

LEAS

**Landseitige Entscheidungsempfehlungen für Verkehrslagen mit
hochautomatisierten bzw. autonomen Schiffen**

Teilvorhaben: Entscheidungsunterstützung und Mensch-Maschine-Interaktion

ABSCHLUSSBERICHT

FKZ: 13N16246

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 – 30.04.2025

Lilian Befort
Florian Motz
Christina Schäfer
Anastasia Schwarze
Thomas Stach
Paul Koch
Manfred Constapel
Hans-Christoph Burmeister

Wachtberg, Oktober 2025

Inhaltsverzeichnis

A. Aufgaben und Projektdurchführung	4
A.1 Aufgabenstellung	4
A.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand	4
A.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
A.4 Vorgehen Arbeitspaket 1	8
A.4.1 Ist-Analyse Verkehrsüberwachung (AP 1.1).....	8
A.4.2 Ist Analyse Daten (AP 1.2).....	9
A.5 Vorgehen Arbeitspaket 2	9
A.5.1 Sollprozesse Gemischter Verkehre (AP 2.1).....	9
A.5.2 Anforderungen an Daten (AP 2.2).....	9
A.5.3 Verkehrsszenarien Spezifikation (KI-Anforderungen) (AP 2.3).....	10
A.5.4 Datenflussmodell, -konzept und-aufbau (AP 2.4).....	10
A.5.5 Systemarchitektur (AP 2.5).....	10
A.6 Vorgehen Arbeitspaket 3	10
A.6.1 Spezifikation der HMI-Anforderungen (AP 3.1).....	10
A.6.2 Umsetzung der HMI-Anforderungen in Mock Ups (AP 3.2).....	11
A.6.3 Evaluation und iterative Weiterentwicklung (AP 3.3).....	11
A.6.4 Anforderungskatalog HMI (AP 3.4).....	12
A.7 Vorgehen Arbeitspaket 4	12
A.7.1 Datenaufbereitung und -fusion (AP 4.1).....	12
A.7.2 Gefahreneskalation (KI-Modul 2) (AP 4.3).....	13
A.7.3 Anomalie-Detektion (KI-Modul 3) (AP 4.4).....	13
A.8 Vorgehen Arbeitspaket 5	13
A.8.1 Aufsetzen des Demonstrators für das Frontend (AP 5.1).....	13
A.8.2 Zusammenführung der KI-Module in die Demonstratoren (AP 5.2).....	14
A.8.3 Demonstrator KI-basierte Module zur Entscheidungsunterstützung mit innovativem HMI (AP 5.3).....	14
A.9 Vorgehen Arbeitspaket 6	14
A.9.1 Spezifikation Untersuchungsplan (AP 6.2).....	14
A.9.2 Evaluierung KI-Demonstrator in Simulationsuntersuchungen und Evaluierung der operationellen Anforderungen und der HMI-Usability (AP 6.3).....	15
A.10 Vorgehen Arbeitspaket 7	17
A.10.1 Akzeptanz (AP 7.1).....	17
A.11 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	17

B. Projektergebnisse	19
B.1 Ergebnisse in Arbeitspaket 1.....	19
B.1.1 Ist Analyse Verkehrsüberwachung (AP 1.1).....	19
B.1.2 Ist Analyse Daten (AP 1.2)	20
B.2 Ergebnisse in Arbeitspaket 2.....	20
B.2.1 Sollprozesse Gemischter Verkehre (AP 2.1).....	20
B.2.2 Anforderungen an Daten (AP 2.2)	21
B.2.3 Verkehrsszenarien Spezifikation (KI-Anforderungen) (AP 2.3).....	21
B.2.4 Datenflussmodell, -konzept und-aufbau (AP 2.4).....	21
B.2.5 Systemarchitektur (AP 2.5)	21
B.3 Ergebnisse in Arbeitspaket 3.....	21
B.3.1 Spezifikation der HMI-Anforderungen (AP 3.1).....	21
B.3.2 Umsetzung der HMI-Anforderungen in Mock Ups (AP 3.2).....	22
B.3.3 Evaluation und iterative Weiterentwicklung (AP 3.3).....	22
B.3.4 Anforderungskatalog HMI (AP 3.4)	22
B.4 Ergebnisse in Arbeitspaket 4.....	22
B.4.1 Datenaufbereitung und -fusion (AP 4.1).....	22
B.4.2 Anomalie-Detektion (KI-Modul 3) (AP 4.4)	22
B.5 Ergebnisse in Arbeitspaket 5.....	23
B.5.1 Aufsetzen des Demonstrators für das Frontend (AP 5.1)	23
B.5.2 Zusammenführung der KI-Module in die Demonstratoren (AP 5.2)	23
B.5.3 Demonstrator KI-basierte Module zur Entscheidungsunterstützung mit innovativem HMI (AP 5.3).....	23
B.6 Ergebnisse in Arbeitspaket 6.....	23
B.6.1 Spezifikation Untersuchungsplan (AP 6.2)	23
B.6.2 Evaluierung KI-Demonstrator in Simulationsuntersuchungen und Evaluierung der operationellen Anforderungen und der HMI-Usability (AP 6.3).....	23
B.7 Ergebnisse in Arbeitspaket 7.....	25
B.7.1 Akzeptanz (AP 7.1)	25
B.8 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	27
B.9 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	27
B.10 Verwertung	27
B.11 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	28
B.12 Veröffentlichungen im Rahmen des Projekts.....	28
C. References.....	29
D. Abkürzungsverzeichnis	31
E. Anlagen.....	32

E.1 Hierarchische Aufgabenanalyse	32
E.2 Akzeptanzmodell	33

A. Aufgaben und Projektdurchführung

A.1 Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Automatisierung steht auch die maritime Welt vor einem Wandel. Betroffen ist nicht nur die Umstrukturierung einzelner Bordsysteme durch neu eingeführte Technologien, sondern die gesamte Schiffssteuerung. Eine Weiterentwicklung von teil- über hoch- bis hin zu vollautomatisierten und autonomen Schiffen wird derzeit weltweit erforscht und in prototypischen Entwicklungen umgesetzt.

Ein solches Konglomerat aus verschiedenen Automatisierungsgraden – von vollständig manuellen bis hin zu vollständig selbstständigen Fahrzeugen – führt potenziell zu einer starken Komplexitätszunahme. Missverständnisse, Verhaltensunterschiede und Kommunikationsbarrieren können zu unvorhergesehenen Sicherheitsrisiken führen.

Bisher wenig Beachtung wird der technischen und operationellen Integration solcher Schiffe in die maritime Verkehrssicherung geschenkt. Darüber hinaus ist die maritime Verkehrssicherung mit Herausforderungen konfrontiert durch zunehmenden Verkehr, Einschränkung der Verkehrsfläche durch Offshore-Installationen und Zunahme großer Einheiten.

Umgekehrt können die Möglichkeiten künstlicher Intelligenz zur Entschärfung von Gefahren reichen, beispielsweise durch die erleichterte und frühzeitige Erkennung kritischer Situationen und die Bereitstellung geeigneter Lösungsvorschläge.

Derzeit sorgen unter anderem maritime Verkehrszentralen (VKZ) für die Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs zu Wasser. Sie überwachen insbesondere in Küstengebieten den Verkehr von Land aus, geben Hinweise an Nautikerinnen und Nautiker und ergreifen bei Bedarf auch Maßnahmen. Aktuell geschieht dies allerdings noch auf Basis konventioneller und regelbasierter Systeme.

Um die Arbeit der VKZ-Operateure zu unterstützen, soll ihnen im Rahmen des Forschungsprojekts LEAS ein KI-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem zur Seite gestellt werden. Auf Grundlage intelligenter Berechnungen und unter Berücksichtigung verschiedener (Schiffs-)Parameter soll es, neben einer verbesserten Gefahrendetektion, auch für eine bessere Entscheidungsfindung durch das Vorschlagen möglicher Handlungsempfehlungen sorgen.

Als Schnittstelle zwischen KI und Operateuren soll eine zielgerichtete Benutzungsoberfläche dienen, welche die Entscheidungsträger in den VKZ in unvorhergesehenen und komplexen Situationen unterstützt. Ein nutzerzentrierter und ergonomischer Entwicklungsansatz zielt darauf ab, die Bedienfreundlichkeit und Verständlichkeit zu optimieren. Ferner soll dieser sicherstellen, dass integrierte Funktionalitäten und Informationen förderlich und erwünscht sind, während gleichzeitig keine relevanten Aspekte vernachlässigt werden.

Zuletzt sollen die Designentwürfe und Erkenntnisse überprüft und so adaptiert werden, dass sie nicht nur auf einer Desktop-, sondern auch in einer Webanwendung funktionstüchtig sind. Dadurch ist es möglich, die Services kostengünstig und überregional zur Verfügung zu stellen und sie an die infrastrukturellen Gegebenheiten des jeweiligen Seegebiets anzupassen.

A.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Unterstützungssysteme in Verkehrszentralen

Die Thematik der Automatisierung, unter anderem der (teil-)autonome Verkehr, gewinnt flächendeckend an Bedeutung. Das gilt auch für maritime Entwicklungen und wird beispielsweise am steigenden Automatisierungsgrad der wesentlichen navigationsrelevanten Funktionen deutlich.

Mit der Initiative „e-Navigation“ strebt die International Maritime Organisation (IMO) die Harmonisierung der schiffsseitigen Navigationssysteme mit den unterstützenden landseitigen Organisationen an. Es wurde begonnen, das internationale Regelwerk auf die Übertragbarkeit auf die autonome Schifffahrt zu überprüfen. In der Folge gibt es eine Reihe nationaler, internationaler

sowie EU-geförderter Projekte, die zu verbesserten Entscheidungsunterstützungssystemen und Automatisierungshilfen an Bord beitragen sollen. Vorhaben, die sich dagegen mit der Behandlung operationeller Prozeduren und der landseitigen Unterstützung aus den Entwicklungen folgender Verkehrslagen beschäftigen, sind nicht bekannt.

Die populärsten und wichtigsten landgestützten Elemente zur Gewährleistung der operativen Sicherheit des maritimen Transportsystems sind die zuvor erwähnten weltweit eingerichteten VTS-Zentren. Diese sollen die Sicherheit und Leichtigkeit des Seeverkehrs in den überwachten Gewässern gewährleisten. Weitere Dienste, z.B. zur Verkehrscoordination, werden darüber hinaus von privaten Betreibern zur Verfügung gestellt. Einige Reedereien betreiben eigene FOC (Fleet Operation Center). Während VKZ eigene Sensorik (Radar, AIS) und öffentlich zugängliche Schiffsdaten nutzen, basieren FOCs auf den Daten der Bordsensorik. VTS und FOC arbeiten unabhängig voneinander.

Dem VKZ-Operateur stehen klassische Lagedarstellungssysteme für die Beurteilung der Verkehrssituation zur Verfügung, welche Schiffspositionen und Schiffsbewegungen (Kurs, Geschwindigkeit) auf einem seekartenbasierten Hintergrund darstellen. Über AIS stehen weitere dynamische, schiffbezogene und reisebezogene Informationen zur Verfügung. Die Informationen werden ergänzt mit Meldedaten und Informationen, die über UKW-Kommunikation abgefragt werden. Auf der Grundlage dieser Informationen beurteilen VKZ-Operateure aktuelle und sich entwickelnde Verkehrssituationen hinsichtlich bestehender oder potentieller Risiken und Gefahren. Per UKW werden relevante Mitteilungen und Empfehlungen an Schiffe weitergegeben. Im Notfall kann situationsgerecht auf den Verkehr eingewirkt werden. Die Lagebeurteilung erfolgt einzig auf Interpretation der Schiffsbewegungen in Kombination mit den ergänzenden Informationen, wie auch über Alarmierung bei kritischen Annäherungen. Eine intelligente Entscheidungsunterstützung zur Beurteilung der Verkehrslage gibt es nicht.

KI-Lösungen in der Schifffahrt

„Artificial Intelligence is everywhere“ [2]. Der Fokus von KI-Systemen liegt allerdings aktuell auf schiffsspezifischen Entwicklungen zur Reduktion von Treibstoffen und Emissionen [3, 4], zur Prognose von Schiffsbewegungen, zur Optimierung von Routen, zur effizienten Ankündigung von Wartungsarbeiten [5] oder zur Verbesserung der Luftreinhaltung im Hafen [6]. Im Bereich autonomer Schifffahrt arbeiten beispielsweise „ASV Unmanned“, „Maritime Robotics“, „SeaMachineRobotics“ oder „Rolls-Royce“ an ersten Implementierungen an Kleinfahrzeugen und Testschiffen. KI wird hier für die Situationserfassung genutzt. Im theoretischen Bereich wird aktuell der Einsatz maschinellen Lernens zur Manöverprädiktion, Gefahreneskalation sowie Anomaliedetektion analysiert. Dabei geht es vorwiegend um (tiefe) neuronale [7–9] oder bayes'sche [10, 11] Netze, Reinforcement Learning-Ansätze [12] sowie Klassifikationsverfahren wie bspw. K-Nearest-Neighbour [13, 14] oder Support-Vektor-Maschinen [15, 16]. Die Entwicklungen im Bereich autonomer Navigation in der Praxis wurden in vorgelagerten Forschungsprojekten im Kontext der wachfreien Brücke durchgeführt. Im Projekt B ZERO wurden Ansätze zur Umsetzung eines wachfreien Navigationsbetriebs über einen Zeitraum von bis zu sechs Stunden untersucht und anschließend in der Praxis an Bord eines Schiffes umgesetzt und evaluiert.

Intelligente und interaktive Entscheidungsunterstützung

Gegenwärtig existiert kein bekanntes und einfach zugängliches System, welches die angestrebten Ziele zur Vorherhersage und Unterstützung von VTS-Operateuren in Verkehrszentralen oder anderen Verkehrsleitstellen bündelt und interaktiv über ein angepasstes HMI automatisiert ausgibt. Bisherige Arbeiten beschränken sich entweder auf die Visualisierung von historischen und aktuellen Schiffsbewegungen, umreißen den Einfluss von Umweltdaten auf die Schiffsbewegungen auf theoretische Weise oder behandeln nur eng begrenzte Einzelfragestellungen isolierter Anwendungsfälle. Beispiele dafür sind die Arbeiten von Mao et al. [1] oder Pallotta et al. [2] sowie Wu et al. [3]. Der innovative Mehrwert dieses Forschungsprojektes kulminiert damit in einem aus Sicht eines Nutzers interaktiv-testbaren Demonstrator zur Validierung der Gebrauchstauglichkeit einzelner Unterstützungsfunktionen bei der automatisierten Zusammenführung, Verarbeitung und Bereitstellung von schiffsfahrtsrelevanten Daten aus unterschiedlichen Quellen.

Menschzentriertes HMI-Design

Internationale Gestaltungsrichtlinien und Vorgaben spielen für die Entwicklung interaktive Systeme, darunter vor allem die DIN EN 9241-210 [1], eine zentrale Rolle für die Entstehung von benutzungsfreundlichen Oberflächen (s. auch vorherigen Abschnitt A.3 Planung und Ablauf des Vorhabens).

Die Einhaltung der Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit einer Software (bzw. Usability; [DIN, 2006a]), welche über die Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit definiert wird, ist von großer Bedeutung. Um dies zu erreichen, wird der Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme [1] eingesetzt. Durch die Anwendung eines menschenzentrierten Ansatzes bei der Gestaltung und Entwicklung wird die Akzeptanz des Einsatzes neuartiger Technologien erhöht. Innerhalb des Prozesses der Gestaltung und Entwicklung spielt der Einbezug des Endnutzers eine zentrale Rolle: In intensiver Zusammenarbeit und Austausch wird der Nutzungskontext für die zu entwickelnde Software bestimmt, Anforderungen identifiziert und diese in einen Gestaltungsentwurf überführt. Dieser wird in einen Demonstrator umgesetzt, welcher mit Endnutzern evaluiert wird, um im iterativ angelegten Gestaltungsprozess die Anforderungen zu verfeinern und anzupassen.

Akzeptanzforschung

Neuartige Technologien können Misstrauen oder Widerwillen hervorrufen. Wenngleich eine gewisse Skepsis durchaus positiv bis hin zu erforderlich sein kann, kann – besonders wenn unbegründet – hierdurch auch die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine erschwert werden, sodass sie nicht nur verhindert, sondern auch potentiell nachteilig sein kann. Um zu erklären, wie Nutzende auf ein unbekanntes System reagieren und ob sie es nutzen, wird häufig das Technology Acceptance Model (TAM) [17] herangezogen. Ausgehend von Designmerkmalen des Produkts wird eine kognitive Reaktion bezüglich der wahrgenommenen Nützlichkeit und der wahrgenommenen einfachen Handhabung verursacht, welche die Einstellung gegenüber der Verwendung als affektive Reaktion beeinflusst. Aufgrund dieser Motivation wird eine Verhaltensreaktion ausgelöst, die sich in der tatsächlichen Nutzung widerspiegelt. Weitere Grundlage bildet das Strukturmodell nach Nedumgad [18]. Dieses berücksichtigt beispielsweise mehrere nutzerspezifische und servicespezifische Faktoren sowie weitere Einflüsse auf die Akzeptanz von konsumorientierten Speicherdiensten.

A.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung der Arbeitspakete des gesamten Vorhabens. Im Wesentlichen erfolgte die Projektdurchführung wie in der Projektbeschreibung geplant. Die einzige Ausnahme bildet die viermonatige kostenneutrale Verlängerung bis zum 30. April 2025 aufgrund von Verzögerungen durch die Coronapandemie.

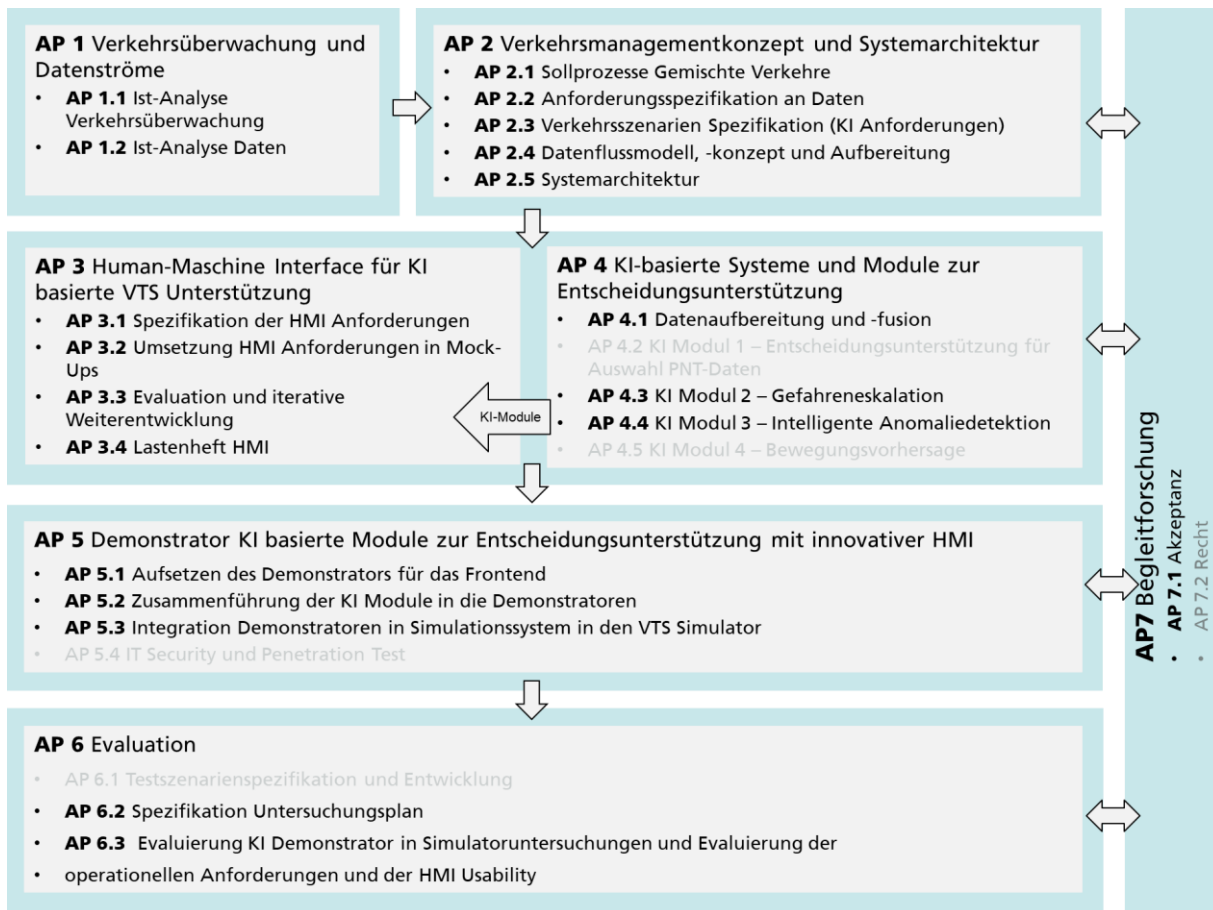


Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur des Verbundvorhabens

Um eine bestmögliche Anpassung der Informationsdarstellung an die Arbeitsabläufe der potenziellen Nutzenden zu gewährleisten und ihre Akzeptanz eines zukünftigen technischen Systems zu fördern, wurden die Nutzerinnen und Nutzer von Anfang an in den Gestaltungsprozess der Entscheidungsunterstützung eingebunden. Mithilfe von Interviews, Workshops und Usability-Tests wurden die Anforderungen erhoben und Gestaltungslösungen entwickelt. Abschließend wurde die zufriedenstellende Nutzung des Gesamtprototyps in Form eines Demonstrators evaluiert. Diese Zusammenarbeit mit den Nutzenden erfolgte gemäß dem Prozess zur menschenzentrierten Gestaltung gebrauchstauglicher Systeme (DIN EN ISO 9241-210) [1]; in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Bei einem Versäumnis, während der Designentwicklung die Zielgruppe im Blick zu haben, läuft man großer Gefahr, dass das System schlussendlich nicht den Bedürfnissen und Erwartungen relevanter Personen entspricht. Ein weiterer zentraler Bestandteil dieser Methode ist das iterative Vorgehen. Statt einer linearen wasserfallartigen Entwicklung entstehen hierbei Zyklen, in denen sich der optimalen Lösung schrittweise genähert wird. So kann vermieden werden, dass (anfängliche) Fehlannahmen lange unentdeckt bleiben und im Nachhinein mit hohem Aufwand behoben werden müssen. Parallel zur Erhebung der Nutzeranforderungen fanden Untersuchungen zum umfassenden Verständnis von Verkehrsströmen statt. Um die Entwicklung der KI-Module im Projektverlauf zu unterstützen, wurde in den ersten Iterationsschritten der Modulentwicklung eine Analyse von anomalen Verkehrsströmen durchgeführt, um eine hybride regel- und modellbasierte Detektion zu entwickeln. Basierend auf empirischen und anhand von Echtdateen ermittelten Schwellwerten wurde eine Parametrierung der Anomaliedetektion durchgeführt, die auch während der Entwicklung der HMI und bei Nutzertests schrittweise an die Hinweise und Anforderungen der Operateure angepasst wurde. Um die Nutzbarkeit und das Verständnis des Systems durchgehend hochzuhalten und eine Black-Box-Entwicklung zu vermeiden, wurde eine ausgewogene Durchmischung klassischer und innovativer Ansätze präferiert.

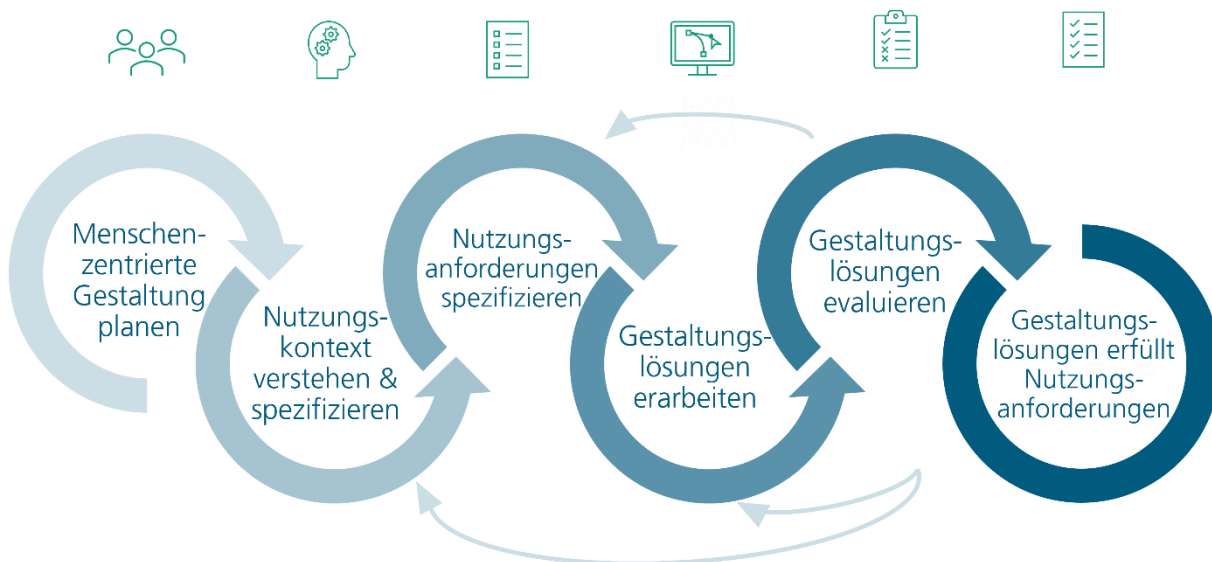


Abbildung 2: Der menschenzentrierte Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210

A.4 Vorgehen Arbeitspaket 1

Ziel der Arbeiten in AP1 war die Bestandsaufnahme der heutigen Situation der Verkehrsüberwachung sowie der Arbeitsprozesse in den Verkehrszentralen. Fokus der Arbeiten lag daher auf der Analyse der Ist-Prozesse der Verkehrsüberwachung und der vorliegenden Daten (Datenströme) in den Verkehrszentralen. Die Bestandsaufnahme bildete die Basis für alle weiteren APs.

A.4.1 Ist-Analyse Verkehrsüberwachung (AP 1.1)

Die Identifizierung des Ist-Zustandes umfasst die erste Phase des nutzungszentrierten Gestaltungsprozesses, deren Ziel die nähere Spezifikation des Nutzungskontexts ist (AP 1.1). Dies bedarf zunächst einer Analyse der relevanten Stakeholder. Es darf nicht übersehen werden, dass eine Vielzahl von relevanten Parteien einen Einfluss auf das System und dessen Realisierung haben, darunter bspw. die Entwickler sowie verschiedene regulierende Organisationen. Die Bestimmung dieser sowie deren Charakteristika, Aufgaben und Ziele helfen bei der Identifikation wichtiger Informationsressourcen. Nichtsdestotrotz kam einem Interessensträger in diesem Vorhaben eine besondere Rolle zu – den Nutzenden, das heißt, den Operateuren, welche aktiv für die Sicherheit innerhalb ihres VTS-Gebiets sorgen. Auf diese sollte im Speziellen eingegangen und ihren Notwendigkeiten in Bezug auf ihre Aufgabe Rechnung getragen werden.

Der übergeordnete abzubildende Prozess – die Verkehrsüberwachung – stand also fest. Auf dieser Basis konnte eine Liste relevanter Aktivitäten und ihrer Teilschritte erstellt werden. Hierfür wurden zunächst textuelle Informationsquellen wie die Verwaltungsvorschriften der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV, [19–21]) und der VTS Guide Germany [22] konsultiert. Diese erleichterten den Einstieg in die Thematik und die Eingrenzung der strukturellen Rahmenbedingungen. Als bald wurde die Literaturrecherche/-analyse jedoch durch Interviews mit verschiedenen Personen, wie dem Leiter des VTS-Simulators der Hochschule Wismar und der VKZ Warnemünde ergänzt. Weiterhin fanden Beobachtungen in natura während des Normalbetriebs und des Wachwechsels sowie Befragungen von Operateuren statt, welche in Warnemünde/Rostock und Wilhelmshaven durchgeführt wurden.

Um die Aufgaben der Operateure detailliert erfassen und verstehen zu können, wurde eine Aufgabenanalyse und -dekomposition nach dem Vorgehen von Stanton [23] durchgeführt (s. Anlage E.1). Hierbei wird eine Aufgabe in einzelne Bestandteile zerlegt und die Unteraufgaben in eine hierarchische Struktur gebracht, sodass die verbundenen Prozesse leichter aufgearbeitet werden können. Mit dem gewonnenen Wissen aus den beschriebenen Schritten, wurde zunächst die

Schrittfolge der einzelnen aufgabenbezogenen Handlungen identifiziert und daraus ein Flowchart erstellt. Als Modellierungssprache wurde die Business Model Process and Notation (BPMN [24]) verwendet. Durch diese strukturierte Aufarbeitung wurden unklare Aspekte oder Fehler schnell deutlich und konnten durch gezielte Nachfrage und Observation bereinigt werden. Abschließend wurden die fertigen Ist-Prozesse nochmals mit den Leitern der Verkehrszentralen validiert.

A.4.2 Ist Analyse Daten (AP 1.2)

Zunächst wurden die an VTS-Zentralen verfügbaren Datenströme identifiziert. Als Ausgangslage diente eine Literaturrecherche, insbesondere die IALA Richtlinie G1111 [25], in welcher notwendige und optionale Datenströme, ihre Verwendungen und Charakteristika aufgeführt werden. Befragungen an VTS-Zentralen vor Ort in Warnemünde, Travemünde, Turku und Helsinki ergänzten den theoretischen Blick der Literaturrecherche um die tatsächliche Anwendung der Datenströme. Abschließend wurde die Eignung der verschiedenen Datenquellen des Demonstrators evaluiert. Die Evaluierung geschah dabei im Rahmen von Arbeitstreffen, bei welchen mit den Projektpartnern notwendige und optionale Bedarfe abgestimmt wurden.

A.5 Vorgehen Arbeitspaket 2

Das Ziel in AP2 war die Definition von Prozessen, die zukünftig für gemischte Verkehre in den Verkehrszentralen erforderlich sein werden. Die so definierten Soll-Prozesse sollten dann als Grundlage für die Entwicklung des Unterstützungskonzeptes dienen. Teilziele der Arbeiten in AP2 waren die Definition von Sollprozessen und VTS-Prozeduren unter Berücksichtigung von gemischten Verkehrslagen, die Spezifikation der Verkehrsszenarien, um die technischen Fähigkeiten der KI-Module testen zu können, sowie die Erstellung einer Systemarchitektur.

A.5.1 Sollprozesse Gemischter Verkehre (AP 2.1)

Auch bei der Erstellung der Soll-Prozesse wurde iterativ vorgegangen. Diese bilden ein theoretisches Modell, welches zukünftige optimierte Prozesse beschreibt. Es zeigt Verbesserungspotential auf und legt damit den Grundstein für die nachfolgende Entwicklung konkreter Design-Entwürfe – einem wichtigen Implementierungsschritt.

Zunächst wurde die Ist-Zustandsanalyse herangezogen, um das Verbesserungspotential zu identifizieren und einen Soll-Zustand zu definieren. Von dort wurde, unter Berücksichtigung der Zielvorstellungen der Projektpartner, ein erster Rohentwurf vorgeschlagen, wie sich die zugrunde liegenden Prozessabläufe zukünftig gestalten. Um sicherzustellen, dass alle zuständigen Projektpartner einen gemeinsamen Nenner haben, wurde zunächst ein Workshop mit den Projektpartnern des Schifffahrtsinstituts Warnemünde (SIW), Fraunhofer FKIE und CML abgehalten. Dabei sollten sowohl einige alternative Meinungen eingeholt als auch abgeklärt werden, welche Funktionalitäten das System realistisch leisten kann und muss. Die Absprachen wurden eingearbeitet und die Soll-Prozesse angepasst.

Mit dieser Folgeversion fanden neuerliche Besuche der Verkehrszentralen statt. Hierbei wurden vorwiegend Interviews geführt, um fehlende oder fehlerhafte Aspekte zu identifizieren. Die Formalisierung der Prozesse mittels BPMN erleichterte erneut das Erkennen noch offener Punkte, sodass ebenfalls klare Fragen formuliert werden konnten. Ferner wurden geäußerte Erwartungen und Wünsche der VKZ-Operateure bezüglich der geplanten KI-Neuentwicklung erhoben. Zunächst wurden sämtliche Ideen erfasst, welche in späteren Schritten (s. auch nachfolgende Abschnitte) hinsichtlich ihrer Notwendigkeit, ihrer Implikationen und ihrer Umsetzbarkeit geprüft und entsprechend in das System aufgenommen/aus dem System ausgeschlossen wurden. Nach diesen Absprachen wurden die Prozesse erneut überarbeitet. In Übereinstimmung mit dem iterativen Vorgehen bei der menschenzentrierten Gestaltung interaktiver Systeme [1] wurden die Prozesse bei Bedarf während des gesamten Projektverlaufs fortlaufend weiter angepasst.

A.5.2 Anforderungen an Daten (AP 2.2)

Die Anforderungen an die Daten ergaben sich aus den KI-Modulen. So wurden zunächst auf

qualitativer Ebene die Anforderungen an erforderlichen Dateninhalten für alle KI-Module gesammelt und konsolidiert. Auf dieser Grundlage wurden erforderliche Datenströme definiert, an welche der Demonstrator angebunden sein muss. Abschließend wurden die Schnittstellen und Formate definiert, also worüber und wie der Demonstrator an die „äußeren“ Datenströme angebunden wird. Die äußeren Datenströme berücksichtigen dabei nicht nur die Evaluationsphase des Demonstrators, sondern auch die Entwicklungsphasen, damit die Datenbedarfe aller Projektpartner jederzeit bedient sind.

A.5.3 Verkehrsszenarien Spezifikation (KI-Anforderungen) (AP 2.3)

Die Seegebiete und die wesentlichen Anforderungen an die Verkehrsszenarien wurden zusammen mit dem SIW spezifiziert. In Workshops mit den Projektpartnern wurden diese diskutiert und unter anderem die Rahmenbedingungen bezüglich der zu betrachtenden Autonomiegrade der Schiffe geklärt. Im Anschluss wurde das SIW bei der Erstellung der Verkehrsszenarien unterstützt.

A.5.4 Datenflussmodell, -konzept und-aufbau (AP 2.4)

Basierend auf den ersten Erkenntnissen in AP 2.2 wurde ein Programm zur Aufzeichnung, Aufbereitung und Wiedergabe von AIS-Daten oder Daten im NMEA0183-Format entwickelt. Für Entwicklungs- und Offline-Modelltrainingszwecke ließen sich die Aufnahme und die AIS-Datenbank des CML verwenden. Hierfür wurden Programme zur Aufbereitung benötigter Daten geschrieben, so dass u.a. eine Qualitätssicherung sichergestellt wurde. Ebenfalls war es möglich, Verkehrsdaten im NMEA0183-Format an den VTS-Simulatoren des SIW und CML aufzuzeichnen, unter den Projektpartnern zu teilen und wiederzugeben. Die wiedergegebenen Daten wurden während der Entwicklung, wie später beim abgeschlossenen Demonstrator, über die Datenfusion aufbereitet und den Demonstrator-Modulen einheitlich bereitgestellt. Diese Möglichkeiten vereinheitlichten, erleichterten und beschleunigten die standortunabhängige Entwicklung der Demonstrator-Module für die unterschiedlichen Projektpartner.

A.5.5 Systemarchitektur (AP 2.5)

Die Ergebnisse aus AP 2.2 und AP 2.4 bildeten die Grundlage für die Ausgestaltung der Systemarchitektur des Demonstrators. In enger und iterativer Abstimmung mit den Projektpartnern wurden Bestandteile und jeweilige Schnittstellen der Datenflüsse des Demonstrators bestimmt. Neben der funktionellen erfolgte auch eine organisationelle Spezifikation hinsichtlich Verantwortlichkeiten und Abhängigkeiten der Bestandteile und Datenflüsse. Aufgrund ihrer Komplexität wurde die Systemarchitektur schematisch in drei Detailgraden festgehalten, um zweckbedingt möglichst relevante Informationen darzustellen. Die Systemarchitektur wurde in der Entwurfsphase iterativ verbessert. Die finale Systemarchitektur wurde, wenn notwendig, im weiteren Projektverlauf angepasst.

A.6 Vorgehen Arbeitspaket 3

Ziel in AP3 war die Entwicklung eines Human-Machine Interfaces für eine KI-basierte VTS-Unterstützung. Dazu gehörten die Teilarbeitspakete, die sich der Spezifikation der HMI-Anforderungen und deren Umsetzung in Mock-ups widmeten, sowie auch deren Evaluation und iterative Weiterentwicklung. Zudem sollten die identifizierten Anforderungen und HMI-Konzepte in einen Anforderungskatalog überführt werden.

A.6.1 Spezifikation der HMI-Anforderungen (AP 3.1)

Vor der Spezifikation der HMI-Anforderungen wurde zunächst eine Liste von Erfordernissen abgeleitet. Diese beschreiben die Voraussetzungen, welche erfüllt sein müssen, damit Operateure adäquat agieren können. Sie ergeben sich aus dem konkreten Nutzungskontext und nehmen die Form von Finalsätzen an (schematisches Beispiel: „Um >Aufgabe/Ziel< tun/sicherstellen/erfüllen zu können, muss >Rollenbezeichnung< >Erfordernis< wissen/verfügbar haben/in der Lage sein.“)

Die einzelnen Erfordernisse wurden in Nutzungsanforderungen transformiert. Das heißt, die situativen Erfordernisse wurden in fundierte Anforderungen an das System übersetzt. Dabei wurden

die unter DIN EN ISO 9241-110 [26] spezifizierten Prinzipien der ergonomischen Systementwicklung berücksichtigt.

Bis zu diesem Punkt wurden sämtliche identifizierten Aspekte aufgenommen und berücksichtigt, was zu einer großen Menge an Anforderungen führte. Eine gleichzeitige Implementierung all dieser Punkte ist schlichtweg nicht möglich und aus verschiedenen Gründen, unter anderem der Nutzungsfreundlichkeit, auch nicht wünschenswert. Um zu gewährleisten, dass sich verfügbare Ressourcen von Anfang an auf die kritischen Funktionen fokussieren und diese frühzeitig implementiert werden können, müssen die Nutzungsanforderungen priorisiert werden. Im Rahmen dieses Projektes geschah das mithilfe der MoSCoW-Klassifizierung [27]. Bei dieser effizienten Methode werden die einzelnen Anforderungen in eine von vier Kategorien eingestuft: „Must have“, „Should have“, „Could have“ und „Won't have“. Ergo in die Dinge, die unverzichtbar für den Systemerfolg sind, diejenigen, die wichtig, doch unkritisch sind, diejenigen, die wünschenswert sind und zuletzt diejenigen, die lediglich für spätere Entwicklungsphasen erwogen werden.

Bei der Einsortierung spielten verschiedene Interviews mit den Operateuren sowie dem Leiter der Verkehrszentrale Warnemünde eine Rolle. Außerdem wurde eine Erhebung durchgeführt, bei welcher die Nutzenden eine Reihe möglicher Parameter aus den Bereichen Schiffsinformationen, Wetterinformationen und Umgebungsbedingungen, Besonderheiten des Reviers, Gefahreninformationen, Informationen zu Manöverempfehlungen und Störungen der KI-Module hinsichtlich ihrer Relevanz (fünfstufige Skala) bewerten sollten. Zusätzlich fanden Workshops und Absprachen mit den Projektpartnern des CML und des SIW statt.

A.6.2 Umsetzung der HMI-Anforderungen in Mock Ups (AP 3.2)

Um schließlich zu einem nutzungsfreundlichen System anzugelangen, musste zunächst die Brücke zwischen den textuellen HMI-Anforderungen und den entsprechenden visuellen interaktiven Designlösungen geschlagen werden. Dies geschah unter anderem mithilfe der Excel-Anforderungsliste (s. vorherigen Abschnitt), in welcher ebenfalls erste Ideen zu den einzelnen Aspekten festgehalten wurden.

Für die praktische Umsetzung wurde sich jedoch zunächst mit der Festlegung des generellen Layouts beschäftigt, bevor mit der Design-Übersetzung spezifischer Funktionalitäten begonnen wurde. So sollte verhindert werden, dass man sich zu Beginn im Detailreichtum verliert und die Kernfunktionalitäten und -fragen aus den Augen verliert. Daher wurde zunächst mit dem low-fidelity Prototyping-Tool Balsamiq [28] gearbeitet. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Optionen der Anordnung wurden analysiert und intern diskutiert, bis sich auf ein Konzept geeinigt wurde.

Dieser wurde in die Software Axure übertragen [29], welche auch realitätsgetreuere und detailliertere Darstellungen erlaubt. Von dort wurde das Design schrittweise aufgebaut und überarbeitet. Verschiedene maritime und allgemeine Dokumente und Quellen, wie Richtlinien und Styleguides [26, 30–36] sowie relevante Erkenntnisse aus anderen FKIE-Arbeiten wurden dabei berücksichtigt und dienten ferner auch in Teilen als Grundlage für die Ideengenerierung. Zusätzlich wurde der wertvolle Input von Nutzenden und relevanten Personen einbezogen, die aktuellen VTS-Systeme betrachten, sowie technische Einschränkungen und Möglichkeiten bedacht.

A.6.3 Evaluation und iterative Weiterentwicklung (AP 3.3)

Um der Methode des menschenzentrierten Ansatzes gerecht zu werden, wurden die Designideen sukzessiv getestet und weiter ausgebaut. Zu diesem Zweck fanden zahlreiche projektinterne Workshops statt, während derer einzelne Aspekte wie das innovative Gefahrenmanagementkonzept von LEAS vertieft besprochen und Lösungen erarbeitet wurden.

Zwei größer angelegte Zwischenevaluationen fanden Anfang 2024 in den Verkehrszentralen Warnemünde und Travemünde statt, während derer die Gebrauchstauglichkeit und Nutzungsfreundlichkeit des geplanten HMI evaluiert und weiterentwickelt wurden und die generelle Einstellung zum Thema KI-Entscheidungsunterstützungssysteme erfasst wurde.

Während der Workshops führten die Teilnehmenden (Operateure aus beiden Verkehrszentralen) zunächst verschiedene eher alltägliche Aufgaben, wie das Aufrufen und Auslesen von Informationen,

das Ändern von Einstellungen oder das Quittieren und Bearbeiten von Gefahrenmeldungen, an dem interaktiven Dummy-Prototyp aus. Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, dabei die Methode des Lauten Denkens anzuwenden – eine für Usability-Testungen populäre Technik, um einen Einblick zu bekommen, wie intuitiv verständlich und anwendbar das HMI ist. Alle Testungen liefen nach demselben strukturierten Protokoll ab. Im Anschluss fand eine Einführung in den Prototyp und seine konzeptuelle Gestaltung statt, woraufhin den Teilnehmern ein eigens entwickelter, zielspezifischer Usability-Fragebogen sowie eine vorläufige Version des Akzeptanzfragebogens zum Ausfüllen vorgelegt wurden. Abgeschlossen wurde die Evaluation dann mit einigen Lösungen zum Gefahrenmanagementkonzept, wofür die Teilnehmenden die generelle Darstellung kommentieren und verschiedene Designlösungen bewerten konnten.

Durch den Einsatz und die Unterstützung der Verkehrszentralen und insbesondere ihrer Leiter, konnte das HMI während der insgesamt zwei Wochen mithilfe von 10 Operateuren (m/w; 5 pro Verkehrszentrale) getestet werden. Die umfangreichen erhobenen Daten wurden nach Abschluss der Befragung zunächst digitalisiert aufgearbeitet und schließlich mithilfe von MAXQDA gemäß der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring aufgearbeitet [37]. Die Ergebnisse führten zu einer Überarbeitung einiger Aspekte der Nutzungsschnittstelle und zur Erweiterung der Designlösungen besonders in Bezug auf die Gefahrendarstellungen.

Überdies ermöglichte das Konsortium des Projekts die wertvolle Kollaboration mit FinTraffic. Dadurch ergab sich im Sommer 2024 die Option, auch international einen Workshop durchzuführen und dabei neue Erkenntnisse aus Sicht von Operateuren zu erhalten, die die Arbeit mit einem deutlich anderen System gewohnt sind.

A.6.4 Anforderungskatalog HMI (AP 3.4)

Die Erkenntnisse der vorangegangenen Arbeitsschritte wurden im Rahmen dieses Teilarbeitspakets systematisch zusammengetragen und aufgearbeitet, sodass die evaluierten Anforderungen in standardisierter Listenform festgehalten werden konnten. Der Ausbau und die Überarbeitung dieses Dokuments geschahen fortwährend und überwiegend parallel mit den Arbeitspaketen AP3.1 bis AP 3.3. Es fanden mehrere regelmäßige Meetings (Sprints) zwischen FKIE und CML statt, um die Verständlichkeit und eine gemeinsame Auffassung der Anforderungen und deren Realisierbarkeit sicherzustellen.

Des Weiteren fanden im Rahmen von AP3.4 verschiedene Arbeiten im Hinblick auf das nachträglich hinzugefügte Teilziel 2 statt – die Entwicklung eines webbasierten VTS (WBVTS). Um hier ein Verständnis aufzubauen, fand zunächst eine erneute Internetrecherche statt. Diese gab einige Einblicke in die Unterschiede zwischen webbasierten und Desktop-Anwendungen. Zusätzlich fand ein Treffen mit JAKOTA Cruise Systems/FleetMon statt. Diese hatten die entsprechenden Arbeitspakete zuvor behandelt und gaben einen weiteren Einblick in die Hintergründe und Ideen bezüglich dieser Leistung. Durch die Beratung FKIE-interner Software-Entwickler und zusätzliche Absprachen mit dem CML konnten die evaluierten Anforderungen der LEAS-Anwendung (Vollsystem) als eine browserbasierte Version adaptiert werden.

A.7 Vorgehen Arbeitspaket 4

AP 4 zielte auf die Entwicklung von KI-basierten Systemen und Modulen zur Entscheidungsunterstützung ab. Darunter fielen die Datenaufbereitung und Analyse für die Entwicklung und Verifikation von spezifischen Modulen basierend auf datengetriebener und lernfähiger KI sowie das Aufsetzen und die Implementierung der neuen AIS-Annahmeschicht. Zudem waren die Entwicklung eines KI-Moduls für die Detektion und unmittelbare bis spätmöglichste Auflösung von Gefahrensituationen (KI-Modul 2) und ein weiteres Modul zur Anomalie-Detektion Teilziele des Arbeitspaketes.

A.7.1 Datenaufbereitung und -fusion (AP 4.1)

Ergebnisse aus den AP 2.4 und AP 2.5 dienten als Grundlage zur Entwicklung und Implementierung einer zentralen Datenaufbereitung und -fusion. Das entwickelte Modul konnte über DIS- und NMEA-

Schnittstellen Daten aus dem Netzwerk abgreifen und sie objektbasiert, wobei Schiffe Objekte repräsentieren, aufbereiten. Durch die Realisierung dieser beiden standardisierten und geläufigen Schnittstellen konnten Offline- und Online-Datenströme gleichermaßen angebunden werden. Die aufbereiteten (Verkehrs-)Daten wurden angebundenen Modulen anfragebasiert bereitgestellt. Darüber hinaus konnten angebundene (KI-)Module über die Datenaufbereitung und -fusion ihre Ausgabedaten (z.B. erkannte Anomalien im Falle von AP 4.4) teilen. Gleichermaßen konnte das innovative und webbasierte HMI über die Datenaufbereitung und -fusion auf zu darstellende Daten und Informationen zugreifen. Das Modul wurde analog zu der Systemarchitektur bei Bedarf iterativ angepasst, bis es den finalen evaluierten Stand erreicht hat.

A.7.2 Gefahreneskalation (KI-Modul 2) (AP 4.3)

Das KI-Modul zur Gefahreneskalation wurde aufgrund der wechselseitigen und voneinander abhängigen Beziehung in enger Abstimmung mit dem KI-Modul zur Anomalie-Detektion entworfen und entwickelt. Die Gefahreneskalation nahm als Eingangsdaten die Ergebnisse der Anomalie-Detektion. Während der Projektlaufzeit wurden mögliche Lösungsvorschläge der Gefahreneskalation sowohl im Projektkonsortium als auch mit Fachkräften, z.B. VTS-Operateuren, diskutiert. Dabei wurde identifiziert, dass die Lösungsvorschläge keinen detaillierten Vorschlag zur Auflösung der anomalen Situation, z.B. zu befolgendes Manöver, repräsentieren sollen. Sondern, dass der Lösungsvorschlag eine Entscheidungsgrundlage und hierbei insbesondere die relevantesten Informationen zusammenführen soll. Zu diesem Zweck wurden situativ angepasste Hinweise durch das Modul generiert und dem Nutzer über die HMI zur Anzeige gebracht. Zur Erhöhung der Akzeptanz des Demonstrators wurde die Gefahreneskalation entsprechend der Abstimmung kontinuierlich weiterentwickelt. Die konkrete Ausgabe der Gefahreneskalation wurde dabei iterativ angepasst und im Zuge der Vorevaluationen finalisiert.

A.7.3 Anomalie-Detektion (KI-Modul 3) (AP 4.4)

Das KI-Modul zur Anomalie-Detektion wurde aufgrund der wechselseitigen und voneinander abhängigen Beziehung in enger Abstimmung mit dem KI-Modul zur Gefahreneskalation entworfen und entwickelt. Es wurde eine hybride Architektur der KI angestrebt, welche im Kern ein transparentes und nachvollziehbares Expertensystem darstellt, das Wissen und die Regeln des Expertensystems wiederum auf Methoden des maschinellen Lernens basieren kann (hybride Architektur). Im Projektkonsortium wurden zu erkennende (anomale) Situationen abgestimmt, welche später von dem Modul detektiert werden sollen. Die Entwicklung des Moduls fand in iterativen Schritten und Versuchsdurchläufen in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern der anderen KI-Module statt. Methoden des maschinellen Lernens wurden zum Beispiel bei der automatisierten Big-Data-Auswertung und Konfiguration normaler bzw. anomaler Kurse oder bei experimentellen Durchläufen der Sprechtranskription und -kontextualisierung verwendet. Dieser hybride Ansatz ist ein Kompromiss aus innovativen und nachvollziehbaren Methoden. Ziel des Kompromisses ist es, das System verständlich für den Nutzer zu gestalten und Entscheidungen nachvollziehbar bereitzustellen. Die von diesem Modul erkannten Situationen dienten mit den zugehörigen Informationen als Grundlage für das Modul zur Gefahreneskalation. Die zu erkennenden (anomalen) Situationen sowie dazugehörigen Ausgabeinformationen wurden im Projektverlauf während Arbeitstreffen iterativ abgestimmt und angepasst und bei den Vorevaluationen finalisiert.

A.8 Vorgehen Arbeitspaket 5

In AP5 war das Ziel, einen Demonstrator mit innovativem HMI für die KI-basierten Module zur Entscheidungsunterstützung zu entwickeln. Die Teilziele bestanden in Aufsetzen eines lauffähigen Demonstrators mit dem spezifizierten Frontend (HMI) aus AP 3, dem Zusammenführen der KI-Module im Demonstrator und der Integration des Demonstrators ins VTS-Simulationssystem.

A.8.1 Aufsetzen des Demonstrators für das Frontend (AP 5.1)

Im Rahmen der Implementierung der HMI wurde auf Basis der im Zuge der Nutzerbefragung

ermittelten Anforderungen eine grafische Benutzeroberfläche konzipiert. Das Ziel bestand darin, den Nutzern des Systems eine prototypische Erfahrung zu ermöglichen, die der eines Echtsystems möglichst nahekommt. In Abstimmung mit den Resultaten der Mockups erfolgten in iterativen Schritten die Implementierung und Prüfung diverser Interaktionsversionen der HMI. Die Implementierung der grafischen Oberfläche wurde iterativ durchgeführt, wodurch Änderungen am System zeitnah vorgenommen werden konnten. Dies ermöglichte eine schrittweise Anpassung des Systems an die Mockups. In den Vorevaluationen wurde die finale Iteration des Systems von den VTS-Operateuren genutzt, um mit dem LEAS-System zu interagieren. Durch die Nutzung der standardisierten Datenfusion aus AP 4.1 und die Integration von Protokollen zur Kommunikation mit Simulatoren konnte die Oberfläche sowohl in der Simulationsumgebung als auch unter Nutzung von Echtdaten getestet und evaluiert werden.

A.8.2 Zusammenführung der KI-Module in die Demonstratoren (AP 5.2)

Als Grundlage dienten die aufbereiteten Demonstratoren aus AP 5.1. Diese Demonstratoren verfügten über die in der Systemarchitektur spezifizierten Schnittstellen zur Anbindung der KI-Module aus AP 4. Der Daten- und Informationsaustausch der KI-Module erfolgte über das Modul zur Datenaufbereitung und -fusion. Die Integration der KI-Module wurde anhand von definierten Situationen und Szenarien getestet und bei Bedarf iterativ angepasst.

A.8.3 Demonstrator KI-basierte Module zur Entscheidungsunterstützung mit innovativem HMI (AP 5.3)

Die in AP 5.2 aufbereiteten und getesteten Demonstratoren wurden in die VTS-Simulationsumgebungen des CML und des SIW integriert. Die Integration wurde über die NMEA- und DIS-Schnittstellen des Moduls zur Datenaufbereitung und -fusion ermöglicht. Anhand des iterativen Integrierens und Testens der Demonstratoren wurden Verbesserungen vorgenommen, die, sofern notwendig, in der Systemarchitektur festgehalten wurden. Das Testen der Demonstratoren erfolgte dabei anhand vordefinierter Situationen und Szenarien. Dabei wurden nicht nur die Software-Komponenten, sondern auch Hardware-Komponenten geprüft und auf notwendige Redundanz kontrolliert, um eine reibungslose Evaluation zu ermöglichen.

A.9 Vorgehen Arbeitspaket 6

Das übergeordnete Ziel von AP 6 war die Evaluation des entwickelten Demonstrators. Darunter fielen die Spezifikation des Untersuchungsplans für die Usability-Untersuchungen im Simulator und der Bewertung von Funktionalität und Entscheidungsfindung des Systems, sowie die eigentliche Evaluation des Haupt-HMI und des HMI für das web-based VTS (WBVTS).

A.9.1 Spezifikation Untersuchungsplan (AP 6.2)

Zur Prüfung, inwiefern das angewandte menschenzentrierte Designkonzept eine anwendungsfreundliche, unterstützende und funktionale Nutzungsoberfläche zutage gefördert hat, sollte eine abschließende Usability-Untersuchung geplant und durchgeführt werden. Konkret sollten dabei folgende Fragen geklärt werden:

- Unterstützt das LEAS-EUS die VKZ-Operateure bei der Erfüllung ihrer Wachaufgaben?
- Werden die Bedürfnisse der VKZ-Operateure abgedeckt?
- Wie ist die Nutzungsfreundlichkeit des LEAS-EUS, insbesondere in Bezug auf die Gefahrendetektion und Präsentation?
- Welches konkrete Verbesserungspotential wird gesehen?

Um das System in einer möglichst realistischen Umgebung zu testen, ohne dabei die maritime Sicherheit zu gefährden, war früh entschieden worden, dass die finalen Untersuchungen an einem originalgetreuen Simulator stattfinden sollten. Folglich sah der Aufbau die Hinzunahme des VTS-Simulators der Hochschule Wismar mit angegliedertem LEAS-Demonstrator als Zusatzsystem, ebenso wie eine Möglichkeit zum Sprechfunk, vor. Die zu fahrenden drei Szenarien waren bereits an anderer Stelle (B.2.3 Verkehrsszenarien Spezifikation (KI-Anforderungen) (AP 2.3)) entwickelt worden.

Das HMI wurde in verschiedene Interessensbereiche unterteilt, welche sich an den zuvor erwähnten

relevanten Informationsquellen für Operateure orientierten. Zu jedem der Aspekte wurden die Hauptfunktionalitäten und Interaktionsmöglichkeiten aufgelistet. Aus verschiedenen Fragebögen wurde der ISONORM Fragebogen [38] als passendste Alternative ausgewählt, da sich dieser an den von FKIE-Seite angestrebten Usability-Richtlinien orientiert. Entsprechend erfasst dieser die Usability-Kriterien der Steuerbarkeit, Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Individualisierbarkeit, Lernförderlichkeit und Fehlerrobustheit.

Ergänzend zu dieser quantitativen Methode wurden weitere qualitative Techniken hinzugenommen, welche in dieser Hinsicht inhaltsreicher sind. Aufgrund der aufschlussreichen Ergebnisse durch die Methode des Lauten Denkens während der Zwischenevaluationen, wurde diese auch hier während des ersten Familisierungsszenarios eingesetzt. Zur Sicherstellung, dass die relevanten Aspekte abgedeckt sind, sollten während dieses ersten Teils bestimmte Aufgaben am Demonstrator erfüllt werden.

Da sowohl allgemeine Bestandteile des HMI, als auch spezifische Aspekte der konkreten Gefahrenmeldungen und Empfehlungen getestet werden sollten, sah der Untersuchungsplan die Unterbrechung der Szenarien zu verschiedenen Zeitpunkten vor. Während dieser sogenannten Freezings sollten Operateure an einem separaten Computer Fragen zu den Verkehrsszenarien beantworten. Die Erarbeitung dieser Fragen sowie der Interviewfragen geschah in Anlehnung an die Funktionalitätenliste, sodass kontrolliert werden konnte, dass die wichtigen Punkte thematisiert wurden. Weitergehend wurde mit den Projektpartnern abgeklärt, welche potenziell relevanten Fragen aus ihren jeweiligen KI-Modulen hervorgehen. Das gesamte Set-Up wurde während mehrerer Testläufe projektintern (mit Partnern des Konsortiums) getestet und die Fragen auf ihre Sinnhaftigkeit und Verständlichkeit hin geprüft und überarbeitet.

A.9.2 Evaluierung KI-Demonstrator in Simulationsuntersuchungen und Evaluierung der operationellen Anforderungen und der HMI-Usability (AP 6.3)

Die finale Abschlussevaluation für das Projekt LEAS fand in den Verkehrszentralen Warnemünde (17. März 2025 & 01.-02. April 2025) und Travemünde (18.-20. März 2025) statt. Während der zwei Testwochen konnten durch die Unterstützung der Leiter der VKZ 12¹ Versuchspersonen erhoben werden. Es handelte sich dabei ausschließlich um noch tätige VKZ-Operateure und somit um eine hochrepräsentative Nutzerstichprobe. Sämtliche Probanden wurden über die Studie aufgeklärt und über die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme informiert sowie über die Tatsache, dass sie ihr Einverständnis jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen konnten.

Während der Untersuchungen waren jeweils eine Versuchsleitung anwesend, eine zuständige Person für die Simulation der Funksprüche und eine für die technische Seite. Die Systemeinführung zu Beginn wurde auf ein geringes Maß beschränkt, damit die Versuchspersonen die Oberfläche unvoreingenommen explorieren konnten. Erst im Anschluss an Szenario 1 wurden bei Bedarf weitere Funktionalitäten erklärt, sodass das System für die übrigen Szenarien bekannt war.

Sämtliche Anmerkungen während der Szenarien, Freezes und des Anschlussinterviews wurden schriftlich dokumentiert. Nach Abschluss der Evaluationen wurde diese Datenmenge aufgearbeitet. Die Verwendung von SoSci ermöglichte dabei den einfachen Datenexport in eine Excel-Tabelle. In dieselbe Datei wurden auch die Interviewfragen und -antworten übertragen. Der Akzeptanzfragebogen (s. B.7.1 Akzeptanz (AP 7.1)), die numerischen Angaben des ISONORM-Fragebogens und Antworten bezüglich einzelner Gefahrenmeldungen wurden separat ausgewertet.

Für Letztere wurde vorwiegend erfasst, ob diese als hilfreich und informativ empfunden wurden.

¹ Da die Dauer der Untersuchung je nach Mitteilbarkeit und Geschwindigkeit der Probanden zwischen drei und vier Stunden bedarf, konnte die Erhebung bei insgesamt drei Personen nicht vollständig abgeschlossen werden. Die bis dahin gewonnen Erkenntnisse waren jedoch wertvoll und konnten aufgrund ihrer qualitativen Eigenschaft bedenkenlos ausgewertet werden.

Durch das innovative Detektionssystem für Gefahrensituationen, welches in LEAS entwickelt wurde, öffneten sich neue Möglichkeiten für deren Meldung. Demnach sollte hier erfasst werden, inwiefern diese durch Operateure geschätzt werden oder ob sie zuweilen überflüssig oder überladend sind. Für den ISONORM-Fragebogen wurden die Mittelwerte für die einzelnen Skalen² sowie für den Gesamtwert berechnet.

Die übrigen Antworten zur Usability wurden dagegen erneut qualitativ ausgewertet, um tiefere Einblicke in die Ursachen der Beurteilungen und Eindrücke zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden sie in einer Tabelle zusammengetragen und kategorisiert. Dabei wurden zehn Kategorien unterschieden (s. Tabelle 1). Sie ergaben sich infolge eines kombiniert induktiv-deduktiven Vorgehens. Sie basierten demnach auf a priori festgelegten Kategorien, die unter anderem klassische Usability-Aspekte abdeckten, und wurden während des Analyseprozesses datenabhängig erweitert. Die Kategorisierung erfolgte durch zwei Rater und wurde durch einen dritten geprüft. Bei Unklarheiten wurden die Ansichten diskutiert und abgestimmt. Zur Strukturierung und für eine erleichterte Zuordnung wurden die kategorisierten Aussagen in Übereinstimmung mit den ISONORM-Kategorien gebracht. Zusätzlich wurde für jede kategorisierte Aussage das entsprechende System-Item angegeben, auf welches es sich bezog.

Tabelle 1: Kategorisierungsschema für die Auswertung der Usability-Evaluation.

Code-Kategorie	Beschreibung
Aufgabenangemessenheit	
Sinnhaftigkeit	Inwiefern ist das System/ sind bereitgestellte Informationen und Funktionen hilfreich und sinnvoll?
Effizienz	(Wo) Ist die Bedienung zu umständlich oder langsam?
Darstellung	Inwiefern sind Informationen auf einleuchtend/ ersichtlich dargestellt?
Umfang: Informationen	Inwiefern sind bereitgestellte Informationen notwendig und vollständig?
Umfang: Funktionalitäten	Inwiefern sind bereitgestellte Funktionen notwendig und vollständig?
Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Lernförderlichkeit	
Navigation	Wo entstehen mögliche Probleme bei der Orientierung/Interaktion? Inwiefern ist die Bedienung intuitiv?
Verständlichkeit	Sind die Angaben und Symbole klar?
Kontrollierbarkeit, Individualisierbarkeit	
Flexibilität & Kontrolle	Inwiefern kann das System an die Bedürfnisse angepasst werden? Wo werden weitere Einstellungen benötigt?
Fehlertoleranz	Können Angaben schnell revidiert oder neu aufgerufen werden?
Transparenz & Vertrauen	Inwiefern sind Operateure bereit, sich auf Systemangaben zu verlassen? Wo werden weitere Angaben gebracht, um die Zuversicht zu steigern?
Vergleich	Wurde das System in Bezug zu dem vertrauten VTS-System gesetzt? Was wurde dabei herausgestellt?

² Die Subskala der Fehlertoleranz, welche die Verständlichkeit von Fehlermeldungen sowie den erforderlichen Korrekturaufwand für Fehler erfasst, wurde im Rahmen dieser Evaluation nicht berücksichtigt, da sie weder zentral für die Fragestellung war, noch während der hiesigen Testung vorkam.

A.10 Vorgehen Arbeitspaket 7

In AP7 wurde die Akzeptanz-Begleitforschung durchgeführt mit dem Ziel, eine hohe Nutzerakzeptanz bei den VTS-Operateuren zu erreichen, um die Basis für den Erfolg der entwickelten Lösungen zu schaffen und damit die optimalen Voraussetzungen für das Betreiben eines KI-basierten EUS zu eruieren. Darüber hinaus sollte durch Berücksichtigung dieser Faktoren eine möglichst große Akzeptanz des hier entwickelten Systems erreicht werden. Akzeptanz bezeichnet hier die positive Annahmeentscheidung einer Innovation durch die Anwender [39]. Diese hängt nicht nur von der Benutzungsfreundlichkeit ab, sondern umfasst vielmehr sämtliche Faktoren, die begünstigen, dass Nutzende einem System gegenüber positiv eingestellt sind. Sie können eine entscheidende Basis für den Erfolg einer entwickelten Lösung bilden. Daher war auch in diesem Arbeitspaket eine enge Zusammenarbeit mit den Nutzenden erforderlich, welche ebenfalls dank der assoziierten Partner ermöglicht wurde.

A.10.1 Akzeptanz (AP 7.1)

Das Arbeitspaket fand projektbegleitend über die gesamte Projektlaufzeit statt. Erstes Teilziel war die Identifikation relevanter Akzeptanzfaktoren, zugehörige Einflussgrößen, welche auf diese wirken und die genauen Zusammenhänge zwischen den beiden. Zu diesem Zweck wurde zunächst eine Literaturrecherche zum Thema Akzeptanz im Allgemeinen sowie Akzeptanz von KI-Systemen im Speziellen durchgeführt. Eingeflossen ist hier unter anderem das viel zitierte „Technology Acceptance Model (TAM)“ nach Davis [40] sowie das Strukturmodell nach Nedumgard [18].

Basierend auf den Rechercheergebnissen wurden erste Faktoren abgeleitet, die für die Akzeptanz eines KI-gestützten EUS für VTS-Operateure relevant sein könnten. Im nächsten Schritt wurde ein Fragebogen erstellt, der die zuvor identifizierten Faktoren validieren, gewichten und um weitere ergänzen sollte. Dieser Fragebogen wurde an zwei VTS-Zentralen gesendet und von Vertretern der Zielgruppe ausgefüllt. Darüber hinaus fand ein Workshop mit den Projektpartnern statt, bei welchem ebenfalls potenziell relevante Faktoren identifiziert wurden. Wenngleich sie keine direkten Nutzenden des Systems sind, verfügen sie dennoch über wichtige Expertenkenntnisse auf dem Gebiet und kennen sich am besten mit den Möglichkeiten des neuen Systems aus.

Die Auswertung der Akzeptanzfragebögen und des Partnerworkshops erlaubte das Ableiten eines Akzeptanzmodells, welches wiederum in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern validiert und angepasst wurde. Existierende allgemein publizierte Akzeptanzmodelle sind oft entweder sehr generisch oder sehr spezifisch, sodass die Entwicklung eines neuen Akzeptanzmodells förderlich war, um die vorliegende Fragestellung zu beantworten: „Welche Faktoren sind für die Akzeptanz eines KI-gestützten EUS-Systems für VTS-Zentralen relevant?“.

Im Rahmen des Projektverlaufes wurden zwei Fragebögen zur Akzeptanzerfassung erstellt. Einer wurde bei Evaluationen des HMI verwendet, um zu prüfen, ob die vorläufigen HMI-Entwürfe bereits auf Akzeptanz treffen. Der andere diente der finalen Evaluierung der erstellten Konzepte hinsichtlich der Akzeptanz und wurde bei dieser eingesetzt. Hier werden alle Einflussgrößen des Akzeptanzmodells erfragt, die sich im HMI darstellen lassen. Faktoren bzw. Einflussgrößen der Rahmenbedingungen und technischen Systemeigenschaften wurden nicht erfragt, da diese im Rahmen der Evaluierung nicht abbildbar waren.

A.11 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit bzw. Abstimmung mit den Verbundpartnern geschah mithilfe monatlicher Videokonferenzen. Hierbei wurden der Bearbeitungsstatus der jeweiligen Aufgaben sowie aktuelle Themen besprochen. Wann immer erforderlich, erfolgten weitere Treffen und Workshops mit einzelnen Parteien des Konsortiums, in denen bestimmte Arbeitspakete, Themen oder gemeinsame Projektaufgaben eingehender bearbeitet wurden. Zusätzlich fanden zweimal jährlich Jahrestreffen zur Vorstellung und Diskussion des Arbeitsstands in den verschiedenen Arbeitspaketen statt. Die Ergebnisse der meisten Arbeitspakete sind das Produkt einer effektiven Zusammenarbeit der

Fraunhofer Gesellschaft mit den Projektpartnern und insbesondere mit den assoziierten Parteien. Wesentliche Teile der Nutzungskontext- und Anforderungsanalyse inkl. der Ist- und Sollprozesse in AP 1 und 2) sowie der Konzeption des HMI für KI-basiert Entscheidungsunterstützung sowie die Evaluation in AP 6 erfolgte mit Unterstützung von Expertinnen und Experten der Verkehrszentralen Warnemünde, Travemünde und Wilhelmshaven.

B. Projektergebnisse

Die Ergebnisse der Arbeitspakete sind, wie eingangs erläutert, infolge der Erkenntnisse aus enger Zusammenarbeit mit Endnutzern und in fortlaufenden Iterationen entstanden. Sie werden hier aus Gründen der Übersichtlichkeit weitestgehend separat anhand der einzelnen Arbeitspakete beschrieben.

B.1 Ergebnisse in Arbeitspaket 1

B.1.1 Ist Analyse Verkehrsüberwachung (AP 1.1)

Eine stark vereinfachte Version der identifizierten Prozesse ist in Abbildung 3 dargestellt.

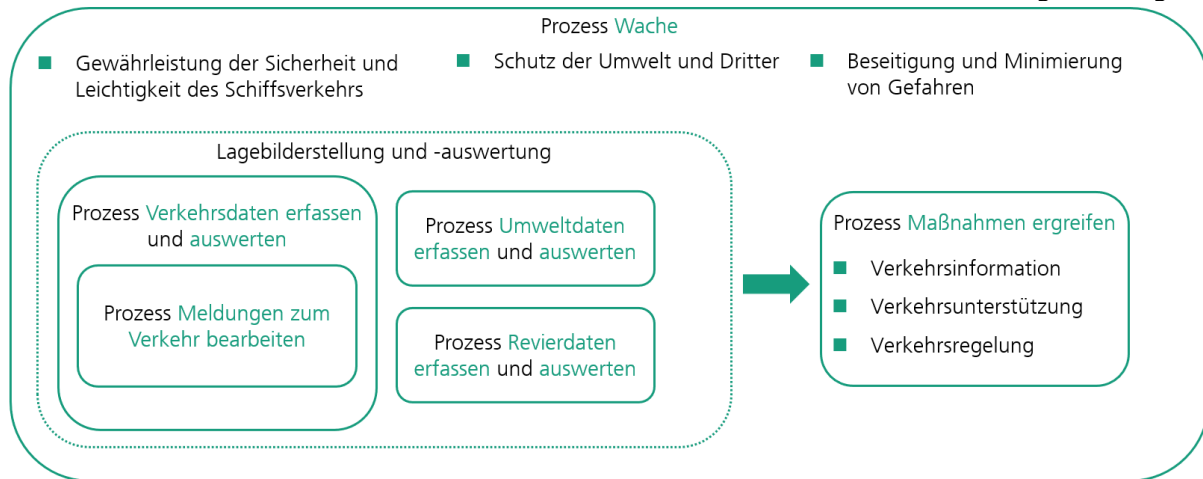


Abbildung 3: vereinfachte Darstellung der Aufgaben vorherrschender Ist-Prozesse

Wie aus der Abbildung ersichtlich, werden drei Hauptziele unter dem übergeordneten Prozess der Wache zusammengefasst. Diese beschäftigen sich zugleich mit der Minimierung von Gefahren für den maritimen Verkehr und der Minimierung von Gefahren, die ihrerseits von diesem ausgehen. Die Erreichung dieser Intentionen erfordert sowohl das genaue Wissen, wie sich die aktuelle Verkehrssituation gestaltet und welche Implikationen sich daraus ergeben (Lagebilderstellung und -auswertung), als auch die Befähigung, in das Geschehen einzugreifen, sowohl informativ als auch regulierend (durch Anweisungen).

Daraus ergeben sich weitere Teilprozesse, die alle eine wichtige Rolle bei der Bildung eines geeigneten Situationsbewusstseins darstellen, welches die Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Überwachung bildet:

1. Verkehrsdaten erfassen und auswerten
2. Bearbeitung von Verkehrsmeldungen
3. Umweltdaten erfassen und auswerten
4. Revierdaten erfassen und auswerten
5. Maßnahmen ergreifen

Folglich müssen durch die Operateure eine ganze Reihe von Informationen zu einem (mentalen) Gesamtbild integriert werden, das die akkurate Einschätzung der Lage ermöglicht. Dies zeigen ebenfalls die zu unternehmenden Schritte in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation. Trotz verschiedener Aufgaben- und Verantwortungsverteilungen unter VKZ-Operateuren decken sich die Aufgaben des Wachprozesses weitestgehend.

Eine deutsche VKZ ist meist mit einem Wachleiter, dem Nautiker vom Dienst (NvD) und mehreren (3-5) nautischen Assistenten (NA) besetzt. Ersterer ist für das gesamte Seegebiet zuständig, während Letztere das Gebiet unter sich in einzelne Sektoren aufteilen. Jeder Arbeitsplatz ist mit einer Vielzahl von Bildschirmen (in Warnemünde bis zu 10 Stück) ausgestattet, von denen mehrere verschiedene Ausschnitte der Revierkarte mit Echtzeitinformationen zum Seeverkehr zeigen. Die übrigen erlauben unter anderem die Anzeige der Schiffsdatenbanken, die Wetterinformationen, das Schiffstagebuch

oder Weg-Zeit-Diagramme. Darüber hinaus verfügt jeder Arbeitsplatz über ein Funkkommunikationsgerät, sodass Absprachen zwischen Schiffen mitgehört, Anfragen von Schiffen empfangen und auch Informationen an Schiffe weitergegeben werden können. Die Kommunikation innerhalb der VKZ erfolgt dagegen unkompliziert und mündlich.

Durch ein Studium der Nautik sowie nachfolgende jahrelange Erfahrung zur See sind die VKZ-Operateure ihrer Aufgabe gewachsen und können Gefahrensituationen meist routiniert erkennen. Nichtsdestotrotz wurde Kritik an derzeitigen Systemen deutlich: Die Software ist zu störanfällig, das Design zu veraltet, die Menüpunkte zu verschachtelt und die Gefahrenmeldungen zu generisch, zu unsortiert, zu undeutlich und zu oft zu belanglos. Kurzum, die eher archaischen Systeme zu Land zeigten sich in einem starken Kontrast zu der wachsenden Automatisierung zu Wasser. In Anbetracht der hierdurch möglicherweise zu erwartenden steigenden Komplexität, die mit der zunehmenden Mischung von Schiffstypen (von konventionell gesteuerten zu autonomen Schiffen) einhergeht, stellen unzeitgemäße und nutzungsunfreundliche Unterstützungssysteme ein Risiko dar und verhindern eine optimale Arbeitsweise. Folglich offenbarten sich einige Anknüpfungspunkte, wo das LEAS-System Abhilfe schaffen kann (s. auch Abschnitt B.2 Ergebnisse in Arbeitspaket 2).

B.1.2 Ist Analyse Daten (AP 1.2)

Aus dem Teilarbeitspaket entstand eine Übersicht, die die verschiedenen Datenströme hinsichtlich ihrer Notwendigkeit bewertet und begründet. Zum Zeitpunkt der Umsetzung dieses Arbeitspakets wurden Radar und AIS als notwendige Datenströme identifiziert. Diese lieferten absolut notwendige Informationen wie Schiffspositionen und -bewegungen. Die Radiokommunikation wurde als nicht notwendig, da nicht umsetzbar, bewertet. Datenströme aus meteorologischen und hydrologischen Sensoren wurden als optional eingestuft, da diese kontexterweiternde Verkehrsdaten beisteuern können.

B.2 Ergebnisse in Arbeitspaket 2

B.2.1 Sollprozesse Gemischter Verkehre (AP 2.1)

Aus dem Arbeitspaket ergaben sich konkret detaillierte und validierte Soll-Prozesse, die aufzeigen, wie das zu entwickelnde System optimal in die existierenden Abläufe integriert werden kann, um diese zu verbessern. Es zeigten sich im Speziellen, dass das System mithilfe von fünf geplanten Innovationen an drei relevanten Aufgaben der Operateure maßgeblich ansetzen und so den übergeordneten Wachprozess unterstützen kann. Abbildung 4 zeigt eine stark reduzierte Version der Soll-Prozesse.

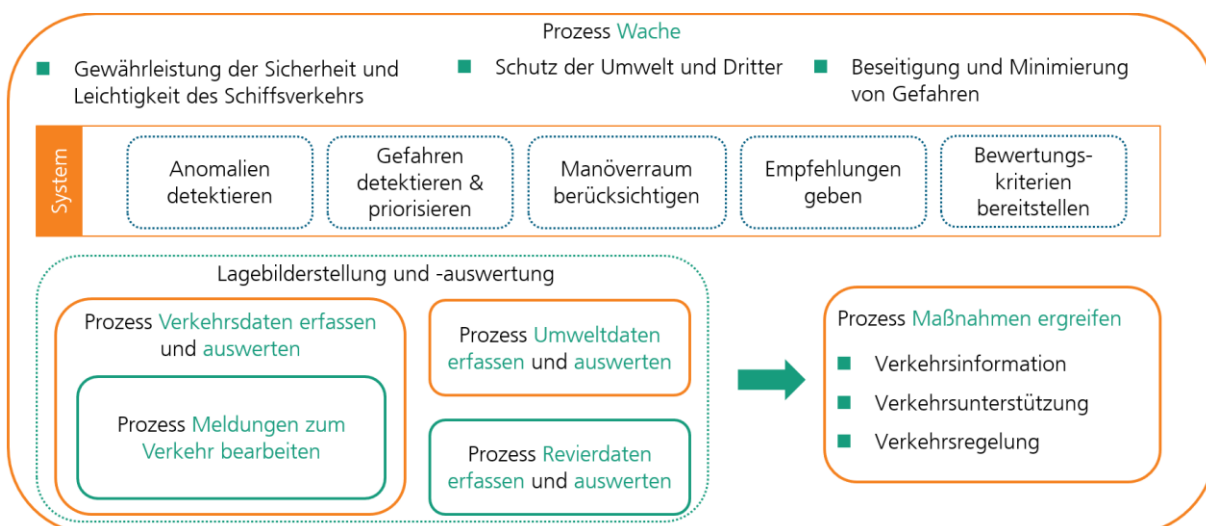


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der zu erreichenden Soll-Prozesse.

In orange hervorgehoben sind die relevanten Aufgaben, bei denen durch das System eine Entlastung der Operateure erreicht werden kann. Es muss betont werden, dass die menschliche Rolle in diesem

Zusammenspiel nicht minimiert werden, geschweige denn der Mensch ersetzt werden soll. Ziel ist es, ihn unter anderem im Hinblick auf die gemischten Verkehre bestmöglich zu unterstützen, während er weiterhin in der Verantwortung bleibt und die Entscheidungsgewalt hat.

Um darüber hinaus die Operateure nicht ihrer gewohnten Entscheidungsgrundlage zu berauben und die Möglichkeit zu bieten, die Vorzüge des neuen Systems vergleichend zu entdecken, ist das Vollsystem (Desktop-Version) zunächst als Ergänzung zu dem Standardsystem angedacht. Langfristig ist geplant, die Entscheidungsunterstützung mit bisherigen Systemen zu fusionieren, vorerst soll der Fokus jedoch auf den neuen Möglichkeiten der Entscheidungsunterstützung liegen, welche auf einem eigenen Bildschirm dargestellt wird. Aus diesem Grund braucht das System nicht sämtliche Funktionen jetziger Systeme voll zu integrieren. Doch auch auf lange Sicht sollte strukturiert und mit Bedacht darüber befunden werden, welche davon neben der intelligenten Detektion zusätzlich benötigt werden. Bei der zuvor beschriebenen Aufarbeitung der Ist-Prozesse zeigte sich deutlich, eine Überfrachtung des derzeit genutzten Systems mit Einstellungs- und Handlungsoptionen, welche weder gebraucht noch gewollt oder aufgefunden werden.

B.2.2 Anforderungen an Daten (AP 2.2)

Aus diesem Arbeitspaket resultierten die spezifizierten Schnittstellen und Formate der Datenströme, an welche der Demonstrator zu Entwicklungszwecken und während der Evaluationen angebunden wird. Wie in AP 1.2 definiert, handelte es sich bei den notwendigen Datenströmen um AIS- und Radar-Daten. Als Format zur Übertragung dieser Daten wurden insbesondere das DIS-Protokoll und der NMEA0183-Standard spezifiziert, da es sich hierbei um einen anerkannten und geläufigen Standard zur Übertragung von Verkehrsdaten bzw. AIS- und Radar-Daten handelte. Dadurch wurde die Integration des Demonstrators in verschiedene Umgebungen, insbesondere die VTS-Simulationsumgebungen des CML und des SIW, ermöglicht und die Weiterentwicklung nach diesem Projekt begünstigt.

B.2.3 Verkehrsszenarien Spezifikation (KI-Anforderungen) (AP 2.3)

Insgesamt wurden 3 Verkehrsszenarien erstellt. Zwei Szenarien in der deutschen Bucht und eins im Revier der VKZ Warnemünde.

B.2.4 Datenflussmodell, -konzept und-aufbau (AP 2.4)

Aus diesem Arbeitspaket resultierte insbesondere ein Programm zur Aufzeichnung und Wiedergabe von im Netzwerk geteilten Datenströmen, die u.a. dem NMEA0813-Format folgen. Des Weiteren folgten Programme, die die Aufarbeitung von Daten aus der CML-internen AIS-Datenbank ermöglichten.

B.2.5 Systemarchitektur (AP 2.5)

Aus diesem Arbeitspaket resultierte die Systemarchitektur, welche schematisch in drei Detailgraden festgehalten ist und u.a. das High-Level berücksichtigt. Die Systemarchitektur beinhaltet und verbindet alle Entwicklungen, die aus den Arbeitspaketen folgen, also u.a. die HMIs und die KI-Module. Aus der Systemarchitektur folgten sowohl funktionelle als auch technische Anforderungen an die Demonstratoren. Die Systemarchitektur spiegelt die Demonstratoren in ihrer Breite und Komplexität schematisch wider und bildet damit eine Grundlage für technische Diskussionen sowie für die Entwicklungs- und Implementierungsarbeiten.

B.3 Ergebnisse in Arbeitspaket 3

B.3.1 Spezifikation der HMI-Anforderungen (AP 3.1)

Als Ergebnis des APs stand eine vorläufige Excel-Liste mit klar definierten Anforderungen an das System, die sortiert nach ihrer Relevanz, Aufschluss über die Implementierungspriorität geben sollten. Um den erfolgreichen Fortschritt des Projekts zu gewährleisten, wurde sich für die folgenden Schritte zunächst auf die Funktionalitäten und Informationen aus den höchsten beiden Kategorien fokussiert.

B.3.2 Umsetzung der HMI-Anforderungen in Mock Ups (AP 3.2)

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes dienten der Visualisierung der Designideen. Sie bestanden sowohl aus statischen visuellen Mock-Ups als auch aus interaktiven Prototypen. Sie wurden vorwiegend als Veranschaulichungsgrundlage für Diskussionen mit den Projektpartnern und zu Usability-Testzwecken mit Nutzenden bzw. Operateuren (s. Abschnitt B.3.3 Evaluation und iterative Weiterentwicklung (AP 3.3)) genutzt. Des Weiteren flossen einige Bilder zu Illustrationszwecken in das Lastenheft, bzw. den Anforderungskatalog für das HMI ein (s. Abschnitt B.3.4 Anforderungskatalog HMI (AP 3.4)).

B.3.3 Evaluation und iterative Weiterentwicklung (AP 3.3)

In Folge der verschiedenen Diskussionsrunden, Workshops und praktischen Erhebungen in diesem AP entstand schließlich ein ganzheitliches evaluiertes HMI-Mock-Up, welches in einer nachfolgenden Untersuchung an einem funktionsfähigen System getestet werden konnte (s. auch Abschnitt B.6.2 Evaluierung KI-Demonstrator in Simulationsuntersuchungen und Evaluierung der operationellen Anforderungen und der HMI-Usability (AP 6.3)).

B.3.4 Anforderungskatalog HMI (AP 3.4)

Aus den beschriebenen Arbeitsschritten ergab sich schließlich ein umfangreicher Anforderungskatalog, welcher die notwendigen Funktionalitäten sowie das Aussehen und die Interaktionsmöglichkeiten der Schnittstelle zwischen dem System und dem Menschen im Detail beschreibt (Fokus auf nicht-funktionalen Anforderungen). Diese stellten sicher, dass ein gemeinsames Verständnis der Ziele und Erwartungen vorlag, sodass der lauffähige Demonstrator mit angebotenen KI-Modulen programmiert werden konnte. Der Anforderungskatalog wird separat bereitgestellt und ist vertraulich zu behandeln.

Entsprechend der erweiterten Teilvorhabensbeschreibung stand am Ende dieses Arbeitspakets außerdem eine adaptierte Fassung des Anforderungskatalogs für ein WBVTS. Da das bis dahin entwickelte HMI mehrfach evaluiert worden war und positiven Zuspruch erhalten hatte, ist die Webversion weitestgehend an diesem HMI angelehnt. Sie berücksichtigt jedoch die möglichen Einschränkungen sowie auch Möglichkeiten eines weltweit einsetzbaren browserbasierten Systems. Ihr Aufbau sollte modular strukturiert sein, um auf dem globalen Markt den jeweiligen Gegebenheiten, wie einer mehr oder weniger ausgereiften maritimen Infrastruktur, zu entsprechen.

B.4 Ergebnisse in Arbeitspaket 4

B.4.1 Datenaufbereitung und -fusion (AP 4.1)

In diesem Arbeitspaket wurde das Modul zur Datenaufbereitung und -fusion entwickelt und gemäß der Anforderung laut Systemarchitektur ggf. angepasst. Das Modul verwendete geläufige und standardisierte Schnittstellen zur Anbindung von Offline- und Online-Datenströmen. Die Datenanbindungen, u.a. die AIS-/NMEA- und DIS-Annahmeschicht, die für Trainings- und Evaluationszwecke verwendet wurden, sind validiert.

Aus diesem Arbeitspaket folgten abgestimmte Lösungsvorschläge, die abhängig von der Natur der anomalen Situation sind, z.B. Kollisionsrisiko, auffälliger Kurs oder Gebietsannäherung. Darüber hinaus resultierte aus den Diskussionen mit Fachkräften und Experten - entgegen der anfänglichen Annahme -, dass Lösungsvorschläge kein spezifisches Manöver beinhalten sollen, sondern Informationen für eine Entscheidungsgrundlage.

B.4.2 Anomalie-Detektion (KI-Modul 3) (AP 4.4)

Aus diesem Arbeitspaket resultierte das KI-Modul zur Anomalie-Detektion und der zugehörigen Konfiguration der zu erkennenden (anormalen) Situationen.

B.5 Ergebnisse in Arbeitspaket 5

B.5.1 Aufsetzen des Demonstrators für das Frontend (AP 5.1)

Der Demonstrator wurde auf Basis des Lastenhefts unter Berücksichtigung der Wichtigkeit einzelner Komponenten implementiert und als ausführbare Software bereitgestellt. Um eine Nutzung auf verschiedenen Testplattformen zu ermöglichen, wurde das Frontend agnostisch in einer Python-Kivy-Applikation implementiert, sodass sowohl auf Linux als auch auf Windows ohne größere Probleme getestet werden konnte. Die Plattformunabhängigkeit ermöglichte das Testen sowohl auf der Testhardware des Fraunhofer CML als auch die Verbreitung an andere Orte für Evaluationen und weitere Entwicklungen.

B.5.2 Zusammenführung der KI-Module in die Demonstratoren (AP 5.2)

Als Grundlage dienten die aufbereiteten Demonstratoren aus AP 5.1. Diese Demonstratoren verfügten über die in der Systemarchitektur spezifizierten Schnittstellen zur Anbindung der KI-Module aus AP 4. Der Daten- und Informationsaustausch der KI-Module erfolgte über das Modul zur Datenaufbereitung und -fusion. Die Integration der KI-Module wurde anhand von definierten Situationen und Szenarien getestet und bei Bedarf iterativ angepasst.

B.5.3 Demonstrator KI-basierte Module zur Entscheidungsunterstützung mit innovativem HMI (AP 5.3)

Die in AP 5.2 aufbereiteten und getesteten Demonstratoren wurden in die VTS-Simulationsumgebungen des CML und des SIW integriert. Die Integration wurde über die NMEA- und DIS-Schnittstellen des Moduls zur Datenaufbereitung und -fusion ermöglicht. Anhand des iterativen Integrierens und Testens der Demonstratoren wurden Verbesserungen vorgenommen, die, sofern notwendig, in der Systemarchitektur festgehalten wurden. Das Testen der Demonstratoren erfolgte dabei anhand vordefinierter Situationen und Szenarien. Dabei wurden nicht nur die Software-Komponenten, sondern auch Hardware-Komponenten geprüft und auf notwendige Redundanz kontrolliert, um eine reibungslose Evaluation zu ermöglichen.

B.6 Ergebnisse in Arbeitspaket 6

B.6.1 Spezifikation Untersuchungsplan (AP 6.2)

Das Ziel des FKIE für AP6.2 - die Erstellung eines Untersuchungsplans für die Usability Untersuchung - wurde gemäß der Planung erreicht. Sämtliche notwendigen formellen Unterlagen (Studieneinladung/Informationsbroschüre, Einverständnis- und Datenschutzerklärung) wurden zusammengetragen und wurden auf das Projekt angepasst. Ein SoSci-Projekt mitsamt der selbst entwickelten Fragen (demografisch, Freezing-Fragen, Usability- und aufgabenbezogene Fragen, Akzeptanzfragebogen) und des ISO-Norm Fragebogens wurde erstellt. Ein Leitfaden für ein abschließendes Interview mit den Probanden war ausgearbeitet worden. Aufgrund der eingehenden Planung sowie wiederholten Voruntersuchungen konnte sichergestellt werden, dass der Untersuchungsplan durchführbar, die Fragen verständlich und der Ablauf geklärt war.

B.6.2 Evaluierung KI-Demonstrator in Simulationsuntersuchungen und Evaluierung der operationellen Anforderungen und der HMI-Usability (AP 6.3)

Das Resultat von AP 6.3 war ein umfangreicher Datensatz über die Nutzungsfreundlichkeit und Gebrauchstauglichkeit des LEAS-HMI bzw. des Systems, zusammengetragen durch Simulatoruntersuchungen mit einer einschlägigen Gruppe Nutzender. Ihre Angaben wurden analysiert und die aufgearbeiteten Ergebnisse liegen vor. Nachfolgend sollen kurz die Hauptbefunde/-eindrücke beschrieben werden.

Die Befunde des ISONORM-Fragebogens (dargestellt in Abbildung 5) deuten auf eine insgesamt durchaus positive Bedienbarkeit des Systems hin. Sämtliche Skalenwerte sind im positiven Bereich (zwischen 4 und 6). Nichtsdestotrotz lässt sich auch Verbesserungspotential erkennen, welches mithilfe der übrigen erhobenen Daten konkretisiert werden konnte.

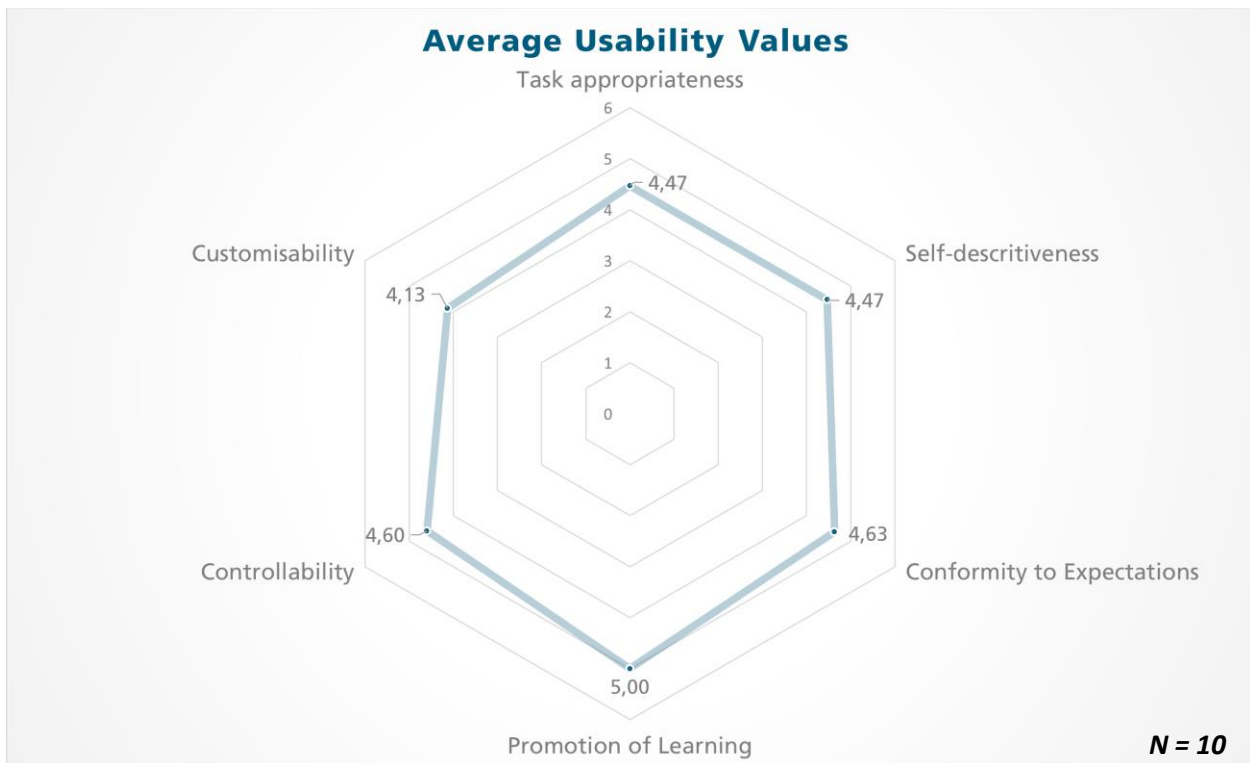


Abbildung 5: Ergebnisse des ISONORM-Fragebogens

Besonders positiv hervorheben lässt sich, dass das HMI (siehe Abbildung 6) als sehr intuitiv verständlich und einfach zu lernen bewertet wurde. Das wurde sowohl durch die Aussagen als auch die sehr kurze Einarbeitungszeit deutlich, die für die Operateure ausreichte, um mit dem System zurechtzukommen. Das Layout sei sehr schlüssig aufgebaut und klar strukturiert, was zum Teil auch auf den minimalistischen Aufbau zurückgeht, der ebenfalls Zuspruch erfuhr. Das moderne Design sei weitaus ansprechender, als das mit derzeitigen Systemen der Fall sei und die Verwendung von Akkordeonmenüs, die ein- und ausklappbar sind, seien gut, um die Informationsmenge zu reduzieren und zu verhindern, dass sich Operateure durch das System zu bevormundet fühlen.



Abbildung 6: Screenshot des HMI des entwickelten Demonstrators

Darüber hinaus wurde das Gefahrenmanagement überwiegend bejahend aufgenommen, sowohl was die Bezeichnungen und den Informationsgehalt angeht, die klar und eindeutig seien, als auch was die Darstellungsweise betreffe. Gefährliche Situationen seien sehr deutlich gekennzeichnet und schnell zu identifizieren. Eigenschaften, die dem jetzt verwendeten System weitestgehend fehlen. Die neu aufgenommenen Meldungen, wie Hinweise, wenn sich ein Schiff in einem fahrbeschränkten Gebiet befindet, wurden begrüßt.

Es wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass für Jamming und Spoofing noch Wissensdefizite existieren. Während einige Operateure mit den Konzepten vertraut schienen, waren sich andere den hiervon ausgehenden Gefahren wenig bewusst.

Das LEAS-System sollte sich für eine zukünftige Implementierung noch Richtung vollwertiges VTS System weiterentwickeln. Das größte Verbesserungspotential zeigte sich in puncto fehlender Funktionalitäten und Individualisierbarkeit bzw. Einstellungsmöglichkeiten. Da es als Zusatz entwickelt wurde, wurden einige Funktionen bewusst weggelassen. Einige Funktionen, die von einem vollen VTS erwartet werden, sind die Möglichkeit zur Abstandsmessung und CPA/TCPA-Messung, breitere Möglichkeiten zur Setzung von Filtern, Darstellung von Vektorlängen und Festlegung individueller Short-Cuts.

Die gefundenen Kritikpunkte in Bezug auf fehlende Funktionalitäten sind mit dem generellen Konzept der LEAS-Benutzungsschnittstelle durchaus vereinbar und werden in eventuellen Weiterentwicklungen berücksichtigt. Dabei sollte angestrebt werden, die Komplexität des Systems nicht unnötig zu steigern, um den geschätzten „Minimalismus“ aufrechterhalten zu können.

Die gewonnenen Erkenntnisse geben Grund zu der Annahme, dass das entworfene HMI den Anforderungen gerecht wird und für die Aufgabenbearbeitung geeignet ist. Die konstruktive Kritik und die angetroffenen Probleme lieferten wertvolle Erkenntnisse zur Überarbeitung des Anforderungskatalogs sowie für mögliche Weiterentwicklungen und damit verbunden die Verwertbarkeit der Ergebnisse. Abschließend soll erwähnt werden, dass die Nutzenden ein großes Interesse an der menschenzentrierten Vorgehensweise zeigten und die Tatsache, dass um ihre Meinung und Unterstützung zu dem Thema gebeten wurde, auf sehr großen Anklang stieß.

Die Evaluation der Datenfusion wurde mittels der am CML verfügbaren Schiffsführungs- und VTS-Simulatoren gewährleistet. Die der Architektur zugrunde liegenden Systemkomponenten, namentlich der Objecttracker „Orca“ und die Anomaliedetektion „Manta“, wurden sowohl separat als auch im Verbund iterativ und fortlaufend mittels aufgezeichneter Szenarien getestet. Orca ist durch eine bestehende Basis am CML bereits als ausführlich getestete und robuste Softwarekomponente in das Projekt eingeflossen. Entsprechend wurde Orca durch einen breiten Einsatz in praktischen Softwareumgebungen am CML und an Bord von Schiffen sowie durch die Installation bei Industriepartnern des CML vorab evaluiert. Manta wurde durch ein Set definierter Testszenarien fortlaufend intern evaluiert, um etwaige Fortschritte, Fehlererkenntnisse oder Regressionen in der Anomaliedetektion frühzeitig zu erkennen. Um die Vergleichbarkeit dieser Softwaretests zu gewährleisten, wurden die Szenarien einmalig am VFTS-Simulator des Fraunhofer CML sowie am VTS-Simulator der Hochschule Wismar aufgenommen und dann mit internen Tools zum Wiederabspielen in das System gespeist. Dadurch wurde eine wiederholbare und gleichbleibende Testbasis gewährleistet, die es ermöglichte, das System während des gesamten Softwareentwicklungszyklus vergleichbar und robust zu testen, seine Funktion zu evaluieren und seine Anwendbarkeit im Projektkontext sicherzustellen.

B.7 Ergebnisse in Arbeitspaket 7

B.7.1 Akzeptanz (AP 7.1)

Das im Rahmen des Projektes erstellte Akzeptanzmodell zeigt die Akzeptanzfaktoren sowie Einflussgrößen für das im Projekt konzipierte KI-gestützte EUS. Das Modell zeigt Faktoren, die für die Akzeptanz des Systems relevant sind. Außerdem zeigt es auch Einflussgrößen. Durch Einflussgrößen kann positiv oder negativ auf einen Faktor eingewirkt werden. So kann beispielsweise der Faktor

„Nachvollziehbarkeit“ positiv beeinflusst werden durch die Bezeichnung von Alarmen, Plausibilität von Alarmen oder Standardkonformität. Des Weiteren liegen Akzeptanzfragebögen vor, um initial Faktoren der Akzeptanz zu erfassen und diese im späteren System bewerten zu können. Eine Beschreibung der Faktoren und Einflussgrößen liegt ebenfalls vor.

Bei der Auswertung der Fragebögen ist zu berücksichtigen, dass einerseits, durch die geringe Anzahl an Teilnehmern (zehn Teilnehmer), keine statistischen Tests gerechnet werden können. Jedoch, andererseits war durch den intensiven Austausch mit den Nutzern über die gesamte Projektlaufzeit erkennbar, dass die Fragebogenergebnisse nicht nur Momentaufnahmen sind, sondern sich auch in den vielen Beobachtungen und Interviews bei der alltäglichen Arbeit mit den aktuell genutzten Systemen erkennen lassen. Beobachtete Probleme mit aktuellen Systemen spiegeln sich auch in der Beantwortung der Fragen wider und sind relevant für das Konzept eines neuen Systems.

Auch wenn die Auswertung aufgrund der geringen Stichprobengröße keine Statistik zulässt, so lässt sich deskriptiv trotzdem durch die Häufigkeit der Nennung erkennen, welche Faktoren eine besonders hohe Relevanz für die Nutzer haben. Diese sind:

- Systemstabilität
- Nachvollziehbarkeit der KI- Entscheidung
- Konsistenz der KI-Entscheidungen
- Zeiteinsparung
- Einstellungen im System (Individualisierbarkeit)
- Vertrauen
- Rechtskonformität, Regeln nach KVR

Während der Konzeptentwicklung wurde folglich besonders auf diese Faktoren geachtet. Hier war auch die enge Zusammenarbeit mit den Partnern relevant. Diese waren insbesondere bei den Faktoren der Rechtskonformität und der KI-Eigenschaften involviert.

Außerdem wurden Faktoren genannt, die für die Nutzer relevant sind, jedoch nicht bei der Erstellung der HMI-Konzepte oder der Demonstratoren berücksichtigt werden konnten, die jedoch für ein reales System Relevanz haben. Dazu gehören:

- Stabilität des Systems
- Leistung der Rechner/und Grafikkarten
- Flüssiges Arbeiten

Hier muss bei einer späteren Systemrealisierung berücksichtigt werden, entsprechende Voraussetzungen zu schaffen. Das betrifft beispielsweise die eingesetzten Server, Computer und Betriebsumgebung.

Neben dem Akzeptanzmodell liegen mehrere Fragebögen vor, die basierend auf dem Modell erstellt und im Laufe des Projektes eingesetzt wurden. Zum Modell ergänzend liegt eine Beschreibung der Faktoren und Einflussgrößen vor. Diese erklärt, wie die einzelnen Einflussgrößen bei der Konzepterstellung berücksichtigt werden können, um eine möglichst hohe Akzeptanz bei den Nutzern zu erreichen.

Das finale Modell findet sich im Anhang E.1. Zur besseren Übersichtlichkeit und Struktur wurden die Faktoren in vier Gruppen eingeteilt:

- Eigenschaften der Rahmenbedingungen
- Technische Eigenschaften
- Eigenschaften des EUS
- HMI-Eigenschaften

Dabei lassen sich Eigenschaften des EUS und HMI-Eigenschaften direkt in dem im Projekt entwickelten Demonstrator erkennen. Eigenschaften der Rahmenbedingungen und technische Eigenschaften lassen sich in diesem nicht abbilden, sind jedoch relevant bei der Realisierung eines Systems. Hier ist besonders auffällig, dass für diese beiden Gruppen die Stabilität des Systems, die

durch beispielsweise Hardware beeinflusst werden kann, sowie die Sicherheit, besonders relevant für die Nutzer sind. Von den Nutzern als besonders relevant eingestufte Faktoren und Einflussgrößen sind im Modell fett gekennzeichnet. Im Modell ist außerdem ersichtlich, dass es Einflussgrößen gibt, die auf mehrere Faktoren Einfluss haben. In diesem Fall kommen die gleichen Einflussgrößen an mehreren Stellen im Modell vor. So hat beispielsweise die Einflussgröße „passt zu bisherigen Prozessen“ sowohl Einfluss auf den Faktor „Zeitersparnis“ als auch „Erwartungskonformität“ und „Nachvollziehbarkeit“. Das heißt, indem man eine Einflussgröße manipuliert, also hier dafür sorgt, dass die Prozesse mit dem neuen System zu den bisherigen Prozessen kompatibel sind, beeinflusst man direkt mehrere Faktoren positiv, was sich auch wieder positiv auf die Akzeptanz des Systems auswirkt. In diesem Beispiel wurde das Ziel erreicht, indem zu Beginn des Projektes die Ist- und Soll-Prozesse erhoben und bei der Konzipierung berücksichtigt wurden. Auch durch den regelmäßigen Einbezug der Nutzer konnten die Prozesse immer wieder beobachtet und das Systemkonzept dahingehend angepasst werden.

Die finalen Ergebnisse wurden den Projektpartnern zur Verfügung gestellt, um bei den jeweiligen Arbeiten berücksichtigt zu werden. Insgesamt zeigte sich bei der Demonstratorevaluation eine hohe Nutzerakzeptanz für die Eigenschaften der EUS und HMI-Eigenschaften. Auch für eine Realisierung des Systems und in weiteren zukünftigen Projekten bieten das finale Modell und die Fragebögen eine gute Grundlage für weitere Arbeiten.

B.8 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises betreffen die Zuwendung, die den Selbstkosten des Vorhabens entspricht. Sie setzt sich zusammen aus den Personalkosten, den Reisekosten (0838) und den sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten.

B.9 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Alle durchgeführten Arbeiten wurden auf die im Projektantrag beschriebenen Ziele hin ausgerichtet und durchgeführt. Dazu wurden möglichst effiziente und effektive Vorgehensweisen gewählt, um unnötigen und nicht angemessenen Aufwand zu vermeiden.

B.10 Verwertung

Mit dem Ausbau der Kompetenz im Bereich der Analyse von sicherheitsrelevanten Prozessen sowie des Designs eines Entscheidungsunterstützungssystems für Gefahrensituationen konnte das FKIE seine Position als Sicherheitsforschungsinstitut weiter stärken. Darüber hinaus konnte die wissenschaftliche Expertise des Instituts auf dem Gebiet der landseitigen maritimen Verkehrsüberwachung erweitert werden.

Die neu hinzugewonnene arbeitswissenschaftliche Kompetenz wird genutzt, um neue Forschungsprojekte zu akquirieren, die Anwendungsdomäne potenziell auf weitere Bereiche zu übertragen und die Dienstleistungen auszubauen. Diese beinhalten auch zukünftige Beratertätigkeiten zur Gewährleistung eines adäquaten Sicherheitsniveaus während überwachender Tätigkeiten sowie die Entwicklung von Technologien im Bereich der zivilen Sicherheit.

Die eingehende Betrachtung der Ist- und Sollprozesse hat auf eine Vielzahl problematischer Aspekte gegenwärtiger Arbeitsabläufe und arbeitsaufwändiger Systeme hingewiesen. Einige davon können, wie durch die Soll-Prozesse beschrieben, durch geschickte Integration des neuen entwickelten LEAS-Systems, möglicherweise für Erleichterung sorgen.

Das bedienfreundlichere Konzept der Nutzungsoberfläche, welches in Kooperation mit den Nutzenden selbst entwickelt wurde, sorgt weiter dafür, dass die notwendigen Informationen bereitgestellt werden und effizient aufgerufen werden können. Speziell das Gefahrenmanagementkonzept hebt sich von derzeitigen Systemen ab. Es verringert voraussichtlich

die Detektionszeit neuer Gefahren und reduziert durch die stärkere KI-getriebene Automatisierung den verbundenen Aufwand. Ferner beschleunigt die intuitive Displaygestaltung das Erlernen des Systems und die Integration von entscheidungsrelevanten unterstützenden Angaben durch die KI erleichtert die Verkehrsüberwachung. Langfristig könnte dies eine Annäherung an die Lösung des Personalproblems bedeuten, da die Ausbildungszeit potenziell verringert werden könnte. Durch akkurate Lösungsvorschläge durch das System könnte die erforderliche Zeit zu See, welche VKZ-Operateure bis dato brauchen, verkürzt werden.

Der innovative Ansatz, Anomalien proaktiv zu identifizieren, sowie die Erweiterung der Sensorfusion für VTS-Systeme und die Komponenten-Sprache sind wichtige Grundsteine für aktuelle Entwicklungen in der autonomen Navigation und der gesamtheitlichen Verkehrsüberwachung. Ergebnisse aus der prototypischen Integration im Verlauf des LEAS-Projektes werden aktuell in Projekten mit Industriepartnern aktiv erforscht und ihre Anwendbarkeit untersucht. Ein erster Demonstrator, der das Echtzeitsverständnis und die Transkription von Sprache im maritimen Kontext nutzt, befindet sich derzeit in der Entwicklung am Fraunhofer CML. Er wurde bereits der nationalen und internationalen Gemeinschaft vorgestellt und stieß auf hohes Interesse.

Das FKIE und CML sind, gemeinsam mit den Konsortialpartnern, bestrebt, die Erkenntnisse und Entwicklungen aus LEAS weiter auszubauen und zur Markt- bzw. Anwendungsreife zu bringen. In einem geplanten Folgeprojekt sollen die relevanten und in LEAS entwickelten Erkenntnisse dabei die Grundlage bieten, um die LEAS Ergebnisse in einem vollumfänglichen VTS umzusetzen, ohne dabei die von den Endnutzern geschätzten in diesem Projekt entwickelten Innovationen aufzugeben.

Einige Forschungsergebnisse wurden, mit Genehmigung des Auftraggebers, zudem auf verschiedenen internationalen und nationalen Konferenzen veröffentlicht und so der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden sie während eines Meetings in Teilen dem Unternehmen IBM vorgestellt, welches seit 2024 mit der Entwicklung neuer Systeme für die Verkehrszentralen betraut ist. Da einige Konzepte insbesondere der HMI auf großen Anklang bei den Nutzenden stießen, werden auch auf diesem Weg einige der Ideen weitergeführt.

B.11 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurden keine Entwicklungen von anderen Stellen in Bezug auf eine Entscheidungsunterstützung für Verkehrszentralen zur landseitigen Verkehrsüberwachung bekannt. Einzig im Rahmen der Weiterentwicklung der Systeme in den Verkehrszentralen in Deutschland wurde die Firma IMB Deutschland beauftragt, Anpassungen an den derzeitigen HMIs vorzunehmen.

B.12 Veröffentlichungen im Rahmen des Projekts

TRANSNAV: T. Stach und P. Koch, „LEAS: An AI-based Demonstrator as Decision Support Tool for Traffic Monitoring at VTS Centers“, *TransNav The International Journal On Marine Navigation And Safety Of Sea Transportation*, Bd. 19, Nr. 1, S. 301–308, Jan. 2025, doi: 10.12716/1001.19.01.35.

ICMASS 24: T. Stach, P. Koch und M. Constapel, „A Formalism for Scalable Maritime Traffic Monitoring and Explainable Anomaly Detection and Resolution at Vessel Traffic Services“, *Journal Of Physics Conference Series*, Bd. 2867, Nr. 1, S. 012053, Okt. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2867/1/012053.

ICMASS 25: C. Schäfer, F. Motz und L. Befort, „Developing a Decision Support System for Vessel Traffic Services“, *Journal Of Physics Conference Series*, Bd. 3123, Nr. 1, S. 012063, Okt. 2025, doi: 10.1088/1742-6596/3123/1/012063.

C. References

- [1] *Ergonomics of human-system-interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems [ISO 9241-210:2019]; German version EN ISO 9241-210:2019*, EN ISO 9241-210:2019, Mar. 2020.
- [2] Gartner, *Exploit Everyday AI in the Digital Workplace*. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/exploit-everyday-ai-in-the-digital-workplace/>
- [3] Schiff und Hafen, *Erfolgreiches KI-Projekt: „Stena Fuel Pilot“ reduziert Treibstoffverbrauch auf Fahren*. [Online]. Available: <https://www.schiffundhafen.de/nachrichten/schiffahrt/detail/kuenstliche-intelligenz-reduziert-treibstoffverbrauch.html> (accessed: Jul. 8 2025).
- [4] M. Schaub, K. Benedict, and M. Kirchhoff, "Artificial Intelligence as a Practical Approach to Represent Complex Dynamic Relationships in Maritime Navigation," in *The 1st International Conference on Maritime Education and Development*, S. Bauk and S. D. Ilčev, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 21–30.
- [5] A. Love, *AI in shipping: areas to watch in 2020*. [Online]. Available: Online verfügbar unter: <https://www.ship-technology.com/features/ai-in-shipping/> (accessed: Jul. 8 2025).
- [6] BMV, *KI-gestütztes Assistenzsystem für die Einsatzplanung von Schiffen zur Luftreinhaltung im Hafen – KI-LU-HA: MFUND Projekt 2020-2021*. [Online]. Available: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/ki-lu-ha.html>
- [7] D. Zisis, E. K. Xidias, and D. Lekkas, "Real-time vessel behavior prediction," *Evolving Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 29–40, 2016, doi: 10.1007/s12530-015-9133-5.
- [8] J. Bock, T. Beemelmans, M. Klösges, and J. Kotte, "Self-learning Trajectory Prediction with Recurrent Neural Networks at Intelligent Intersections," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*, Porto, Portugal, 2017, pp. 346–351.
- [9] S. H. Park, B. Kim, C. M. Kang, C. C. Chung, and J. W. Choi, "Sequence-to-Sequence Prediction of Vehicle Trajectory via LSTM Encoder-Decoder Architecture," 2018.
- [10] L. P. Perera, J. P. Carvalho, and C. G. Soares, "Bayesian Network based sequential collision avoidance action execution for an Ocean Navigational System," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 43, no. 20, pp. 266–271, 2010, doi: 10.3182/20100915-3-DE-3008.00046.
- [11] S. Mascaro, K. B. Korb, and A. E. Nicholson, "Learning Abnormal Vessel Behaviour from AIS Learning Abnormal Vessel Behaviour from AIS Data with Bayesian Networks at Two Time Scales," 2010. [Online]. Available: https://bayesian-intelligence.com/publications/TR2010_4_AbnormalVesselBehaviour.pdf
- [12] N. Jetchev and M. Toussaint, "Fast motion planning from experience: trajectory prediction for speeding up movement generation," *Auton Robot*, vol. 34, 1-2, pp. 111–127, 2013, doi: 10.1007/s10514-012-9315-y.
- [13] P. Virjonen, P. Nevalainen, T. Pahikkala, and J. Heikkonen, "Ship Movement Prediction Using k-NN Method," in *2018 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*, Olsztyn, 2018, pp. 304–309.
- [14] K. Kowalska and L. Peel, "Maritime anomaly detection using Gaussian Process active learning Fusion (FUSION 2012)," in *Information Fusion (FUSION), 2012 15th International Conference*. Accessed: Jul. 8 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/261308815_Maritime_anomaly_detection_using_Gaussian_Process_active_learning
- [15] D. O. D. Handayani, W. Sediono, and A. Shah, "Anomaly Detection in Vessel Tracking Using Support Vector Machines (SVMs)," in *2013 International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies*, Kuching, Malaysia, 2013, pp. 213–217.
- [16] I. Obradović, M. Miličević, and K. Žubrinić, "Machine Learning Approaches to Maritime Anomaly Detection," in *Naše more*, pp. 96–101.
- [17] Venkatesh, Morris, and Davis, "User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View," *MIS Quarterly*, vol. 27, no. 3, p. 425, 2003, doi: 10.2307/30036540.
- [18] T. Nedumgad, "Eine empirische Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Nutzung konsumentenorientierter Online-Speicherdienste," Masterarbeit, Universität zu Köln, Köln,

2013.

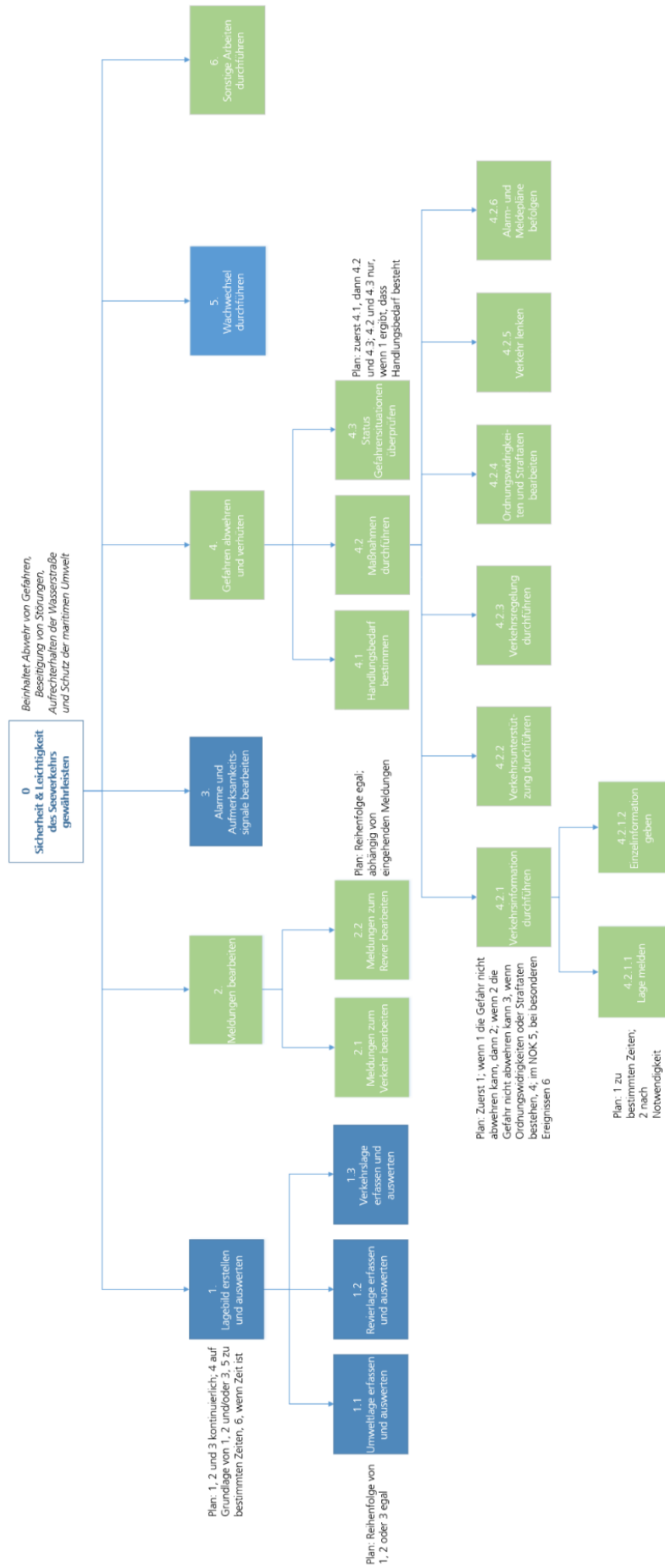
- [19] *Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV 2408): Betrieb der Verkehrszentrale: VV-WSV 2408*, 2014.
- [20] *Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV 2408) mit ergänzender Verwaltungsvorschrift der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Außenstelle Nordwest (VV-GDWS Nordwest 24-3): Betrieb der Verkehrszentrale Wilhelmshaven: VV-GDWS Nordwest 24-3*, 2015.
- [21] *Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV 2408) mit ergänzender Verwaltungsvorschrift der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (VV-GDWS 24-9): Betrieb der Verkehrszentrale Warnemünde: VV-GDWS 24-9*, 2016.
- [22] Deutschland, *VTS guide Germany*, 13th ed. Hamburg, Rostock: BSH Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2020.
- [23] N. A. Stanton, "Hierarchical task analysis: developments, applications, and extensions," *Applied Ergonomics*, vol. 37, no. 1, pp. 55–79, 2006, doi: 10.1016/j.apergo.2005.06.003.
- [24] Object Management Group (OMG), "Business Process Model and Notation (BPMN)," Specification Version 2.0.2, Dec. 2013.
- [25] IALA, "G1111 - Establishing Functional and Performance Requirements for VTS Systems and Equipment," International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 2022.
- [26] *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Interaktionsprinzipien (ISO 9241-110:2020)*, DIN EN ISO 9241-110, 2020-10.
- [27] J. Cadle, D. Paul, and P. Turner, *Business analysis techniques: 99 essential tools for success*, 2nd ed. Swindon, U.K.: BCS Learning & Development Limited, 2014.
- [28] *Balsamiq Wireframes (64bit): for Desktop*. Bologna, Italien: Balsamiq, 2021. [Online]. Available: <https://balsamiq.com/product/desktop/release-notes/#19-may-2025-release>
- [29] *Axure RP*. San Diego, Kalifornien: Axure Software Solutions, Inc., 2002.
- [30] *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 161: Leitfaden zu visuellen User-Interface-Elementen (ISO 9241-161:2016)*, DIN EN ISO 9241-161, Oct. 2016.
- [31] Open Bridge Design System, *Guideline*. [Online]. Available: <https://www.openbridge.no/guidelines/guideline>
- [32] IMO, "Guidelines for the Presentation of Navigation-Related Symbols, Terms and Abbreviations," London SN.1/Circ.243/Rev.2, 2019.
- [33] *Annex 21 - Adoption of Performance Standards for Bridge Alert Management*, MSC 87/26/Add.1, IMO, 2010.
- [34] IALA, "G1110 - Use of decision support tools for VTS personnel," 2021.
- [35] IALA, "R0125 (V-125) The use and presentation of symbology at a VTS centre," 2020.
- [36] IALA, "R1014 Portrayal of VTS information and data," 2017.
- [37] Mayring, P., Fenzl, T., "Qualitative Inhaltsanalyse," in *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, Baur, N., Blasius, J., Ed., Wiesbaden: Springer VS, 2019.
- [38] Jochen Prümper, *Fragebogen ISONORM 9241/110-S: Beurteilung von Software auf Grundlage der Internationalen Ergonomie-Norm DIN EN ISO 9241-110*.
- [39] B. Simon, *E-Learning an Hochschulen. Gestaltungsräume und Erfolgsfaktoren von Wissensmedien*. Köln: Josef Eul Verlag, 2001.
- [40] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, and Warshaw, P., R., "User Acceptance of Computer Technology:: A comparison of two theoretical models," *Management Science*, no. 35, 1989.

D. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AIS	Automatisches Identifikationssystem
AP	Arbeitspaket
CML	Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen
CPA	Closest Point of Approach
DIS	Distributed Interactive Simulation
EUS	Entscheidungsunterstützungssysteme
FOC	Fleet Operation Center
FKIE	Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie
HMI	Human-Machine-Interface
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IMO	International Maritime Organisation
KI	Künstliche Intelligenz
KVR	Kollisionsverhütungsregeln
LEAS	Landseitige Entscheidungsempfehlungen für Verkehrslagen mit hochautomatisierten bzw. autonomen Schiffen
NA	Nautische Assistenzen
NMEA	National Marine Electronics Association
NvD	Nautiker vom Dienst
SIW	Schiffahrtsinstitut
TAM	Technology Acceptance Model
TCPA	Time to Closest Point of Approach
UKW	Ultrakurzwellen
VKZ	Verkehrszentrale
VTS	Vessel Traffic Services (engl. Verkehrszentrale)
WBVTS	Web-based VTS
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

E. Anlagen

E.1 Hierarchische Aufgabenanalyse



E.2 Akzeptanzmodell

