

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht

SmartKai

Ein Assistenzsystem zur Prävention von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur

Durchführende Stelle:	DLR e.V., Escherweg 2, 26121 Oldenburg
Förderkennzeichen:	19H19008E
Projektleitung:	Hilko Wiards
Koordination:	Sebastian Feuerstack
Durchführungszeitraum:	01.01.2022 – 31.05.2023
Datum des Berichts	27.11.2023

Vorbemerkungen

Das Projekt war ursprünglich vom 01.12.2019 bis zum 30.11.2022 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 SmartKai - Projekt sieht vor, ein schiffsunabhängiges Anlegeassistenzsystem zu entwickeln, welches die sichere Navigation zur Vermeidung von Beschädigungen an der Hafeninfrastruktur (Schleusen, Kaianlagen, Piere etc.) und Schiffen ermöglicht.

Im Rahmen dieses Digitalisierungsprojektes wird in Wilhelmshaven und Cuxhaven (NPorts) ein neuartiger Sensor entwickelt (SICK) und an Land an unfallträchtigen Stellen im Hafenbecken, der Schleuse und einem Kai installiert. Damit Lots/innen und Schiffskapitäne/innen diese Informationen für eine sichere Navigation nutzen können, ist eine Integration der lokal verteilten Sensorquellen, sowie die Validierung und Evaluierung des Systems durch die eMIR-Technologieentwicklungsplattform erforderlich (Partner DLR). Weiterhin wurde untersucht, wie die Benutzeroberfläche für die Nutzer/innen gestaltet sein muss, um die kognitive Belastung der Nutzer/innen zu minimieren und somit eine sichere Navigation zu ermöglichen (Partner HuMaTects).

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt SmartKai wurde durch ein Projektkonsortium, bestehend aus dem Hafeninfrastrukturunternehmen Niedersachsen Ports (NPorts) sowie den Unternehmen SICK, HuMaTects und der Forschungseinrichtung DLR durchgeführt. Dem Konsortium angeschlossen waren weiterhin die assoziierten Partnern TRENZ, die Hafenslots/innen, sowie das BSH.

Bedingt durch die Corona Pandemie wurden nahezu alle Konsortialmeetings digital durchgeführt. Insbesondere in 2022 kam es durch die Pandemie und Lieferkettenbeeinträchtigungen zu Verzögerungen, so dass der Umzug des SmartKai Systems von Wilhelmshaven nach Cuxhaven nicht so schnell wie geplant durchgeführt werden konnte.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war ursprünglich vom 01.12.2019 bis zum 30.11.2022 geplant und wurde kostenneutral um 6 Monate zu einer abschließenden Laufzeit vom 01.12.2019 bis zum 31.05.2023 verlängert. Die Verlängerung wurde aufgrund der Corona-Pandemie durchgeführt. Zum einen konnten durch die Kontakt- und Hygienebeschränkungen umfangreiche Aufbauten und Tests nicht wie geplant durchgeführt werden. Zum anderen kam es durch die weltweiten Auswirkungen der Pandemie zu mehreren Lieferverzögerungen die gestörte Lieferketten und dadurch zu einer späteren Bereitstellung der Sensorprototypen.

Das Gesamtprojekt wurde in 9 Arbeitspakete strukturiert (Abbildung 1) um die Projektziele zu erreichen. Hier ist ersichtlich, dass das Projekt in zwei Zyklen durchgeführt wurde, in denen jeweils zuerst die Anforderungen erhoben wurden. Basierend auf den Anforderungen erfolgte dann die Entwicklung der Gesamtarchitektur, der Anwendung und der Sensorhardware. Die Ergebnisse der Gesamtarchitektur und der Sensorentwicklung flossen dann in die Datenfusion und -analyse ein. Zum Abschluss des Zyklus erfolgten Evaluationen mittels einer Simulation und eine Integration in den Hafen, deren Ergebnisse in der Evaluation im Testfeld mündeten. Parallel wurden die gewonnenen Ergebnisse durch die wissenschaftlichen Partner publiziert und durch alle Partner dokumentiert.

mobil installierte Systeme auf dem Schiff mittels GPS-Positionsermittlung. Die Informationsbereitstellung erfolgt hierbei über verschiedene Verfahren, darunter große LED-Tafeln auf dem Anlegesteg, ferngesteuerte Handheld-Monitore, PDAs (Personal Digital Assistant), auf Kontrollraum-Computermonitoren oder digitale Anzeigen bzw. Ampel-Warnblinkleuchten im Hafen.

Stationär installierte **Anlegehilfe-Systeme** bestehen typischerweise aus zwei einzelnen punktuellen LIDAR Abstandsmessungen welche auf einem Anlegesteg montiert sind, einer Steuerung, einem zentralen PC und mehreren Datenanzeigeoptionen. Trelleborg Marine Systems aus Dänemark bietet sowohl Laser- als auch GPS-Lösungen zur Unterstützung der Annäherung von Schiffen und des Andockmanagements an, bspw. das Laser-Docking-System SmartDock^{®1} (ehemals Marimatech), weiterhin Koden Electronics Co. Ltd.; Japan ein SRD-303i Ship's Docking Aid System – Laser Docking Ranger² und die Firma Prosertek aus Spanien das Dockmoor-BM-System³. Aus den Niederlanden die Machinefabriek L. Straatman B.V. ein Docking Aid System⁴ und auch Mampaey Offshore Industries B.V. bietet ein Liegeplatz-Annäherungssystem⁵. Stationäre, schiffsunabhängige Systeme nutzen Punktmessungen, stellen diese über Schautafeln dar und sind nicht in die vorhandenen Systeme integriert und berücksichtigen daher auch nicht Wechselwirkungen mit Umwelt (Verkehr, Wind, Strömungen, Tide).

Mobile Anlegehilfe-Systeme werden derzeit oft von Hafenslots/innen eingesetzt. Zum Einsatz kommen hierbei mehrere A-GPS- (assisted GPS) oder D-GPS-Sensoren (differential GPS), welche die Position, AIS, Rate Of Turn (ROT), Roll & Pitch, Ausrichtung und Geschwindigkeit des Eigenschiffs ermitteln und in Verbindung mit einer von dem Lots/innen verwendeten Portablen Pilot Unit⁶⁷, einer mobilen Anzeigeeinheit für Lots/innen, auf einer elektronischen Seekarte (Electronic Nautical Charts, ENC) dargestellt. Diese Systeme werden bei der Vorbereitungsphase zur Kommandoübernahme von ortskundigen Lots/innen mit auf das zu lotsende Schiff gebracht und vor der Einfahrt in einem Hafenbereich auf dem jeweiligen Schiff temporär installiert. Die eigens erhobenen Informationen stehen weiteren am Anlegemanöver beteiligten Parteien bzw. Personen über mobile Datenverbindungen eingeschränkt zur Verfügung. Grundsätzlich setzen mobile Systeme auf vorhandene Schiffs Sensorik (z. B. Radare und GPS) und sind bislang zu ungenau (GPS) bzw. decken nicht den Nahbereich um das Schiff cm genau ab (Radar).

Tabelle 1 grenzt das Vorhaben SmartKai von relevanten zu Projektstart verfügbaren Technologien sowie laufenden und bereits abgeschlossenen Projekten ab.

Tabelle 1 - Abgrenzung des Projekts zum Stand der Technik

Akronym	Inhalt	Abgrenzung des Projektvorhabens
GALILEOnautic 2 ⁸ (BMW, 10/2018 - 03/2021) LAESSI ⁹ (BMW, 10/2015 - 09/2017)	Technische Lösungen mittels GPS "an Bord" eines (Binnen-) Forschungsschiffes und der Darstellung einer teil-automatisierten Hafendurchfahrt	SmartKai zielt auf eine konsistente stationäre Lösung über Sensorketten zur Schadensvermeidung im Hafen ab, mit der Schiffs- und Satellitenunabhängig die

¹ <https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/products-solutions-and-services/marine/docking-and-mooring/docking-aid-system/smart-dock-laser>

² <https://www.koden-electronics.co.jp/en/enindustrial/srd-303i-e>

³ <https://prosertek.com/harbour-equipment/bas/>

⁴ <https://mfstraatman.com/en/mooring-and-berthing-systems/berthing-aid-systems>

⁵ <https://mampaey.com/berthing-mooring-overview/berthing-approach-system/>

⁶ <https://geodproducts.com/bananas/>

⁷ <https://www.trenz-pilotplug.shop/>

⁸ <https://fiw.hs-wismar.de/bereiche/sal/forschung/issims/laufende-projekte/galileonautic-2/>

⁹ https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-12748/22264_read-45318/admin-1/

<p><i>Mobile Systeme:</i> Trelleborg Marine Systems; SafePilot CAT X. Cadden; Berthing And NAvigation Aid System. Trenz; PIA - Pilot Information Assistant.</p>	<p>im vernetzten, kooperativen Netzwerk und bedingt des automatisierten Anlegens. Kommerzielle mobile, schiffsgetragene Navigationssysteme, temporär installiert und über satellitengestützte Receiver mit Portable Pilot Units gekoppelt. Die Positioniergenauigkeiten (GPS bzw. GLONASS) liegen zwischen 3 m bis 0,4 m. Die Anzeige des Eigenschiffes erfolgt in Kombination einer Seekarte über Portable Pilot Units.</p>	<p>Positioniergenauigkeit im einstelligen cm-Bereich liegt. Zusätzliche Sensorinstallationen durch Lots/innen oder Schiffspersonal und deren Kalibration auf dem Schiff sind nicht notwendig.</p>
<p><i>Stationäre Systeme:</i> Trelleborg Marine Systems; SmartDock. Kodon Electronics; Ship's Docking Aid System. Prosertek; DAM BM-System. Machinefabriek L. Straatman B.V.; Docking Aid System. Mampaey Offshore Industries B.V.</p>	<p>Kommerzielle Liegeplatz-Annäherungssysteme mittels punktueller Laser Triangulation für relative Annäherungsdaten von einer Hafenkante zu einem Schiff. Visualisierung von Annäherungsabstand, Geschwindigkeit und Winkel mit großen LED-Anzeigen und Ampeln oder auf Handhelds. Datenprotokollierung teilweise unter Berücksichtigung von speziellen Schiffsdatenbanken.</p>	<p>SmartKai nutzt vernetzte, neu entwickelte LIDAR Sensorketten mit flächiger Erfassung von Silhouetten der Hafengebiete, Schiffe und Objekte, bietet Personenschutz und gleichzeitige Erfassung von Umweltdaten in einem konsolidierten Lagebild über mehrere angepasste User-Interfaces.</p>
<p>NYK und NYK Konzerngesellschaften MTI Co. Ltd. und Japan Marine Science Inc.</p>	<p>Simulation von Anlegevorgängen mit Bewertung der Steuerbarkeit eines Schiffes und Visualisierung des erwarteten Risikos im Liegebetrieb.</p>	<p>SmartKai betrachtet simulativ Ansätze von der Wasserstraße bis zum Liegeplatz u. Verkehrs- / Umweltzusammenhänge mit Schäden an Hafeninfrastruktur unter Berücksichtigung realer Verkehrs- und Umweltdaten.</p>

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die erfolgreiche Umsetzung eines Projekts hängt maßgeblich von der engen und kontinuierlichen Zusammenarbeit aller Projektpartner ab. Dies wurde bereits zu Beginn des Projekts umgesetzt indem der regelmäßige Austausch durch Videokonferenzen, die im Zwei-Wochen-Rhythmus stattfanden, aufgesetzt wurden. Diese ermöglichten es den Partnern, stets auf dem Laufenden zu bleiben, Fortschritte zu besprechen und eventuell auftretende Herausforderungen gemeinsam anzugehen.

Die Relevanz dieser regelmäßigen Videokonferenzen wurde noch deutlicher, als einige Monate nach Projektbeginn die Corona-Pandemie ausbrach. In einer Zeit, in der persönliche Treffen nicht oder nur eingeschränkt möglich waren, stellten diese regelmäßigen digitalen Treffen sicher, dass die Arbeitsfähigkeit aller Beteiligten erhalten blieb. Sie ermöglichten eine kontinuierliche, störungsfreie Arbeit am Projekt, trotz der globalen Herausforderungen.

Zusätzlich zu den regelmäßigen Videokonferenzen gab es auch persönliche Treffen, wann immer die Phasen des Infektionsschutzes dies zuließen. Diese Konsortialtreffen, die entweder halb- oder

ganztägig stattfanden, boten Gelegenheiten für intensivere Diskussionen und konzentrierten sich auf spezifische Planungsthemen.

Im Verlauf des Projekts fand die Zusammenarbeit jedoch nicht nur innerhalb des Konsortiums statt, sondern auch mit einer Vielzahl von externen Stakeholdern. Unter den beteiligten Parteien waren unter anderem die Hafenslots/innen, mit denen mehrere Treffen organisiert wurden an denen auch das DLR beteiligt war. Diese Zusammenkünfte dienten der Präsentation der bisherigen Projektergebnisse und boten gleichzeitig eine Möglichkeit für wertvolles Feedback von den Experten.

Weiter fanden auch Gespräche mit anderen Projekten statt, die ähnliche Ziele verfolgen. So gab es einen Austausch mit dem Projekt SAMS (Digitale Testfelder in Häfen), mit dem verschiedene Lösungsansätze besprochen und verglichen wurden, aber auch mit dem Projekt ImoNav und dem BSH zur Nutzung maritimer Geodaten.

Die Partnerschaft mit Niedersachsen Ports führte zu wertvollen Gesprächen mit den Häfen Emden, Brake und Wilhelmshaven im Rahmen der Projektevaluation. Diese Gespräche halfen dabei, die Unterschiede der verschiedenen Häfen besser zu verstehen und ihre spezifischen Bedürfnisse in den Projektprozess einzubeziehen.

Die Projektfortschritte und Erfolge wurden schließlich einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Im Juli 2022 fand ein erster Demonstrationstag mit etwa 40 Teilnehmern aus der Hafenwirtschaft, den Lotsenbrüderschaften und der Politik statt. Die Ergebnisse wurden in einer umfassenden Abschlussveranstaltung Ende Mai 2023 präsentiert, welche die gesammelten Erfahrungen, Erkenntnisse und Leistungen des Projekts herausstellten.

Eingehende Darstellung

Darstellung der Projektergebnisse

Arbeitspaket 1: Anforderungsanalyse und Bedarfsanalyse mit Nutzer/innen

Zielsetzung AP1:

- Identifikation und Aufnahme der Nutzeranforderungen für das SmartKai System
- Ableitung technischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen, die in folgenden Arbeitspaketen als Grundspezifikation für Systemdesign und Nutzerdesign zur Verfügung stehen
- Potenziale zur Schadensminimierung und Risikominimierung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur werden aufgenommen und bewertet.
- Zur Komplettierung der Bestandsaufnahme werden zudem die Softwareschnittstellen und die jeweilig von den Nutzer/innen verwendeten IT-Tools und IT-Infrastruktur erhoben.

Zielerreichung AP1:

Innerhalb dieses Arbeitspakets lagen die Aufgaben des DLR im Bereich der Anforderungen an die Daten und Analyse der vorhandenen Schnittstellen, Infrastruktur und IT-Systeme. Unter der Leitung von HuMaTects wurden Gespräche mit Elblots/innen, Hafenmeister/innen und den Hafenlots/innen durchgeführt. Weiter wurden im Zuge mehrerer Ortsbegehungen in Zusammenarbeit mit Niedersachsen Ports die Standorte Wilhelmshaven und Cuxhaven auf Installationsmöglichkeiten und technische Infrastruktur überprüft. Dabei lag der Fokus auf möglichen Datenverbindungen im Hafen, der Verfügbarkeit von Strom und Kabelwegen, Installationsmöglichkeiten und adäquater Abdeckung der Use-Cases.

Auf Basis der erhobenen Nutzeranforderungen und der technischen Gegebenheiten vor Ort konnte dann durch das DLR eine Liste an technischen Anforderungen erstellt werden. Diese technischen Anforderungen decken dabei die Funktionalität des Lagebilds, der verwendeten Sensorknoten, der Systemschnittstellen und der Validierungs-Sensorik ab und sind im Folgenden aufgeführt.

Lagebild		
LB-1	Beschreibung	Integration mehrerer (LiDAR-) Sensoren in das Lagebild
	Problembeschreibung	Die Integration mehrerer (LiDAR-) Sensoren in ein gemeinsames Lagebild ist eine grundlegende Funktion des Assistenzsystems. Bei Schiffslängen über > 100m und spitzen Auftreffwinkeln des Lasers auf die Schiffshülle müssen Schiffe von mehreren Sensoren erfasst werden.
	Abnahmekriterium	An jedem Standort werden bei einem Systemaufbau mit mehreren LiDAR-Scannern für das Lagebild alle Scanner als Datengrundlage herangezogen. Diese sind auf ein gemeinsames Koordinatensystem bezogen. Die Genauigkeit der Position ist ≤ 1 m, im Winkel $\leq 1^\circ$.
LB-1.1	Beschreibung	Extraktion von Abständen zu Referenzpunkten aus (LiDAR-) Messungen
	Problembeschreibung	Um Distanzen zur Kaimauer einschätzen zu können, soll das System in der Lage sein, Abstände bestimmter Referenzpunkte orthogonal zur

		Kaimauer (oder zu anderen Bauten wie etwa RoRo-Rampen) zu bestimmen.
	Abnahmekriterium	Bei guter Sicht wird der Orthogonalabstand zur Kaimauer eines Schiffes ab 100m bestimmt. Die Genauigkeit des Abstands ist ≤ 1 m.
LB-1.2	Beschreibung	Bestimmung von Geschwindigkeiten aus Abständen zu Referenzpunkten
	Problembeschreibung	Durch Betrachtung der Abstände zu den Referenzpunkten aus LB-1.1 über die Zeit lassen sich Annäherungsgeschwindigkeiten bestimmen
	Abnahmekriterium	Bei guter Sicht wird der Orthogonalabstand zur Kaimauer eines Schiffes ab 100m bestimmt. Aus diesen Abständen wird eine Geschwindigkeit auf der Orthogonalinie bestimmt. Die Genauigkeit der Geschwindigkeit ist $\leq 0,5$ m/s.
LB-1.3	Beschreibung	Extraktion von Schiffskonturen aus LiDAR-Daten
	Problembeschreibung	Zur Einschätzung der Lage des Schiffes sollen über die Referenzpunkt hinaus auch Konturen des Schiffes aus den Daten extrahiert werden.
	Abnahmekriterium	Eine modellhafte Darstellung des Lagebilds, gebildet aus Objekten (z.B. Schiffskonturen), wird erzeugt und kann dargestellt werden.
LB-1.4	Beschreibung	Bestimmung von Abständen aus Schiffskonturen
	Problembeschreibung	Zu besseren Einschätzung der Lage sollen aus der Schiffskontur sowohl der minimale Abstand des Schiffes insgesamt zur Kaimauer als auch die Abstände von Bug und Heck extrahiert werden.
	Abnahmekriterium	Aus der modellhaften Darstellung des Lagebilds (s. LB-1.3) können die o.a. Daten extrahiert werden. Die Genauigkeit entspricht der aus LB-1.1.
LB-1.5	Beschreibung	Bestimmung von Annäherungsgeschwindigkeiten aus der Schiffskontur
	Problembeschreibung	Aus den in LB-1.4 bestimmten Abständen soll das System über die Zeit eine Bestimmung von Geschwindigkeiten orthogonal zur Kaimauer durchführen.
	Abnahmekriterium	Aus der modellhaften Darstellung des Lagebilds (s. LB-1.3 und LB1.4) können die o.a. Daten extrahiert werden. Die Genauigkeit entspricht der aus LB-1.2.
LB-2	Beschreibung	Integration von AIS-Signalen
	Problembeschreibung	Zur Ergänzung der LiDAR-Messung bindet das System erkannte AIS-Schiffe aus dem beobachteten Bereich mit in das Lagebild ein.
	Abnahmekriterium	Ein Testschiff mit AIS-Transponder fährt in den beobachteten Bereich hinein und verlässt diesen wieder. Das Schiff taucht im Lagebild korrekt auf, unabhängig von einem erkannten LiDAR-Target, solange es sich im beobachteten Bereich befindet.
LB-3.1	Beschreibung	Integration von Winddaten in das Lagebild

	Problembeschreibung	Windmessungen sind nicht nur auf einen einzelnen Punkt beschränkt, sondern für ein betrachtetes Gebiet von Interesse. Das Lagebild wird deshalb mit den gemessenen Winddaten aus der Gebietsumgebung angereichert.
	Abnahmekriterium	Für ein betrachtetes Gebiet wird die nächste verfügbare Windmessung als Information in das Lagebild integriert.
LB-3.2	Beschreibung	Integration von Wasserstandsdaten in das Lagebild
	Problembeschreibung	Wasserstandsdaten sind nicht nur auf einen einzelnen Punkt beschränkt, sondern für ein betrachtetes Gebiet von Interesse. Das Lagebild wird deshalb mit den gemessenen Wasserstandsdaten aus der Gebietsumgebung angereichert.
	Abnahmekriterium	Für ein betrachtetes Gebiet wird die nächste verfügbare Wasserstandsmessung als Information in das Lagebild integriert.
LB-3.3	Beschreibung	Integration von Kartendaten in das Lagebild
	Problembeschreibung	Als Kontextinformation der Sensorik werden Kartendaten dem Lagebild hinzugefügt. Dies ermöglicht eine Einschätzung der gemessenen Positionen im Bezug auf die Umgebung. Dabei ist es wichtig, dass die Sensorik als auch die Kartendaten über die gleichen Geokoordinaten kodiert werden.
	Abnahmekriterium	Referenzziele entlang der Konturen der Kartendaten (z.B. Kaimauern, Durchfahrten o.ä.), welche von den Sensoren erfasst werden, werden korrekt in die Karte eingetragen.
LB-4	Beschreibung	Speicherung des Lagebilds
	Problembeschreibung	Das Lagebild soll gespeichert werden, um die Historie abrufen zu können.
	Abnahmekriterium	1) Die ausgewählten Daten des Lagebilds werden in Echtzeit gespeichert. Ggf. wird regelmäßig eine Kopie (als Archiv) angefertigt. 2) Die aufgezeichneten Daten können wieder abgespielt werden, um Ereignisse aus der Vergangenheit darzustellen.
Sensorboxen		
SB-1	Beschreibung	Stromversorgung mit 230V Lichtstrom
	Problembeschreibung	Die technischen Voraussetzungen im Hafen ermöglichen einen Betrieb der Sensorboxen nur auf Basis von 230V Lichtstrom
	Abnahmekriterium	Die Sensorbox wird mit 230V Lichtstrom betrieben.
SB-2	Beschreibung	Notstromversorgung der Sensorboxen
	Problembeschreibung	Um bei Stromausfällen weiterhin Daten erheben zu können, verfügen die Sensorboxen über eine batteriebetriebene Stromversorgung.

	Abnahmekriterium	Bei fehlender Stromversorgung teilt die Sensorbox mit, dass der Strom ausgefallen ist und arbeitet mindestens 18h über die Notstromversorgung.
SB-3	Beschreibung	Speichern temporärer Daten
	Problembeschreibung	Die Sensorboxen sind bei Verbindungsverlust in der Lage bis zu 100 GB Daten temporär in der Sensorbox zu speichern
	Abnahmekriterium	Durch Trennung der Verbindung werden die Daten automatisch auf den Speicher der Sensorbox geschrieben.
SB-4	Beschreibung	Konnektivität der Sensorbox
	Problembeschreibung	Ein Sensorbox ist in der Lage mindestens drei (LiDAR –) Sensoren auszulesen.
	Abnahmekriterium	Die Sensorbox verfügt über ≥ 4 Gigabit-Ethernet Ports
Systemschnittstellen		
SST-1	Beschreibung	Kommunikation der Systemknoten
	Problembeschreibung	Die interne Kommunikation der Systemknoten soll über eine IP-basierte Verbindung erfolgen
	Abnahmekriterium	Die Systemknoten eines User-Cases (Sensorboxen, Container) kommunizieren untereinander über eine Ethernet- oder Wireless-LAN Verbindung.
SST-2	Beschreibung	Netzwerkprotokoll für die Lagebild-Schnittstelle
	Problembeschreibung	Für den Zugriff auf die Lagebildinformationen soll der Zugriff über ein standardisiertes Protokoll erfolgen. Dieses soll es ermöglichen, die Netzwerklast mithilfe von Parametern zu reduzieren und die Möglichkeit bieten, verschlüsselt übertragen zu werden.
	Abnahmekriterium	Der Zugriff auf die Lagebildinformationen erfolgt über eine WebSocket-Schnittstelle. Zugriffsparameter ermöglichen die Auswahl verschiedener Datenmengen.
Validierung		
VG-1	Beschreibung	Sichtweite als Kontextinformation
	Problembeschreibung	Um eine Einschätzung der Leistung der verwendeten LiDAR Sensoren zu erhalten, soll mithilfe eines Sichtweitenmessgerätes erfasst werden, welcher Partikelgrad in der Luft vorhanden ist.
	Abnahmekriterium	Ein Sichtweitenmessgerät kann in minütlichen Intervallen ausgelesen werden und die Werte persistent gespeichert werden.
VG-2	Beschreibung	Kamerabilder erkannter Aktivität
	Problembeschreibung	Zur Validierung der Sensorerfassung und Interpretation kann im Abstand von höchstens 1 Sekunde ein Kamerabild erhoben werden.
	Abnahmekriterium	Die Kameraaufnahme wird erfolgreich auslöst und ebenfalls mitgespeichert.

Arbeitspaket 2: Entwicklung Systemdesign und Gesamtarchitektur

Dieses Arbeitspaket wurde aufgrund laufender Schutzrechtsanmeldungen zurückgehalten und als Teil des Evaluationsberichts gemeldet.

Arbeitspaket 4: Integration im Hafen: Prototypischer Systemaufbau

Zielsetzung AP4:

- Umsetzung des zuvor ausgearbeiteten Konzepts unter realen Bedingungen im Hafen
- Aufbau der technischen Infrastruktur und Positionierung benötigter Hardware in einem ersten Zyklus in Wilhelmshaven in reduziertem Aufbau und in einem zweiten Zyklus in Cuxhaven.

Zielerreichung AP4

Für die erste Iteration des Aufbaus wurde ein reduzierter Systemaufbau gewählt, um mögliche Herausforderungen in der technischen Umsetzung früh erkennen zu können. In Zusammenarbeit mit Niedersachsen Ports wurde dazu in mehreren Ortsbegehungen in Wilhelmshaven eine Erhebung der lokalen Gegebenheiten vorgenommen, indem unter Beachtung der zu installierenden Sensorik und des abzudeckenden Gebiets die Möglichkeiten der Installation betrachtet wurden.

Für den ersten Aufbau in Wilhelmshaven fiel die Wahl auf den Hannoverkai. Diese Kaianlage befindet sich im geschleusten Bereich im Wilhelmshavener Hafen und bot durch geringe Änderungen im Wasserstand ideale Bedingungen für einen ersten technischen Testaufbau. Installiert wurden an diesem Standort drei LiDAR-Bestandssensoren im 2D-Messverfahren, bereitgestellt durch SICK, zwei Kameras, ein Sichtweitenmessgerät, ein Windmessgerät sowie ein AIS-Sensor. Erhoben wurden die Daten durch zwei Sensorknoten, die untereinander mit Hilfe von Richtfunk kommunizierten.



Abbildung 3 - Schematischer Aufbau des Testfelds in Wilhelmshaven

Der Aufbau der Sensorknoten begann im 2. Quartal 2020 und im Sommer 2020 konnte bereits erste LiDAR-Sensorik im Feld installiert werden. Hierzu wurden mit Unterstützung von Niedersachsen Ports Einbaurahmen für die Sensorik gefertigt (siehe Abbildung 4). Im Herbst 2020 konnten dann bei Testfahrten die ersten Daten aufgezeichnet werden. In inkrementellen Schritten wurde der Aufbau um Wetter- und maritime Sensorik erweitert. Diese Arbeiten wurden Anfang des Jahres 2021 abgeschlossen.



Abbildung 4 - Installation eines 2D-LiDAR in der Kaimauer in WHV
Quelle: Leonardo Film GmbH, Oldenburg

In der zweiten Iteration wurde das konzipierte System erfolgreich im Hafen von Cuxhaven implementiert und eingerichtet.

Während des Teilarbeitspakets 4.1 wurde in Kooperation mit Niedersachsen Ports eine Standortbestimmung im Hafen von Cuxhaven durchgeführt. Hierbei entstand ein detaillierter Aufbauplan, basierend auf dem in Arbeitspaket 2 entwickelten Konzept. Bei der Evaluierung der Standorte wurden Installationsmöglichkeiten für den neu entwickelten Sensor gemäß den

Spezifikationen von SICK untersucht. Auf Grundlage des Kartenmaterials konnten Leitungslängen berechnet und geeignete Technologien ausgewählt werden. Die Größe des Testfeldes bedingte den Einsatz einer Kombination aus Lichtwellen, Richtfunk, LTE und Ethernet-Datenverbindungen.



Abbildung 5 Ausschnitte der in Cuxhaven installierten Sensorik und Kommunikations- und Verarbeitungsinfrastruktur

Teilarbeitspaket 4.2 umfasste den Aufbau der technischen Infrastruktur, die Positionierung der Sensorknoten und die Installation der Sensorik. Die Erfahrungen aus dem ersten Aufbau in Wilhelmshaven führten zu kleineren Verbesserungen an den Sensorboxen, etwa der Optimierung von Kabeleinführungen, um die Wasserdichtigkeit im Tidehafen zu erhöhen. Bei den Datenverbindungen kamen Lichtwellenleiter zum Einsatz, wo dies möglich war, und Richtfunk wurde im Bereich der Hafeneinfahrt verwendet, da hier die zwei Seiten des Wassers zu verbinden waren. Aufgrund der Länge der Kaianlage reichte Ethernet nicht aus, um beide Seiten miteinander direkt zu verbinden, so dass Lichtwellenleiter verwendet wurden. Des Weiteren wurden AIS, Wind- und Sichtweitensensorik installiert und mit von Niedersachsen Ports bereitgestellten Kameras ergänzt. Die gesammelten Daten wurden mittels LTE an die Zentrale in Oldenburg übermittelt.

Im Teilarbeitspaket 4.3 wurden die bestehende Sensorik durch die prototypisch entwickelte LiDAR-Sensorik erweitert und die Testung der Use-Cases durchgeführt. Der passive Verkehr wurde im Dauerbetrieb beobachtet, um vielfältige reale Situationen unter unterschiedlichen Wetterbedingungen zu erfassen. Zudem wurden in Kooperation mit einem Arbeitsschiff von Niedersachsen Ports mehrere Testfahrten durchgeführt. Diese dienten dazu, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der entwickelten Sensorik unter verschiedenen Bedingungen zu überprüfen und weitere Optimierungspotenziale aufzudecken.



Abbildung 6 - Aufbau des Testfelds mit eingezeichneten Sensorpositionen, Kartenmaterial ist ein Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen ©2023  LGLN

Insgesamt führte die erfolgreiche Umsetzung des Konzepts im Hafen von Cuxhaven zu einer effizienten und funktionsfähigen Sensorik-Infrastruktur. Durch die Zusammenarbeit mit Niedersachsen Ports wurden optimale Standorte für die Sensoren ermittelt und die Technologie entsprechend angepasst. Der Aufbau der technischen Infrastruktur und die Installation der Sensorik, wie in Abbildung 6 dargestellt, berücksichtigten Verbesserungen, die auf Erfahrungen aus dem ersten Aufbau in Wilhelmshaven basierten. Die Erweiterung der Bestandssensorik um die LiDAR-Sensorik ermöglichte umfassende Tests, bei denen sowohl passive Verkehrsbeobachtung als auch Testfahrten mit einem Arbeitsschiff durchgeführt wurden.

Arbeitspaket 5: Anwendungsentwicklung: Benutzungsschnittstelle und Backend

Zielsetzung AP5:

- Erarbeitung und prototypische Entwicklung / Implementation der Mensch-Maschine Interaktion (User-Interface (UI)), sowie des funktionalen Backends nach gängigen Standards)

Zielerreichung AP5

Neben der Entwicklung einer Visualisierung für Lots/innen und Kapitän/innen auf dem Schiff sollte SmartKai ebenfalls Unterstützung für die Hafenmeisterei bieten. Sie koordinieren die Arbeitsabläufe im Hafen. Dies beinhaltet unter anderem die Zuweisung von Liegeplätzen, die Koordination mit Schleppern sowie die Planung der Be- und Entladung der Schiffe. In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner HuMaTects wurde Interviews mit den Hafenmeister/innen und -kapitän/innen durchgeführt hinsichtlich ihrer Aufgaben und dem Unterstützungspotential des SmartKai Systems. Folgendes Potential wurde durch die Interviews identifiziert:

1. Einsicht über die Belegung von Liegeplätzen auch für nicht-ausrüstungspflichtigen Schiffen
 - a. Meldung/Protokollierung von Durchfahrten in und aus dem Hafen
2. Protokollierung von Ereignissen
 - a. Integration von Sensorik für die Erkennung von Schadensfällen
 - b. Protokollierung von Wetterdaten für die Schadensanalyse
3. Integration des Systems in die Abrechnungssoftware

Für die Hafenmeisterei waren vor allem die abrechnungsrelevanten Aspekte des Systems entscheidend. Zum einen sollte protokolliert werden, wann Schiffe an der Kaianlage liegen, so dass die Liegezeit für die Abrechnung erfasst wird. Zum anderen sollen weitere Ereignisse protokolliert werden. Dies ermöglicht die Untersuchung von Schadensfällen, sofern Beschädigungen an der Kaianlage aufgetreten sind. Schlussendlich ist eine Integration des Systems in die Abrechnungssoftware von NPorts wünschenswert, da dies den Arbeitsaufwand reduziert. Aufgrund des Prototypen-Status der Software wurde dies allerdings als optional angesehen und schlussendlich nicht umgesetzt.

Implementierung User Interface:

Auf Basis dieser Anforderungen wurde eine UI (User Interface) entwickelt. Dieses erlaubte neben der Live-Darstellung auch die Ereignisprotokollierung durch die Möglichkeit einer wiederholten Darstellung vergangener Anlegemanöver. Folglich war Analyse von Situationen im Nachgang möglich.

In Abbildung 7 ist das User Interface für die Hafenmeisterei dargestellt. Als Kartenmaterial wurden Schnittstellen zu den üblichsten Providern und Technologien implementiert, wobei standardmäßig OpenStreetMap und OpenSeaMap dargestellt wurden. Ebenfalls wurde eine Erweiterung für die Anbindung von Web Map Tile Service (WMTS) integriert, mit dem nautisches Kartenmaterial integriert werden konnte. Ähnlich zu der Darstellung für die Lots/innen und Kapitäne auf dem Schiff zeigt die UI für jeden Anlegeplatz die LiDAR Punkte. Dies ermöglichte der Hafenmeisterei die visuelle Überprüfung welche Anlegestellen aktuell belegt sind, auch wenn das AIS System des Schiffes nicht vorhanden oder aktiv ist. Zusätzlich wurde die Kontur der Schiffe visualisiert, die durch das AIS-System übertragen werden, so dass Schiffe auch über den Bereich der LiDAR Sensoren hinaus verfolgt werden konnten. Das UI bot zudem die Möglichkeit, mehrere Anlegestellen gleichzeitig zu überwachen. Durch das Panel in der oberen linken Ecke konnten die Standorte gewechselt werden. Hier sind ebenfalls Schaltelemente für historische Anlegemanöver verfügbar, die durch das System aufgezeichnet wurden. In der oberen rechten Ecke sind aktuelle Wetterinformationen und Vorhersagen integriert. Sie dienen der Hafenmeisterei zum Überblick über die Wetterlage und können die Informationen den zuständigen Kapitän/innen und Lots/innen weiterleiten.

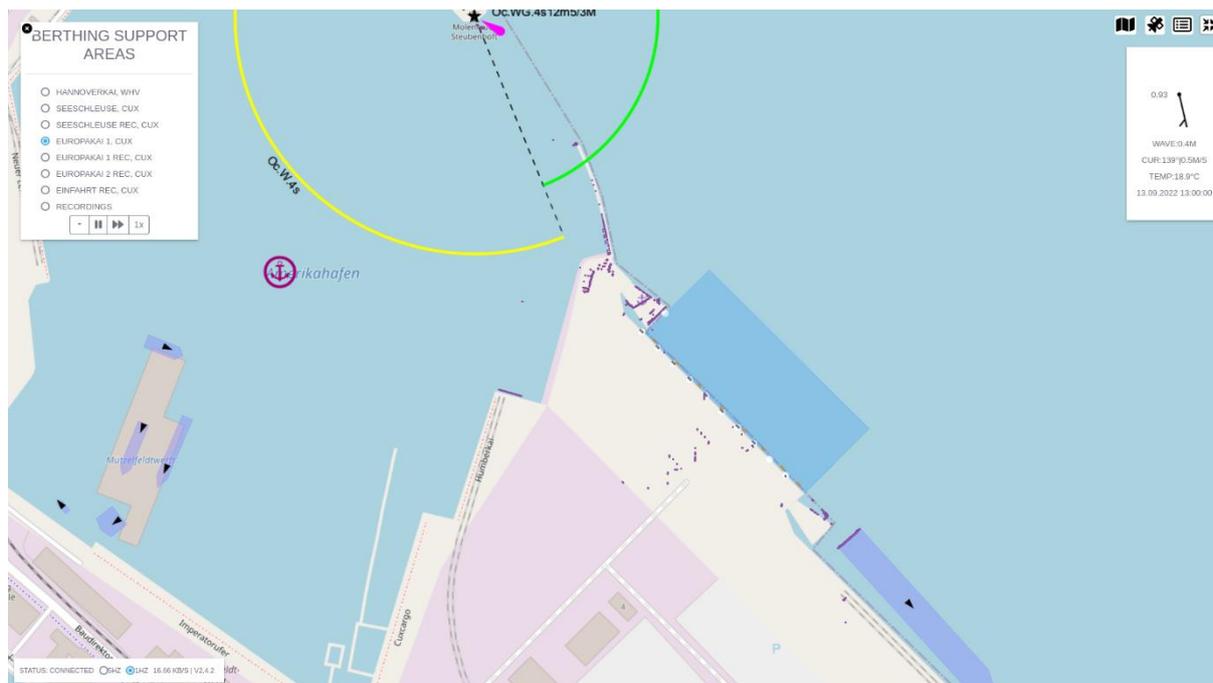


Abbildung 7 User Interface für die Hafenmeisterei (Kartenmaterial: OpenStreetMap und OpenSeaMap)

Zur Vereinfachung der Planung wurde eine Schnittstelle zum Partner NPorts integriert, mit der aktuelle Liegeplatzplanungen eingesehen werden können. Hiermit wurde visualisiert, zu welchem Zeitpunkt ein Schiff an einem Liegeplatz eingeplant war und wie lange es diesen Platz belegen sollte. Dies erleichterte somit die Planung der Liegeplätze, sowie der zeitlichen Planung der Ankunftszeiten.

Schnittstelle

Damit das UI und das Backend System miteinander kommunizieren konnten, wurde eine Schnittstelle zwischen ihnen entwickelt. Herausfordernd an dieser Tätigkeit war, dass mit volatilen Internet-Verbindungen und geringen Bandbreiten im Hafen gearbeitet werden musste. Aufgrund dessen wurden Standards aus dem Internet of Things (IoT) Bereich genutzt. Konkret entschied sich das Projektkonsortium für das Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) Protokoll. Es ermöglicht die Kommunikation per Publish/Subscribe und ist für Netzwerke mit geringer Bandbreite und unzuverlässigen Verbindungen entwickelt.

Als Übertragungsstandard wird die JavaScript Object Notation (JSON) genutzt (mit Erweiterungen durch GeoJSON). Ersteres wird standardmäßig im Web und IoT Bereich als Austauschformat genutzt. GeoJSON erweitert JSON durch Strukturen zur Abbildung von Geometrien und wird von vielen Kartenframeworks nativ unterstützt. Dies ermöglichte unter anderem die Darstellung von Schiff Geometrien oder Punktwolken der LiDAR Sensoren. Zur Reduktion der Bandbreite wurde sich ebenfalls dafür entschieden, gesendete Nachrichten durch GZIP-Komprimierung zu verarbeiten.

Implementierung Backend

Da die Visualisierung für die Hafenmeisterei als Webseite konzipiert wurde, wurde ein Webserver für die Bereitstellung dieser benötigt. Das Backend wurde mithilfe von NodeJS implementiert, welches häufig für serverseitige Implementierungen von JavaScript basierten Webseiten genutzt wird. Neben der reinen Bereitstellung der für die Webseite relevanten Ressourcen übernahm der Server die Verwaltung der Daten und koordinierte die Bereitstellung. Somit konnten Daten beispielsweise mit einer geringeren Frequenz übermittelt werden, um die benötigte Bandbreite zu reduzieren.

Arbeitspaket 6: Datenbank und globale Datenanalyse für Use-Cases/Sensorfusion

Dieses Arbeitspaket wurde aufgrund laufender Schutzrechtsanmeldungen zurückgehalten und als Teil des Evaluationsberichts gemeldet.

Arbeitspaket 7: Simulation: Evaluation mit Simulation im Labor f. Anwendung

Zielsetzung AP7:

- Aufbau und Entwicklung einer Simulationsumgebung
- Ableitung und Durchführung simulativer Tests
- Ableitung simulativer Szenarien

Zielerreichung AP7:

Entwicklung einer anwendungsspezifischen Simulationsumgebung

Zunächst wurde eine Simulationsumgebung, zur Abbildung des SmartKai-Systems entwickelt, zu automatisierten Generierung von synthetischen Messdaten aus Szenarien.

Die Bereitstellung synthetischer Laserscanner-Daten aus Verkehrsszenarien basierte auf einer 3-D-Umgebungssimulation. Maritime Szenarien wurden über AIS aus Verkehrssimulationen oder historischen Daten bereitgestellt. Die Umgebungssimulation basierte auf der Unity Gaming Engine, die die Schiffe, Gezeiten und LiDAR-Sensoren über Ray Casts spiegelt. Die virtuellen Sensoren gaben eine Punktwolke basierend auf dem konfigurierten Sichtfeld des Sensors aus. Dies ermöglichte das automatisierte Testen des SmartKai-Systems unter einer Vielzahl von Szenarien, die die Einflüsse des Schiffsrumpfes, der Gezeiten und des Sichtfeldes des Sensors berücksichtigten.

Für die Umgebungssimulation wurden geometrische Modelle der vom Sensor erfassten Objekte benötigt. Im maritimen Kontext sind diese Objekte Schiffe als dynamische Verkehrsteilnehmer und das Meer mit dem aktuellen Wasserstand basierend auf den Gezeiten. Ausgehend von den Schiffen wurden Modelle mit einer auf Expertenwissen basierenden Rumpfgeometrie definiert. Der Schiffsrumpf war der wichtigste Teil, der typischerweise bei der Kollisionsvermeidung und bei Sensoren zur Objektverfolgung wie Laserscanner berücksichtigt wird.

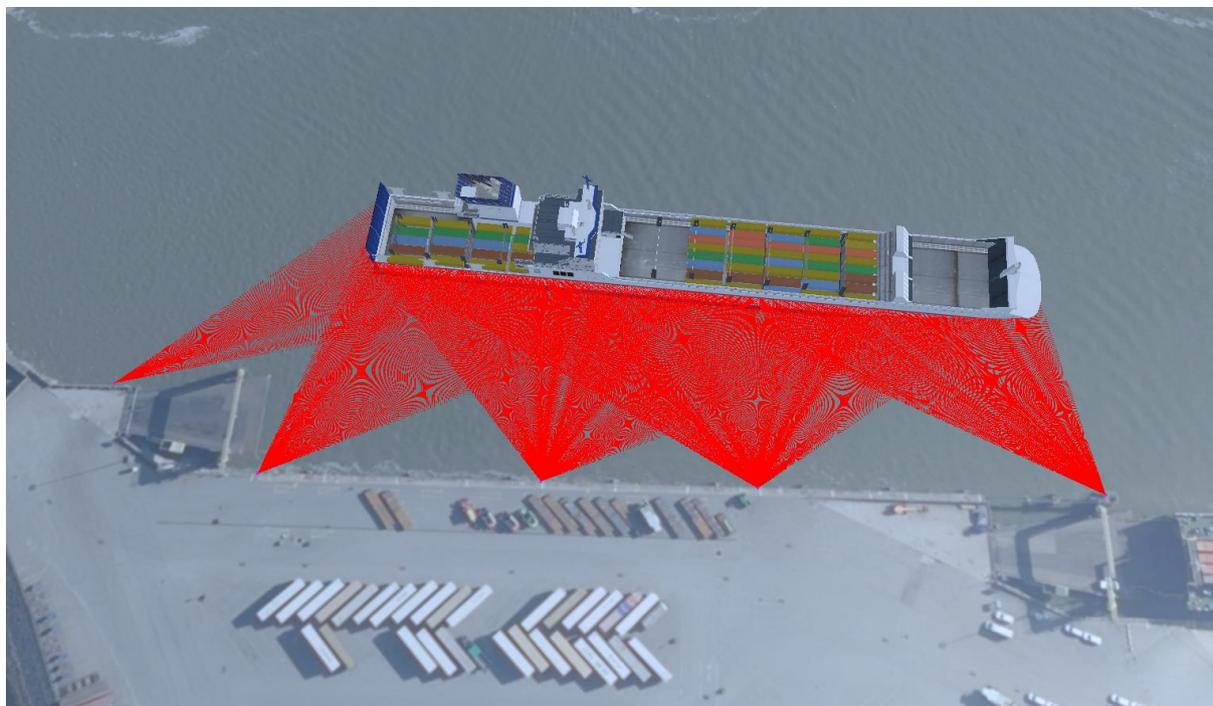


Abbildung 8 Messung in simulierter 3-D Umgebung, Kartenmaterial ist ein Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen ©2023  LGLN

Basierend auf den modellierten Umgebungsobjekten wurde die Laserscanner-Messung simuliert. Innerhalb der Unity Engine wurden Ray-Casts ausgeführt, um die Signale des Sensors abzubilden. Der in Abbildung 3 gezeigte Messprozess, lief wie folgt ab: Zunächst w die 3-D-Szenarien aktualisiert,

die dynamische physische Objekte (Schiffe) und der Wasserstand aktualisiert. Danach wird der Ray-Cast durchgeführt, indem jedes Signal des Laserscanners als Gerade modelliert wird. Die Signale, die auf das Ziel "Wasser" treffen, werden gefiltert, da die entstehenden Reflektionen nicht vom Sensor empfangen werden.

OBJEKT	PARAMETER	BESCHREIBUNG
SCHIFF	MMSI	Eindeutige Referenzierung
	Dimensionen	Länge, Breite und Höhe des Schiffes
	Positionsreferenz	Positionierung der GPS-Referenzposition auf dem Schiff
	Wegpunkte	Position des Schiffes zu einem Zeitpunkt mit Kurs über Grund
SENSORIK	Laserscanner	Definition eines Sensors über Scamuster Position, Rotation und Messfrequenz
UMWELTBEDINGUNGEN	Regen	Regenrate in mm/h
	Sichtweite	Sichtweite in m
	Tide	Wasserstand zu einem definierten Zeitpunkt

Tabelle 2 Szenariendefinition der Simulation

Die Simulationsumgebung ermöglichte das Abspielden von Szenarien automatisiert zur Erzeugung synthetischer Messdaten, hierzu wurde eine standardisierte Szenariodefinition via JavaScript Object Notation (JSON) genutzt, die in Tabelle 2 beschrieben ist.

Zunächst wurden im Szenario Schiffe definiert, anhand der MMSI wurde das passende 3-D Schiffsmodell zugeordnet und die Dimensionen wurden in 3-Achsen skaliert. Weiterhin wurde die Referenzposition der angegebenen Wegpunkte relativ zum Schiffsmodell gesetzt. Für jedes Schiff war eine Liste mit Wegpunkten definiert, die jeweils Zeitstempel, Position und Rotation des Schiffes zu einem definierten Zeitpunkt enthielt. Die Simulationsumgebung interpolierte die Schiffsposition zwischen den Wegpunkten linear, da die Messfrequenz der Sensoren höher als die der Wegpunkte sein kann.

Als nächstes wurde der Sensoraufbau für das Szenario definiert. Hierzu wurden Laserscanner definiert. Zunächst wurde der jeweilige Sensortyp definiert z.B. SmartKai-Sensor im Rahmen des Projektes entwickelt und anschließend wurde dieser über Position und Rotation korrekt platziert und ausgerichtet. Zuletzt wurde die Messfrequenz des Sensors definiert.

Umweltbedingungen, welche die Laserscanner beeinflussen wurden abschließend definiert, hierzu wurden Wettereinflüsse wie Regenrate und Nebel über Sichtweite abgebildet. Zuletzt wurde die Tide modelliert, da aufs Wasser treffende Signale nicht empfangen wrden, mit jeweils einem Zeitstempel und dem zugehörigen Wasserstand. Hier wurde linear zwischen den Zeitpunkten interpoliert.

[Ableitung und Durchführung simulativer Tests](#)

Simulative Tests zielen darauf ab Szenarien abzudecken, die in Realität nicht durchführbar oder mit hohen Risiken oder unverhältnismäßigem Aufwand verbunden sind. Im Kontext von SmartKai stellten sich diese Manöver durch hohe Annäherungsgeschwindigkeiten, steile Anlegewinkel oder Verdeckung durch weitere Schiffe dar. Für die drei betrachteten Anwendungsfälle wurden Testszenarien in Form von Manövern ermittelt und simulativ ausgeführt.

In der Regel werden Testfällen durch einen daten- oder expertengetriebenen Ansatz ermittelt. Im ersten Fall werden Testfälle durch die Analyse historischer Datensätze erhoben. Der zweite Ansatz bezieht Expertenwissen (bspw. Regularien, Interviews, Lehrbücher, etc.) ein, um Testfälle zu definieren. Datengetriebenen Ansätze bieten den Vorteil Testfälle zu erhalten die in der Realität vorkommen, so dass das System annähernd realistischen Situationen ausgesetzt ist. Mit expertengetriebenen Ansätzen hingegen werden Testfälle erzeugt, die in der Realität bisher nicht vorkamen, um die Robustheit und Zuverlässigkeit eines Systems zu gewährleisten. Unter diesen Gesichtspunkten wurden innerhalb des Projektes beide Ansätze verfolgt, um eine möglichst hohe Testabdeckung zu erhalten.

Datengetriebene Szenarienableitung

Das SmartKai System beinhaltet einen UKW-Empfänger für Nachrichten des Automatic Identification System (AIS) mit denen Schiffe ihr statischen (bspw. ID, Schiffsgröße), reisebezogenen (bspw. Tiefgang, Zielhafen) und dynamischen Daten (bspw. Position, Kurs, Geschwindigkeit) übermitteln. Es ist für gewerblich genutzte Schiffe, sowie Schiffe ab einer gewissen Ladegröße vorgeschrieben und wurde zum Zwecke der Kollisionsverhütung eingeführt. Hiermit hatte das SmartKai-System einen Überblick über alle Schiffe die in der Nähe verkehren.

Zum Zwecke der Datenanalyse wurden historische AIS Daten als Ausgangsbasis genutzt, um Anlegemanöver aus dem Datenbestand zu extrahieren. Hierfür wurde eine Datenverarbeitungskette entwickelt, die in der folgenden Grafik visuell dargestellt wird.



Abbildung 9 Datenverarbeitungskette zur Erkennung von Anlegeevents

Im ersten Prozessschritt wurden historische Daten zunächst vorbereitet, indem sie eingelesen und bereinigt werden. An dieser Stelle wurden fehlende Werte ergänzt und Datenausreißer entfernt, um für die darauffolgenden Prozessschritte Daten in einer hohen Qualität zu erhalten. Es folgte die Erkennung von Events, das heißt es wird nach Zeitabschnitten gesucht in denen sich Schiffe in der Nähe einer Kaianlage aufhielten. Für jede betrachtete Kaianlage wurde ein Bereich auf Basis der maximalen Reichweite der LiDAR Sensoren ermittelt. Dies ermöglichte die Extraktion von Events in denen ein Schiff potentiell von den Sensoren erfasst werden kann. Daraufhin erfolgte die Klassifikation der Events, wobei jedem Event eine Bezeichnung zugeordnet wurde. Bezeichnungen und dazugehörige Beschreibungen finden sich in Tabelle 3.

BEZEICHNUNG	BESCHREIBUNG
DURCHFAHRT	Ein Schiff durchquert den festgelegten Bereich. Es fährt an der Kaianlage vorbei ohne an dieser anzulegen.
ANLEGEN	Ein Schiff nähert sich der Kaianlage und legt an dieser an.
STILLSTEHEND	Ein Schiff liegt an der Kaianlage und wird Be- oder Entladen.
ABLEGEN	Ein Schiff verlässt die Kaianlage.

Tabelle 3 Bezeichnungen historischer Events

Für jedes ermittelte Event wurden zusätzliche Metriken zur Bewertung der Situation ermittelt. Dies bezog bspw. die Distanz des Objektes zur Kaianlage, Annäherungsgeschwindigkeiten und Anlegewinkel ein. Weiterhin wurden Umweltdaten einbezogen, wie bspw. die Sichtweite, Wasserstand und Windrichtung/stärke.

Schlussendlich erfolgte das Persistieren der Ergebnisse. Im Projekt wurde auf eine PostgreSQL Datenbank zurückgegriffen, mit der Geometrien effizient gespeichert und verarbeitet werden konnten. Sie enthielt die originalen Werte der AIS Datenquelle und die zusätzlich ermittelte Metriken. Dies ermöglichte die effiziente Suche nach Testfällen für das SmartKai System, indem nach Situationen auf Basis dieser Metriken gesucht werden konnte. Insgesamt konnten somit pro Jahr ca. ~150 Anläufe pro Kaianlage ermittelt werden.

Die vorgestellte Datenverarbeitungskette wurde primär für die Erkennung von An- und Ablegemanöver definiert. Allerdings konnten die Verfahrensschritte ebenfalls für andere Use-Cases adaptiert werden. Das heißt, dass ebenfalls Testfälle für die Hafeneinfahrt und Schleusenanfahrt ermittelt wurden. Die Event Klassifikation beschränkte sich für diese allerdings nur auf die Durchfahrt des Gebietes, so dass ein Schiff das Gebiet von Anfang bis Ende durchqueren muss. Die Gebiete wurden für diese Use-Cases ebenfalls auf Basis der LiDAR Sensor Installationen und Spezifikationen definiert.

Expertengetriebene Szenarienableitung

Die expertengetriebene Szenarienableitung erfolgte durch die Analyse von Systemanforderungen unter dem Einbeziehen von Expertenwissen. Hiermit sollen Szenarien speziell für das zu testende System ermittelt werden, so dass die Zuverlässigkeit des Systems bis zu dessen Grenzen und darüber hinaus ermittelt werden kann. Der hierfür durchgeführte Prozess wird in Abbildung 10 dargestellt.

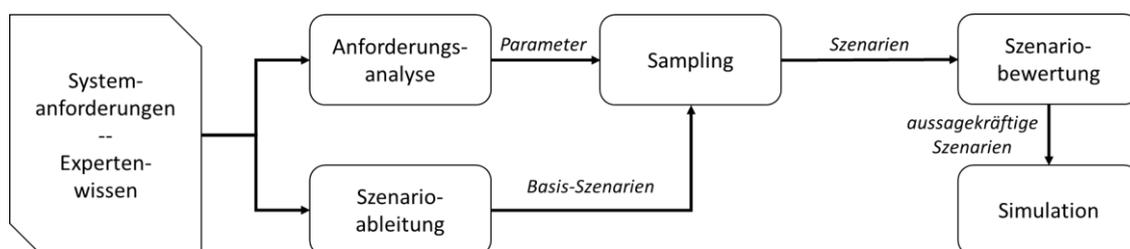


Abbildung 10 Prozess für die expertengetriebene Szenarioableitung

Das Ziel war zunächst aus Expertenwissen Basis-Szenarien abzuleiten. Das bedeutet, dass grundlegende Prozessmodelle für das Durchführen von Anlegemanövern ermittelt wurden. Für jedes Manöver gab es eine Reihe von Parametern die variiert werden können (bspw. Geschwindigkeit, Anlegewinkel). Die konkreten Ausprägungen dieser Parameter wurden auf Basis der Systemanforderungen ermittelt. Basis-Szenarien und Parameter wurden im Sampling Prozess kombiniert. Schließlich wurden Szenarien nach ihrer Aussagekraft für den Testprozess priorisiert und simuliert. Dies ermöglichte es Tests mit einer hohen Fehler-Wahrscheinlichkeit frühzeitig durchzuführen.

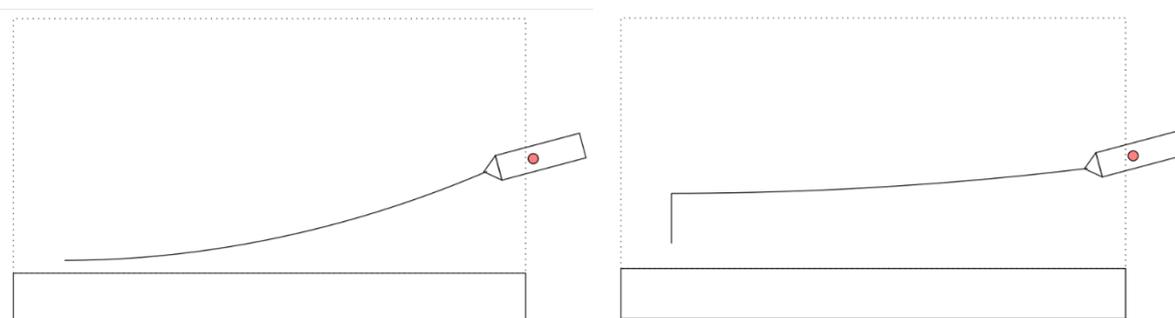


Abbildung 11 Szenariovarianten: Konventionelle (linke) und parallele (rechts) Anlegemanöver

Im Zuge der Erhebung von Basis-Szenarien zeigt Abbildung 11 zwei mögliche Varianten von Anlegemanövern: konventionell und parallel.

Bei der konventionellen Anlegemethode fährt ein Schiff in einem für die Schiffsgröße spezifischen Winkel an die Kaimauer heran. Sobald der Anlegeplatz erreicht wird kommt das Schiff zum Stehen und dreht das Heck an die Kaimauer. Diese Form des Anlegens wird bevorzugt, wenn es die örtlichen Gegebenheiten zulassen und kann ohne Schlepperhilfe durchgeführt werden. Beim parallelen Anlegen begibt sich das Schiff in die Nähe der Kaianlage bis es parallel zum Steg stehen bleibt. Daraufhin bewegt sich das Schiff durch eigene Kraft (durch Bug-/Heckstrahlruder) zur Anlage oder wird mit Hilfe von Schleppern unterstützt. An der RoRo-Brücke in Cuxhaven konnte beobachtet werden, dass dies die bevorzugte Anlegeart der Schiffe ist, da die örtlichen Begebenheiten eine andere Form nicht zulassen. Die RoRo Schiffe benötigen nur unter widrigen Bedingungen (starker Wind, Strömung) die Hilfe von Schleppern.

Damit aus der Szenariobeschreibung konkrete Szenarien abgeleitet werden können, werden Parameter für deren Definition benötigt. Dies wurde im Projekt durch die Analyse der Systemanforderungen durchgeführt. Für die Evaluation wurden die Anforderungen für die Berthing Support Area (BSA) und der Referenzpunkte betrachtet die zusammen die Kernkomponenten von SmartKai darstellen. Aus deren Anforderungen ergeben sich folgende Parameter für die Szenarioerstellung.

Parameter	Beschreibung
Schiffsgröße	Die Größe des Schiffes in Länge und Breite.
Anlegewinkel	Der Anlegewinkel des Schiffes in Abhängigkeit von dessen Größe.
Systemaufbau	Aufbau des Systems an einer Kaianlage (Geometrie der Infrastruktur, Anzahl und Position der Sensoren).
Umweltbedingungen	Vorherrschende Umweltbedingungen die einen Einfluss auf die LiDAR Sensorik und die Erkennung des Schiffes haben (Nebel, Regen, Tide).

Tabelle 4 Parameter für die Definition eines Szenarios

Neben den Parametern wurden zusätzlich Abhängigkeiten zwischen diesen identifiziert. Somit ist der Anlegewinkel eines Schiffes abhängig von der Schiffsgröße. Ebenfalls ist der Systemaufbau abhängig von Schiffsgröße, da die Position der Sensoren auf diese abgestimmt wird.

Basierend auf den Parametern und deren Abhängigkeiten wurden konkrete Szenario Ausprägungen generiert. Die Szenarien beschränken sich hierbei allerdings auf den Aufbau in Cuxhaven und die Schiffsgröße wurde auf die Größe der RoRo Schiffe angepasst (DFDS-Fähren). Somit wurden lediglich der Anlegewinkel und die Umweltbedingungen variiert. Dennoch erzeugt die Kombination dieser Parameter eine hohe Anzahl von Testfällen, so dass die Ausführung aller möglicher Varianten nicht praktikabel ist. Darüber hinaus bieten einige Testfälle möglicherweise keinen Mehrwert für die Evaluation des Systems (vgl. Anlegewinkel $14^\circ \leftrightarrow 15^\circ$). Daher wurde ein Maß zur Bewertung der Signifikanz von Testfällen für das System entwickelt. Ziel der SmartKai-Evaluierung ist es, das System gegen mögliche Fehler abzusichern, um die Robustheit und Funktionssicherheit des Systems zu gewährleisten. Daher sind die Testfälle, bei denen ein erhöhtes Risiko von Fehlverhalten auftreten kann signifikant. Mit dem Maß wird daher die Wahrscheinlichkeit ob ein Systemfehler durch einen Testfall auftreten wird bewertet. Das Maß dient anschließend zur Sortierung der Testfälle. So werden hoch relevante Testfälle vor weniger relevanten getestet, so dass Fehler frühzeitig erkannt werden (Early-Failure-Heuristic).

SmartKai basierte hauptsächlich auf der LiDAR-Technologie und war auf Punktdichte angewiesen (vgl. BSA). Daher wurde zur Bewertung der Testfälle für SmartKai die LiDAR-Ausleuchtung als Maß verwendet.

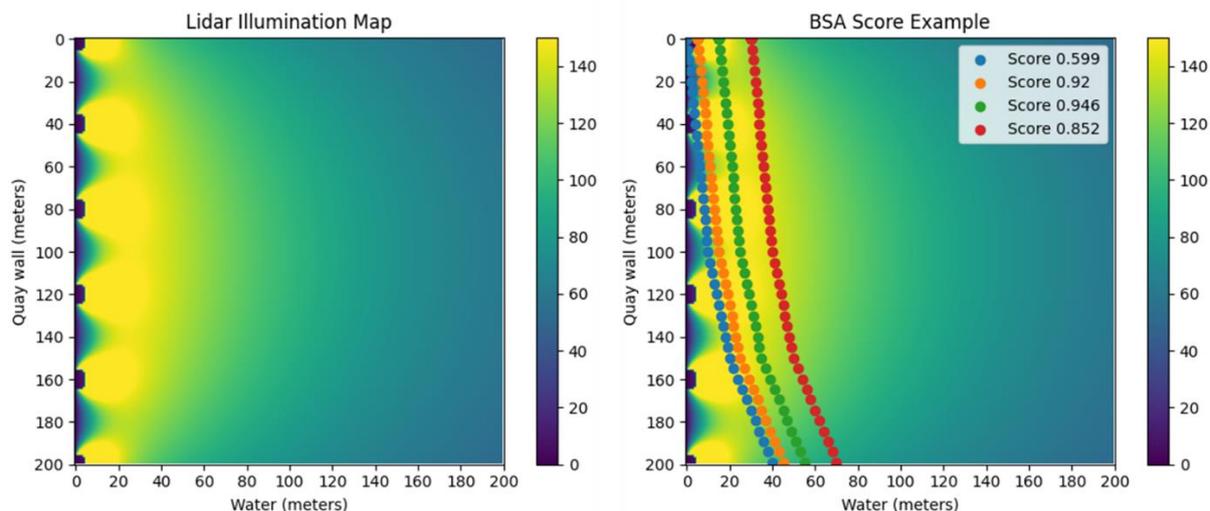


Abbildung 12 LiDAR-Ausleuchtungskarte (links) und exemplarische Testfallbewertung (rechts)

Abbildung 12 (links) zeigt die LiDAR-Beleuchtung auf der Grundlage des LiDAR-Setups des Systems in Cuxhaven. Vor den Sensoren ist die Punktdichte hoch, während sie abnimmt, wenn ein Schiff weiter von der Kaimauer entfernt ist. Blinde Flecken sind an den Sensorpositionen zu erkennen, da jeder Sensor einen Mindestabstand hatte. Befindet sich ein Objekt näher als dieser, wird der Sensor keine Messungen melden. Tote Winkel gab es auch zwischen den Sensoren, wo ein Objekt aufgrund des Öffnungswinkels eines Sensors nicht erkannt werden konnte. Der schlechteste Fall für das SmartKai-System wäre, wenn ein Objekt nicht erkannt werden kann. Die Messung der Signifikanz bestand also darin, wie gut das Objekt innerhalb eines Szenarios auf der Grundlage dieser Karte gesehen werden konnte. Für jedes generierte Szenario wurde also die Schiffstrajektorie mit der Beleuchtungskarte verglichen und die daraus resultierende Punktzahl gemessen. Für jeden Punkt innerhalb einer Trajektorie wurde die Punktzahl innerhalb der Beleuchtungskarte bestimmt. Dann wurde der Durchschnittswert berechnet und als Punktzahl verwendet. Ein Beispiel für diese Signifikanzmetrik ist in Abbildung 12 (rechts) dargestellt, in der eine kleine Anzahl von Trajektorien dargestellt ist. Eine Trajektorie mit einem geringen Abstand zur Kaimauer erhielt eine niedrige Punktzahl, da sich das Schiff durch Bereiche mit einer geringen Punktdichte bewegt. Analog dazu erhielten Trajektorien, die weit von der Kaimauer entfernt sind, ebenfalls eine niedrige Punktzahl. Hohe Punktzahlen wurden berechnet, wenn ein Schiff durch einen Bereich fuhr, der von allen Sensoren gleichzeitig gesehen wurde.

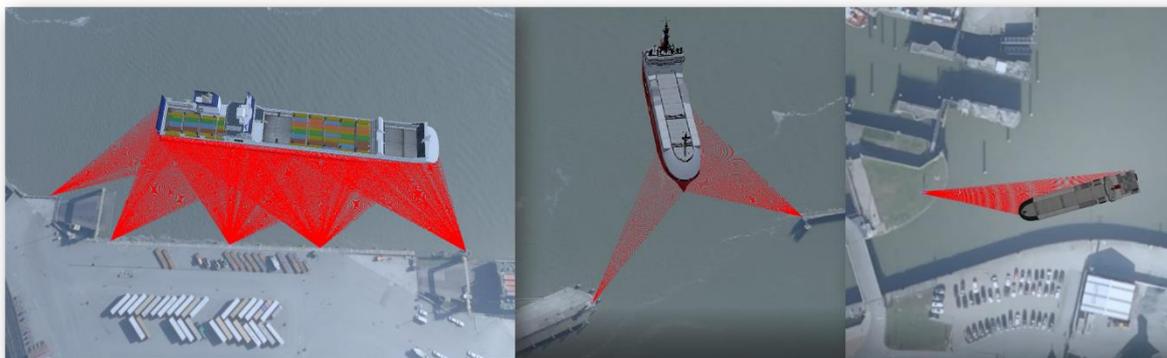


Abbildung 13 Simulation Anwendungsfälle, Kartenmaterial ist ein Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen ©2023 LGLN

Die generierten Szenarien wurden in die entwickelte Simulationsumgebung eingespielt. Hier wurden die drei Anwendungsfälle virtuell abgebildet (dargestellt in Abbildung 13). Mithilfe der virtuellen Abbildung wurden synthetische Messdaten generiert, auf deren Basis der Sensoraufbau durch die Variation der Anzahl und Positionen der Sensoren optimiert wurde.

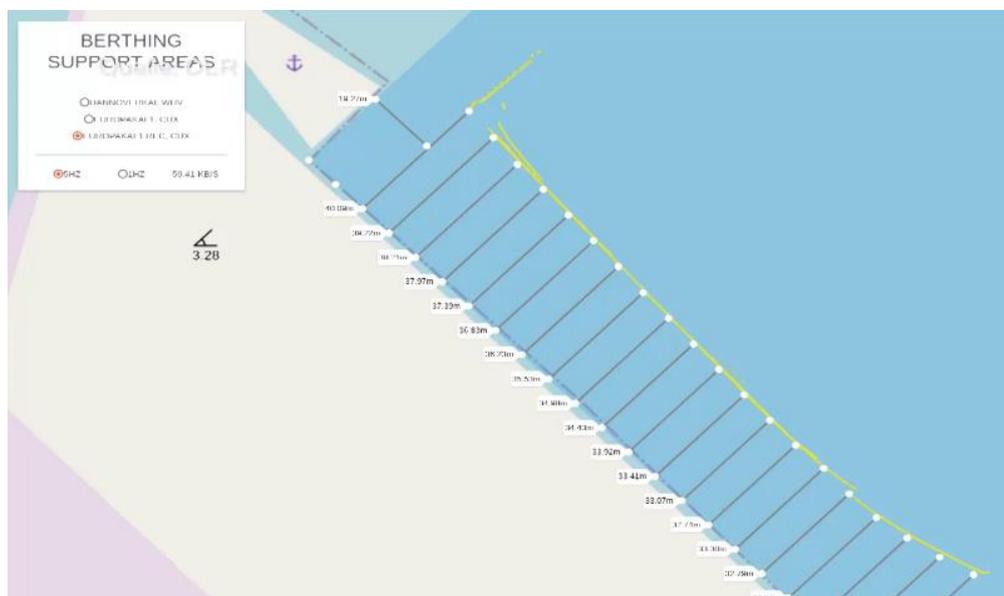


Abbildung 14 SmartKai Anzeige (Mock-Up) (Kartenmaterial: OpenStreetMap und OpenSeaMap)

Zusätzlich wurden diese Messdaten genutzt, um sie in Designs der SmartKai Benutzeroberfläche (Abbildung 14) einzuspielen und mithilfe von Experten iterativ Feedback zur Datengrundlage und zur Visualisierung der Daten einzuholen. Zum Aufbau der Benutzeroberfläche und den dargestellten Daten wurde Feedback von Lots/innen und Hafenkaptän/innen eingeholt, um diese iterativ weiterzuentwickeln.

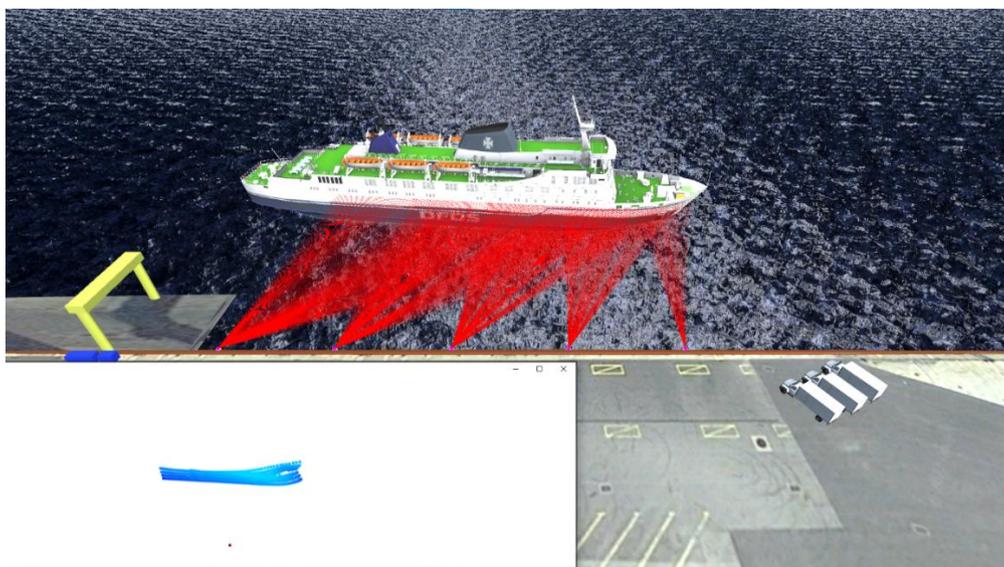


Abbildung 15 Simulation Europakai

Die simulative Abbildung des Systems (Abbildung 15) und Auswirkungen auf die präsentierten Daten zur Nutzung als Assistent wurden Experten (Lots/innen und Hafenkaptän/innen) während verschiedenen Stadien des Projektes präsentiert, um hier eine iterative Weiterentwicklungen verfolgen zu können. Das Feedback wurde dann in die weitere Entwicklung der Benutzeroberfläche und der des Sensoraufbaus eingearbeitet.

Arbeitspaket 8: Koordination der Evaluierung: Demonstration des Systems im Hafentestfeld mit kontinuierlichem Verbesserungsprozess

Dieses Arbeitspaket wurde aufgrund laufender Schutzrechtsanmeldungen zurückgehalten und als Teil des Evaluationsberichts gemeldet.

Arbeitspaket 9: Publizieren der Ergebnisse, Dokumentation und Analyse der Übertragung auf andere Häfen

Zielsetzung AP9:

- Aufarbeitung wirtschaftlich-technischer Kenndaten und Evaluation des Übertragungspotenzials
- Anwendungsdokumentation für Nutzer/innen und Hafengebiete
- Endergebnisse kommunizierbarer Einzelmaßnahmen
- Erreichung wesentlicher Projektmeilensteine

Zielerreichung AP9:

Evaluation des Übertragungspotentials

Im Rahmen der Ermittlung weiterer Anwendungen für das SmartKai System im Hinblick auf das Übertragungspotential wurden unter Leitung von NPorts Gespräche mit dem Hafenkaptän/innen der Standorte Wilhelmshaven, Brake und Emden geführt. Hier wurden weitere Anwendungen identifiziert, in denen SmartKai bei Manövern im Kontext der Annäherung an Hafeninfrastruktur unterstützen kann. Zum einen für die Niedersachsenbrücke in Wilhelmshaven sowie den neu entstehenden Anleger für verflüssigte Gase, die Südpier in Brake und die RoRo-Liegeplätze sowie die Seeschleuse in Emden.

Schnittstellendokumentation für Anwendungssoftware (Spezifikation Backenddienste)

Das Backend stellt der Anwendungssoftware verschiedene Nachrichtentypen zur Verfügung. Diese Nachrichtentypen beschreiben den Liegeplatz, die statische Infrastruktur der Kaianlage, die verwendete Sensorik und stellen die Sensordaten bereit.

Zur Abbildung mehrerer Liegeplätze und verschiedener gleichartiger Sensorik werden die Nachrichten auf verschiedenen Pfaden innerhalb des Backends zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht eine logische Gruppierung und Trennung der Nachrichten und erlaubt es der Softwareentwicklung für das User-Interface lediglich die Nachrichten anzufragen, die auch notwendig sind.

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 Konferenzen aus der maritimen Domäne gewählt um entsprechende Stakeholder direkt anzusprechen.

Wissenschaftliche Beiträge:

DATUM	PUBLIKATION	AUTOREN	TITEL	DOI
NOVEMBER 2020	International Conference on Human-Computer Interaction	Falk, Michael & Saager, Marcel & Harre, Marie-Christin & Feuerstack, Sebastian	Augmented Berthing Support for Maritime Pilots Using a Shore-Based Sensor Infrastructure	10.1007/978-3-030-60703-6_71
MÄRZ 2022	Journal of Marine Science and Engineering - Advances in	Mentjes, Jan & Wiards, Hilko & Feuerstack, Sebastian	Berthing Assistant System Using Reference Points	10.3390/jmse10030385

	Navigability and Mooring			
DEZEMBER 2022	Journal of Marine Science and Engineering - Maritime Security and Risk Assessments	Jankowski, Dennis & Möller, Julius & Wiards, Hilko & Hahn, Axel	Decentralized Documentation of Maritime Traffic Incidents to Support Conflict Resolution	10.3390/jmse10122011

Fachkonferenzen:

DATUM	KONFERENZ	AUTOREN	TITEL
OKTOBER 2020	<i>Autonomous Inland and Short Sea Shipping Conference (AISS)</i>	Mentjes, Jan & Wiards, Hilko & Feuerstack, Sebastian & Hahn, Axel	<i>SmartKai: An assistant system to prevent damage to ships and port infrastructure</i>
NOVEMBER 2021	<i>Autonomous Inland and Short Sea Shipping Conference (AISS)</i>	Nagarajan, Aparna & Mentjes, Jan & Feuerstack, Sebastian	<i>SmartKai: LIDAR Based Real-Time Detection and Tracking of Moving Objects in Maritime Environments</i>
JUNI 2022	<i>Kongress der Hafentechnischen Gesellschaft (HTG)</i>	Wiards, Hilko & Wuczkowski, Matthäus & Feuerstack, Sebastian	<i>SmartKai – Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur</i>
JUNI 2022	<i>European Workshop on Maritime Systems Resilience and Security (MARESEC)</i>	Bathmann, Marvin & Feuerstack, Sebastian	<i>Validation of a probabilistic Model for the consideration of Rain and Target Reflection Effects within Maritime 3D LIDAR Simulations</i>
NOVEMBER 2022	<i>Maritimes Cluster Norddeutschland - Intelligente Umweltwahrnehmung - Sensorik und KI in Schiffahrt und Logistik</i>	Wiards, Hilko	<i>SmartKai – Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur</i>
MÄRZ 2023	<i>BAW Kolloquium - Digitalisierung in der Binnenschiffahrt – Herausforderungen und aktuelle Entwicklungen</i>	Feuerstack, Sebastian & Mentjes, Jan	<i>März 2023 - BAW Kolloquium Feuerstack, Sebastian & Mentjes, Jan Validierung von sensorbasierten</i>

			<i>Assistenzsystemen am Beispiel von SmartKai</i>
MAI 2023	<i>GreenShipping Niedersachsen - Digitalisierung in Häfen</i>	Höpcke, Jürgen & Feuerstack, Sebastian	<i>SmartKai – Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur</i>

Erfindungsmeldungen:

Weiterhin wurden im Rahmen der Projektlaufzeit zwei Erfindungsmeldungen im Rahmen von SmartKai vorangetrieben.

- ASSISTANCE INSTALLATION AND METHOD FOR ASSISTING VESSELS IN MANEUVERING AT BERTHING – US 18/173,465
- EINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN ERKENNUNG UND DOKUMENTATION VON GEFAHRENSITUATIONEN IM SCHIFFSVERKEHR – DE 10 2023 113 470.1

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der wesentliche Teil der Kosten in SmartKai ist durch Personalausgaben entstanden, wie in Tabelle 5 ersichtlich ist.

Tabelle 5 - Entstandene Kosten nach Kostenart

KOSTENART	AUSGABEN
PERSONALKOSTEN	671.882,16 €
MATERIAL	1.988,40 €
REISEKOSTEN	4.408,23 €
ABSCHREIBUNGEN AUF VORHABENSPEZIFISCHE ANLAGEN	911,00 €
SONSTIGE UNMITTELBARE VORHABENKOSTEN	8.033,32 €
GESAMT	687.223,11 €

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durch das DLR durchgeführten Forschungsarbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen im Projekt SmartKai 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 SmartKai 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.

Der in diesem Projekt gewonnene Wissensaufbau im Bereich der realistischen Anlege- und Verkehrssituationen im Hafengebiet ist somit eine Grundlage für den weiteren Aufbau eines Katalogs mit kritischen, zu testenden Szenarien im simulativen Reallabor. Die Forschungsergebnisse zur

Lagebilderstellung und Integration heterogener Sensorik an in Hafengebieten bieten damit die Möglichkeit auch zukünftige Fragestellungen im Themenfeld der Autonomik zu adressieren.

Aufgrund des rückgemeldeten Feedbacks von Lots/innen, Häfen und Kapitän/innen beschloss das Projektteam des DLR sich auf eine Förderung im Rahmen des EXIST-Forschungstransfers zu bewerben und eine Ausgründung auf Basis der SmartKai Projektergebnisse anzustreben. Diese Förderung konnte erfolgreich beantragt werden und wurde im September 2023 gestartet.

Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens

Im Laufe des Projekts wurden wir auf das Projekt DigitalSOW aufmerksam. Dieses Vorhaben hat das Ziel, ein digitales Testfeld für das automatisierte und vernetzte Fahren auf der Spree-Oder-Wasserstraße zu errichten. Im Unterschied zu dem hier beschriebenen Projekt liegt dort ein großer Fokus auf der Nutzung schiffsseitiger Sensorik, dem automatisierten Anlegen und den speziellen Herausforderungen der Binnenschifffahrt.

Des Weiteren erschien die Special Issue Serie „Advances in Navigability and Mooring“ des *Journal of Marine Science and Engineering*, bei der wir im März 2023 einen wissenschaftlichen Beitrag veröffentlichen konnten.

Im Rahmen der IHATEC/DigiTest Vernetzungskonferenz 2022 haben wir Kontakt zum DigiTest-Projekt SAMS aufnehmen können und auch ein Treffen der Projekte in Cuxhaven durchgeführt. Dabei konnten die Unterschiede und Vor- und Nachteile der beiden Ansätze besprochen werden. Im Unterschied zu SmartKai liegt hier ein stärkerer Fokus auf der Stromkaje und den Kräften auf die Kaianlage im Moment des Anlegemanövers, während SmartKai durch das Setup der Sensorik in der Lage ist Assistenz bei der Einfahrt in den Hafen und dem Anlegen an RoRo Liegeplätzen zu liefern.

Erfolgte Veröffentlichungen

Veröffentlichungen

November 2020

Falk, Michael & Saager, Marcel & Harre, Marie-Christin & Feuerstack, Sebastian. (2020).
Augmented Berthing Support for Maritime Pilots Using a Shore-Based Sensor Infrastructure
10.1007/978-3-030-60703-6_71.

März 2022 – *Journal of Marine Science and Engineering*

Mentjes, Jan & Wiards, Hilko & Feuerstack, Sebastian

Berthing Assistant System Using Reference Points

10.3390/jmse10030385

Dezember 2022 - *Journal of Marine Science and Engineering*

Jankowski, Dennis & Möller, Julius & Wiards, Hilko & Hahn, Axel

Decentralized Documentation of Maritime Traffic Incidents to Support Conflict Resolution

10.3390/jmse10122011

Konferenzen

Oktober 2020 - AISS

Mentjes, Jan & Wiards, Hilko & Feuerstack, Sebastian & Hahn, Axel

SmartKai: An assistant system to prevent damage to ships and port infrastructure

November 2021 - AISS

Nagarajan, Aparna & Mentjes, Jan & Feuerstack, Sebastian

SmartKai: LIDAR Based Real-Time Detection and Tracking of Moving Objects in Maritime Environments

Juni 2022 – HTG 2022

Wiards, Hilko & Wuczkowski, Matthäus & Feuerstack, Sebastian

SmartKai – Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur

Juni 2022 – MARESEC 2022

Bathmann, Marvin & Feuerstack, Sebastian

Validation of a probabilistic Model for the consideration of Rain and Target Reflection Effects within Maritime 3D LIDAR Simulations

November 2022 – *Maritimes Cluster Norddeutschland - Intelligente Umweltwahrnehmung - Sensorik und KI in Schifffahrt und Logistik*

Wiards, Hilko

SmartKai – Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur

März 2023 - BAW Kolloquium

Feuerstack, Sebastian & Mentjes, Jan

Validierung von sensorbasierten Assistenzsystemen am Beispiel von SmartKai

Mai 2023 – *GreenShipping Niedersachsen*

Höpcke, Jürgen & Feuerstack, Sebastian

SmartKai – Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur

Videobeiträge

Anti-collision Systems for Ships | Sensor Ocean 2021 | SICK Sensor Intelligence

<https://www.youtube.com/watch?v=OLPD0WyWcYM>

SmartKai – digitale „Einparkhilfe“ für Schiffe | DLR

<https://www.youtube.com/watch?v=3sS-JCXdLJk>

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel SmartKai - Ein Assistenzsystem zur Prävention von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Wiards, Hilko; Bathmann, Marvin; Mentjes, Jan; Feuerstack, Sebastian	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2023	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) DLR e.V. – Institut Systems Engineering für zukünftige Mobilität, Escherweg 2, 26121 Oldenburg	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Digitales und Verkehr Invalidenstraße 44 D-10115 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	10. Förderkennzeichen 19H19008E
	11. Seitenzahl 30	
	13. Literaturangaben 9	14. Tabellen 5
15. Abbildungen 15		16. Zusätzliche Angaben
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Das SmartKai - Projekt sieht vor, ein schiffsunabhängiges Anlegeassistenzsystem zu entwickeln, welches die sichere Navigation zur Vermeidung von Beschädigungen an der Hafeninfrastruktur (Schleusen, Kaianlagen, Piere etc.) und Schiffen ermöglicht. Im Rahmen dieses Digitalisierungsprojektes wird in Wilhelmshaven und Cuxhaven ein neuartiger Sensor entwickelt und an Land an unfallträchtigen Stellen im Hafenbecken, der Schleuse und einem Kai installiert. Damit Lotsen, Schiffskapitäne und Hafenskapitäne diese Informationen für eine sichere Navigation nutzen können, stellen insbesondere die Mensch-Maschine-Interaktion und die Gestaltung einer geeigneten Benutzeroberfläche eine große Herausforderung dar. Mit Hilfe der eMIR-Technologieentwicklungsplattform erfolgt die Integration der lokal verteilten Sensorquellen sowie die Validierung und Evaluierung des Systems.		
19. Schlagwörter Verifikation, Validierung, LiDAR, Datenstrommanagement, Simulation		
20. Verlag	21. Preis	

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Report
3. title SmartKai - Ein Assistenzsystem zur Prävention von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastruktur	
4. author(s) (family name, first name(s)) Wiards, Hilko; Bathmann, Marvin; Mentjes, Jan; Feuerstack, Sebastian	5. end of project 31.05.2023
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) DLR e.V. – Institut Systems Engineering für zukünftige Mobilität, Escherweg 2, 26121 Oldenburg	9. originator's report no.
	10. reference no. 19H19008E
	11. no. of pages 30
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Digitales und Verkehr Invalidenstraße 44 D-10115 Berlin	13. no. of references 9
	14. no. of tables 5
	15. no. of figures 15
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The SmartKai project aims to develop a ship-independent mooring assistance system that enables safe navigation to avoid damage to port infrastructure (locks, quays, piers, etc.) and ships. As part of this digitization project, a new type of sensor is being developed in Wilhelmshaven and Cuxhaven and installed on land at accident-prone locations in the harbor basin, the lock and a quay. In order for pilots, ship captains and port captains to be able to use this information for safe navigation, the human-machine interaction and the design of a suitable user interface in particular represent a major challenge. The eMIR technology development platform is used to integrate the locally distributed sensor sources and to validate and evaluate the system.	
19. keywords Verification, validation, LiDAR, data stream management, simulation	
20. publisher	21. price