

# SmartKai: Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrasturktur

Hilko Wiards, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg  
Jan Mentjes, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg  
Arnold Akkermann, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg  
Dr. Matthäus Wuczkowski, Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG, Oldenburg  
Dr. Sebastian Feuerstack, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg  
Prof. Dr. Axel Hahn, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg

*Das Ziel von SmartKai ist die Entwicklung eines schiffsunabhängigen Assistenzsystems, das durch eine hafenseitige Infrastruktur realisiert wird und sich an Lotsen und das nautische Personal auf einer Schiffsbrücke richtet. LiDAR, AIS und Wetterinformationen werden genutzt, um eine kontinuierliche und präzise Bewertung der Position und der Bewegungen eines Schiffes, das sich der Hafeninfrasturktur nähert, zu ermöglichen.*

## 1. Einleitung

Die durch den wachsenden Handel hohe und steigende Verkehrsdichte in Hafengebieten kann zu gefährlichen Situationen führen. Schiffe müssen beim Ein- und Auslaufen in Hafengebieten sowie beim An- und Ablegen in schwer einschätzbare Bereiche manövrieren. Insbesondere in tideabhängigen Häfen ändern sich Wasserstände und damit die Rahmenbedingungen für Schiffsmanöver schnell – manche Häfen können nur zu entsprechenden Wasserständen angefahren und verlassen werden. In engen Zeitfenstern kommt es dann zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen. Schäden an Schiffen und Hafeninfrasturktur bedeuten in diesen Situationen bestenfalls Sachschäden, können aber auch zu Personenschäden oder Umweltverschmutzung führen oder die Hafeninfrasturktur für längere Zeit blockieren.

Hier setzt das Forschungsprojekt SmartKai an. Im Rahmen dieses Digitalisierungsprojekts wird in einem Konsortium mit Partnern aus der Hafeninfrasturktur, Sensorindustrie und der Forschung ein schiffsunabhängiges Anlegeassistenzsystem entwickelt, welches die sichere Navigation zur Vermeidung von Beschädigungen an der Hafeninfrasturktur und Schiffen ermöglicht. Dazu wird von der Firma SICK ein neuer LiDAR-Sensor entwickelt und in Wilhelmshaven und Cuxhaven, zwei Häfen des Hafeninfrasturkturunternehmens Niedersachsen Ports, landseitig an Punkten mit hoher Unfallgefahr im Hafenbecken, der Schleuse und einer Kaianlage installiert.

## 2. Ansatz

Der in diesem Projekt verfolgte Ansatz zielt darauf ab, anstatt der Schiffe den Hafen selbst mit dem Assistenzsystem auszustatten. Dies hat den Vorteil, dass der Hafenbetreiber die Punkte mit hoher Unfallgefahr und kritischer Infrastruktur identifizieren und entsprechend ausstatten kann, ohne Auflagen bezüglich der Schiffssensorik zu erheben. Bei den Punkten im Hafen handelt es sich beispielsweise um Hafeneinfahrten, Stromliegeplätze, Schleusen oder RoRo-Brücken.

Um ein möglichst ganzheitliches Lagebild zu schaffen, wird dabei auf den Einsatz heterogener Sensorik gesetzt. Diese lässt sich in die zwei Kategorien Positions- und Umweltsensorik einteilen. Zur Ermittlung der Position werden LiDAR-Sensoren, Nahbereichsradare und AIS-Daten verwendet. Dies erlaubt es, ein anfahrendes Schiff bereits auf einige Seemeilen Entfernung per AIS zu detektieren. Nähert sich das Schiff einem kritischen Bereich, übernimmt die LiDAR- und Radarsensorik, um genaue Abstände, Geschwindigkeiten und Konturen zu bestimmen. Dieses Bild wird angereichert mit Umweltdaten, um einen besseren Überblick über die aktuelle Situation zu erhalten. Dazu gehören Wind-, Strömungs- und Sichtweitendaten der Umgebung.

Die Daten der Sensorik werden für die unterschiedlichen Bereiche des Hafens in einer Datenverarbeitungskette aufgezeichnet, aufbereitet und bereitgestellt. Für die Anzeige der Daten werden zielgruppengerechte Darstellungsformen erstellt. Für den Lotsen beispielsweise eine liegeplatzzentrierte Sicht, um einen genauen Eindruck der Situation zu erhalten. Für den Hafenkaptän wird eine Gesamtübersicht über alle Liegeplätze angeboten. Die Wahl des Endgeräts ist dabei flexibel und kann auf die Bedürfnisse angepasst werden. Das System kann somit sowohl auf der PPU (Portable Pilot Unit, d.h. dem Tablet des Lotsen), als auch auf dem Computer der Hafenmeisterei genutzt werden.

### 3. Anforderungserhebung

Die Erhebung der Anforderungen an das SmartKai-System wurde auf zwei Wegen durchgeführt. Zum einen wurden Gespräche mit den Hauptnutzern, den Lotsenbrüderschaften, geführt. Hier haben die Hafen- und die Elbelotsen in mehreren Treffen und Gesprächen Anforderungen und Wünsche an das System formuliert aber auch Feedback zum bisherigen Stand und Möglichkeiten für Verbesserungen aufgezeigt.

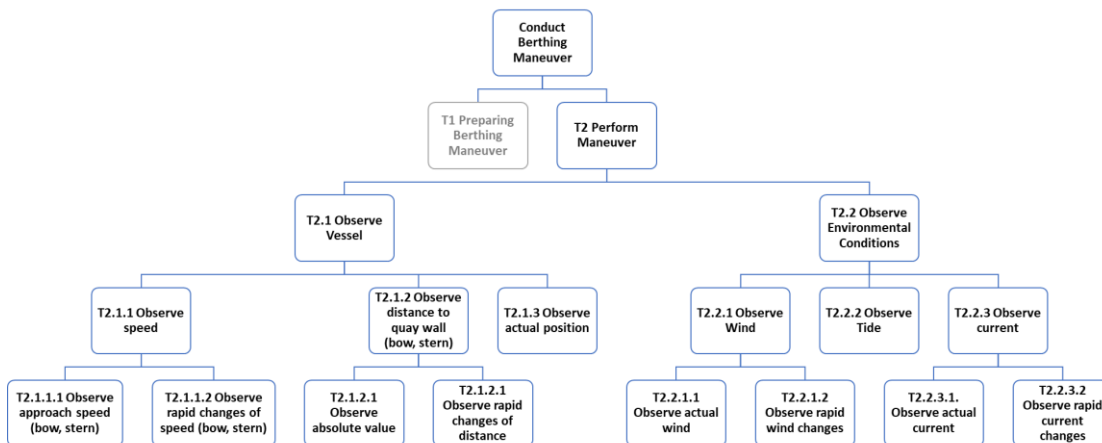


Abb. 1 Aufgabenanalyse auf Basis der Interviews mit den Hafen- und Elblotsen (adaptiert aus [1])

Zum besseren Verständnis des Aufgabenfelds wurde unter anderem eine Aufgabenanalyse mit den Lotsengruppen durchgeführt (siehe Abb 1). Hierein wurden die Anforderungen eingeordnet. Diese beinhalteten zum Beispiel, welche Distanzen situationsabhängig wichtig sind, welche Umweltparameter von Interesse und welche Parametrisierungen auf der Oberfläche notwendig sind. Auch wurden Situationen wie Anlegemanöver mit Schlepperhilfe besprochen und welche Herausforderungen sich hier durch die mögliche Verdeckung der Schiffe ergeben.

Zusätzlich wurden weitere Anforderungen auf Basis bereits existierender, regulierter Assistenzsysteme erhoben, indem unter anderem Vorgaben der IMO (*International Maritime*

*Organization*) hinzugezogen wurden. Diese geben für GNSS Systeme vor, wie hoch die Positionsgenauigkeit für die Nutzung bei Anlegemanövern sein muss, welche Updateintervalle einzuhalten sind und wie hoch die maximale Ausfallzeit sein darf [2].

Eine Anforderung der Lotsen bezog sich darauf, dass das System nur in den Fällen Daten anzeigen darf in denen es auch funktioniert. Daher sollen keine Daten übermittelt werden bei denen sich das System unsicher über die Qualität ist. Basierend darauf entwickelten wir das Konzept einer sog. Berthing Support Area (BSA) [3]. Dieses sieht vor, ein Gebiet auf einer Seekarte zusammen mit einschränkenden Bedingungen zu definieren, in denen ein Assistenzsystem in der Lage ist Anlegemanöver zu ermöglichen.

In einem ersten Schritt wird eine Menge an Einflussparametern  $P$  identifiziert. Diese setzen sich aus den Teilmengen  $P_{control}$ ,  $P_{construction}$  und  $P_{environmental}$  zusammen. Die Menge  $P_{control}$  beschreibt Parameter, die durch die Steuerung des Schiffs beeinflussbar sind (Speed over ground, Heading oder Distanz zur Kaimauer). In der Menge  $P_{construction}$  werden die Parameter zusammengefasst, die bereits durch die Konstruktion des Schiffs gegeben sind, beispielsweise die Hüllenform, Lackierung oder Tiefgang. Parameter die durch die Umwelt definiert werden, werden in der Menge  $P_{environmental}$  zusammengefasst. Diese beinhalten beispielsweise die aktuelle Sichtweite, Tidenstände, Winde und Strömungen. Auf Basis der als relevant identifizierten Parameter wird in einem zweiten Schritt eine Menge an Bedingungen  $C$  definiert. Diese beinhaltet Grenzwerte oder Mengen gültiger Werte für die jeweiligen Parameter, in denen das System definiert ist. In Kombination mit dem Polygon des Seegebiet  $A_{poly}$  ergibt sich dann folgende Gültigkeitsbedingung:

$$BSA \text{ is valid} \Leftrightarrow \forall c_p \in C: p.\text{value} \in c_p \vee \text{ship.hull} \subset A_{poly}$$

#### 4. Testaufbau

Der Aufbau des Systems wurde in zwei Zyklen durchgeführt. Zunächst wurde im Sommer 2020 mit einem prototypischen Aufbau in Wilhelmshaven begonnen, bei dem ein Test der Elektronik, Datenaufzeichnung, Wetterbeständigkeit und Schnittstellen durchgeführt wurde. Am Hannoverkai wurden drei 2D LiDAR-Scanner des Partners SICK, ein Windmesser, ein Sichtweitensensor, eine AIS Antenne und zwei Kameras installiert (siehe Abb. 2). Dieser Standort bot sich als erster Durchstich an, da es sich um einen geschleusten Bereich ohne Tideneinfluss handelt und durch die lokalen Gegebenheiten die Simulation einer RoRo-Brücke umgesetzt werden konnte.



**Abb. 2 links: Aufbau des Systems in Wilhelmshaven (rot Laserscanner, blau Sensorknoten) Kartendaten © Google Earth 2020; rechts: Scandaten mit Schiff im Beobachtungsbereich**

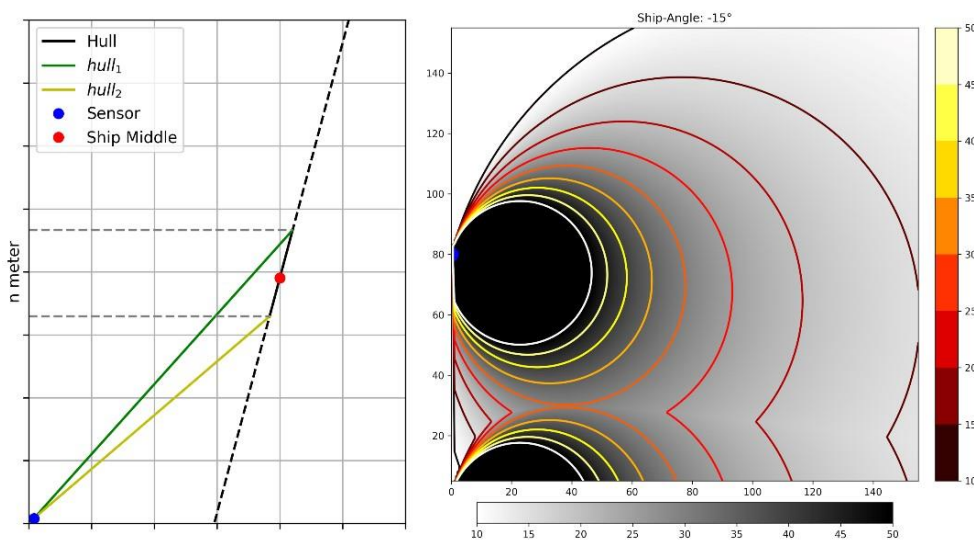
Die Daten der Sensorik wurden in zwei Sensorknoten (Abb. 3) entgegengenommen. Diese befinden sich in einem gemeinsamen Netzwerk und führen die aufgezeichneten Daten live zusammen, filtern und verarbeiten diese und stellen die berechneten Werte anschließend über eine Programmierschnittstelle zur Verfügung.



**Abb. 3 Sensorverarbeitungsboxen mit IndustriePC, Backup-Batterie und verschiedenen Netzwerkschnittstellen**

Im Rahmen des Anwendungsfalls Anlegemanöver wurde hier auch das Konzept der Berthing Support Area (BSA) angewandt (Kap. 3). Zur Ableitung der Fläche in denen das Assistenzsystem funktioniert wurde auf Basis der Sensoreigenschaften ein mathematisches Modell erstellt.

Dieses Modell erstellt eine Flächenkarte der Sensorauflösung für jede Position. Da die Laserscanner die Impulse in einem gewissen Winkel zueinander aussenden, verringert sich mit steigender Distanz die Dichte der Messwerte. Als Kriterium wurde für Anlegemanöver deshalb festgelegt, dass bei einer angenommenen geraden Schiffshülle in jedem fünf Meter Bereich der Kaianlage eine spezifizierte Anzahl von Messpunkten detektiert werden muss. In Abb. 4a ist die Beziehung zwischen Sektion der Kaikante, Laserstrahlen und Schiffswinkel aufgetragen. In Abb. 4b kann nun die dazu gehörige Konturkarte gesehen werden, welche dies für zwei Laserscanner darstellt. Dem Aufbau in Wilhelmshaven folgend ist der Abstand der zwei Laserscanner bei 80 m und das Schiff wird in dieser Darstellung mit einem relativen Anlegewinkel von  $-15^\circ$  berechnet.



**Abb. 4 (a) Beziehung zwischen Kaikante (vertikale Achse), Laserstrahlen und Ausrichtung des Schiffs (b) Kontur-Karte für jede Position der Karte mit der Anzahl an Strahlen die eine 5 m Sektion entlang der vertikalen Achse treffen bei einem relativen Anlegewinkel von  $-15^\circ$  zur Kaikauer**

Der Aufbau in Wilhelmshaven wurde bis zum Abbau im Sommer 2021 dauerhaft betrieben. Aktuell ist das System in Cuxhaven im Einsatz, um ein breiteres Spektrum von Anwendungsfällen, auch unter schwierigen Wetterbedingungen, zu erproben. Hierbei wurden in Zusammenarbeit mit Niedersachsen Ports die Anwendungen Anlegemanöver, Hafeneinfahrt und Schleuseneinfahrt identifiziert. Diese sind in Abb. 5 dargestellt. Um dieses Gebiet abzudecken, wurden insgesamt 10 neu entwickelte 3D LiDAR-Sensoren sowie die bereits in Wilhelmshaven genutzten 2D-LiDAR und Umweltsensoren installiert.





Abb. 5 Anwendungsfälle des Aufbaus in Cuxhaven - © Google Earth 2022

## 5. Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung auf den Sensorboxen wird mit Hilfe eines verteilten Datenstrommanagementsystems (DSMS) durchgeführt. Dieses erhebt heterogenen Sensordaten auf den jeweiligen Boxen, verarbeitet sie weiter und speichert sie. Die Speicherung ermöglicht eine nachträgliche Betrachtung der Situationen im Labor, indem die Daten wieder abgespielt werden können. Der Aufbau des DSMS erlaubt es, eigene Berechnungen und Schnittstellen zu ergänzen um zusätzliche Sensorik oder alternative Hersteller zu nutzen.

In Abb. 6 ist ein abstrahierter Workflow dargestellt, um Abstände, Geschwindigkeiten und Kurse aus den LiDAR-Daten zu erhalten. Im ersten Schritt, der Vorverarbeitung werden zunächst die Daten der LiDAR-Scanner empfangen, transformiert und als Punktwolken gefiltert. Da die Positionierung der Sensoren bekannt ist, kann mit Hilfe einer Transformationsmatrix eine Überführung dieser Punktwolken in ein gemeinsames Geo-Koordinatensystem geschehen. Auf diesem wird eine Filterung der Messungen auf statische Ziele durchgeführt, Rauschen identifiziert und entfernt.

Im zweiten Schritt, der eigentlichen Verarbeitung, erfolgt nun eine Gruppierung und die Verfolgung von Schiffen in der Punktwolke. Diese werden über die Zeit mit einem Tracker verfolgt und aus der Position und ihrer Änderung werden Abstände (zur Kaimauer, RoRo-Brücke, etc.) und abgeleitete Werte wie Geschwindigkeiten und Kurse bestimmen.



Abb. 6 Workflow zur Bestimmung von Geschwindigkeiten, Kursen und Distanzen mit abschließender Evaluation

## 6. Evaluation

Die Evaluation von SmartKai geschieht auf mehreren Ebenen. Zum einen erfolgt eine Bewertung der Leistungsfähigkeit auf Basis von passivem Verkehr, zum anderen wird durch Testkampagnen die Betrachtung besonderer Situationen in einer kontrollierten Umgebung ermöglicht.

Da das System im Dauerbetrieb läuft, lassen sich im Nachhinein Aussagen über die Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit des Systems treffen. Gerade in extremen Wetterlagen wie Schnee, Hagel aber auch orkanartigen Böen und Sturmfluten muss das System zuverlässig funktionieren. So muss die Installation des Systems, die Verkabelung und die Funkkommunikation diesen Bedingungen standhalten können.

Indem der passive Verkehr im Labor untersucht wird, lässt sich die Leistungsfähigkeit, beziehungsweise die Abnahme dieser in widrigen Wetterlagen, bestimmen. Indem zu den Daten der LiDAR-Scanner die Daten des Sichtweitenmessgeräts hinzugezogen werden, kann die Abnahme des Detektionshorizonts bestimmt werden.

Die Evaluation der Zuverlässigkeit des Systems wurde durch eigens durchgeführte Testkampagnen erreicht. Für diese wurde auf Basis der gesammelten Anforderungen (siehe Kapitel 3) ein Szenarienkatalog erstellt, um möglichst viele Situationen und Anforderungen abzudecken und zu testen.

Die erste Testkampagne wurde in Wilhelmshaven im Herbst 2020 durchgeführt. Diese wurde mit dem Arbeitsschiff Argus von Niedersachsen Ports und dem Forschungsboot Josephine vom DLR durchgeführt (Abb. 7).



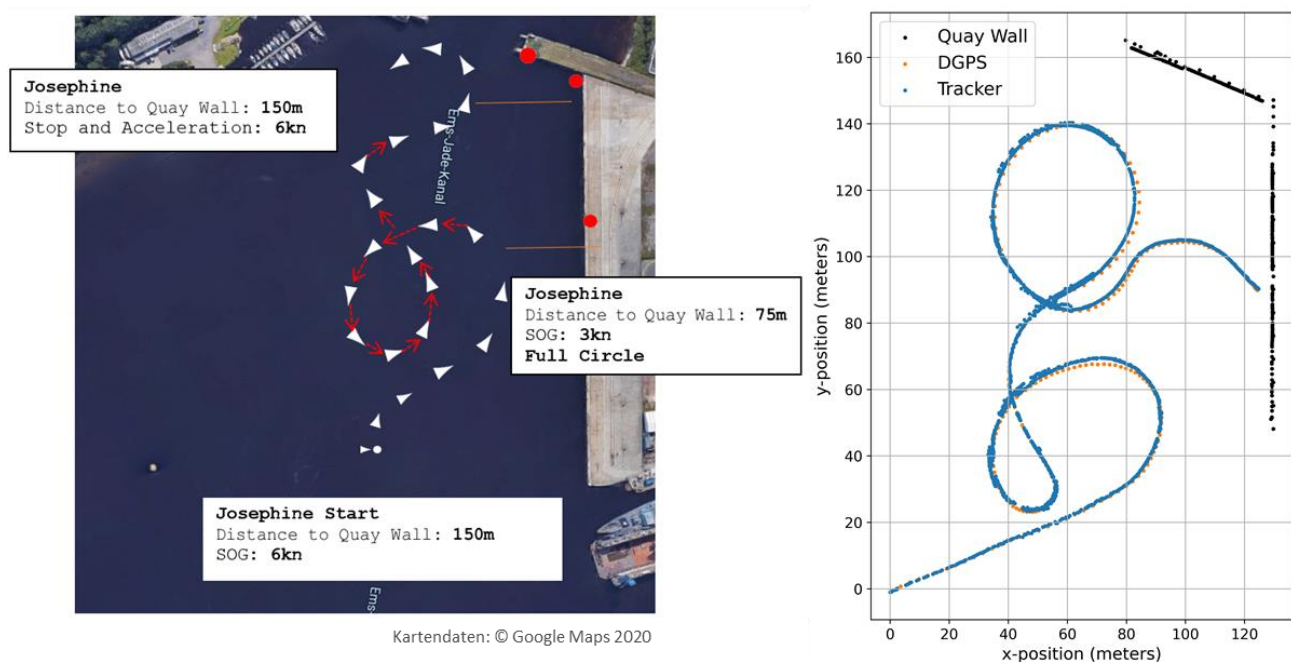
© Axel Hahn 2020

**Abb. 7** Forschungsboot Josephine (vorne) und Arbeitsschiff Argus (hinten)

Der in dieser Testkampagne eingesetzte Szenarienkatalog umfasste insgesamt 18 Szenarien, darunter Anlegemanöver, Durchfahrten und Mehr-Schiff-Situationen. Zusätzlich wurde ein Teil der Szenarien mehrfach – unter abgeänderten Parametern (z.B. Geschwindigkeit und Anfahrtswinkel) – durchgeführt.

Um eine Bewertung der Systemgenauigkeit erreichen zu können, wurden neben den gemessenen Daten der Laserscanner zusätzlich auch Positionsdaten der Schiffe aufgenommen. Dazu war jedes der Schiffe mit einer DGPS-Antenne als Referenzsensor ausgestattet.

Nach Abschluss der Testkampagne ließen damit dann Vergleiche zwischen den Messwerten des Systems und den Positionsdaten der Schiffe durchführen. Dies ist für ein Szenario beispielhaft in Abb. 8 dargestellt.



**Abb. 8 rechts: Zu fahrendes Szenario; links: Vergleich aus bordeigener DGPS Messung (orange) und der Messung des Systems (blau)**

Für den Aufbau in Cuxhaven ist die Testkampagne aktuell in Planung. Hier wird der Fokus zum einen auf der Evaluation des von SICK neu entwickelten LiDAR-Sensors liegen. Zum anderen kommen neben dem Anwendungsfall der Testkampagne aus Wilhelmshaven (Anlegemanöver) zwei weitere für die Hafeninfrastruktur relevante Anwendungsfälle (Hafeneinfahrt und Schleuseneinfahrt) hinzu.

## 7. Projektumfang und -laufzeit

Mit SmartKai wird in einem anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsprojekt ein hafenseitiges Assistenzsystem entwickelt. Das Projekt wird in der Förderrichtlinie Innovative Hafentechnologien (IHATEC) des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) über eine Laufzeit von drei Jahren von Dezember 2019 bis November 2022 gefördert. Das Projektvolumen umfasst 2,4 Mio. Euro, gefördert mit einem Förderanteil von 73% durch das BMDV.



## Quellen

- [1] M. Falk, M. Saager, M.-C. Harre, und S. Feuerstack, „Augmented Berthing Support for Maritime Pilots Using a Shore-Based Sensor Infrastructure“, in *HCI International 2020 – Late Breaking Posters*, Bd. 1294, C. Stephanidis, M. Antona, und S. Ntoa, Hrsg. Cham: Springer International Publishing, 2020, S. 553–559. doi: 10.1007/978-3-030-60703-6\_71.
- [2] IMO (International Maritime Organization), „Resolution A.915(22)“. 22. Januar 2002. [Online]. Verfügbar unter: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.915%2822%29.pdf>
- [3] J. Mentjes, H. Wiards, und S. Feuerstack, „Berthing Assistant System Using Reference Points“, *J. Mar. Sci. Eng.*, Bd. 10, Nr. 3, S. 385, März 2022, doi: 10.3390/jmse10030385.