfen und im Rahmen von Feldtests in AP12 zu evaluieren.

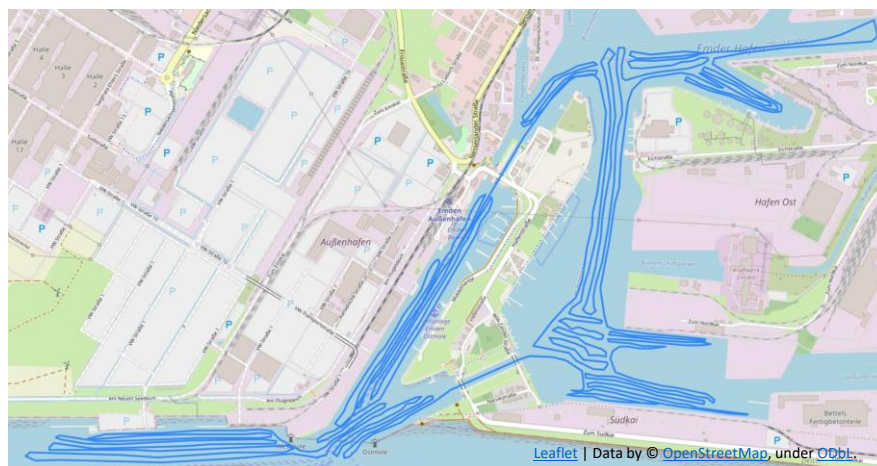


Abbildung 8: Prototypischer Track für ein autonomes Baggerschiff

Referenzen

[1] Wirth, R. and Hipp, J. (2000) CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining. Proceedings of the 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining, Manchester, 11-13 April 2000, 29-40.

AP5 Technologische Automatisierungskonzeption

Zielsetzung AP5:

- Erstellung eines Technologiekonzepts für das Baggerschiff in den drei Autonomiestufen
- Technologisches Konzeptionierung einer Landstation zur Überwachung und Fernsteuerung des Baggerschiffs
- Konzeption einer sicheren und zuverlässigen Schiff-zu-Land-zu-Schiff-Kommunikation inkl. Datenaustausch
- Betrachtung Cyber-Security Fragen bzgl. Schiff-zu-Land-zu-Schiff-Kommunikation
- Erstellung eines Sensorkonzepts für Maschinen- und Betriebsdaten
- Technologische Planung einer Automationsinsel zur Unterstützung jeder der drei Automationsstufen
 - Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem SmartKai-Vorhaben zur landseitigen Unterstützung des Baggerschiffs inkl. eines geeigneten LiDAR-Konzepts
- Je Automationsstufe, technologische Ausrüstungskonzepte zur Bahnenführung/Navigation, Kollisionsvermeidung und Lagebildererkennung/-auswertung basierend auf existierenden Produkten
- Enge Einbindung der Allianz bei der Konzeptionierung zur frühzeitigen Risikomodellierung und –bewertung der einzelnen Automatisierungstechnologien und des Gesamtkonzeptes
- Konzeption geeigneter Fallback-Lösungen bei einem potentiellen Systemausfall
- Erhebung von Anforderungen und Konzeptionierung von Digital High Resolution Charts zur dynamisches Sperrung des Baggergebiets für andere Verkehrsteilnehmer

Zielerreichung AP5:

Zum ökonomischen Betrieb eines hochautomatisierten Baggerschiffs in Bezug auf die Unterhaltung des Hafenbeckens, wurde die Automatisierung in drei verschiedenen Stufen betrachtet. Diese Automatisierungsstufen wurden dabei an die ersten drei MASS Level der International Maritime Organization (IMO) [1] angelehnt. Die IMO MASS Level umfassen vier Stufen der Autonomie:

1. Schiff mit automatisierten Prozessen und Entscheidungsunterstützung
2. Ferngesteuertes Schiff mit Seefahrern an Bord
3. Ferngesteuertes Schiff ohne Seefahrer an Bord
4. Autonomes Schiff

Bevor die drei Stufen betrachtet und analysiert werden konnten, wurde der Stand der Technik auf heutigen Baggerschiffen betrachtet. Das Ergebnis dieser Analyse fasst das folgende Komponentendiagramm in Abbildung 9 zusammen.

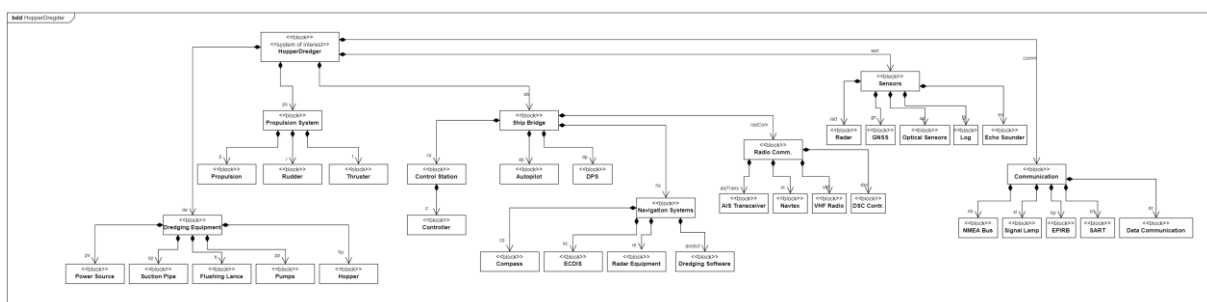


Abbildung 9: Komponentendiagramm eines typischen Baggerschiffs zur Rezirkulation

Die Komponenten wurden in fünf Kategorien unterteilt:

1. **Baggerausrüstung:** Dazu gehören alle Geräte, die direkt für das Baggern benötigt werden, beispielsweise Pumpen, Ansaugschläuche oder zusätzliche Antriebseinheiten.

2. **Antriebssystem:** Diese Kategorie umfasst die Motoren, Ruder und Querstrahlruderanlagen, die für die Bewegung und Steuerung des Schiffes verantwortlich sind.
3. **Sensoren:** Hierzu zählen Systeme wie Radar, GNSS, optische Sensoren (z. B. Kameras), ein Log sowie Echolote zur Tiefenmessung, die während des Betriebs Daten liefern.
4. **Schiffsbrücke:** Diese Kategorie beinhaltet alle Komponenten zur Kontrolle des Schiffes, wie Kontrollstationen, Autopiloten oder Systeme zur dynamischen Positionierung (DPS). Innerhalb dieser Kategorie lassen sich zwei Unterbereiche unterscheiden:
 - **Radio-Kommunikation:** Enthält Systeme wie AIS, NavTex und Sprechfunk.
 - **Navigationssysteme:** Dazu gehören beispielsweise Conning, ECDIS und Baggersoftware, die zur Visualisierung des Lagebildes und zur Einsatzplanung dienen.
5. **Kommunikation:** Diese Kategorie fasst sowohl interne als auch externe Kommunikationskanäle zusammen. Dazu gehören NMEA-Protokolle an Bord, Mobilfunk- oder Radio-Datenkommunikation sowie Sicherheitsausrüstung wie EPIRB und SART. Auch klassische Signalbeleuchtung wird hier eingeordnet.

Darauf aufbauend wurde die generelle Funktionsweise eines hochautomatisierter Baggerschiffs mittels des Sense-Plan-Act-Patterns modelliert. Das Ergebnis ist in den nachfolgenden Abbildungen zu sehen (Abbildung 10 und Abbildung 11. Die Abbildung der dritten Automationsstufe wurde aufgrund einer ausstehenden Veröffentlichung eines Papers in den Erfolgskontrollbericht verschoben). Die modellierten Systeme vereinen dabei die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 02 (Anforderungen), 04 (Typische Bewegungsmuster) und den geraden beschriebenen Komponenten.

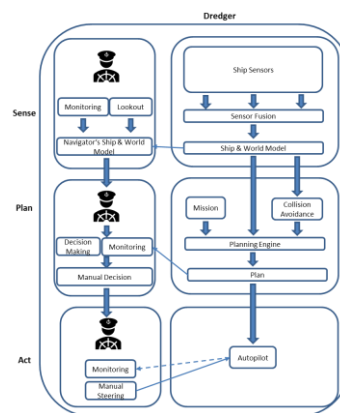


Abbildung 10 Sense-Plan-Act der ersten Automatisierungsstufe

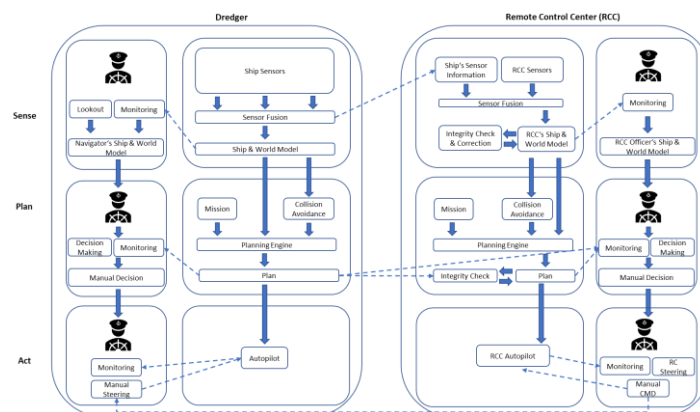


Abbildung 11 Sense-Plan-Act der zweiten Automatisierungsstufe

In der ersten Automationsstufe (AS I) werden die Wahrnehmung der Umgebung (Sense), die Entscheidungsfindung (Plan) und die Steuerung des Schiffes (Act) vollständig vom Schiffsführer an Bord übernommen. In der zweiten Stufe (AS II) werden diese Aufgaben zwischen dem Schiffsführer und einem Operator im Remote Control Center (RCC) aufgeteilt. Während der Schiffsführer die direkte Umgebung wahrnimmt (Sense), nutzt der Operator zusätzliche Sensordaten, einschließlich landgestützter Systeme, zur Überprüfung der Datenintegrität (Sense). Die Entscheidungsfindung (Plan) erfolgt gemeinsam, und beide können das Schiff steuern (Act), wodurch der Schiffsführer entlastet wird. In der dritten Stufe (AS III) sind sämtliche Funktionen – die Wahrnehmung der Umgebung durch Sensordaten (Sense), die Entscheidungsfindung (Plan) und die Steuerung (Act) vollständig im RCC zentralisiert, sodass kein Personal mehr an Bord erforderlich ist.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde das Automatisierungskonzept in drei Automationsstufen hergeleitet und werden im Folgenden beschreiben. Die erste Automatisierungsstufe ist dabei nachfolgend in Abbildung 12 zu sehen.

In der ersten Automatisierungsstufe wurde die Entscheidungsfindung des Schiffsführers unterstützt durch ein System zur Distanzmessung zu Objekten im Hafen. Wie in AP04 beschrieben wurde, findet das Baggern sehr häufig an Kaianlagen statt, hierbei erschwert die Größe des Baggerschiffes die Manöver da die Abstände schwer einzuschätzen sind. Die aktuell verwendeten Systeme liefern dabei keine absoluten Distanzmessungen. Mit diesem System sollte der Schiffsführer unterstützt werden, um besser entscheiden zu können wie nah an eine Kaimauer gefahren werden kann, beziehungsweise wann ein anderes Manöver eingeschlagen werden muss. Im generellen wurde dabei als Grundlage eine technische Ausrüstung angenommen die dem Stand der Technik entspricht, und bereits in Abbildung 9 gezeigt wurde. Um ein System zur Abstandsbestimmung integrieren zu können müssen zwei Komponenten hinzugefügt werden. Zum einen die Sensoren zur Abstandsbestimmung in Form von FMCW Radaren, welche für die Messung benötigt werden. Zusätzlich muss das Navigationssystem um eine Visualisierung der Abstandsdaten erweitert werden, sodass dem Schiffsführer an seinem Arbeitsplatz diese zur Verfügung gestellt und angezeigt werden. Die FMCW Radare können dabei auch durch ein LiDAR ersetzt werden oder die Distanzmessung entsprechend um eine weitere Sensorquelle erweitert werden.

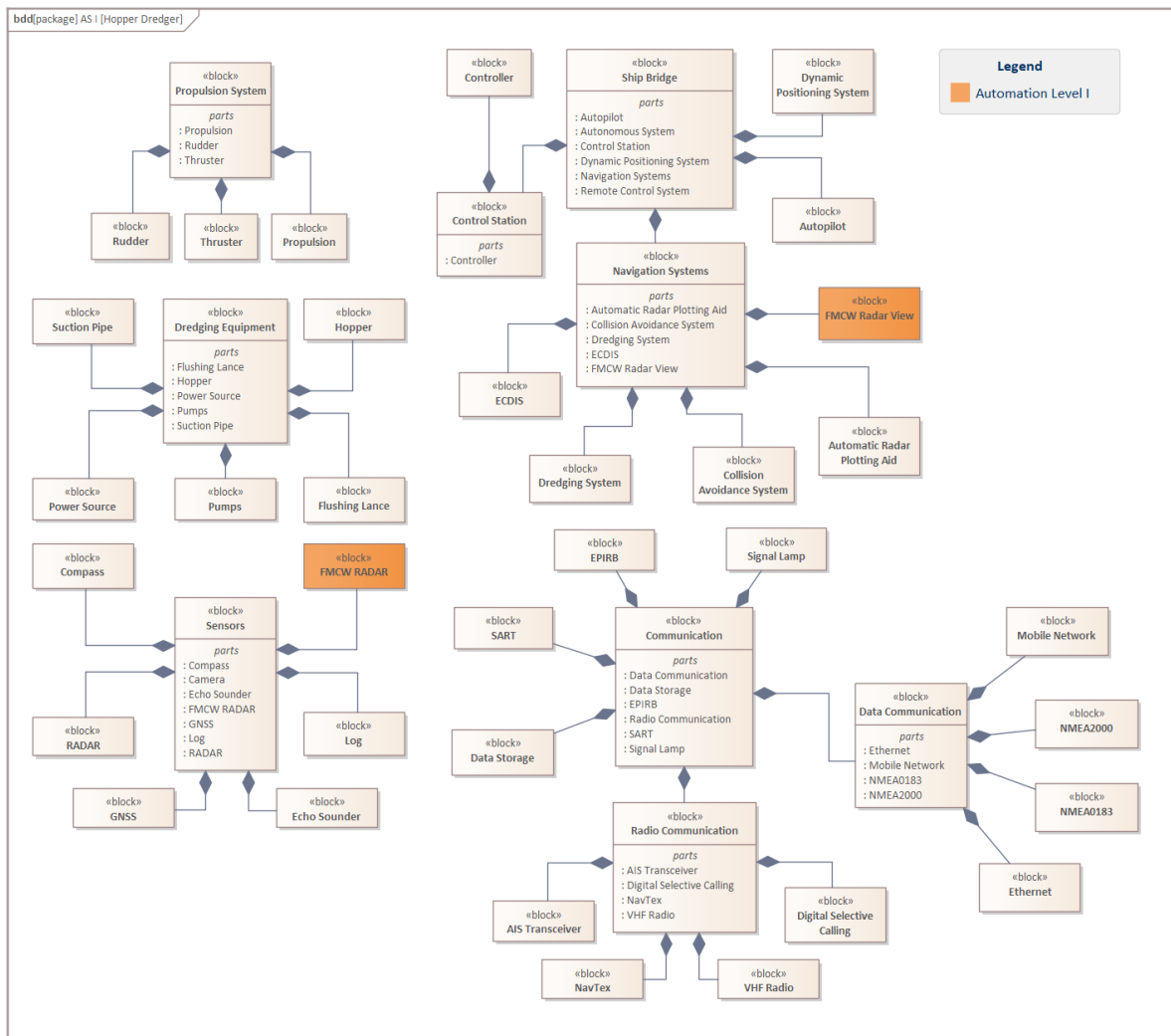


Abbildung 12: Konkretes Konzept für die erste Automationsstufe mit einer Entscheidungsunterstützung durch Abstandsbestimmung zu Objekten im Hafen

Ausgehend von der ersten Automatisierungsstufe wurde die zweite Automatisierungsstufe geplant. Durch das IMO MASS Level wurde auch die technische Erweiterung definiert, da hier eine Fernsteuerung notwendig ist. Die Ergänzung ist nachfolgend in Abbildung 13 zu sehen.

Um die Fernsteuerung zu ermöglichen ist primär ein System an Bord notwendig, welches schiffsseitig in die Brücke integriert werden muss, um die Befehle von Land zu empfangen. Zusätzlich zu diesem ist es wichtig, dass der Operator im RCC dasselbe Lagebild hat wie der Schiffsführer an Bord und diese durchgehend konsistent zueinander sind. Hierzu ist es notwendig die rundum Sicht zu ermöglichen mithilfe mehrerer Kameras, die als zusätzliche Sensorik integriert werden. Durch die Kameras in Kombination mit den anderen Sensoren an Bord erhält der Operator an Land dasselbe Lagebild wie der Schiffsführer. Dadurch wird ermöglicht, dass der Operator an Land die Steuerung übernimmt und sich mit dem Schiffsführer an Bord ablösen kann. Hierdurch könnte der Baggerbetrieb länger stattfinden, da das nautische Personal nur im Notfall eingreifen müsste und in der Regel das Schiff von Land aus gesteuert werden kann. Zusätzlich spielt auch hier die Abstandsmessung zu Objekten im Hafen eine Rolle, da der Operator im RCC die genaue Entfernung zu den Objekten sieht, die potentiell auf der Kamera schlecht erkennbar wären oder die Entfernung falsch eingeschätzt werden könnte. Kameras liefern zwar visuelle Daten, doch bei schlechten Wetterbedingungen oder in der Dämmerung können ihre Sichtverhältnisse stark beeinträchtigt werden oder sogar ganz ausfallen. Zudem fehlt herkömmlichen Kamerasystemen die notwendige Tiefenwahrnehmung, was insbesondere bei

sicherheitskritischen Manövern zu Problemen führt. Dadurch wird auch der der Fernsteuerungsbetrieb zusätzlich abgesichert. Für den Fernsteuerungsbetrieb ist zudem die konsistente und stabile Verbindung zum RCC von höchster Relevanz. Es muss sichergestellt werden das eine Verbindung zum RCC besteht, die zudem redundant ausgelegt sein sollte, falls eine der Kommunikationsmöglichkeiten ausfällt. Dabei kann auf unterschiedliche Technologien gesetzt werden, wie beispielsweise eine Kombination aus Satellitenkommunkation und Mobilfunk oder auf die redundante Verwendung innerhalb einer Technologie.

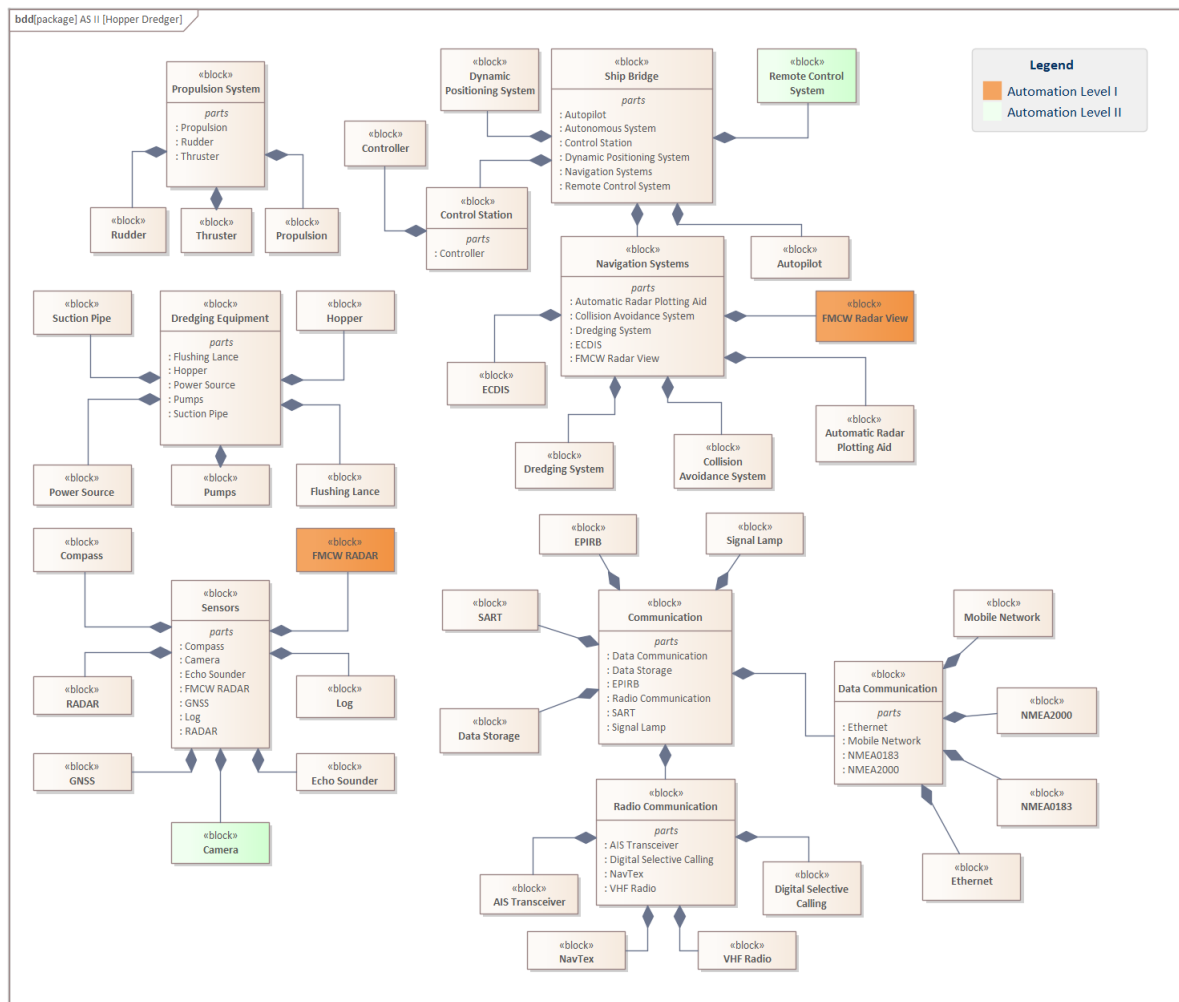


Abbildung 13: Konkretes Konzept für die zweite Automationsstufe mit einer Fernsteuerung

Zusätzlich zu den Komponenten des Schiffes muss entsprechend auch die Architektur des RCC berücksichtigt werden. Die Komponenten die für die Umsetzung müssen entsprechend der Anforderungen ausgewählt werden. Nachfolgend in Abbildung 14 ist die Konzeption zu sehen.

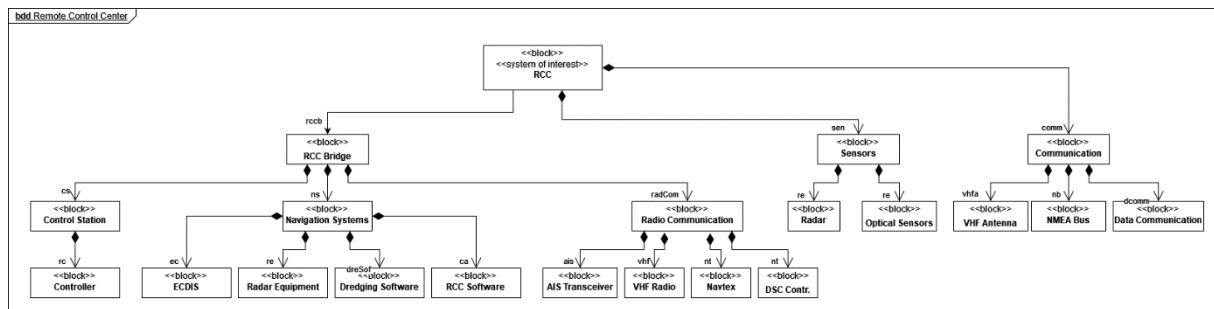


Abbildung 14: Komponentendiagramm einer Landstation zur Fernsteuerung eines Baggerschiffes.

Generell sind die Komponenten zum Teil ähnlich zu den Komponenten eines typischen Baggerschiffes wie bereits beschrieben und in Abbildung 9 zu sehen. Die Komponenten lassen sich in drei Kategorien einteilen. Die erste Kategorie ist die Kommunikation, welche zur Kommunikation von Land aus verwendet werden kann. Insbesondere ist dabei die Datenkommunikation relevant, unabhängig von ihrer Art (Satellit, Mobilfunk), da sie die Datenübertragung zum Schiff ermöglicht. Zudem umfasst die Kategorie Kommunikation auch die Komponenten zur Kommunikation innerhalb des RCC und direkt vom RCC aus. Bei der Kommunikation ist zudem wichtig, dass diese für den Betrieb abgesichert wird. Hierzu muss sichergestellt werden, dass keine Unbefugten oder Personen mit böswilligen Absichten die Kontrolle über das Schiff übernehmen. Um dies zu vermeiden muss zum einen die Kommunikation verschlüsselt werden und nach Möglichkeit die potentiellen Einfallstore minimiert werden. Dies ist beispielsweise durch die Nutzung eines VPN Netzwerkes möglich. Zudem muss eine Authentifizierung bei der Kontrollübernahme durchgeführt werden, bei der der Operator sich anmeldet, um sicher zu gehen, dass dieser auch das Schiff kontrollieren darf und berechtigt dazu ist. Bei der Steuerung des Baggerschiffes kann sich die Landstation auch in der Nähe des Hafens befinden. Insbesondere wenn das RCC ähnlich einer Vessel Traffic Service (VTS) Zentrale an einem Ort aufgebaut wird, der sich in einer Entfernung zum Einsatzort befindet, bei der beispielsweise noch Funk verwendet werden kann. Zudem ist es wichtig bei der Kommunikation eine Redundanz in den verwendeten Systemen zu haben, so sollte immer eine Fallbacklösung vorgesehen werden. Diese könnte beispielsweise die Absicherung von Mobilfunk mithilfe von Satellitenkommunikation abzusichern. Ähnlich verhält es sich bei der Kategorie der Sensoren, diese umfassen Sensoren die landseitig installiert sind, dabei können diese Teil des RCC sein, können aber auch extern bezogen werden. Diese umfassen beispielsweise landseitige Radare oder optische Sensoren. Zusätzlich muss gewährleistet werden, dass dem Operator im RCC auch alle Informationen der schiffseitigen Sensoren zur Verfügung stehen. Diese werden über die Datenkommunikation übermittelt. Bei den aufgezeigten Sensoren des RCC handelt es sich demnach um zusätzlich landseitig installierte Anlagen. Diese werden als Ergänzung zu den vom Schiff bereitgestellten Daten verwendet und wenn möglich zur Validierung. Die dritte Kategorie ist die RCC Brücke, diese umfasst das Pendant zur Brücke auf dem Schiff. Die RCC Brücke unterteilt sich in drei Unterkategorien, die Kontrollstation, welche den Controller zur Steuerung des Schiffes umfasst. Als zweites die Navigationssysteme, welche die Systeme zur Visualisierung der Radardaten, die ECDIS, die Baggersoftware und die Systeme und Software enthält die spezifisch für das RCC sind. Die RCC Software umfasst die Systeme zur Visualisierung der Informationen die vom Schiff bereitgestellt werden. Zuletzt umfasst die RCC Brücke die Radiokommunikation, welche identisch zu den Komponenten des typischen Baggerschiffes ist.

Basierend auf der zweiten Automatisierungsstufe wurde anschließend die dritte Automatisierungsstufe geplant. Diese entspricht dem dritten MASS Level, bei der kein nautisches Personal mehr an Bord sein muss während der Fernsteuerung. Bei dieser Automatisierungsstufe wurde das Konzept, um den Operator im RCC zu entlasten und gleichzeitig die Präzision des Baggers zu

steigern, um eine intelligente Bahnführung erweitert. Die dritte Automatisierungsstufe ist modelliert in Abbildung 15 zu sehen.

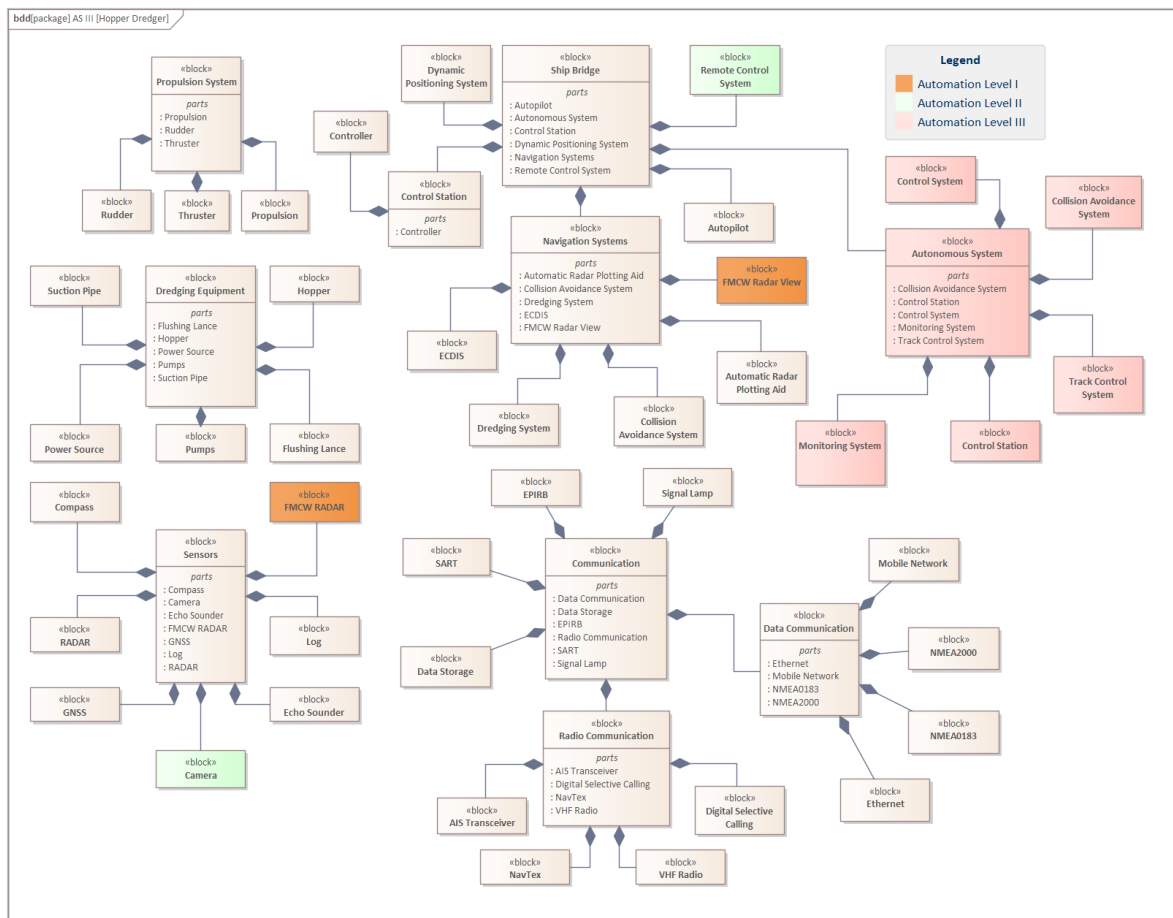


Abbildung 15: Konkretes Konzept für die dritte Automationsstufe mit einer intelligenten Bahnführung

Um den Operator bei der Steuerung des Schiffes zu unterstützen und um den Baggerprozess zu optimieren, wurde in der dritten Automationsstufe, das autonome System hinzugefügt, welches eine intelligente Bahnführung mit Kollisionsvermeidung ist. Diese intelligent Bahnführung kann teilautonom arbeiten und die zu fahrenden Routen präziser abfahren. Hierbei benötigt das System mehrere Komponenten zur Durchführung dieser Aufgabe:

1. Es benötigt eine Komponente zur Kontrolle des Antriebs des Schiffes
2. Es benötigt eine Komponente zur Verfolgung der geplanten Bahn
3. Es benötigt eine Komponente zur Kollisionsvermeidung, um die Sicherheit während des Betriebs sicherzustellen
4. Es wird eine Komponente zum Eigenmonitoring benötigt, die sicherstellt, ob das System weiterhin richtig operiert oder nachreguliert werden muss.
5. Es wird eine Kontrollstation für das System benötigt, diese ist an Land im RCC in welchem der Operator dann das System kontrolliert oder die Ziele des Systems ändert. In allen Fällen sichert dabei der Operator im RCC den Betrieb des Systems ab und muss dieses durchgehend überwachen um im Notfall sofort eingreifen zu können.

Um die Arbeiten des ferngesteuerten Baggerschiffs absichern zu können und andere Verkehrsteilnehmer auf die stattfindende Rezirkulation in einem bestimmten Hafengebiet aufmerksam zu machen, werden dynamische Sperrzonen in Elektronischen Seekarten eingeführt. Da die vorhandenen Seekarten dies nicht unterstützen werden eigene Digital High Resolution Charts

konzeptioniert, welche den Hafen hochgenau abbilden und zusätzliche Informationen erfassen können. In diesem Rahmen wurden Anforderungen definiert, die genauer in der wissenschaftlichen Veröffentlichung „Enhancing Situation Awareness in Highly Automated Shipping using High-Resolution Electronic Navigational Charts“ beschrieben sind. Zu dieser Veröffentlichung ist eine Extended Version in Bearbeitung, die neben der Infrastruktur für die Bereitstellung und Verteilung von Digital High Resolution Charts und den Anwendungsfällen auch auf die Umsetzung von Sperrzonen und deren Umsetzung eingeht.

Referenzen

[1] IMO, Hrsg. 2021. „MSC.1/Circ.1638 - Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS

AP8 Risikoabschätzung

Zielsetzung AP8:

- Prüfen der Übertragbarkeit des Risk Assessments für die zu entwickelnde V&V-Methode für hochautomatisierte maritime Fahrzeuge
- Ableiten von risikominimierenden Maßnahmen im Bereich der Automatisierung

Zielerreichung AP8:

Zur Identifikation möglicher Fehlerursachen und deren Auswirkungen im Betrieb eines hochautomatisierten Baggerschiffs hat das DLR an der Übertragung einer Automationsrisiken-Methode aus dem Automobilbereich auf die maritime Domäne geforscht. Die Methode wurde im Rahmen des PEGASUS-Projekts¹ entwickelt und ist schematisch in Abbildung 16 dargestellt.

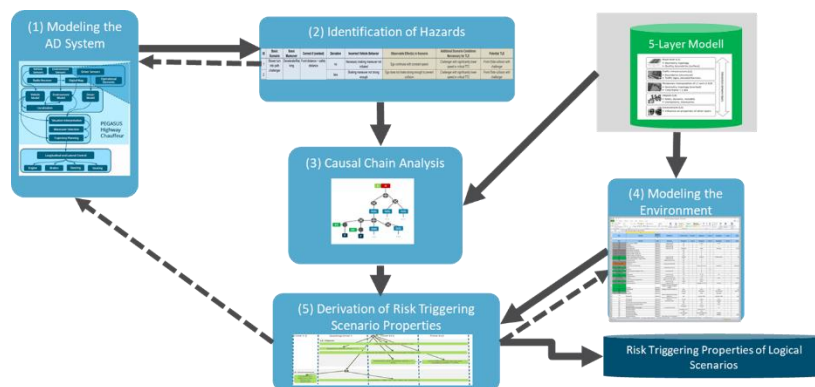


Abbildung 16: Vorgehen zur Identifizierung von Automationsrisiken nach der PEGASUS Methode nach [1].

Die Risikoanalyse bildet die Grundlage für ein fundiertes Risikodokument, das die Fehlerursachen und deren -auswirkungen auf die Betriebssicherheit bewertet und so eine Grundlage für Präventionsmaßnahmen bildet. Die Methode wurde im Rahmen von AMISIA erfolgreich im maritimen Kontext angewendet. Dabei galt es vor allem zwei Herausforderungen zu lösen: Zum einen musste die Terminologie teilweise angepasst werden, da in den beiden Domänen teilweise ein unterschiedliches Begriffsverständnis etabliert ist. Zum anderen ist der Betriebsbereich in der Schifffahrt nicht so klar strukturiert wie im Straßenverkehr, was ein systematisches Vorgehen zur Definition von Basisszenarien und -aktionen als Grundlage für die Analyse anspruchsvoller macht. Ein weiterer Unterschied zum Automobilsektor besteht darin, dass die Betrachtung von Umwelt-Faktoren wie eingeschränkter Sicht oder extremem Seegang in der maritimen Domäne von größerer Bedeutung ist. Da die

¹ www.pegasusprojekt.de

Automationsrisiken-Methode auch die Identifikation solcher Faktoren und darüber hinaus unzulänglicher Systemspezifikationen beinhaltet, bietet sie großes Potenzial, die intendierte Funktionalität von automatisierten maritimen Systemen abzusichern. Im Folgenden werden die im Rahmen von AMISIA durchgeführten Arbeitsschritte im Detail beschrieben.

In Schritt 1 der Automationsrisiken-Methode wurde ein detailliertes Systemmodell des automatisierten Baggerschiffs erstellt. Dieses Systemmodell enthält eine Übersicht über alle relevanten Bestandteile des Schiffs und deren Interaktionen miteinander. Ziel war es, alle funktionalen Zusammenhänge vollständig zu verstehen, da sie als Ausgangspunkt für weitere Analyseschritte dienen. Die Modellierung beinhaltet dementsprechend neben mechanischen und elektronischen Komponenten, die für die physischen Aufbau des Baggerschiffs zuständig sind, auch die softwaretechnischen Komponenten, die eine Steuerung und Überwachung des Schiffsbetriebs ermöglichen. Grundlage für die System-Modellierung im Rahmen der Automationsrisiken-Methode bildeten die in AP5 erarbeiteten Komponentendiagramme und Sense-Plan-Act Architekturen.

In Schritt 2 der Methode wurde das erstellte Systemmodell genutzt, um die Verhaltensweisen des Systems zu identifizieren, die potenziell zu Gefährdungen führen. Dabei wurde ein Katalog mit Verhaltensweisen abgeleitet, der alle Risikofaktoren abbildet. Dieser Katalog erfasst die Konsequenzen aller Verhaltensweisen bis zum größtmöglichen Schadensfall (Top-Level Event), der aus einem Fehlverhalten des Systems resultieren kann, wie beispielsweise eine Kollision des Schiffs mit einer Kaimauer. Sobald ein potenziell gefährliches Systemverhalten erkannt wurde, wurde die Ursache des Verhaltens untersucht. Dafür wurde der Fokus zurück auf die Systemkomponenten aus Schritt 1 gelegt, sodass das aufgetretene Fehlverhalten auf einzelne Teile des Gesamtsystems zurückgeführt werden konnte. Neben dem bereits beobachteten Verhalten wurde das fehlerhafte Teilsystem genauer untersucht, um die Auswirkungen auf das Gesamtverhalten des Systems zu verstehen. Durch den Kausalzusammenhang zwischen Ursache (fehlerhafter Komponente) und Wirkung (gefährliches Systemverhalten) wurden die tatsächlichen Risiko-beeinflussenden Faktoren abgeschätzt. Dieser Bottom-up Ansatz beginnt auf der niedrigsten Ebene der Systemkomponenten und betrachtet wie Fehler zu größeren Systemfehlern und schließlich zu gefährlichen Situationen führen. So kann ausgehend von den grundlegenden Bausteinen des Systems das Gesamtbild der Risiken abgeschätzt werden. Wenn aufgrund dieser detaillierten Analyse weitere Gefährdungen identifiziert werden konnte, wurden diese in den vorhandenen Risikokatalog integriert.

In Schritt 3 der Automationsrisiken-Methode wurden die erarbeiteten Zusammenhänge strukturiert. Dafür wurde eine Fehlerbaum-Analyse durchgeführt, bei der Komponentenfehler mit dem inkorrekten Systemverhalten und möglichen Schadensfällen in einen kausalen Zusammenhang gesetzt wurden. Dementsprechend ermöglichte die Aufstellung der kausalen Abhängigkeiten eine visuelle und intuitive Auflistung der Wirkzusammenhänge. Als Konsequenz konnten mithilfe der Fehlerbaum-Analyse bereits frühzeitig kritische Fehlerpfade erkannt werden, die ohne Präventivmaßnahmen zu schwerwiegenden Schäden führen könnten.

Die Durchführung der Automationsrisiken-Methode in AMISIA ist beispielhaft in Anhang B dargestellt. Dabei wird ein Basisszenario betrachtet, in dem sich das Baggerschiff der Kaimauer senkrecht nähert und anschließend mit geringem Abstand parallel dazu fährt. Auszüge aus dem Verhaltens-Katalog, der Komponenten-Betrachtung und der Fehlerbaum-Analyse sind in Abbildung B 1, Abbildung B 2 und Abbildung B 3 dargestellt.

Referenzen

[1] M. Büker, B. Kramer, E. Böde, S. Vander Maelen, und M. Fränzle, „Identifikation von Automationsrisiken hochautomatisierter Fahrfunktionen in PEGASUS“, in AAET Automatisiertes und vernetztes Fahren, 2019, S. 315–329.

AP9: Bewertung der Versicherbarkeit

Zielsetzung AP9:

Ursprünglich hat das DLR keine Aufwände hier geplant. Aufgrund der Ergebnisse in AP10 unterstütze das DLR jedoch nPorts beim fachlichen Austausch mit der Allianz. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt.

Zielerreichung AP9:

Das DLR hat bei einem gemeinsamen Termin zwischen den Konsortialpartnern und dem assoziierten Projektpartner Allianz die Zwischenergebnisse der Arbeiten aus AP10 (V&V-Methoden für die Hochautomation) vorgestellt. Die Ergebnisse wurden bei einer anschließenden Diskussion aus Sicht der Allianz bewertet. Es wurde gemeinsam beschlossen, dass das Projektkonsortium die ganzheitliche Risikobetrachtung, bestehend aus operationellen, klassischen schiffsbaulichen Risiken und Automationsrisiken finalisiert. Im Rahmen eines Wissensaustausch fand anschließend ein Treffen zwischen dem DLR und der Allianz in den Räumlichkeiten der Allianz statt. Hierbei wurde die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus AP10 in die Arbeitspraxis der Schiffsversicherung mit Fachexperten aus dem Risk Consulting und dem Underwriting diskutiert.

AP10 Konzeption von V&V Methoden für die Hochautomation

Zielsetzung AP10:

- Identifizierung und Adaption relevanter V&V Methoden aus anderen Domänen (Automotive, Aviation)
- Konzeption der V&V Methode in enger Abstimmung mit der Risikoabschätzung und – Modellierung aus AP8
- Identifikation von Kriterien und Prüfscenarien zur Bewertung der Automationsinsel
 - Nutzung simulativer Verfahren für die Bewertung und Platzierung der verwendeten Sensorik
- Nutzung simulativer Verfahren
 - Nachbildung des Testgebiets in der Simulation
 - Simulation der landseitigen Sensorabdeckung im Testgebiet
 - Bewertung verschiedener Sensoren und Platzierungen im Testgebiet.

Zielerreichung AP10:

Aufgrund der hohen Komplexität hochautomatisierter maritimer Systeme wurde in AMISIA während des gesamten Entwicklungsprozesses die in AP8 beschriebene Automationsrisiken-Betrachtung durchgeführt. Dabei wurde eine Methode aus dem Automobilbereich erfolgreich auf die maritime Domäne übertragen. Bei der Verifizierung eines hochautomatisierten Systems geht es dann darum zu überprüfen, ob das System gemäß seinen Spezifikationen funktioniert, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Dazu zählt auch das Testen risikominimierender Maßnahmen, beispielsweise von Fallback-Mechanismen bei einem Sensorausfall. Nach der Verifizierung erfolgt die Validierung des Systems, mit der überprüft wird, ob das System den tatsächlichen Bedürfnissen der Stakeholder entspricht.

Zur aussagekräftigen Durchführung der Verifikation und Validierung bedarf es einer Methode, welche die komplexen Zusammenhänge des dynamischen Hafenumfelds abbildet. Eine Möglichkeit, um eine solche Testumgebung zu schaffen, ist die Nachbildung des Testgebiets in der Simulation. Allerdings kann eine simulative Umgebung nie alle für den V&V Prozess potenziell relevanten Merkmale realistisch abbilden. Aus diesem Grund hat das DLR in AMISIA stattdessen eine Methode zur hybriden Simulation und Fehlerinjektion entwickelt, die es ermöglicht, V&V Tests mit einem physischen Versuchsträger im realen Operationsgebiet Hafen durchzuführen. Dazu wurde ein Architekturaufbau konzipiert und implementiert, der die gezielte Manipulation von Nachrichten im Netzwerk des Testträgers ermöglicht. Dieser Architekturaufbau und die dazugehörige Beschreibung ist aufgrund einer noch ausstehenden Publikation eines Papers in den Erfolgskontrollbericht verschoben worden.

AP11 Konzeption der Genehmigung

Zielsetzung AP11:

- Definition der Genehmigungserfordernisse in Abhängigkeit der jeweiligen Klassen
- Ableitung einer Empfehlung, welche Klasse in den Genehmigungsprozess mit einzubeziehen ist

Zielerreichung AP11:

Um den entwickelten Automatisierungsprozess rechtlich absichern zu können unterstützte das DLR den Projektpartner nPorts bei Untersuchung und Bewertung bestehender Richtlinien und Vorschriften für die Zulassung eines hochautomatisierten Baggerschiffs. Hierzu wurden im Rahmen einer vom DLR durchgeführten Literaturrecherche, der geltende rechtliche Rahmen geprüft. So wurden im Laufe der Prüfung bspw. Dokumente der IMO, SOLAS und COLREG geprüft. Neben diesen wurden auch die Regularien der Bundeswasserstraßen auf die rechtliche Absicherung im Rahmen der Erprobung neuer Technologien geprüft, sowie Vorschriften den „Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe“ (ES-TRIN), der die technische Ausstattung von Binnenschiffen beleuchtet.

Außerdem wurden Richtlinien relevanter Klassifikationsgesellschaften (Det Norske Veritas (DNV), Korean Register (KR), Nippon Kaiji Kyokai (Class NK)) betrachtet und deren Richtlinien und Positionen bezüglich autonomer und hochautomatisierter Schifffahrt gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung wurde anhand vorher definierter Kriterien durchgeführt. Berücksichtigt wurden Dokumente, die im Zeitraum zwischen Januar 2020 und Juni 2023 veröffentlicht wurden. Aufgrund des Bearbeitungszeitraums des Meilensteins war es nicht möglich etwaige Neuveröffentlichungen oder Revisionen der Dokumente zu berücksichtigen.

Tabelle 3: Vergleich der Quellen. Hierbei gilt folgende Notation: X = Erfüllt; O = Teilweise erfüllt, - = Nicht erfüllt

Herausgeber	Art des Betriebs	Risiko Analyse	V+V	Update Management	Umfeld-erkennung
DNV	I bis IV	X	O	O	X
ABS	I bis III	X	X	O	-
KR	I bis IV	O	O	-	O
Class NK	I bis IV	-	-	-	-

Die in Tabelle 2 dargestellte Gegenüberstellung verdeutlicht, dass, Detailgrad und Fokus der unterschiedlichen Richtlinien der betrachteten Klassifikationsgesellschaften stark voneinander

abweichen. Hierbei fällt auf, dass DNV aus den betrachteten Dokumenten den höchsten Detailgrad für den Betrieb eines hochautomatisierten Schiffes in den Automationsstufen I bis III bietet.

Die in diesem Arbeitspaket erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse wurden als Grundlage für weitere Arbeiten an den Projektpartner nPorts übergeben.

AP12 Experimentelle Feldtests

Zielsetzung AP12:

- Erweiterung des Testträgers zur Integration eines Assistenzsystems
- Ausrüstung des Forschungsbootes mit notwendiger Sensorik
- Schnittstellenspezifikation und Erweiterung der vorhandenen Testträgerarchitektur zur Unterstützung proprietärer Formate
- Adaption der notwendigen Regulationsbedingungen auf das Zielschiff
- Aufbau einer Schiff-zu-Infrastruktur-Kommunikation
- Integration einer redundanten Sensorinfrastruktur
- Generierung eines Lagebilds zur Situationsbewertung
- Integration des Testgebiets in die eMIR Infrastruktur
- Integration der V&V-Toolkette in das Testfeld
- Aufrüstung eines Containers als Landstation
- Aufbau eines Testcockpits zur Teleoperation des Versuchsträgers
- Überwachung/Monitoring der Testläufe
- Durchführung einer geführten Untersuchung (Testführung) durch VV&T Management
- Evaluation des Systems unter Tests basierend auf den V&V Konzepten
- Erprobung der Automatisierungsstufen 1-3
- Erprobung der V&V-Konzepte
- Berücksichtigung der „Interim Guidelines for MASS Trials“ (MSC. 1-Circ.1604) - IMO der IMO und der DNV MASS Guideline
- Berücksichtigung lokaler Vorgaben für entsprechende Feldtests
- (Simulative Erprobung)
- Erprobung der Automationsinsel durch die Einrichtung notwendiger landseitiger Infrastruktur
- Absprache der Testszenarien

Zielerreichung AP12:

Für die experimentelle Erprobung der in den AP5 ermittelten Automatisierungsstufen wurden während der Projektlaufzeit mehrere unterschiedliche Feldtests durchgeführt. Dabei wurden verschiedene technische Setups und Aufbauten verwendet. Generell wurden zwei Testträger des Testfelds eMIR verwendet. Zum einen das Forschungsboot Sally für alle drei Automatisierungsstufen und zusätzlich das Forschungsboot Josephine als zweiten Testträger für die zweite Automatisierungsstufe. Beide Forschungsboote ausgerüstet mit der für die Automatisierungsstufen besonderer Sensorik (farblich umrandet und in der Beschriftung beschrieben) ist dabei auf Abbildung 17 und Abbildung 18 erkennbar.



Abbildung 17 Foto des Testträgers Sally mit den verbauten 1D-FMCW-Radaren (orange umrandet), dem LiDAR (violett umrandet) und den Kameras (grün umrandet)



Abbildung 18 Foto des Testträgers Josephine mit verbauten Kameras (grün umrandet)

Alle Feldtests haben im Hafen Emden stattgefunden, welcher kontinuierlich mit einer Sensorbox ausgestattet wurde die in AP04 bereits beschrieben wurde. Mit der Sensorbox konnte der Hafen

überwacht werden und es wurden die wichtigsten Verkehrsdaten aufgezeichnet und während den Feldtests verwendet (AIS und RADAR). Zusätzlich zu der festen Installation wurden während den Feldtests temporäre Aufbauten aufgestellt. Auf diese wird im weiteren Verlauf eingegangen.

Trotz der hochauflösenden Umgebungserkennung durch Kameras, kann das System in komplexen und dynamischen Hafenumgebungen an seine Grenzen stoßen. Kameras liefern zwar visuelle Daten, doch bei schlechten Wetterbedingungen oder in der Dämmerung können ihre Sichtverhältnisse stark beeinträchtigt werden oder sogar ganz ausfallen. Zudem fehlt herkömmlichen Kamerasystemen die notwendige Tiefenwahrnehmung, was insbesondere bei sicherheitskritischen Manövern zu Problemen führt. Bei dem Baggerschiff fallen hierunter häufig durchgeführte Manöver, wie die Fahrt entlang einer Kaimauer oder Schleusendurchquerungen.

Um diesen Einschränkungen entgegenzuwirken und das Situationsbewusstsein des nautischen Personals zu verbessern, werden zusätzlich ein Radarsystem und ein LiDAR Sensor auf dem Schiff installiert. Das Radar wird eingesetzt, um die Abstände zu nahen Objekten zu messen und ist dabei unabhängig von visuellen Störfaktoren durch Wetter oder Lichtverhältnisse. Das LiDAR wird parallel dazu als Absicherung verwendet und besitzt eine höhere Auflösung und Genauigkeit als das Radar, ist dafür aber fehleranfälliger bei schlechten Wetterbedingungen. Durch die redundante Verwendung beider Systeme entsteht ein robustes Werkzeug, um in unübersichtlichen Situationen genaue Entfernungsabschätzungen zu den umgebenden Strukturen oder anderen Schiffen zu detektieren. Diese Entfernungsinformationen können dann entweder vom Schiff selbst genutzt werden, um kritische Situationen besser erkennen zu können und Ausweichmanöver einzuleiten. Gleichzeitig werden die Daten auch an das Remote Operation Center weitergegeben. Dort werden die Distanzmessungen von einem Navigator genutzt, um das Schiff auch bei schlechten Sichtverhältnissen sicher zu steuern oder um sicherheitskritische Manöver besser einschätzen zu können. In erster Linie werden sowohl Radar als auch LiDAR genutzt, um Kapitän bzw. Besatzung im Remote Operation Center zu informieren, falls diese eine Gefahr nicht sehen oder falsch einschätzen. Das Live-Monitoring mit geeigneter Sensorik hat somit den entscheidenden Vorteil, dass der Navigator vor unvorhergesehenen Ereignissen gewarnt wird und somit ein Sicherheitsnetz geschaffen wird.

Bei der ersten Automatisierungsstufe wurden ein System zur Distanzmessung aufgebaut, hierzu wurden acht 1D-FMCW-Radare des Typs RMS1000 vom Hersteller Sick beschafft und am Testträger Sally des Testfelds eMIR verbaut. Ein Sensor ist beispielhaft in Abbildung 19 zu sehen.



Abbildung 19: 1D Radar Sensor am Bug des Testschiffs Sally.

Die Radar-Sensoren wurden rund um den Testträger angeordnet. Hierbei wurde ein Radar am Bug, ausgerichtet in Fahrtrichtung, zwei an den Seitenfronten in 40-Grad-Winkeln, vier weitere an den Seiten (Steuerbord und Backbord) sowohl vorne als auch hinten und ein weiteres Radar am Heck verbaut. Die Sensoren messen Abstände zu Objekten in einem Entfernungsbereich von 40 cm bis 100

m mit einer Update-Rate von zehn Messzyklen pro Sekunde, wodurch eine detaillierte Datenerfassung sichergestellt wird. Da die Daten über eine proprietäre Schnittstelle bereitgestellt werden, wurden die Sensoren an das Testfeld eMIR mithilfe von Adaptern angebunden. Es wurde eine Visualisierung entwickelt, welche die Daten dann an Bord und an Land anzeigen konnte (die Abbildung wurde aufgrund einer ausstehenden Veröffentlichung eines Papers in den Erfolgskontrollbericht verschoben). Aufgrund der besonderen Herausforderungen bei der Verwendung von Radar-Sensoren im maritimen Umfeld, die sich beispielsweise durch Strahlungsreflexion von der Wasseroberfläche ergeben, war die Implementierung eines Algorithmus zur Datenverarbeitung notwendig. Mit einem kombinierten Ansatz aus Filtern und Clustern der Rohdaten konnten zuverlässig für die Kollisionsvermeidung relevante Abstände bestimmt werden. Zur Validierung dieser Abstände wurde die Entfernung des Forschungsboots zu einer Kaimauer im Emden Hafen basierend auf GPS-Positionen bestimmt und als Ground Truth für die Sensordaten verwendet, siehe Abbildung 20. Vereinzelt Fehldetektionen traten unter extremen Wetterbedingungen wie Starkregen auf.

Um die Absicherung der automatisierten Navigation durch das 1D Radar System in Feldtests zu erproben, wurde ein Testszenario unter Berücksichtigung der existierenden Baggermessdaten aus AP4 entworfen. Aus diesen Daten wurden prototypische Manöver des Baggerschiffs abgeleitet. Diese zeigen, dass das Operieren in geringem Abstand zur Kaimauer für die Hafenunterhaltung unerlässlich ist. Das für die Feldtests entworfene Manöver beinhaltet eine senkrechte Annäherung an die Kaimauer, eine 90-Grad-Wendung und eine Bewegung parallel zur Kaimauer. Mit der senkrechten Anfahrt auf die Kaimauer wurde das Szenario gewählt, bei dem das Auftreten eines Komponentenfehlers wie in AP8 betrachtet das größtmögliche Kollisionsrisiko mit sich bringt. Dadurch lassen sich die Erkenntnisse aus den Feldtests auf weniger risikoreiche Manöver im Baggerbetrieb übertragen. Um aussagekräftige Testergebnisse im Sinne der in AP10 beschriebenen Verifizierung und Validierung des automatisierten Baggerschiffs zu erzielen, muss gewährleistet sein, dass das in den Feldtests durchgeführte Manöver die vorab getroffenen Spezifikationen wie z.B. einen bestimmten Abstand zur Kaimauer einhält. Dazu wurde das Testszenario in einem Traffic Sequence Chart (TSC) formalisiert (die Abbildung wurde aufgrund einer ausstehenden Veröffentlichung eines Papers in den Erfolgskontrollbericht verschoben). Auf Basis dieser Formalisierung wurde ein TSC Monitor implementiert und auf dem Testschiff angewendet, der während der Testdurchführung auf Basis von Live-Daten kontinuierlich die Definitionsgemäße Durchführung des Szenarios überwacht.

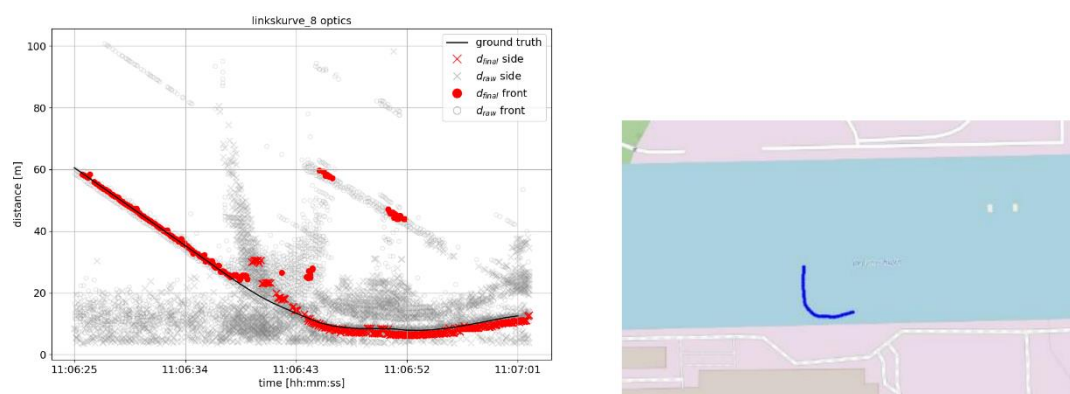


Abbildung 20: Links: Vergleich der aus den 1D Radar Daten bestimmten Abstandswerte (rot) mit dem GPS-basierten Abstand zur Kaimauer (schwarze Linie). In grau sind die Radar-Rohdaten dargestellt. Rechts: GPS-Trajektorie des entsprechenden Manövers.

Zusätzlich zu dem auf 1D-FMCW-Radaren basierendem System wurde noch zusätzlich ein weiteres System installiert, welches ein LiDAR des Typs Ultrapuck vom Hersteller Velodyne zur Distanzmessung verwendet. Das System wurde ähnlich zu den 1D-FMCW-Radaren auf des Sally installiert. Auch das

LiDAR hatte eine proprietäre Schnittstelle die mithilfe eines entwickelten Adapters in das Testfeld eMIR integriert wurde. Das System wird als Redundanz für das System, welches 1D-FMCW-Radare einsetzt, verwendet. Somit werden die Abstandswerte von zwei komplett voneinander getrennten Sensoren erhoben und berechnet und können im Anschluss verglichen werden zur Validierung der Messung.

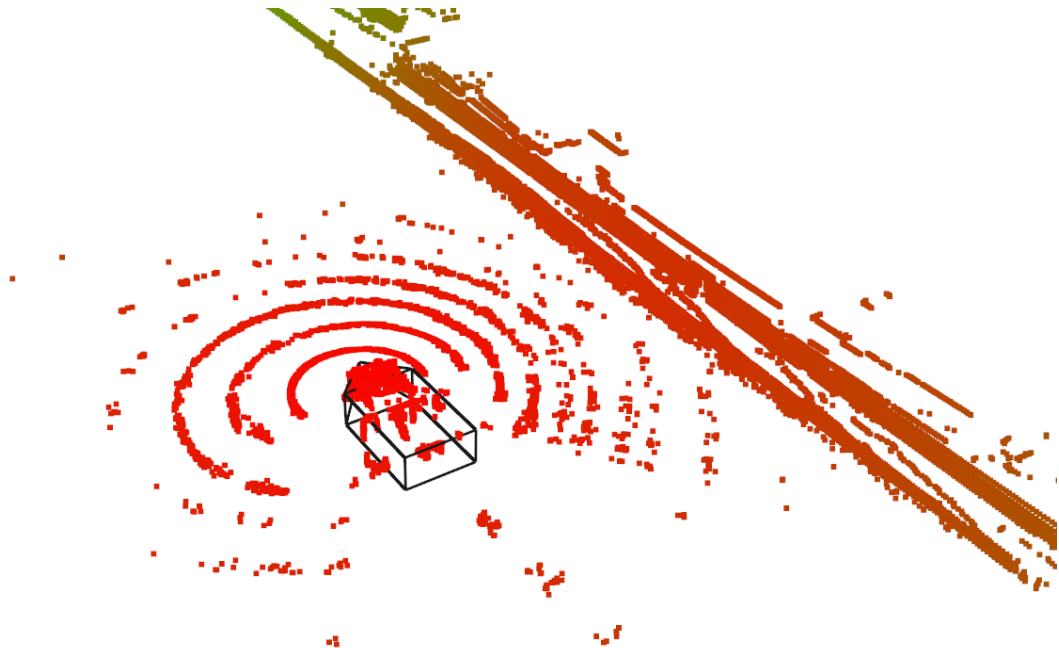


Abbildung 21: Ungefilterte Messpunkte aus dem LiDAR-System. Das Forschungsschiff ist in schwarzen Umrissen zu erkennen und fährt an einer Kaimauer entlang.

Dabei ist zu beachten, dass die Verarbeitung der LiDAR-Daten aufgrund des anderen Datenformats nicht wie die Radardaten verarbeitet werden kann. Durch die zusätzlichen Dimensionen (Höhe und horizontaler Azimuth-Winkel) der Punktwolke aus dem LiDAR, die bei den Radarmessungen nicht zurückgegeben werden, kann eine fortschrittliche Datenverarbeitung gewählt werden. Die Verarbeitung der LiDAR-Daten, die zur Bestimmung der Abstände zu nahegelegenen Hindernissen verwendet wird, erfolgt dabei gemäß dem Vorgehen, welches im Konferenzpapier „Compensating for Radar’s Limitations with Low-Reflective Targets Using 3D LiDAR“ beschrieben wurde.

Ähnlich wie bei der vorher beschriebenen Verarbeitung der Radardaten, werden bei der LiDAR-Datenverarbeitung zunächst die Datenpunkte herausgefiltert, die für eine Kollisionsvermeidung nicht relevant sind, wie beispielsweise die Reflexionen vom Schiff selbst oder der Wasseroberfläche. Hierbei wird das Schiff mithilfe der relativen Position zum LiDAR Sensor gefiltert. Die Wasseroberfläche hingegen muss aufgrund der Rollbewegungen des Schiffs während einer Kurvenfahrt durch eine Annäherung der Messungen in unmittelbarer Umgebung des Schiffs abgeschätzt werden. Dabei wird auch die maximale Wellenhöhe berücksichtigt, sodass eine verlässliche Approximation aller Wasserreflexionen erreicht werden kann. Zusätzlich werden alle Datenpunkte verworfen, die unterhalb der Wasseroberfläche liegen. Dadurch wird sichergestellt, dass auch Wasserreflexionen, die für den Sensor scheinbar unterhalb der Wasseroberfläche auftreten, gefiltert werden. Nachdem lokale Ausreißer entfernt wurden, bleiben nur Messpunkte vorhanden, die Teil der Kaimauern oder anderen relevanter Strukturen sind, wie z.B. Dalben.

Im letzten Schritt wird die Punktwolke hinsichtlich ihrer räumlichen Orientierung analysiert. Dabei wird für jeden Punkt die lokale Flächenausrichtung berechnet. Punkte die auf einer Fläche liegen, die orthogonal zur bereits bestimmten Wasseroberfläche verlaufen, sind von besonderem Interesse, da vom Menschen gebaute Objekte typischerweise senkrecht aus dem Wasser herausragen. Aus diesen

Punkten wird in jedem Zeitschritt das nächstgelegene Objekt ausgewählt, da dieses für die Kollisionsvermeidung am relevantesten ist.

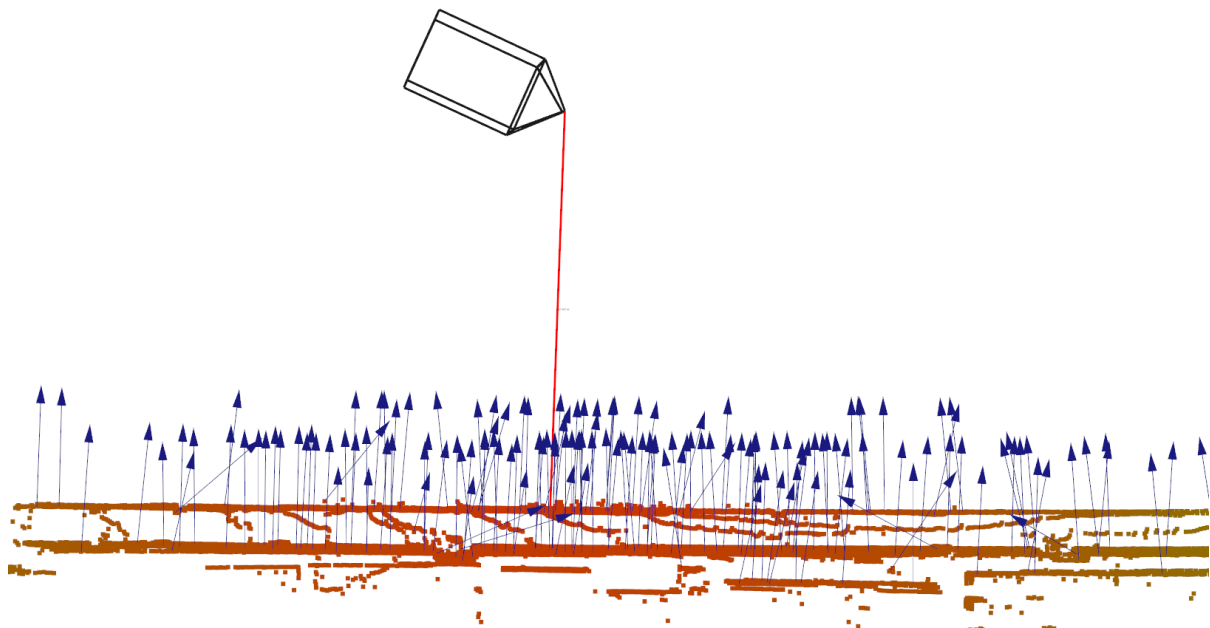


Abbildung 22: Gefilterte LiDAR Punktwolke mit den Oberflächenausrichtung der einzelnen Punkte visualisiert als blaue Pfeile. Der kürzeste Abstand vom LiDAR zu einem Punkt mit horizontaler Flächennormalen ist in rot eingezeichnet.

Beide Sensorsysteme werden also für die Distanzabschätzung zur Kollisionsvermeidung eingesetzt, haben aber eine unterschiedliche Vorgehensweise. In AMISA wird das Radar speziell dafür eingesetzt, um die Abstände zu nahen Objekten unabhängig von visuellen Störfaktoren durch Wetter oder Lichtverhältnisse zu messen. Das LiDAR wird parallel dazu als Absicherung verwendet und besitzt eine höhere Auflösung und Genauigkeit als das Radar, ist dafür aber fehleranfälliger bei schlechten Wetterbedingungen. Durch die redundante Verwendung beider Systeme entsteht ein robustes Werkzeug, um in unübersichtlichen Situationen genaue Entfernungsabschätzungen zu den umgebenden Strukturen oder anderen Schiffen zu detektieren. Diese Entfernungsinformationen können dann entweder vom Schiff selbst genutzt werden, um kritische Situationen besser erkennen zu können und Ausweichmanöver einzuleiten. Gleichzeitig werden die Daten auch an das Remote Operation Center weitergegeben. Dort werden die Distanzmessungen von einem Navigator genutzt, um das Schiff auch bei schlechten Sichtverhältnissen sicher zu steuern oder um sicherheitskritische Manöver besser einschätzen zu können. In erster Linie werden sowohl Radar als auch LiDAR genutzt, um Kapitän bzw. Besatzung im Remote Operation Center zu informieren, falls diese eine Gefahr nicht sehen oder falsch einschätzen. Das Live-Monitoring mit geeigneter Sensorik hat somit den entscheidenden Vorteil, dass der Navigator vor unvorhergesehenen Ereignissen gewarnt wird und somit ein Sicherheitsnetz geschaffen wird.

Bei der zweiten Automatisierungsstufe wurde die Fernsteuerung der zwei Testträger im Emden Hafen getestet. Hierbei wurde eine durch das DLR eigens entwickelte Implementierung einer Fernsteuerungssoftware für Schiffe verwendet die auf beiden Testträgern zum Einsatz kam. Die Fernsteuerungssoftware wurde ergänzt durch Kameras, wie bereits in AP05 beschrieben. Bei der Fernsteuerung kamen beide Testträger aus eMIR zur Verwendung um verschiedene Anforderungen an die Fernsteuerung durch unterschiedliche Motorisierungen, Aktuierung und Schiffstypen zu ermitteln. Hierbei unterscheiden sich die Setups insofern, dass auf der Josephine keine Sensorik zur Distanzmessung verbaut wurde. Auf der Sally hingegen war die Sensorik zur Distanzmessung verbaut,

sowohl die 1D-FMCW-Radare als auch das LiDAR. Auch die Stationierung des Fernsteuerstandes wurde im Laufe der Feldtests variiert. Zunächst wurde ein Forschungscontainer als Fernsteuerungszentrale umgebaut. Hierbei wurde der Forschungscontainer im ersten Schritt mit landseitiger Sensorik in Form einer zweiten Sensorbox in Sichtweite des fernzusteuernenden Schiffes aufgestellt.



Abbildung 23 Der Forschungscontainer und landseitige Sensorik von außen (links) und der Forschungscontainer von innen während des Fernsteuerens der Sally (rechts) am Aufstellort Jarßumer Hafen

Die zweite Sensorbox umfasste AIS, RADAR und einen Windsensor, welche von Land aus den Operator im Container unterstützen sollten. Die Sensorik wurden dann ergänzend zu der fest installierten Sensorik verwendet.

Für die Durchführung der Tests zur Fernsteuerung wurden basierend auf dem abgeleiteten prototypischen Track eines Baggerschiffs aus AP04 verschiedene Manöver und Szenarien abgefahren, die den typischen Baggerbetrieb widerspiegeln. Diese glichen den bereits bei der ersten Automatisierungsstufe beschriebenen Manövern und kombinierten diese in gesamte Routen. Bei der Fernsteuerung in Sichtweite, wurde zunächst die Josephine wie erwähnt ohne Sensorik zur Distanzmessung ferngesteuert. Hierbei wurde die Distanz versucht auf Basis der Kameradaten und durch die direkte Sicht abzuschätzen. Hierbei hat sich ergeben, dass eine Distanzabschätzung basierend auf Kameradaten sehr unrealistisch ist und in der Regel die Distanz geringer eingeschätzt wird als in der Realität. Ausgehend von diesem Ergebnis wurde auch die Distanzmessung zusätzlich an Land visualisiert. Mit diesem angereicherten Lagebild und der damit erhöhten Situational Awareness des Operators an Land, wurde es möglich diese Manöver auch von Land aus zu steuern. Dabei wurde basierend auf dieser Lösung auch die Stationierung wie erwähnt variiert. Zunächst wurde dabei die Fernsteuerungszentrale im Forschungscontainer außer Sichtweite an einem anderen Ort im Hafen aufgestellt, der sich mehrere Kilometer entfernt vom Standort in Sichtweite im Hafen befunden hat. Zuletzt wurde die Fernsteuerungszentrale aus dem Hafen im Testgebiet Emden an den DLR Standort in Oldenburg überführt und die Manöver entsprechend mit einem Remote Operator aus Oldenburg heraus durchgeführt.

Zur Evaluation der Manöver wurden zum einen die Testszenarien abgefahren und deren Machbarkeit durch den Remote Operator in Kombination mit dem Schiffsführer evaluiert. Hierbei wurden verschiedene Metriken zur Evaluation herangezogen, wie beispielsweise die Reaktionszeit des Remote Operator, der reale Abstand zu Objekten im Hafen und die Reaktionszeit des Schiffes laut dem Remote Operator verwendet.

In der dritten Automationsstufe wurde eine autonome Bahnführung mit integrierter Kollisionsvermeidung an Bord der Sally integriert. Mithilfe der autonomen Bahnführung sollte erprobt werden inwiefern die Testszenarien die auch bereits in der ersten und zweiten Automationsstufe durchgeführt wurden, autonom abgefahren werden können. Für die Integration wurden auf dem

testträger dedizierte Anschlussmöglichkeiten geschaffen über welche das System mit den entsprechend notwendigen Informationen und Schnittstellen versorgt wurde. Hierbei wurde das System mit Informationen über NMEA2000, NMEA0183 und CANopen versorgt. Gleichzeitig wurde über die CANopen Schnittstelle die Möglichkeit geschaffen, dass das System auch mit den Motoren an Bord der Sally interagieren konnte. Im Anschluss an die Integration wurden die Missionen für das System entsprechend der Szenarien geplant und durchgeführt. Hierbei wurde zunächst die Praktikabilität des untersuchten Systems betrachtet. Unter anderem wurde der Cross Track Error (XTE) beim Betrieb des Systems evaluiert. Der XTE ist eine Metrik um zu bewerten, mit welcher Genauigkeit das System einen vorher definierten Track abfährt. Dazu wurden die Positionen des Testschiffs aufgezeichnet, während es von der autonomen Bahnführung gesteuert wurde. Der XTE berechnet sich dann als kürzester Abstand einer Position zum vordefinierten Track. Abbildung 24 zeigt links den XTE als Funktion der Zeit, rechts den geplanten Track (blau) und die Trajektorie des Testschiffs (rot) unter Kontrolle der Bahnführung für ein Beispielmanöver im Emden Hafen. Dabei fällt ein Offset am Anfang und ein oszillierendes Verhalten über das gesamte Manöver auf.

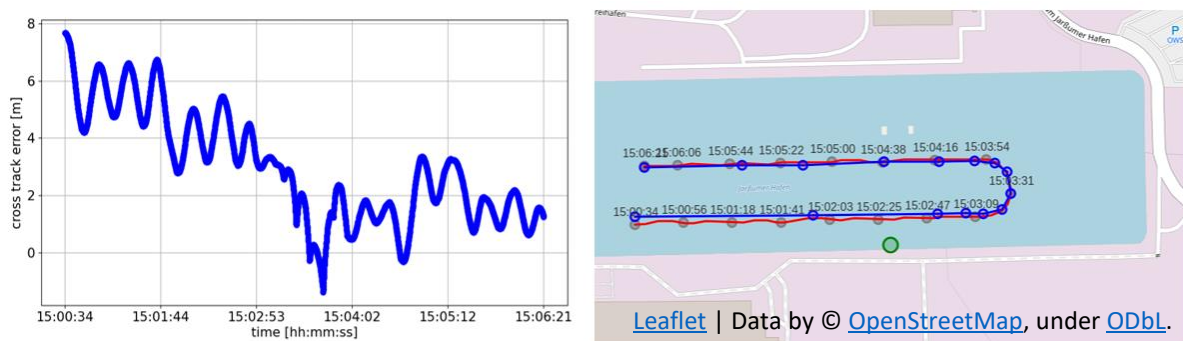


Abbildung 24: Cross Track Error (XTE) des autonomen Bahnführungssystems. Links: XTE aufgetragen über der Zeit. Rechts: Geplanter Track (blau) und aufgezeichnete Trajektorie des Testschiffs (rot).

Im Anschluss an die Evaluierung der Bahnführung mittels XTE wurde zudem noch die Funktionalität der Kollisionsvermeidung separiert betrachtet. Um diese zu evaluieren wurde basierend auf den Kollisionsverhütungsregeln² mehrere Szenarien kreiert die auf Basis der Verkehrsdaten die in AP04 gesammelt wurden. Kollisionssituationen zu erproben ist in der Regel nicht möglich, da dabei eine Gefährdung für das Schiff als auch die Besatzung entsteht. Um diese Szenarien dennoch zu erproben wurden Hybride Simulationen durchgeführt. Bei der Hybriden Simulation wurden die zum zu testenden System gehende Datenströme mithilfe einer Verkehrssimulation mit Daten angereichert. Hierbei wurde mithilfe dieses Vorgehens das Fremdschiff für die Kollisionssituation simuliert und eingespeist. Diese eingespeisten simulierten Schiffe wurden dann vom System als reale existierende Schiffe erkannt und die Kollisionsvermeidungsroutinen wurden entsprechend aktiviert und durchgeführt. Eine Durchführung kann in Abbildung 25 gesehen werden.

²<https://www.elwis.de/DE/Schiffahrtsrecht/Verzeichnis-Rechtsverordnungen-Gesetze-Richtlinien/KVR.pdf>



Abbildung 25 Hybrider Test eines Überholmanövers

Bei der Hybriden Testdurchführung die in Abbildung 25 zu sehen ist wurde ein Überholmanöver durch ein simuliertes Schiff durchgeführt während die Sally gesteuert von der autonomen Bahnführung eine typische Baggermission abgefahren hat. Die Abbildung zeigt dabei links oben die Frontkamera, links unten die Backbordkamera, rechts oben das zu testende System mit der geplanten Mission (in rot), dem simulierten Schiff (blauer Pfeil) und dem Eigenschiff (grauer Pfeil mit Einfärbung rot und grün in der Spitze). Zusätzlich wird rechts unten noch eine weitere Kartenanwendung zum Visualisieren der Gesamtsituation. Hierbei ist auf der Abbildung eine Momentaufnahme dargestellt, bei welcher es zu einer virtuellen Kollision gekommen ist. So überlagert Fremdschiff das Eigenschiff auf dem zu testenden System. Mithilfe der hybriden Simulation konnten verschiedene Kollisionsszenarien durchgeführt werden und die Kollisionsvermeidung damit getestet werden.

In den Tests die im Rahmen der Automationsstufe II und III durchgeführt wurden, wurden zusätzlich die Richtlinien der IMO und des DNV herangezogen. Im generellen wird bei der Testdurchführung von MASS Systemen gefordert, dass ein Risikomanagement durchgeführt werden muss und die Tests generell so durchgeführt werden sollten, dass Risiken möglichst vermieden werden. Im generellen wurden die Tests mithilfe hafenbehördlicher Ankündigungen angemeldet und bei den Tests wurde gab es eine ständige Fallbacklösung durch den Schiffsführer, welcher im Falle eines Defekts die Kontrolle über das Schiff wieder übernehmen konnte. Als Redundanz für die Kommunikation, wurde sowohl auf Mobilfunk als auch teilweise wenn möglich auf Funk gesetzt, um im Falle eines unerwarteten Zustandes der Schiffsführer sofort die Kontrolle übernehmen konnte.

Basierend auf den Erprobungen der verschiedenen Automationsstufen, konnten verschiedene Erkenntnisse abgeleitet werden. Zum einen erwiesen sich die Kameras in der zweiten Automationsstufe als nicht ausreichend, um basierend auf dem Kamerabild eine Abschätzung der Distanz zu statischen Objekten durchzuführen. Ein weiteres System zur Distanzabschätzung ist zwangsweise notwendig in Manövern bei denen in engen Räumen (wie beispielsweise Schleusen), in der Nähe von statischen Objekten (wie Kaimauern) gefahren wird oder bei Anlegemanövern. Erst durch ein weiteres System wird die Fernsteuerung in solchen Situationen ermöglicht. Des Weiteren hat sich herausgestellt, dass beim Betrieb der gewählten Bahnführung vom Typ SeaMachines SM300 der Platz für Ausweichmanöver zum Teil nicht ausreichend war. Zudem müsste diese auch statische

Hafenobjekte bei der Kollisionsvermeidung berücksichtigen, damit vor den Manövern das gesamte Lagebild berücksichtigt wird.

AP13 Gesamtbewertung & Übertragbarkeit

Zielsetzung AP13:

- Koordination der professionellen Produktion & Veröffentlichung der Studie
- Kritische Würdigung der Projektergebnisse aus wissenschaftlicher Sicht
- Aufzeigen von Handlungsempfehlungen zur Standardisierung in den Bereichen Bahnführung, Lagebildererkennung und –auswertung und Kollisionsvermeidung im Kontext von Maritime Autonomous Surface Ships

Zielerreichung AP13:

Im Rahmen des Projekts wurde neben dem internen Wissensaufbau auch ein gezielter Transfer der Ergebnisse in die Hafenwirtschaft, die Politik und relevante wissenschaftliche Kreise angeregt. Die Projektergebnisse wurden in wissenschaftlichen Publikationen aufbereitet und auf internationalen Fachkonferenzen präsentiert, um Erkenntnisse aus dem Projekt zu diskutieren und zu verbreiten. Insbesondere die wissenschaftliche Analyse der Projektergebnisse lieferte wichtige Erkenntnisse für die zukünftige Implementierung hochautomatisierter Systeme im maritimen Umfeld. Dabei wurden sowohl Stärken als auch die Grenzen von verschiedenen Automatisierungsstufen aufgezeigt, was die Weiterentwicklung und Adaption von Automatisierungstechnologien informieren und fördern kann. Durch diese Maßnahmen konnte eine effektive Dissemination der Projektergebnisse in die maritime Domäne erreicht werden.

Darüber hinaus wurden auf Basis der Projektergebnisse konkrete Handlungsempfehlungen für die Standardisierung in den Bereichen Bahnführung, Lagebildererkennung und -auswertung sowie Kollisionsvermeidung entwickelt. Diese Empfehlungen adressieren zentrale Herausforderungen im Kontext von Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) und bieten eine fundierte Grundlage für die Weiterentwicklung und Implementierung internationaler Standards.

Darüber hinaus wurden die wissenschaftlichen Erkenntnisse übersichtlich zusammenzufassen und in einer populärwissenschaftlichen Studie aufbereitet, um die breitere Öffentlichkeit über Projekthinhalte zu informieren. Dafür wurde eine professionelle Studienproduktion umgesetzt. Im Rahmen der Studienerstellung wurde eng mit einer Designagentur zusammengearbeitet, um neben dem inhaltlichen Anspruch ein geeignetes Format zu gewährleisten. Inhaltlich lag der Fokus auf der Darstellung des erarbeiteten schiffbaulichen Konzepts, der Umsetzung der einzelnen Automatisierungsstufen sowie den Ergebnissen der Feldtests. Bei der schematischen Aufarbeitung des Projekts konnte die Reichweite der Projektergebnisse erheblich gesteigert werden, da zentrale Stakeholder aus der Hafenwirtschaft und Politik gezielt adressiert wurden.

Wissenschaftliche Begleitung

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurde das Projekt in verschiedenen Präsentationen und Beiträgen einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht. Dabei wurden bewusst neben Präsentationen und Publikationen in einem rein wissenschaftlichen Rahmen auch Beiträge in der maritimen Domäne gewählt, um die entsprechenden Stakeholder direkt anzusprechen.

Wissenschaftliche Beiträge

Tabelle 4 Erfolgte Veröffentlichungen

DATUM	PUBLIKATION	AUTOREN	TITEL	DOI
11. Oktober 2024	27th International Conference on Information Fusion 2024	Mirjam Bogner, Fynn Pieper, Christian Steger, Matthias Steidel, Janusz A. Piotrowski, Sebastian Feuerstack	Utilizing 1D FMCW Radar Data for Distance Estimation to Port Infrastructure	https://doi.org/10.23919/FUSION59988.2024.10706500
25. November 2024	Proceedings of the MARESEC 2024	Anna Austel, Matthias Steidel, Bernd Westphal	Formal Specification of Traffic Scenarios in Scenario-based Testing of Maritime Assistance Systems	https://doi.org/10.5281/zenodo.14214762
25. November 2024	Proceedings of the MARESEC 2024	Christopher Petersen, Fynn Pieper, Arne Bokern, Matthias Steidel	Enhancing Situation Awareness in Highly Automated Shipping using High-Resolution Electronic Navigational Charts	https://doi.org/10.5281/zenodo.14214327

Publikationen in Vorbereitung

Tabelle 5 Veröffentlichung im Publikationsprozess

PUBLIKATION	AUTOREN	TITEL	AKTUELLER STATUS
IEEE SYMPOSIUM ON MARITIME INFORMATICS & ROBOTICS	Fynn Pieper, Mirjam Bogner, Janusz A. Piotrowski, Matthias Steidel	Analysis of 3D LiDAR and 1D FMCW Radar Effectiveness for Distance Estimation in Inland Ports for Remote-Controlled Ship Navigation	Angenommen, befindet sich im Publikationsprozess. Datum der Konferenz 26-27. Juni 2025
IEEE SYMPOSIUM ON MARITIME INFORMATICS & ROBOTICS	Mirjam Bogner, Fynn Pieper, Matthias Steidel, Janusz A. Piotrowski	3D LiDAR and 1D Radar Distance Determination for Safe Navigation of Automated Vessels in Lock Basins	Angenommen, befindet sich im Publikationsprozess. Datum der Konferenz 26-27. Juni 2025
8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (ICMASS)	Fynn Pieper, Hilko Wiards	Regulatory Equivalence of Sensor-derived Models: Bridging Maritime Autonomous Navigation with LiDAR SLAM and S-100 Standards	Angenommen, befindet sich im Publikationsprozess. Datum der Konferenz 8-9. Oktober 2025
8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARITIME	Mirjam Bogner, Matthias Steidel, Anna Austel	Leveraging Maritime Automation for Efficient	Angenommen, befindet sich im Publikationsprozess.

AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (ICMASS)		and Sustainable Port Maintenance	Datum der Konferenz 8-9. Oktober 2025
8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (ICMASS)	Georg Hake, Jan Steffen Becker, Anna Austel, Lina Putze, Nina Wetzig	Safety Assessment of Maritime Autonomous Surface Ships: A Scenario-Based Approach	Angenommen, befindet sich im Publikationsprozess. Datum der Konferenz 8-9. Oktober 2025
8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (ICMASS)	Arne Bokern, Janusz A. Piotrowski, Matthias Steidel	Advancing Remote Control Capabilities for Maritime Autonomous Surface Ships: Insights and Lessons from Trials	Angenommen, befindet sich im Publikationsprozess. Datum der Konferenz 8-9. Oktober 2025

Konferenzen

Tabelle 6 Projektvorstellungen auf Konferenzen

DATUM	KONFERENZ	AUTOREN	TITEL
06.06.2024	MARESEC 2024, Bremerhaven	Christopher Petersen	Enhancing Situation Awareness in Highly Automated Shipping using High-Resolution Electronic Navigational Charts
10.06.2024	BinSmart - 7. Treffen der Begleitforschungsgruppe, Karlsruhe	Matthias Steidel	AMISIA: Advanced Port Maintenance: Intelligent, Sustainable, Innovative and Automated Dredging
10.07.2024	27th International Conference on Information Fusion 2024, Venedig	Mirjam Bogner	Utilizing 1D FMCW Radar Data for Distance Estimation to Port Infrastructure
19.11.2024	DGON - Sitzung der Arbeitsgruppe Autonome Maritime Systeme	Matthias Steidel	AMISIA - Intelligente, nachhaltige, innovative und automatisierte Baggerarbeiten

Weitere Veröffentlichungen

<https://www.logistics-pilot.com/erkenntnisgewinn-vorprogrammiert/>

<https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2024/konzept-fuer-autonomes-baggerschiff-steht>

<https://www.dlr.de/de/blog/archiv/2022/ferngesteuert-durchs-hafenbecken>

<https://www.thb.info/rubriken/umwelt/detail/news/amisia-soll-haefen-von-schlick-befreien.html>

https://www.nwzonline.de/emden/forschungsprojekt-von-niedersachsen-ports-baggerschiff-amisia-soll-schlick-effektiv-und-autonom-im-emder-hafen-beseitigen_a_4,1,2628498976.html#

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der wesentliche Teil der Kosten in AMISIA ist durch Personalausgaben entstanden, wie in Tabelle 7 ersichtlich ist. Für die Erprobung des technologischen Automatisierungskonzepts in drei Automatisierungsstufen wurden am Markt verfügbare Technologien zur Kollisionsvermeidung, Lagebilderkennung, Navigation und Fernsteuerung angeschafft und genutzt werden.

Tabelle 7: Entstandene Kosten nach Kostenart

KOSTENART	AUSGABEN
PERSONALKOSTEN	1.413.663,23€
MATERIAL	1519,64€
REISEKOSTEN	14.025,58€
ABSCHREIBUNGEN AUF VORHABENSPEZIFISCHE ANLAGEN	288.107,12€
SONSTIGE UNMITTELBARE VORHABENKOSTEN	17.646,10€
GESAMT	1.734.961,67€

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durch das DLR durchgeführten Forschungsarbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen im Projekt AMISIA waren notwendig und angemessen, da sie der in der Vorhabensbeschreibung beschriebenen Planung entsprachen und alle wesentlichen Aufgaben und Meilensteine, die bis zum Projektende zu erfüllen waren, erfolgreich bearbeitet wurden.

Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im Laufe des Projekts AMISIA gewonnenen Erkenntnisse fließen in die e-Maritime Integrated Reference Platform (eMIR), ein Testfeld für die Validierung und Verifikation (V&V) zukünftiger hochautomatisierter maritimer Systeme, ein.

Die in diesem Projekt gewonnen Erkenntnisse im Bereich der Automatisierung und Fernsteuerung sind somit eine Grundlage für die weitere Forschung in dem Bereich mit dem Ziel die Zulassung und Zertifizierung solcher Systeme zu unterstützen.

So konnten hier neben verschiedenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen auch bereits Erkenntnisse in einem Expertendialog mit Teilnehmern des BMDV, der BAW und des WSV zum Thema Automatisierte Binnenschifffahrt eingebracht werden.

Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens

Im Laufe des Vorhabens sind verschiedene Fortschritte auf dem Gebiet der automatisierten Schifffahrt bekannt geworden. Beispielsweise ging im Juli 2023 mit der MF Estelle, ausgestattet mit Technik von Zeabuz, die erste autonome Passagierfähre in Betrieb. Darüber hinaus hat die estnische Firma Mindchip mit der Entwicklung eines AI-Captains ein System für die intelligente Navigation und das Situationsbewusstsein von autonomen und bemannten Wasserfahrzeugen entwickelt. Zudem wird mit dem im April 2024 gestarteten Interreg-Projekt Ferry Go! die Entwicklung eines autonomen Fährverkehrs im deutsch-niederländischen Wattenmeer vorangetrieben.

Weiterhin gibt es nun mit den Testzulassungen von SeaFar auf dem Rhein und dem Kanalnetz von Scharnebeck nach Salzgitter erste Binnenschiffe auf den deutschen Wasserstraßen die im ferngesteuerten Betrieb fahren.

Erfolgte Veröffentlichungen

Veröffentlichungen

Oktober 2024 - *27th International Conference on Information Fusion 2024*

Mirjam Bogner, Fynn Pieper, Christian Steger, Matthias Steidel, Janusz A. Piotrowski, Sebastian Feuerstack
Utilizing 1D FMCW Radar Data for Distance Estimation to Port Infrastructure
10.23919/FUSION59988.2024.10706500

November 2024 - *Proceedings of the MARESEC 2024*

Anna Austel, Matthias Steidel, Bernd Westphal
Formal Specification of Traffic Scenarios in Scenario-based Testing of Maritime Assistance Systems
10.5281/zenodo.14214762

November 2024 - *Proceedings of the MARESEC 2024*

Christopher Petersen, Fynn Pieper, Arne Bokern, Matthias Steidel
Enhancing Situation Awareness in Highly Automated Shipping using High-Resolution Electronic Navigational Charts
10.5281/zenodo.14214327

Konferenzen

Juni 2020 – MARESEC Bremerhaven

Christopher Petersen
Enhancing Situation Awareness in Highly Automated Shipping using High-Resolution Electronic Navigational Charts

Juni 2024 - BinSmart - 7. Treffen der Begleitforschungsgruppe, Karlsruhe

Matthias Steidel
AMISIA: Advanced Port Maintenance: Intelligent, Sustainable, Innovative and Automated Dredging

Juli 2024 - 27th International Conference on Information Fusion 2024, Venedig

Mirjam Bogner
Utilizing 1D FMCW Radar Data for Distance Estimation to Port Infrastructure

November 2024 - DGON - Sitzung der Arbeitsgruppe Autonome Maritime Systeme

Matthias Steidel
AMISIA - Intelligente, nachhaltige, innovative und automatisierte Baggerarbeiten

Videobeiträge

Hightech-Baggerschiff – Häfen innovativ instand halten im Projekt AMISIA | DLR

<https://www.youtube.com/watch?v=VBQhcJJ-z5s>

Anhang A

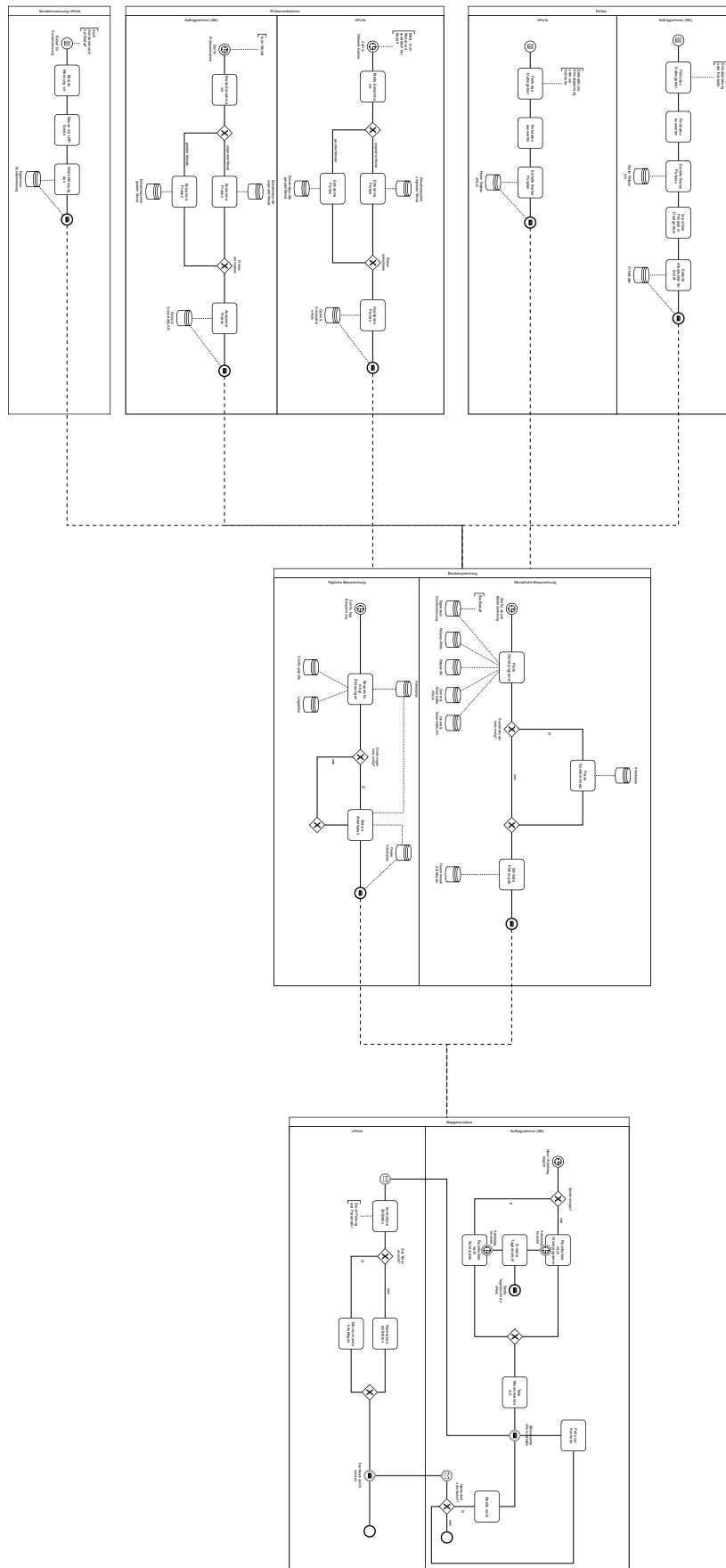


Abbildung A 1: Prozesslandkarte zur Hafenunterhaltung im Emdener Hafen.

Anhang B

ID	Basic Scenario	Basic Action	Correct if (context)	Deviation	Vehicle Behavior	Observable Effect(s) in Scenario	Potential TLE	Additional Scenario Conditions Necessary for TLE
1.2.1.1	Anfahrt (Node 1)	Kursänderung	Kurs relativ zum Kai $\in [93, 87]^\circ$, Abstand zum Kai > 30 m	no	Keine Kursänderung, obwohl Kurs relativ zum Kai nicht im Intervall $[87, 93]^\circ$	Schiff weicht von intendierter Bahn ab. Ein bestimmter Bereich wird nicht bebaggert.	Kollision mit anderem Objekt oder Schiff	Objekt oder Schiff im befahrenen Bereich
1.2.2.1	Anfahrt (Node 1)	Kursänderung	Kurs relativ zum Kai $\in [93, 87]^\circ$, Abstand zum Kai > 30 m	less	Kursänderung zu schwach, um Kurs relativ zum Kai auf $[87, 93]^\circ$ zu korrigieren.	Schiff weicht von intendierter Bahn ab. Ein bestimmter Bereich wird nicht bebaggert.	Kollision mit anderem Objekt oder Schiff	Objekt oder Schiff im befahrenen Bereich
1.2.3.1	Anfahrt (Node 1)	Kursänderung	Kurs relativ zum Kai $\in [93, 87]^\circ$, Abstand zum Kai > 30 m	more	Kursänderung zu stark, Überkorrektur des Kurses relativ zum Kai auf $[93, 87]^\circ$	Schiff weicht von intendierter Bahn ab. Ein bestimmter Bereich wird nicht bebaggert.	Kollision mit anderem Objekt oder Schiff	Objekt oder Schiff im befahrenen Bereich
2.2b.1.1	Anfahrt (Node 2)	Kursänderung Steuerbord	Kurs relativ zum Kai $\in [3, 93]^\circ$, Abstand zum Kai $\in [2, 30]$ m	no	Keine Kursänderung steuerbord, obwohl Kurs nicht parallel zur Kaimauer (d.h. $[-3, 3]^\circ$) und Abstand zur Kaimauer ≤ 30 m	Schiff fährt mit rel. Kurs $\in [3, 93]^\circ$ auf Kaimauer zu statt sich parallel dazu auszurichten (d.h. auf $[-3, 3]^\circ$)	Kollision mit Kaimauer	
2.2b.2.1	Anfahrt (Node 2)	Kursänderung Steuerbord	Kurs relativ zum Kai $\in [3, 93]^\circ$, Abstand zum Kai $\in [2, 30]$ m	less	Kursänderung steuerbord zu gering, um Schiff innerhalb des verbleibenden Abstands parallel zur Kaimauer auszurichten (d.h. auf $[-3, 3]^\circ$)	Schiff fährt mit rel. Kurs $\in [3, 93]^\circ$ auf Kaimauer zu statt sich parallel dazu auszurichten (d.h. auf $[-3, 3]^\circ$)	Kollision mit Kaimauer	
2.2b.3.1	Anfahrt (Node 2)	Kursänderung Steuerbord	Kurs relativ zum Kai $\in [3, 93]^\circ$, Abstand zum Kai $\in [2, 30]$ m	more	Kursänderung steuerbord zu stark, um Schiff parallel zur Kaimauer auszurichten (d.h. auf $[-3, 3]^\circ$)	Kurs rel. Zur Kaimauer $< 3^\circ$, Schiff entfernt sich von Kaimauer, statt parallel dazu zu fahren. Bereich nahe der Kaimauer wird nicht bebaggert.	Kollision mit anderem Objekt oder Schiff	Objekt oder Schiff im befahrenen Bereich
2.2b.4.1	Anfahrt (Node 2)	Kursänderung Steuerbord	Kurs relativ zum Kai $\in [3, 93]^\circ$, Abstand zum Kai $\in [2, 30]$ m	too early	Kursänderung steuerbord zu früh	Schiff richtet sich parallel zur Kaimauer aus (d.h. Kurs $\in [-3, 3]^\circ$) während Abstand zur Kaimauer > 3 m, Bereich nahe der Kaimauer wird nicht bebaggert.	Kollision mit anderem Objekt oder Schiff	Objekt oder Schiff im befahrenen Bereich
2.2b.5.1	Anfahrt (Node 2)	Kursänderung Steuerbord	Kurs relativ zum Kai $\in [3, 93]^\circ$, Abstand zum Kai $\in [2, 30]$ m	too late	Kursänderung steuerbord zu spät	Schiff dreht zu spät ab und unterschreitet den Mindestabstand zur Kaimauer (d.h. Abstand < 1 m)	Kollision mit Kaimauer	
	Anfahrt (Node 3)	Kurs halten	Kurs relativ zum Kai $\in [-3, 3]^\circ$, Abstand zum Kai $\in [1, 3]$ m		Kursänderung, obwohl Schiff parallel zum Kai	Schiff ändert Kurs weiter nach steuerbord d.h. auf $[3, 93]^\circ$, Schiff dreht ab und entfernt sich	Kollision mit anderem Objekt oder Schiff	

Abbildung B 1: Auszug aus dem Katalog mit inkorrektem Systemverhalten.

Functional Unit	Function			Keyword	Local Failure / Functional Insufficiency	Basic Scenario	System Effect(s) in Scenario	Incorrect vessel Behavior	ID(s) of incorrect vessel behavior	System Cause	Environmental Trigger
	Input	Computation	Output								
Sensoren > FMCW Radare > Signal Detektion	Radarsignal		Menge von Abstandswerten	no	es wird kein Radarsignal detektiert und keine Abstandswerte ausgegeben	Anfahrt (Node 2)	Abstand zur Kaimauer kann nicht präzise eingeschätzt werden	Kursänderung steuerbord zu spät, zu früh, zu stark, zu schwach oder gar nicht eingeleitet.	1.2b.-.-	Hardware Ausfall, Abnutzung; zu geringe Sensitivität bei Objekten, die schlecht reflektieren	Verschmutzung; Wetterbedingungen (Starkregen, Nebel)
Sensoren > FMCW Radare > Signal Detektion	Radarsignal		Menge von Abstandswerten	no	es wird kein Radarsignal detektiert und keine Abstandswerte ausgegeben	Entlangfahren (Node 3)	Abstand zur Kaimauer kann nicht präzise eingeschätzt werden	Keine, zu schwache oder zu starke Kursänderung, obwohl Abstand des Schiffs zur Kaimauer zu groß oder zu klein.	3.2a.-.-, 3.2b.-.-	Hardware Ausfall, Abnutzung; zu geringe Sensitivität bei Objekten, die schlecht reflektieren	Verschmutzung; Wetterbedingungen (Starkregen, Nebel)
Sensoren > FMCW Radare > Signal Detektion	Radarsignal		Menge von Abstandswerten	less	es werden zu wenige Abstandswerte ausgegeben	Anfahrt (Node 2)	große zeitliche Lücken in den Daten; Abstand zur Kaimauer kann nicht in Echtzeit eingeschätzt werden	Kursänderung wird zu spät, zu früh, zu stark, zu schwach eingeleitet.	1.2b.-.-	Hardware Ausfall, Abnutzung; zu geringe Sensitivität bei Objekten, die schlecht reflektieren	Verschmutzung; Wetterbedingungen (Starkregen, Nebel)
Sensoren > FMCW Radare > Signal Detektion	Radarsignal		Menge von Abstandswerten	less	es werden zu wenige Abstandswerte ausgegeben	Entlangfahren (Node 3)	große zeitliche Lücken in den Daten; Abstand zur Kaimauer kann nicht in Echtzeit eingeschätzt werden	Keine, zu schwache oder zu starke Kursänderung, obwohl Abstand des Schiffs zur Kaimauer zu groß oder zu klein.	3.2a.-.-, 3.2b.-.-	Hardware Ausfall, Abnutzung; zu geringe Sensitivität bei Objekten, die schlecht reflektieren	Verschmutzung; Wetterbedingungen (Starkregen, Nebel)
Sensoren > FMCW Radare > Verarbeitungsalgorithmus	Menge von Abstandswerten		Abstandswert zum nächsten tatsächlichen Objekt	no	es wird kein tatsächlicher Entfernungswert aus den Radar-Signalen berechnet	Anfahrt (Node 2)	Abstand zur Kaimauer kann nicht präzise eingeschätzt werden	Kursänderung wird zu spät, zu früh, zu stark, zu schwach oder gar nicht eingeleitet.	1.2b.-.-	Software-Fehler	

Abbildung B 2: Auszug aus dem Katalog mit Komponentenfehlern.

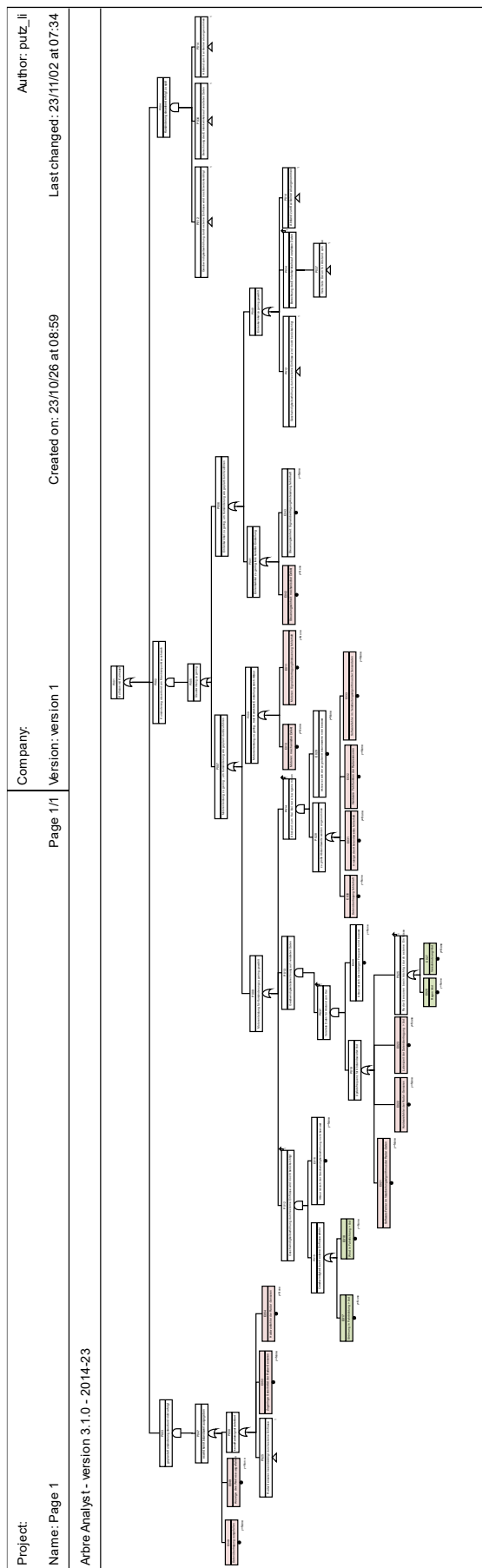


Abbildung B 3: Fehlerbaum-Analyse für das betrachtete Basiszenario.