

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.
FRAUNHOFER-CENTER FÜR MARITIME LOGISTIK UND DIENSTLEISTUNGEN CML
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR KOMMUNIKATION, INFORMATIONSPERARBEITUNG UND ERGONOMIE FKIE

B ZERO

Sach-/Schlussbericht

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

B ZERO

Sach-/Schlussbericht

Manfred Constapel
Paul Koch
Thomas Stach
Hans-Christoph Burmeister

Elena Dalinger
Stephanie Hochgeschurz
Florian Motz

Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen
Blohmstraße 32
21079 Hamburg

Tel. +49 (0) 40 42878 3656
Fax +49 (0) 40 42731 4478

Projektnummer: 10-05782-3570-00002

Datum: 30.11.2023

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.	Förderkennzeichen: 03SX500A
---	---------------------------------------

Vorhabenbezeichnung:

B ZERO

Entwicklung eines gemeinsamen Sensor- und Navigationssystems zur (teil-) autonomen Navigation von Handelsschiffen

Laufzeit des Vorhabens:

01.12.2019 - 31.05.2023

Berichtszeitraum:

01.12.2019 – 31.05.2023

Ziel des Vorhabens:

Das Verbundprojekt B ZERO zielt auf die Entwicklung eines gemeinsamen Sensor- und Navigationssystems, welches als autonomes Navigationssystem für Handelsschiffe dienen soll. Es ist in der Lage, das Schiff aktiv zwischen vordefinierten Abfahrts- und Ankunftspunkten zu führen und zu steuern, ohne dass eine rund um die Uhr aktive menschliche Aufsicht vor Ort erforderlich wäre. Parallel zum automatisierten Betrieb der Maschine werden nautische Offiziere zwar noch an Bord sein und bei unvorhergesehenen Situationen vom System hinzugezogen, vorrangig sind sie jedoch wachfrei gestellt. Das vorgeschlagene B ZERO System kann, unter bestimmten Voraussetzungen und in einem begrenzten Zeitraum, unbeaufsichtigt betrieben werden.

Gefördert vom BMWK aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Hamburg, 30.11.2023

Ort, Datum

Unterschrift

Inhalt

1	Einleitung.....	6
1.1	Aufgabenstellung.....	6
1.2	Voraussetzungen Vorhabens Durchführung	6
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
1.4	Wissenschaftlich und technischer Stand	7
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
2	Eingehende projektbezogene Darstellung	8
2.1	Darstellung der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse	8
2.2	Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	32
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	33
2.4	Vorraussichtlicher Nutzen.....	33
2.5	F&E Ergebnisse von dritter Seite	33
2.6	Veröffentlichungen im Vorhabenszeitraum	34
3	Literaturverzeichnis	36
4	Anhang	38

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Das Verbundprojekt B0 | B ZERO zielt auf die Entwicklung eines gemeinsamen Sensor- und Navigationssystems, welches als autonomes Navigationssystem für Handelsschiffe dienen soll. Es ist in der Lage, das Schiff aktiv zwischen vordefinierten Abfahrts- und Ankunftspunkten zu führen und zu steuern, ohne dass eine rund um die Uhr aktive menschliche Aufsicht vor Ort erforderlich wäre. Parallel zum automatisierten Betrieb der Maschine werden nautische Offiziere zwar noch an Bord sein und bei Spezialsituationen vom System hinzugezogen, vorrangig sind sie jedoch wachfrei gestellt. Das vorgeschlagene B0 | B ZERO System kann, unter bestimmten Voraussetzungen und in einem begrenzten Zeitraum, unbeaufsichtigt betrieben werden. Für weitere Details und die Einordnung in die Ziele des Programms Maritime Forschungsstrategien 2025 wird an dieser Stelle auf den Leitantrag und die entsprechenden Einordnungen verwiesen.

Fraunhofer bearbeitete im Verbundprojekt das Teilprojekt B0 Assist. B0-ASSIST ist dabei Kernverantwortlich für das Kernziel „AutoOOW“ inkl. der Mensch-Maschine-Schnittstelle von B0 und somit insbesondere für die Teilziele 3 bis 8 des Verbundvorhabens.

Die SMART-Ziele von B0-ASSIST umfassen:

- Entwicklung eines Kollisionsverhütungsalgorithmus, welcher unter Simulationsbedingungen bei einem Abstand von mindestens sechs Seemeilen in 95% der Fälle eine COLREG-Part-B-konforme Route gegenüber mehreren Verkehrsteilnehmern findet, welche gleichzeitig die aktuellen Wettercharakteristika als auch Strandungsrisiken berücksichtigt
- Entwicklung eines autonomen Wachsystems, welches eine wachfreie Brücke für bis zu acht Stunden im freien Gewässer ermöglicht
- Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle und korrespondierender Prozesse, welche es einem wachfreien Nautiker erlauben, in kritischen Situationen innerhalb von kürzester Zeit eine fundierte Entscheidung zu treffen, wenn das System um Unterstützung bittet

1.2 Voraussetzungen Vorhabens Durchführung

Das Projekt wurde innerhalb von Fraunhofer durch die Institute Fraunhofer CML und Fraunhofer FKIE durchgeführt.

Das Fraunhofer CML entwickelt innovative Lösungen für den maritimen Sektor und die maritime Supply Chain. Das Fraunhofer CML unterstützt Unternehmen und Einrichtungen aus Schifffahrt, Hafenwirtschaft und Logistik bei der Initiierung und Umsetzung zukunftsorientierter Technologien und Prozesse.

Das Fraunhofer FKIE konzentriert sich auf die Entwicklung von Technologien und Prozessen zur Früherkennung, Minimierung und Beherrschung existenzbedrohender Risiken. Ein zentraler Fokus liegt auf der Entwicklung von effektiven Mensch-Maschine-Systemen.

Alle Arbeiten wurden innerhalb der Institute von spezialisierten Arbeitsteams durchgeführt welche inhaltlich auf die Entwicklung der autonomen Systemkomponenten und Umsetzung der HMI ausgerichtet sind.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung und Durchführung des Vorhabens wurde auf Basis des zu Projektbeginn erstellten Arbeits- und Zeitplans durchgeführt auf den an dieser Stelle verwiesen wird. Es ist zu beachten das aufgrund einer zeitlichen Verschiebung der Projektplan um 6 Monate verlängert wurde und der aktualisierte Plan dem Projektträger mitgeteilt wurde.

1.4 Wissenschaftlich und technischer Stand

Autonome Schiffe werden als eine der sechs vielversprechendsten Schiffsinnovationen bezeichnet, welche helfen sollen, die maritime Stärke der EU beizubehalten [1]. Autonome Schiffe verfügen über "modulare [...] Steuerungs- und Kommunikationstechnologie[n] der nächsten Generation, welche drahtlose Überwachungs- und Steuerungsfunktion[en] sowohl an Bord, aber auch außerhalb des Schiffs ermöglichen. Dies beinhaltet fortschrittliche Entscheidungsunterstützungssystem[e] mit der Fähigkeit, Schiffe, halb- oder vollautonom zu steuern" [2]. Dabei wurde die Entwicklung des fortschrittlichen Navigationssystems, "das in der Lage sein wird, den Kurs eines Schiffes beizubehalten, sich ändernde See- und Wetterbedingungen zu erkennen und sich anzupassen, Kollisionen zu vermeiden und das Schiff effizient innerhalb vorgegebener Sicherheitsparameter zu betreiben" als notwendiger und kritischer Kernforschungsbaustein identifiziert [1].

B0 | B ZERO fördert die Innovation eines fortgeschrittenen Navigationssystems, welches als Bindeglied zwischen der bemannten Schifffahrt und der autonomen Schifffahrt dient. Innerhalb des Projektzeitraums wurde im Rahmen von parallelen Forschungsprojekten eine Vielzahl weiterer Projekte im Bereich der autonomen Navigation und Umgebungswahrnehmung durchgeführt oder vorgestellt, hier ist insbesondere im wissenschaftlichen Kontext ein wachsendes Interesse festzustellen. Mit Blick auf das wachsende Interesse wird auf die Darstellung in Abschnitt 2.5 „F&E Ergebnisse von dritter Seite“ innerhalb dieses Berichtes verwiesen.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Innerhalb der Fraunhofer Gesellschaft erfolgte die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE).

Innerhalb des Konsortiums erfolgte die Zusammenarbeit mit den nachfolgend aufgeführten Projektpartnern:

- Bernhard Schulte GmbH & Co KG
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Wärsilä Voyage Germany GmbH
- Hoppe Bordmesstechnik GmbH
- NautilusLog GmbH

2 Eingehende projektbezogene Darstellung

2.1 Darstellung der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse

Nachfolgend werden die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Verbundprojektes B0 | B ZERO, sortiert nach Arbeitspaketen mit Bezug auf die Fraunhofer Gesellschaft (umfasst Fraunhofer CML und Fraunhofer FKIE) aufgeführt und die entsprechenden Ergebnisse des jeweiligen Arbeitspaketes kurz dargestellt.

2.1.1 Arbeitspaket 1 | Technische Koordination

Für den übergreifenden Partneraustausch wurde im Projektzeitraum ein Jour Fixe im 2 und 4 Wochen Rhythmus durchgeführt, in dem insbesondere die Arbeiten der vergangenen Wochen, bestehende Probleme bzw. Herausforderungen bei der Projektbearbeitung sowie ein Ausblick der Arbeiten für die nächsten Wochen sowie benötigter Partnerinput eruiert wurden. Mit Beginn des Jahres 2023 wurde weiterhin ein zweiwöchentliches Abstimmungstreffen zum Austausch mit Wärtsilä (WV) durchgeführt, um Details und Absprachen hinsichtlich der Integration des Systems an Bord zu diskutieren.

2.1.2 Arbeitspaket 2.1 | Systemarchitektur

Die Systemarchitektur von B0 Assist besteht im wesentlichen aus dem Aufbau der Hardware Komponenten für das autonome Navigationssystem und die Anbindung aller externen Sensoren sowie die Architektur der Softwarekomponenten des autonomen Navigationssystems. Der Aufbau der Hardware Komponenten (Bordnetz) wurde in Zusammenarbeit aller Verbundpartner entwickelt und verbindet sämtliche Komponenten des B ZERO Gesamtsystems über ein zentrales Netzwerk miteinander und ermöglicht den Systemübergreifenden Austausch.

In Abbildung 1 ist der finale Zustand des Bordnetzes für B ZERO dargestellt.

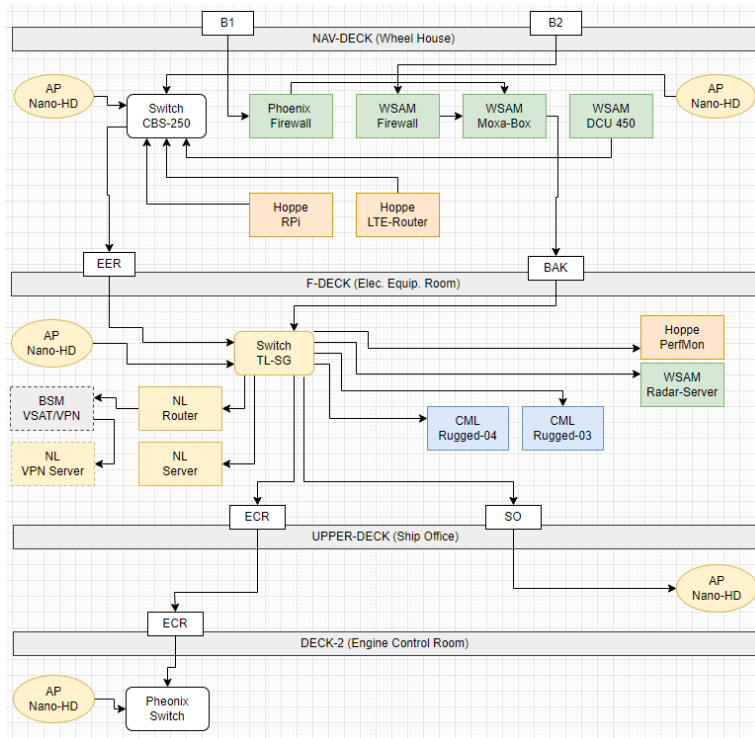


Abbildung 1: Implementierte
Systemarchitektur an Bord des
Testschiffes

Die Daten aus dem Betrieb und der Navigation laufen im EER (Elec. Equip. Room) zusammen und werden dort für das autonome Navigationssystem prozessiert. Das WLAN-Transportnetz dient zum Verteilen der Informationen aus dem B ZERO-System, speziell für die HMI und das Logbuch.

Zur Umsetzung der Strandungsvermeidung, Kollisionsverhütung und Schwerwetternavigation sowie die Anbindung der Komponenten an die HMI wurde eine Microservice Architektur an Bord implementiert. Durch die Nutzung von dedizierten Services für einzelne Bestandteile des autonomen Navigationssystems konnte die Entwicklung von verschiedenen Modulen parallel durchgeführt werden. Eine in Abbildung 2 dargestellte Übersicht zeigt die Aufteilung relevanter Systemkomponenten von B ZERO Assist und ihrer Hauptfunktionalität innerhalb des autonomen Navigationssystems.

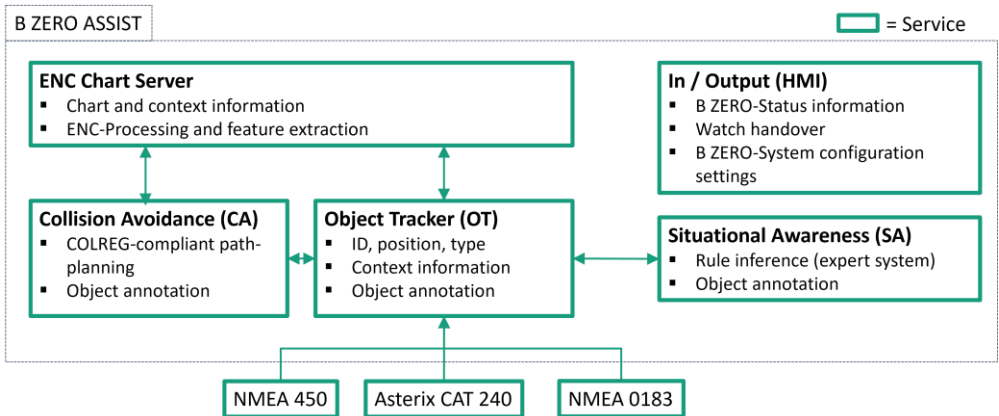


Abbildung 2: Microservice
Architektur von B ZERO Assist

2.1.3 Arbeitspaket 2.2 | Sensordatensammlung

Die abgeschlossenen Untersuchungen zu den Prozessen der Sensordatenerfassung aus dem Zwischenbericht (ZWB) VI wurden an Bord im Rahmen von zwei Besuchen zur Evaluierung und Durchführung von In-situ Tests validiert, indem die erfolgreiche Aufzeichnung der erforderlichen Telemetriedaten im unbeaufsichtigten Bordbetrieb der installierten Aufzeichnungs-PCs überprüft wurde (vgl. Abschnitt 2.1.9.1 *Arbeitspaket 5.1 Prototypenintegration*).

Die geplante Integration von Sensoren des optischen Systems ORCA.AI zur Identifikation von Schiffen mithilfe eines Kamerasystems wurde im Verlauf verschiedener Tests an Bord als nicht nutzbar eingestuft und für die weiteren Prozesse im Zusammenhang mit der Sensordatenerfassung nicht weiter berücksichtigt. Weiterführend konnten benötigte Telemetriedaten über die Schiffslage (Roll, Pitch, Yaw, Heave, Surge, Sway) aufgrund technischer Probleme in der Anbindung der Sensoren innerhalb des Projektzeitraumes nicht aufgezeichnet und verarbeitet werden, entsprechen Untersuchungen in Bezug auf *Arbeitspaket 4.1: Schwerwetternavigation* konnten somit nur auf theoretischer Ebene durchgeführt und beendet werden.

In Vorbereitung auf die Testläufe an Bord des Testschiffes wurde in Zusammenarbeit mit Nautilus Log eine proprietäre NMEA-Nachricht entwickelt, um Entscheidungen der HMI zu protokollieren und ähnlich zu anderen Sensordaten in Logs zu speichern und für eine spätere Auswertung nutzbar zu machen.

In Abbildung 3 ist die Struktur der NMEA-Nachricht sowie eine englischsprachige Funktionsbeschreibung der Felder dargestellt.

```

  1   2   3       4       5 6 7
  |   |   |       |       | | |
$PCML,LOG,hmmss.ss,ddmmyy,c,x,c,c*hh<CR><LF>

```

This sentence provides logging information of the device deployed by Fraunhofer CML.

- 1) Sentence Id: LOG always
- 2) Time of logging event, UTC
- 3) Date of logging event, ddmmyy – may be null
- 4) Origin or source of the logging event
- 5) Level or severity flag of the logging event (see note)
- 6) Reason or cause of the logging event
- 7) Additional information or description

Note:

D = Debug

I = Information, W = Warning

E = Error, C = Critical

**Abbildung 3: NMEA Logging
Nachricht**

Entscheidungen des AutoOOW und entsprechende Events in der HMI sind als Textform in den Logs hinterlegt:

```
$PCML,LOG,120108.00,050423,HMI,I,CPA < 1 NM,Evaluation required*38
```

Die beispielhaft aufgelistete Log-Nachricht protokolliert eine benötigte Evaluation durch den OOW während des Betriebes des B0 Assist Systems. Die gewählte Methode zur LOG-basierten Aufzeichnung von Entscheidungen hat sich im Realbetrieb bewährt und während der Entwicklung des AutoOOW sowie der HMI maßgeblich bei der Fehlersuche unterstützt.

2.1.4 Arbeitspaket 2.5 | B0 Prozesse

In AP 2.5 wurden vom Fraunhofer FKIE Ist-Abläufe projektrelevanter Arbeitsprozesse erhoben und modelliert, Soll-Abläufe der zukünftigen Arbeitsprozesse im Schiffsbetrieb mit dem autonomen System (AutoOOW) erarbeitet sowie die Operational Design Domain (ODD) für den Einsatz des AutoOOWs definiert.

Die Arbeiten setzten sich zusammen aus:

- Vorbereitung und Durchführung der Datenerhebungen zu Ist-Prozessen,
- Modellierung und Analyse der Ist-Prozesse,
- Vorbereitung und Durchführung der Workshops zur Definition der Soll-Prozesse,
- Modellierung und Analyse der Soll-Prozesse,
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Fragebögen und Workshops zur Definition der ODD.

Durch die COVID-19-Situation während der Projektlaufzeit gab es Auswirkungen auf den vorgesehenen Arbeitsplan:

- Die Ist-Prozessmodelle sollten in Simulatoruntersuchungen verifiziert und angepasst werden. Im Simulator hätten nautische Offiziere die Aufgabe gehabt, als ablösender Offizier, bzw. Kapitän in verschiedenen simulierten Situationen Wachübergaben durchzuführen. Aufgrund der in Deutschland implementierten Kontaktbeschränkungen infolge der COVID-19-Pandemie konnten die Simulatoruntersuchungen jedoch nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurden nautische Offiziere online über Microsoft Teams interviewt.
- Die ODD sollte in einem Präsenzworkshop mit allen Projektpartnern definiert werden. Auch dieser konnte aufgrund der Kontaktbeschränkungen nicht durchgeführt werden. Daher wurde ein Online-Fragebogen erstellt und ausgewertet, um einen ersten Anhaltspunkt für die Definition von ODD zu erhalten, gefolgt von einem Online-Workshop.

In AP 2.5 liegen folgende Ergebnisse vor:

- Modellierte B0-Prozesse (Ist und Soll)
- Beschreibung der Operational Design Domain

2.1.4.1 Vorbereitung der Datenerhebungen zu Ist-Prozessen

Ist-Prozesse sollten erhoben werden, um als Grundlage zur Beschreibung der Abläufe zur Übergabe der Steuerung von dem AutoOOW an den nautischen Offizier (Officer of the Watch, OOW) zu dienen.

Folgende Ist-Prozesse wurden als projektrelevant identifiziert:

1. Als Grundlage zur Beschreibung der Abläufe zur Übergabe der Steuerung von dem AutoOOW an den nautischen Offizier unter normalen Umständen (geplante Wachübergabe) diente der Prozess der Standardwachübergabe zwischen zwei nautischen Offizieren. Zur Definition eines vorläufigen Ist-Prozesses wurde die Checkliste „Watch Handover“ der Reederei Bernhard Schulte verwendet.
2. Als Grundlage zur Beschreibung der Abläufe zur Übergabe der Steuerung von dem AutoOOW an den nautischen Offizier aufgrund einer Ausnahmesituation

(ungeplante Wachübergabe) diente der Prozess der Wachübergabe an den Kapitän in einer kritischen Situation, in der der Kapitän zur Unterstützung herbeigerufen wird. Zur Definition eines vorläufigen Ist-Prozesses wurde die Checkliste „Master Calling“ verwendet.

Um diese Prozesse erfassen zu können wurden Befragungen durchgeführt. Folgende Anforderungen wurden an die zu befragenden Personen gestellt: Erfahrung als Kapitän oder erster Offizier. Für die Interviews wurden nautische Offiziere der Reederei Bernhard Schulte ausgewählt. Diese Reederei stellte auch das Testschiff für das Projekt. Aus diesem Grund war es wichtig, dass die interviewten nautischen Offiziere mit den Arbeitsprozessen der Reederei Bernhard Schulte vertraut sind.

Folgende Arbeiten wurden für die Datenerhebungen geplant:

- Erstellung eines vorläufigen Ist-Prozessmodells der Standardwachübernahme durch Analyse relevanter Dokumente insbesondere der Standing Orders von der Reederei Bernhard Schulte
- Identifizierung geeigneter Szenarien zur Erhebung von Abläufen in einer kritischen Situation
- Anpassung des erstellten Ist-Prozessmodells der Standardwachübernahme mit Hilfe der nautischen Offiziere in einem Online-Interview
- Erstellung von Ist-Prozessmodellen der Wachübernahme in einer kritischen Situation mit Hilfe der nautischen Offiziere in einem Online-Interview
- Erstellung eines konsolidierten Ist-Prozessmodells der Standardwachübernahme aus den in den einzelnen Interviews erstellten Modellen
- Erstellung eines konsolidierten Ist-Prozessmodells der Wachübernahme in einer kritischen Situation aus den in den einzelnen Interviews erstellten Modellen

Außerdem wurden die für die Interviews notwendigen Unterlagen erstellt:

- Informationsblatt über das Projekt im Allgemeinen
- Informationsblatt zum Online-Interview mit Informationen zu Interviewablauf und -dauer, Aufgaben der Befragten während des Interviews und Umgang mit deren Daten (anonyme Speicherung, Lösungszeitraum)
- Eine Einverständniserklärung zur Interviewteilnahme unter den im Informationsblatt genannten Bedingungen
- Instruktionen für die Befragten zu ihren Aufgaben während des Interviews, u.a. mit grafischen Darstellungen kritischer Situationen
- Ein Fragebogen zum Erheben persönlicher Daten, wie die Dauer der Seefahrtzeit, die aktuelle Position und die Dauer in der aktuellen Position
- Interviewfragen und Erfassungsbogen für die Datenaufnahme während des Interviews

Zur Vorbereitung der Interviews wurden in Absprache mit dem Fraunhofer CML insgesamt fünf kritische Situationen zur Analyse der Ist-Prozesse erstellt: (1) Kollisionsvermeidung als Kurshalter, (2) Kollisionsvermeidung als Ausweichender, (3) Überholt-werden, (4) Überholt-werden in einem Verkehrstrennungsgebiet und (5) Einfahrt in ein Verkehrstrennungsgebiet.

2.1.4.2 Modellierung der Ist-Prozesse

Als eine geeignete Modellierungssprache zur Modellierung und Analyse der Prozesse wurde die Business Process Model and Notation (BPMN), eine grafische Spezifikationssprache für Arbeitsabläufe, gewählt [3]. Die Modelle wurden mit der Software iGrafx modelliert und während der Interviews dargestellt.

Ein vorläufiges Ist-Prozessmodell der Standardwachübernahme wurde auf Basis der Analyse relevanter Dokumente (Checklisten) erstellt [4] [5]. Dieses Modell diente dann als Grundlage für die Datenerfassung während der Interviews. Das Modell wurde dann während des Interviews mit Hilfe des jeweiligen Offiziers angepasst. Dies geschah sowohl für die Standardwachübernahme als auch für die Wachübernahme in einer Ausnahmesituation.

Zu Beginn wurde zum Testen der Vorgehensweise ein Interview mit einem nautischen Offizier durchgeführt, der als Kapitän gearbeitet hat, jedoch nicht bei der Reederei Bernhard Schulte tätig war. Die Ergebnisse dieses Interviews wurden nicht bei der Analyse berücksichtigt. Im Test-Interview wurden die Verständlichkeit der Anweisungen, der Ablauf des Interviews und die Möglichkeit der Interview-Durchführung online (mit Microsoft Teams) getestet. Nach den Erfahrungen im Test-Interview wurde die Interviewdauer auf maximal 4 Stunden gesetzt.

Interview-Teilnehmende

Es wurden vier Einzelinterviews mit nautischen Offizieren der Reederei Bernhard Schulte durchgeführt. Die nautischen Offiziere waren alle seit mindestens 12 Jahren als Offiziere ($M = 15,75$, $SD = 4,11$) in der Seefahrt tätig. Zur Zeit des Interviews befanden sich drei aktuell in der Position des ersten Offiziers. Ein Teilnehmender befand sich zum Zeitpunkt des Interviews seit etwa einem Jahr in der Position eines Marine Superintendent, nachdem er auch Erfahrungen als Kapitän gesammelt hat. Außerdem hat auch ein anderer Teilnehmender schon als Kapitän gearbeitet.

Interview-Ablauf

- Vor dem Interview hat jeder Befragte die Informationsblätter zum Projekt und zum Online-Interview, eine Einverständniserklärung zum Unterschreiben, sowie das vorläufige Modell der Standardwachübernahme zur Vorbereitung bekommen.
- Zu Beginn des Interviews wurden offene Fragen geklärt.
- Danach wurde der Fragebogen zum Erheben von persönlichen Daten ausgefüllt.
- Es folgten die Instruktionen für die Standardwachübernahme, bei denen der Befragte gebeten wurde, sich in die Rolle des ablösenden Wachoffiziers hineinzusetzen und seine Anpassungen an dem vorläufigen Prozessmodell zu nennen.
- Danach wurde das vorläufige Prozessmodell aufgelegt und erläutert. Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, mit der Aufgabe zu beginnen und es wurde das Prozessmodell angepasst sowie – sofern notwendig – vertiefende Fragen gestellt. Für die letzten beiden Interviewteilnehmer wurde die Aufgabe zur Standardwachübergabe leicht angepasst. Sie sollten nicht das vorläufige Prozessmodell bewerten, sondern ein aus den vorherigen Interviews erstelltes konsolidiertes Prozessmodell.
- Nach der Beendigung der Diskussion der Standardwachübergabe, wurden Instruktionen für die kritischen Situationen nacheinander aufgelegt. Die

Reihenfolge der kritischen Situationen wurde variiert, da die Anzahl der präsentierten Szenarien von der noch zu Verfügung stehenden Zeit abhängig war. Die letzten beiden Teilnehmenden wurden gebeten, eine kritische Situation aus ihren Erfahrungen zu nennen.

- Nachdem die Teilnehmenden sich die Instruktionen zu den kritischen Situationen durchgelesen haben, wurden offene Fragen geklärt und das vorher angepasste Prozessmodell erneut aufgelegt und bearbeitet. Die Teilnehmenden mussten sich in den Kapitän als Wachablösenden in einer kritischen Situation hineinversetzen und es wurden Fragen zu den Situationen gestellt.
- Zum Schluss hatten Teilnehmenden noch die Möglichkeit, Feedback zu geben.

Alle Interviews wurden von zwei Mitarbeiterinnen des Fraunhofer FKIE durchgeführt. Während die eine Mitarbeiterin insbesondere sichergestellt hat, dass alle Fragen beantwortet wurden und für die Protokollierung zuständig war, hat die andere Mitarbeiterin vorrangig das Prozessmodell angepasst und Fragen zu diesem gestellt.

Folgende Ist-Prozesse wurden basierend auf den Ergebnissen der Interviews modelliert:

- vier Ist-Prozessmodelle der Standardwachübernahme (gemeinsame Erarbeitung mit nautischen Offizieren der Reederei Bernhard Schulte)
- mehrere Ist-Prozessmodelle der Wachübernahme in verschiedenen Ausnahmesituationen basierend auf vordefinierten Szenarien sowie auf von Offizieren der Reederei Bernhard Schulte vorgeschlagenen Szenarien (gemeinsame Erarbeitung mit nautischen Offizieren der Reederei Bernhard Schulte)

2.1.4.3 Analyse der Ist-Prozesse

Nach den Interviews wurden die erstellten Modelle analysiert, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede festzustellen. Danach wurden die Modelle zusammengefasst, um Mustermodelle für die geplante Überführung in die Soll-Prozesse zu erhalten:

- das Ist-Prozessmodell der Standardwachübernahme
- das Ist-Prozessmodell der Wachübernahme in einer möglichen Kollisionssituation („Kollisionsvermeidung als Kurshalter“)
- das Ist-Prozessmodell der Wachübernahme in einer Notfall-Situation auf dem Schiff

2.1.4.4 Definition der Soll-Prozesse

Soll-Prozesse (zukünftige Abläufe im Schiffsbetrieb mit dem AutoOOW) wurden über Workshops erhoben, modelliert und mit Hilfe der Endnutzer validiert. Das Vorgehen zur Definition der Soll-Prozesse bestand aus den folgenden Phasen:

- Erstellung der vorläufigen Soll-Prozessmodelle auf der Grundlage der Ist-Prozesse
- Planung und Durchführung von Workshops mit Fraunhofer CML und Nautilus-Log zur Anpassung der Soll-Prozessmodelle
- Auswertung der in Workshops erhobenen Daten und Modellierung der Soll-Prozesse
- Planung und Durchführung eines Workshops zur Validierung der Prozessmodelle mit der Reederei Bernhard Schulte

- Validierung der Prozessmodelle mit Fraunhofer CML und NautilusLog
- Dokumentation der Soll-Prozessmodelle

Die im letzten Berichtszeitraum erstellten Ist-Prozesse wurden in Hinsicht auf Definition der zukünftigen Abläufe im Schiffsbetrieb mit dem AutoOOW analysiert und angepasst, um vorläufige Soll-Prozessmodelle für die Workshops zu erstellen. Betrachtet wurde das Ist-Prozessmodell der Standardwachübernahme und das Ist-Prozessmodell der Wachübernahme in einer möglichen Kollisionssituation. Notwendige Anpassungen an den Modellen wurden identifiziert und modelliert. Dabei wurde als Prozessbeteiligter das Human-Machine-Interface zum AutoOOW (AutoOOW-HMI) statt des abzulösenden OOW eingeführt. Als weiterer Prozessbeteiligter wurde das AutoLogbook (das digitale Schiffslogbuch) in das Prozessmodell aufgenommen, um den Datenaustausch zwischen den Systemen aufzuzeigen. Folgende vorläufige Soll-Prozessmodelle sind dabei entstanden: das Soll-Prozessmodell der Standardwachübernahme und das Soll-Prozessmodell der Wachübernahme in einer möglichen Kollisionssituation.

Die vorläufigen Soll-Prozessmodelle wurden als Vorlage zur Diskussion bei Workshops genutzt, um die Vorgehensweise beim Wechsel zwischen dem autonomen und nicht-autonomen Betrieb genau zu beschreiben. Dabei sollten vor allem technisch-bedingte Anforderungen an die Prozesse geprüft und die Prozesse entsprechend angepasst werden. Im ersten Workshop (mit Fraunhofer CML) ging es um Anpassungen bzgl. des Datenaustausches mit dem AutoOOW. Im zweiten Workshop (mit NautilusLog) ging es um die Definition des Datenaustausches mit dem AutoLogbook.

Die in beiden Workshops erhobenen Daten wurden ausgewertet und modelliert. Zusätzlich zu zuvor erstellten Prozessen wurden zwei weitere Soll-Prozesse definiert: der übergeordnete Prozess, der das Vorgehen bei einem Wechsel zwischen dem autonomen und nicht-autonomen Fahren beschreibt und die beiden Wachübergabe-Prozesse als Unterprozesse enthält, sowie der Prozess der Wachübergabe an den AutoOOW. Anschließend wurden die definierten Soll-Prozessmodelle mit nautischen Offizieren der Reederei Bernhard Schulte validiert und angepasst. Es folgte die abschließende Validierung der Soll-Prozessmodelle mit Fraunhofer CML und NautilusLog.

Insgesamt wurden die folgenden vier Soll-Prozessmodelle definiert:

- das übergeordnete Soll-Prozessmodell zum Vorgehen bei einem Wechsel zwischen dem autonomen und nicht-autonomen Betrieb
- das Soll-Prozessmodell der Standardwachübernahme vom AutoOOW
- das Soll-Prozessmodell der Wachübernahme vom AutoOOW in einer möglichen Kollisionssituation
- das Soll-Prozessmodell der Wachübergabe an den AutoOOW

2.1.4.5 Finale Anpassungen der B0 Soll-Prozessmodelle

Basierend auf den Ergebnissen der Arbeiten in AP 4.6 (Mensch-Maschine-Schnittstelle) wurden vom Fraunhofer FKIE Anpassungen an den B0-Prozessmodellen vorgenommen. Außerdem wurden weitere für den teilautonomen Betrieb wichtige Prozesse definiert.

Unter anderem wurde während der Erhebung der Anforderungen festgestellt, dass in einigen Situationen die Wachübername durch den nautischen Offizier nicht unbedingt notwendig ist und es sinnvoll ist, den Wachoffizier entscheiden zu lassen, ob die Wachübernahme vom AutoOOW erforderlich ist oder nicht. Der entsprechende Prozess wurde als Evaluation bezeichnet.

Außerdem wurde festgestellt, dass der AutoLogbook eine wesentliche Komponente des Prozesses der Wachübernahme ist, da er den Wachoffizier in Krisensituationen alarmieren kann und die Informationen über die aktuelle Situation an ihn übermitteln kann. Daher wurde auch der Prozess zur Alarmierung der Wachoffiziere definiert.

Folgende neue Prozesse wurden neben den bereits erstellten Soll-Prozessen definiert:

- das Prozess zur Evaluation. Der Wachoffizier soll entscheiden, ob die Wachübernahme vom AutoOOOW notwendig ist
- das Prozess zum Datenaustausch zwischen dem HMI und dem AutoLogbook. Der Wachoffizier soll mit Hilfe eines mobilen Gerätes, auf dem das AutoLogbook installiert ist, Meldungen vom AutoOOOW erhalten und verschicken können
- das Prozess der Alarmierung der Wachoffiziere im Falle einer Emergency-Situation oder falls eine Evaluation notwendig ist

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen in *Arbeitspaket 5.2 (Simulationstestläufe)* und *Arbeitspaket 5.3 (In-Situ-Testkampagne)* wurden weitere Anpassungen an den Soll-Prozessmodellen vorgenommen.

2.1.4.6 Operational Design Domain (ODD)

Für den sicheren autonomen Schiffsbetrieb sind definierte Bedingungen erforderlich, die die Verkehrssituation, den Verkehrsbereich, die Tageszeit, und die Wetterbedingungen umfassen können. Die Operational Design Domain (ODD) beschreibt diese Bedingungen, unter denen das autonome System sicher betrieben werden kann. Sobald die Bedingungen nicht mehr gegeben sind, geht die Kontrolle an die Nutzer über. Die ODD-Parameter wurden durch eine Literaturrecherche identifiziert und in Absprache mit dem Fraunhofer CML angepasst. Drei Kategorien wurden definiert: Umweltbedingungen, Navigationsbedingungen und Reisephasen. Beispiele für Parameter sind Windgeschwindigkeit, Kursabweichung und Navigieren in offener See. Technische Systemausfälle und Sicherheitsbedenken wurden ebenfalls berücksichtigt.

Die Definition der ODD erforderte nicht nur die Identifizierung relevanter Parameter, sondern auch die Festlegung ihrer Ausprägungen innerhalb der ODD. Ein Online-Fragebogen wurde erstellt und an die Projektpartner verteilt, um ihre Meinungen zu sammeln. Der Fragebogen enthielt Fragen zu Bedingungen, die zum Verlassen der ODD führen würden, und wurde von Seefahrern mit entsprechender Expertise ausgefüllt.

Die Auswertung zeigte, dass Teilnehmer hinsichtlich einiger Bedingungen größtenteils einig waren. Die ODD-Parameter wurden im Laufe des Projektes kontinuierlich verfeinert und angepasst.

Eine Auflistung der finalen ODD-Parameter kann Tabelle 1 entnommen werden.

ODD-Parameter	kritische Bedingung	notwendige Reaktion	Tabelle 1: ODD-Parameter
Rollperiode	$\leq 5 \text{ s}$	Evaluation	
Rollwinkel	$\geq 10^\circ$	Evaluation	
Pitchperiode	$\leq 5 \text{ s}$	Evaluation	
Pitchwinkel	$\geq 25^\circ$	Evaluation	

Geschwindigkeit	$\leq 80\%$ der geplanten Geschwindigkeit	Evaluation
UKC	$\leq 50\text{m}$	Wachübernahme
	$\leq 70\%$ of estimated UKC (Karten-UKC)	Evaluation
Zeit zu „nicht autonomiefähigem Gebiet“ (Time to leave ODD leg)	≤ 12 Minuten	Wachübernahme
XTD	≥ 1 NM	Evaluation
Verkehrsdichte	hohe Verkehrsdichte	Wachübernahme
CPA & TCPA	Ziel ist ausweichpflichtig & CPA $\leq 1,5\text{-}2$ Seemeilen & TCPA $\leq 15\text{-}18$ Minuten	Evaluation
	Eigenschiff ist ausweichpflichtig & CPA $\leq 1,5\text{-}2$ Seemeilen & TCPA ≤ 12 Minuten	Evaluation
Verlust eines Radarziels	Radius: ≤ 12 Seemeilen & AIS-Daten zum Ziel sind nicht verfügbar	Evaluation
Windstärke	≥ 8 Beaufort	Wachübernahme
Sichtweite	≤ 3 Seemeilen	Evaluation

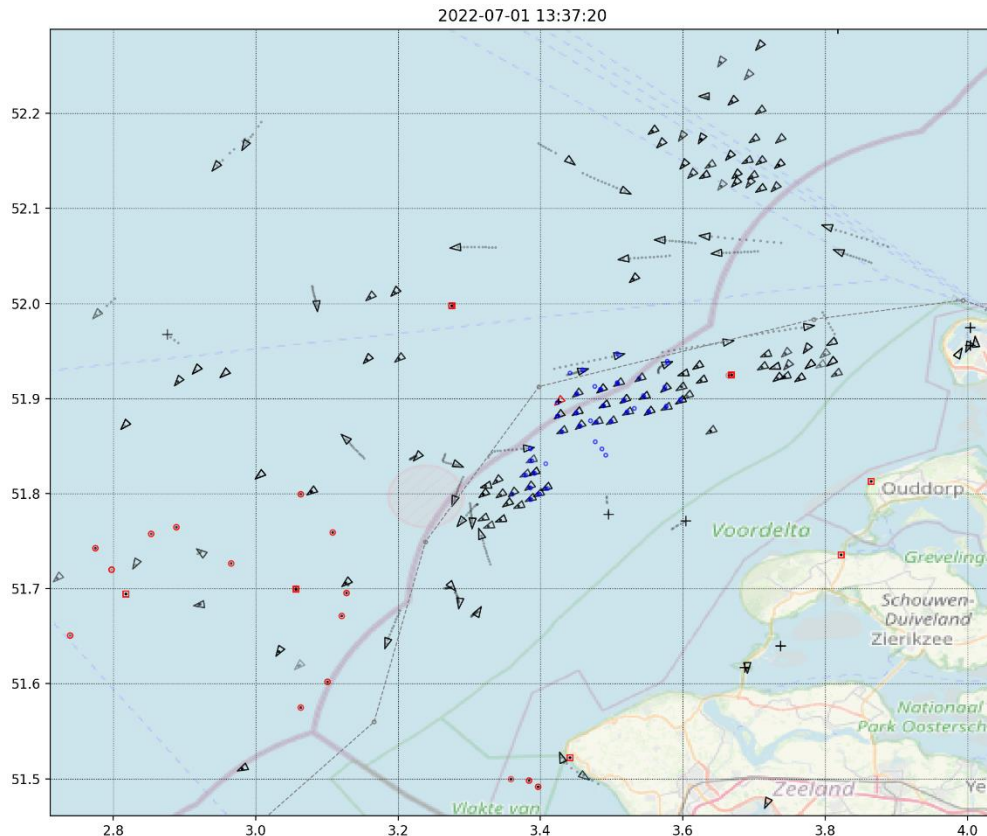
2.1.5 Arbeitspaket 3.4 | Sensorfusion

Das Modul Sensorfusion und die Datenassoziation wurde innerhalb des Projektzeitraumes vollständig abgeschlossen. In dem Modul können AIS, Radar- sowie Kamera-Peilung und -Winkel fusioniert und der optimale Zustand (Position und Geschwindigkeit eines Kontakts) geschätzt werden.

Aufgrund der späten Integration des Kamerasystems konnten die Zieldaten der an Bord verbauten Kamera zwar verifiziert, aber nicht evaluiert werden. Daher werden Kameradaten im Betrieb des B ZERO-System nicht in die Fusion gespeist. Eine kurze Begründung ist im Erfolgskontrollbericht unter dem Abschnitt „Arbeiten, die zu keinem Ergebnis geführt haben“ aufgeführt.

In Abbildung 4 ist ein Replay der Reisedaten von Ende 2022 zu Evaluationszwecken abgebildet. Die Route des Schiffs führte über ein für die ODD von B ZERO typisches Fahrtgebiet von Frankreich in das Mittelmeer. Anhand der Daten konnten verschiedene Komponenten des B ZERO-Systems im Labor getestet werden.

AIS-Kontakte sind als Dreiecke gekennzeichnet (das Eigenschiff in rot), Radarkontakte als blaue Kreise, AIS-Basisstationen und Navigationshilfen als rote Quadrate bzw. rote Kreise und kleinere Fahrzeuge im Klasse-B-AIS-Transceivern als schwarzes Plus.



**Abbildung 4: Szenario -
Ankern vor Rotterdam**

2.1.6 Arbeitspaket 4.1 | Schwerwetternavigation

Innerhalb des Projektzeitraumes konnte die technische Implementierung der Schwerwetternavigation auf Grundlage des Leitfadens MSC.1/CIRC.1228 der International Maritime Organization (IMO) umgesetzt werden. Dieser Leitfaden berücksichtigt die folgenden Schwerwettersituationen:

- Wellenreiten (engl.: surf-riding)
- Sukzessive Hochwellenangriffe (engl.: successive high-wave attack)
- Synchrone Rollbewegung (engl.: synchronous rolling motion) und parametrische Rollbewegung (engl.: parametric rolling motion)

Für weitere technische Details wird auf den B ZERO Zwischenbericht VI verwiesen. Die Bedingungen für die genannten Schwerwettersituationen wurden dem Leitfaden entsprechend implementiert. Hierbei wurde die Bedingung für die Schwerwettersituation der synchronen bzw. parametrischen Rollbewegung ausgehend von dem vorgegebenen Verhältnis der begegneten Wellenfrequenz (T_E) und natürlicher Rollperiode des Schiffes (T_R) auf $0,95 T_R \geq T_E \geq 1,05 T_R$ bzw. $0,45 \cdot T_R \geq T_E \geq 0,55 \cdot T_R$ festgelegt.

Die Implementation der Schwerwetternavigation wurde innerhalb des Projektzeitraumes aufgrund technischer Probleme bei der Sensoranbindung nur theoretisch, nicht aber praktisch mit Sensordaten umgesetzt. (vgl. Abschnitt 2.1.3 zu *Arbeitspaket 2.2 Sensordatensammlung*).

2.1.7 Arbeitspaket 4.2 | Strandungsvermeidung

Im Arbeitspaket 4.2 Strandungsvermeidung wurde die Anbindung des Seekartenmaterials an das maschinelle Lagebild entwickelt. Durch die Anbindung wird das maschinelle Lagebild um Kontextinformationen der Schiffsumgebung angereichert, dies umfasst Informationen über Landmassen, Untiefen, Tonnenstrichen sowie navigatorische Detailinformationen (Seezeichen, Reporting Punkte, No-Go Gebiete und ggf. Umweltzonen – in Abhängigkeit vom Seekartenmaterial).

Die Anbindung des Seekartenmaterials an das maschinelle Lagebild wird über einen weiteren Dienst als Microservice realisiert, welcher als sensorischer Input für das Maschinelle Lagebild angesehen werden kann. Durch die Verfügbarmachung als Service innerhalb des B0-Assist Systems können alle angeschlossenen Module Informationen über die Seekarte abrufen und für eigene Prozesse nutzbar machen.

Insbesondere das Collision Avoidance Modul sowie das Situational Awareness Modul können die Kontextinformationen aus den Seekarten über diesen Dienst zur Umsetzung von den KVR-Regel 9 (Enge Fahrwasser) und Regel 10 (Verkehrstrennungsgebiete) nutzen. Durch die Einschränkungen der ODD konnte diese Integration innerhalb des Projektes jedoch nicht getestet werden und ist somit nur theoretisch im Simulationslabor getestet worden.

2.1.8 Arbeitspaket 4.3 | Kollisionsverhütung

Die Datengrundlage für die Kollisionsverhütung wird durch das Object Tracker Modul (OT) bereitgestellt welcher das maschinelle Lagebild des B0 Assist Systems abbildet. Daten werden in das System durch die Implementierung von Aggregatoren realisiert. Aggregatoren beschreiben die Schnittstelle zwischen einem sensorischen Input und der internen Darstellung des maschinellen Lagebildes. Messwerte eines Sensors werden durch den Aggregator auf die interne Darstellung von Objekten übertragen, um die das Schiff umgebende Objekte durch ihre Position, Größe, Form und zusätzliche Attribute in Form von Annotationen beschreiben zu können.

Im Projektzeitraum wurden Schnittstellen für die Aggregation von Daten des Schiffsführungssimulators RME ANS 6000, TRANSAS NT PRO sowie NMEA-Nachrichten implementiert und getestet. Die Schnittstelle zu den NMEA 0183-Nachrichten wurde entsprechend den Ergebnissen aus der Datenanalyse aus *Arbeitspaket 3.4 Sensorfusion* angepasst. Die Implementierung der Schnittstelle zu NMEA 450-Nachrichten, wie an Bord des Testschiffs auf dem Brückensystem verwendet, konnte finalisiert werden und im Rahmen des *Arbeitspaketes 5.1 / Prototypenintegration* validiert werden.

Für die Fertigstellung des SA-Moduls zur Umsetzung der Kollisionsverhütungsmaßnahmen wurde die Operationalisierung der Kollisionsverhütungsregeln (KVR) durchgeführt und abgeschlossen. Die Operationalisierung dient als Hilfsmittel die in Form von Anweisungen und Beschreibungen verfassten KVR in eine maschinenverständliche Folge von Anweisungen zu übertragen. Die im Prozess der Operationalisierung entwickelten Bausteine unterteilen sich in Operationen, Aussagen und Regeln:

- Größtenteils kommutative Operationen beschreiben eine Relation zwischen zwei Objekten, z. B., ob „A is passing ahead of B“ oder ob „A is passing astern of B“, wobei Operationen wiederum andere Operationen beinhalten können.
- Aussagen beschreiben u. a. im Sinne der Kollisionsverhütungsregeln auf See wichtige Eigenschaften von Objekten, z. B. „A is power-driven vessel“ oder „B is sailing“.

- Regeln sind hierarchisch strukturierte und logische Verknüpfungen von Operationen und Aussagen, welche die einzelnen Regeln repräsentieren.

Zur Umsetzung der Kollisionsverhütungsmaßnahmen wurde eine Zusammenstellung von notwendigen Operationen und Aussagen erstellt sowie die Verknüpfung mithilfe von Regeln formuliert. Operationen und Aussagen werden nachfolgend als Annotation bezeichnet und zusammengefasst.

Ein Teilauszug aus der Liste aller Entwickelten Annotationen ist in Tabelle 2 dargestellt und zeigt exemplarisch alle entwickelten Aussagen zur Beschreibung von Sektoren und Szenen innerhalb des Lagebildes. Die Notation unter Nutzung von O und V beschreibt die Relation zwischen Eigenschiff (Ownship) und anderen Verkehrsteilnehmern (Vessels)

	Statement	Description	Expression
Sector	<i>V ahead O</i>	V is straight ahead of O	$ brg(O, V) - hdg(O) < 10^\circ + \varepsilon$
	<i>V astern O</i>	V is astern of O	$ brg(O, V) - hdg(O) > 112,5^\circ - \varepsilon$
	<i>V starboard O</i>	V is on the starboard side of O	$10^\circ - \varepsilon \leq brg(O, V) - hdg(O) \leq 112,5^\circ + \varepsilon$
	<i>V port O</i>	V is on the port side of O	$-112,5^\circ - \varepsilon \leq brg(O, V) - hdg(O) \leq -10^\circ + \varepsilon$
Scene	<i>V visible O</i>	V can be seen at O with optical means	n/a
	<i>V facing O</i>	V is showing a small aspect angle to O	$ brg(V, O) - hdg(V) < 5^\circ + \varepsilon \wedge V \text{ visible } O$
	<i>V front O</i>	V is in front of O	$ brg(O, V) - hdg(O) < 90^\circ + \varepsilon$
	<i>V rear O</i>	V is rear of O	$ brg(O, V) - hdg(O) \geq 90^\circ - \varepsilon$
	<i>V reciprocal O</i>	V and O move contrary to each other	$ inv(cog(V)) - cog(O) < 10^\circ + \varepsilon$
	<i>V aligned O</i>	V is aligned to O	$max(brg(O, V) - cog(V) , cog(V) - cog(O)) < 67,5^\circ + \varepsilon$

Tabelle 2: Ausschnitt der im Rahmen der Operationalisierung der KVR ermittelten Annotationen.

Insgesamt wurde eine Liste von 34 Annotationen für die Beschreibung von Sektoren, Szenen, Schiffstyp, Navigationsstatus, Bewegung und Passierverhalten entwickelt.

Eine Verknüpfung der Annotationen findet in der Entwicklung von flach strukturierten, menschlesbaren Regeln statt, welche die Abhängigkeit einer nautischen Entscheidung auf Grundlage der Annotationen des maschinellen Lagebildes modellieren.

Die Hauptaufgabe des Situational Awareness Moduls (SA) besteht in der Anwendung dieser Regeln und der Verfügbarmachung innerhalb des maschinellen Lagebildes. Das SA-Modul erhält regelmäßig bzw. ereignisbasiert die durch das OT-Modul ermittelten Annotationen und inferiert (zieht Rückschlüsse) anhand der konfigurierten Regeln, welche Obligation (Pflicht) sich für das Schiff auf Basis der KVR ergibt.

Die im Rahmen der sicheren Schiffsführung als kritisch eingestuft Kollisionsverhütungsvorschriften 13 bis 18 wurden vollständig implementiert und unter Zuhilfenahme von Testszenarien und nautischer Expertise validiert. Die Operationalisierung aller benötigten Regeln wurde innerhalb des Projektzeitraums abgeschlossen. Der in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellte Auszug aus einem internen Entwicklungstool zeigt die erfolgreiche Annotation von situationsabhänigen Aussagen während eines Testlaufes im Simulationslabor.

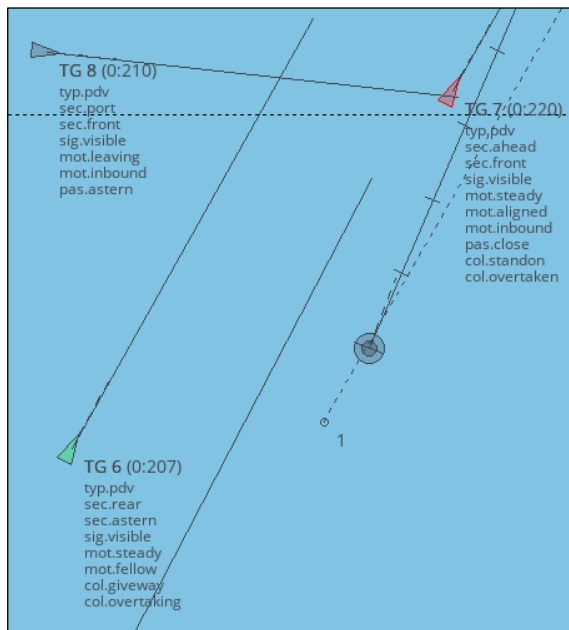


Abbildung 5:
Situationsbezogene
Annotationen zur Umsetzung
der KVR

2.1.8.1 Arbeitspaket 4.6 | Mensch-Maschine-Schnittstelle

In AP 4.6 wurde vom Fraunhofer FKIE die Definition der Anforderungen an ein Human-Machine-Interface (HMI) für das AutoOOW durchgeführt. Das HMI soll mittels Visualisierung komplexer Daten den Informationsverarbeitungsprozess und somit auch den Entscheidungsprozess des Menschen unterstützen. Voraussetzung hierfür ist eine ergonomische Gestaltung der graphischen Benutzungsoberfläche. Der Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme [6] ist hier zum Einsatz gekommen, der insbesondere eine iterative Validierung der Gestaltungsentwürfe mit Endnutzern voraussetzt (siehe Abbildung 6)

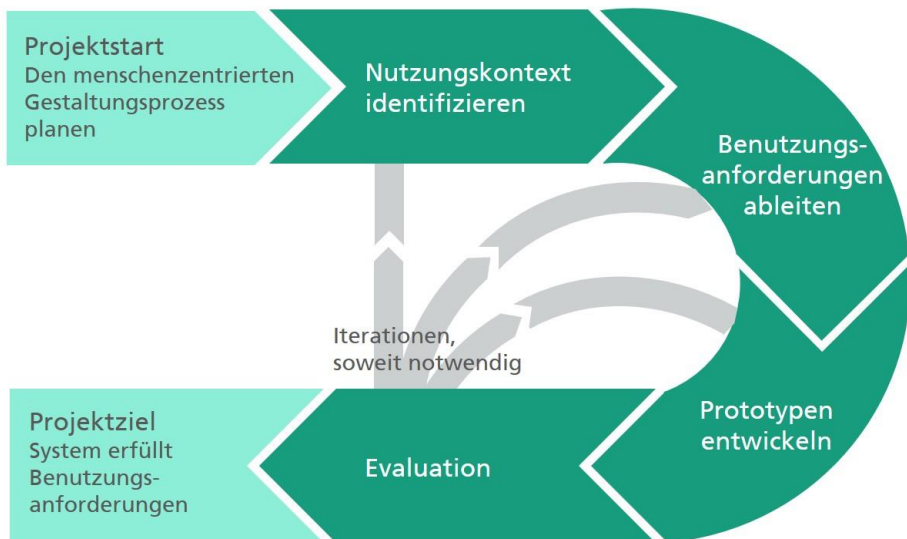


Abbildung 6: Prozess zur
Gestaltung
gebrauchstauglicher
interaktiver Systeme

- Die Arbeiten setzten sich zusammen aus:
- Analyse der Arbeitsdomäne:
 - Vorbereitung und Durchführung der Datenerhebungen

- Beschreibung der Arbeitsdomäne
- Definition der Anforderungen an das HMI und Festhalten der Anforderungen in einem Anforderungskatalog:
 - Informationsanforderungen
 - Funktionale Anforderungen
 - Visualisierungsanforderungen
- Entwicklung der grafischen Benutzungsoberfläche und Umsetzung in Form von Mock-Ups
- Iterative Evaluation der Gestaltungsentwürfe mit Endnutzern mit Hilfe der erstellten Mock-Ups:
 - Vorbereitung und Durchführung der Evaluationen
 - Anpassungen der Anforderungen nach jeder Evaluation mit Endnutzern und Festhalten in einem Anforderungskatalog
- Austausch zwischen Fraunhofer FKIE und Fraunhofer CML zur Umsetzung der Anforderungen an das HMI im Demonstrator
- Anpassungen im Anforderungskatalog aufgrund neuer Erkenntnisse, die in Simulator- und Borduntersuchungen gewonnen wurden (siehe Arbeitspaket 5.5)

Aufgrund der Kontaktbeschränkungen in Deutschland infolge der COVID-19-Pandemie konnten die iterativen Evaluationen der Gestaltungsentwürfe mit den Endnutzern nur online über Microsoft Teams durchgeführt werden.

In Arbeitspaket 4.6 liegen folgende Ergebnisse vor:

- Beschreibung der Arbeitsdomäne
- Anforderungskatalog mit funktionalen und Visualisierungsanforderungen (inkl. Visualisierungen in Form von Mock-Ups)

Zusammengefasst wurde in einem iterativen Gestaltungsprozess eine benutzerzentrierte Evaluation durchgeführt. Dabei wurden Gestaltungslösungen frühzeitig mit zukünftigen Benutzern, insbesondere Nautikern von Bernhard Schulte, getestet und verbessert. Die Evaluationsphasen umfassten die Überprüfung von Visualisierungskonzepten für Status-Displays, ODD-Parameter-Fenster und Event-Logs, wobei verschiedene Anwendungsfälle simuliert wurden. Die Nautiker bewerteten die Verständlichkeit und Angemessenheit der dargestellten Informationen, was zu Anpassungen an Beschriftungen und zusätzlichen Informationen führte. Die Evaluierung wurde in drei Phasen durchgeführt, wobei die letzte Phase zusätzliche Anwendungsfälle und Aspekte wie Verifikation, ODD-Setup und Kartendarstellung abdeckte. Kernergebnisse zeigten Verständlichkeit und Sinnhaftigkeit der Visualisierungskonzepte, wobei Anpassungen an ODD-Parametern und der Darstellung von Alerts erforderlich waren. Änderungen wurden in einem Anforderungskatalog festgehalten und mit dem Fraunhofer CML abgestimmt.

Während der Entwicklung des Demonstrators fand ein ständiger Austausch zwischen Fraunhofer FKIE und Fraunhofer CML zur Umsetzung der Anforderungen an das HMI. Das Fraunhofer CML hat auf Basis des Anforderungskatalogs einen Demonstrator erstellt, der mithilfe von Nautikern evaluiert wurde (s. Arbeitspaket 5). Im Anhang dieses Abschlussberichtes befindet sich die endgültige Fassung des Anforderungskatalogs.

2.1.9 Arbeitspaket 5

2.1.9.1 Arbeitspaket 5.1 | Prototypenintegration

Für die Einbindung der B0-Assist Komponenten in das B0-System wurde im Projektzeitraum eine Schnittstelle für die Durchführung von Simulationstestläufen sowie mit der Einbindung des digitalen Logbuch entwickelt.

Für die Integration des digitalen Logbuches wurde B0-Assist um einen Logging Service (Mangement Service) erweitert, welcher Informationen aus dem Objecttracker über einen MQTT-Broker für andere Services innerhalb des B0-Systems zur Verfügung stellt. Die Nutzung von MQTT ermöglicht es anderen Systemen innerhalb des B0-Netzwerkes alle oder nur bestimmte Information, welche durch B0 Assist bereitgestellt werden, „zu abonnieren“. Durch die Clientseitige Möglichkeit zur Konfiguration der zu erhaltenen Informationen ist gewährleistet das weitere Projektpartner über die gleiche Schnittstelle arbeiten können.

Für die Sammlung benötigter Daten zur Durchführung von Tests im Simulationslabor und Ausführung wichtiger Komponenten des B0 Assist Systems wurden zwei Panel PCs an Bord installiert welche ausfallsicher Daten über NMEA aufzeichnen konnten und zur testweisen Ausführung von Softwarekomponenten des B0 Assist genutzt wurden. Abbildung 7 zeigt die Installation der Panel PCs zur Entwicklung der B0 Assist Komponenten an Bord des Testschiffes.



**Abbildung 7: Installation der
Panel-PCs an Bord des
Testschiffes**

2.1.9.2 Arbeitspaket 5.2 | Simulationstestläufe

Im Berichtszeitraum erfolgte eine Erfassung des Situationsbewusstseins und eine Usability-Evaluation des HMI's im Schiffssimulator vom Fraunhofer CML in Hamburg. Die Untersuchungen im Schiffssimulator wurden durchgeführt, um in einer kontrollierten Simulationsumgebung sicherheitskritische Szenarien testen zu können. Als Versuchspersonen dienten nautische Experten von BSM und CML. Vor den Versuchen erfolgte eine Planung und Abstimmung der Usability Evaluation zwischen CML und FKIE, sowie eine abgestimmte Szenarien-Entwicklung mit Unterstützung von BSM.

Die definierten Szenarien sind in Tabelle 3 dargestellt.

Szenario	Kritische ODD-Parameter	Weitere Charakteristiken
Standard	Time to leave ODD leg: 30 min	Floating hazard (container) on the route Current works on board Takeover relevant alerts are active
Emergency	Wind force: 9 Bft Visibility: 1 NM Critical stand-on target: Close quarter with nearby stand-on target – CPA = 0.07 NM, TCPA = 12 min	AutoOOW-Maneuver: Course change to starboard to avoid collision Unsigned master's orders
Evaluation	Critical stand-on target: Close quarter with nearby stand-on target – CPA = 0.15 NM, TCPA = 11 min	Floating hazard (container) on the route

Tabelle 3: Szenarien für die Simulatoruntersuchungen

Für die Entwicklung der Szenarien wurden festgelegte Reaktionen der HMI auf definierte Parameter der ODD festgelegt und in Zusammenarbeit mit dem FKIE in der Tabelle 4 zusammengefasst.

ODD-Parameter	kritische Bedingung	notwendige Reaktion
Rollperiode	Rollperiode (in s, zu bestimmen)	Evaluation
Rollwinkel	$\geq 10^\circ$	Evaluation
Pitchperiode	Pitchperiode (in s, zu bestimmen)	Evaluation
Pitchwinkel	$\geq 25^\circ$	Evaluation
Geschwindigkeit	$\leq$ Anteil (zu bestimmen) der geplanten Geschwindigkeit	Evaluation
UKC	$\leq$ Tiefgang oder $\leq 50\text{m}$	Wachübernahme
	$\leq 0,7 \times$ geschätzte UKC	Evaluation
Zeit zum Verlassen des ODD-Gebietes	≤ 12 Minuten	Wachübernahme
XTD	$\geq$ sichere XTD (zu bestimmen)	Evaluation
Ankunftszeit am nächsten Wegpunkt	≥ 15 Minuten Abweichung im Vergleich zur geplanten Ankunftszeit am nächsten Wegpunkt	Wachübernahme
Verkehrsdichte	hohe Verkehrsdichte (zu bestimmen)	Wachübernahme
CPA & TCPA	Ziel ist ausweichpflichtig & CPA $\leq 1,5\text{-}2$ Seemeilen & TCPA $\leq 15\text{-}18$ Minuten	Evaluation
	Eigenschiff ist ausweichpflichtig & CPA $\leq 1,5\text{-}2$ Seemeilen & TCPA ≤ 12 Minuten	Evaluation
Verlust eines Radarziels	Radius: ≤ 12 Seemeilen & AIS-Daten zum Ziel sind nicht verfügbar	Evaluation
Windstärke	≥ 8 Beaufort	Wachübernahme
Sichtweite	≤ 3 Seemeilen	Evaluation
Systemausfall	Ausfall eines der folgenden Systeme: ECDIS, Radar, AIS, Gyrokompass, Echo Sounder, GPS, THD, Antriebssystem, Ruderanlage, Alarmsystem, Automatische Kursregelung, Automatische Bahnregelung, Kamer, VDR	Wachübernahme

Tabelle 4: ODD Parameter und HMI Reaktion

Die Simulationstestläufe konnten innerhalb des Berichtszeitraums erfolgreich abgeschlossen werden und die Erkenntnisse aus dem Verhalten der Probanden auf die HMI und notwendige Anpassungen in die Durchführung der In-Situ Testkampagne integriert werden.

2.1.9.3 Arbeitspaket 5.3 | In-Situ Testkampagne

Die in Arbeitspaket 5.3 vom Fraunhofer FKIE durchgeführten Arbeiten setzten sich zusammen aus Planung und Abstimmung der Usability Evaluation (*Arbeitspaket 5.5*) an Bord und der Szenarien-Entwicklung.

Während des Testens des gesamten B0-Prototypsystems im Realbetrieb an Bord eines Seeschiffs im internationalen Verkehr wurde eine Usability-Evaluation durchgeführt. Dazu wurde zunächst eine Versuchsplanung erstellt und mit Bernhard Schulte abgestimmt. Der Untersuchungsplan und die Durchführung des Versuchs orientierten sich an den Untersuchungen im Simulator, um ähnliche Bedingungen für die Usability-Evaluation herzustellen. Der Unterschied zu den Bedingungen im Simulator waren reale Verkehrssituationen mit echten Daten. Eine Ausnahme waren manuell geänderte Parameter, mit dem Zweck eine Emergency- und Evaluationssituation zu testen. Die Ergebnisse der Usability Evaluation sind in Kapitel 2.1.9.5 (AP 5.5) beschrieben.

Für die Evaluierung der Funktionsfähigkeit des AutoOOW wurde die Entscheidungen zur Kollisionsverhütung und Strandungsvermeidung in verschiedenen Szenarien innerhalb der ODD beobachtet und das Verhalten des autonomen Systems evaluiert. Zur Parametrisierung des AutoOOW wurden Grenzwerte der Standing Orders von BSM welche an Bord des Testschiffes gelten gesetzt welche die Entscheidungsgrenzen des autonomen Navigationssystems vorgeben. Die entsprechenden Grenzwerte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

KVR Regel	Entscheidungszeitpunkt	Maximale Entfernung Entscheidungszeitpunkt
R. 13: Überholen	9min vor Erreichen des CPA bei 6kn relativer Geschwindigkeit	6kn (relativ) * 9min = 0.9NM
R. 13: Überholt werden (Kurshalter)	9min vor Erreichen des CPA bei 6kn relativer Geschwindigkeit	6kn (relativ) * 9min = 0.9NM
R. 14: Entgegengesetzte Kurse	15min vor Erreichen des CPA bei 20kn relativer Geschwindigkeit	20kn (relativ) * 15min = 5NM
R. 15: Kreuzende Kurse	21min vor Erreichen des CPA bei 6kn relativer Geschwindigkeit	6kn (relativ) * 21min = 2.1NM
R. 17: Maßnahmen des Kurshalters	15min vor Erreichen des CPA bei 6kn relativer Geschwindigkeit	6kn (relativ) * 15min = 1.25NM

Tabelle 5:
Entscheidungszeitpunkte aus
Standing Orders an Bord des
Testschiffes

Durch die Parametrisierung des AutoOOW konnten alle Entscheidungen mit Berücksichtigung der Standing Orders durchgeführt werden, was ein wichtiger Bestandteil des B ZERO Assist Systems. Somit kann sich das System wie die menschlichen Wachoffiziere verhalten wenn es um die Festlegung des Zeitpunktes für das ausführen einer Kollisionsverhütungsmaßnahme geht.

Das Gesamtsystem konnte erfolgreich an Bord gebracht und in Betrieb genommen werden. Die Kommunikation von Entscheidungen des B0-Assist Systems an den zuständigen Offizier wurden mithilfe von Texteinblendungen kommuniziert um die Machbarkeit der Kommunikation zwischen autonomenem System und OOW zu demonstrieren.

Eine in Abbildung 8 dargestellte Aufforderung signalisiert dem verantwortlichen Rudergänger eine Kursanpassung nach Steuerbord durchzuführen. In dem dargestellten Beispiel wurde eine Situation nach KVR Regel 15 „Kreuzende Kurse“ identifiziert und in Verbindung mit der Wachvorgabe auf Ziele mit einem tCPA von weniger als 12min zu reagieren kombiniert, um eine Kursänderung zu veranlassen.

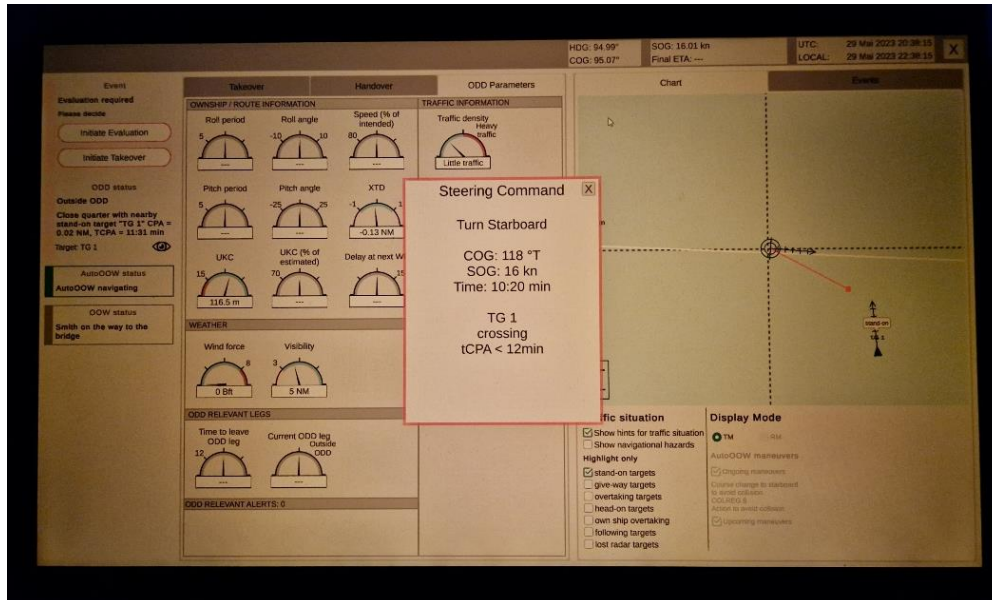


Abbildung 8:
Steuerungsvorgabe des B0
Assist Systems .
(Foto AutoOOW bei Betrieb
des Prototypensystems an
Bord des Testschiffes auf
hoher See)

Das Geamtsystem konnte sich somit im operativen Bordbetrieb bewähren und alle Komponenten des Systems erfolgreich getestet werden.

2.1.9.4 Arbeitspaket 5.4 | Formal Safety Assessment

Zwischen Februar und Mai konzentrierte sich das Fraunhofer CML zusammen mit den Partnern BS (Bernhardt Schulte) und BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) auf die Fertigstellung von Schritt 2 der Risikobewertung des Leitfadens zur formellen Sicherheitsbewertung (FSA). Zu diesem Zweck wurde ein Kick-off-Workshop durchgeführt, um kleinere Änderungen an der Gefahrenidentifikation (Schritt 1 der FSA) zu diskutieren und die Methodik für die quantitative Risikobewertung vorzustellen. Es wurde sich auf ein Bow-Tie-Modell geeinigt, das für die quantitative Risikoabschätzung verwendet werden soll. Zu diesem Zweck wurden der Aufbau und die Betriebsweisen des B ZERO-Systems mit Hilfe von Fehlerbaum- und Ereignisbaumstrukturen untersucht. FTA und ETA wurden von CML vorentwickelt und den Partnern in einem iterativen Entwicklungsprozess in zwei getrennten Workshops vorgestellt.

Für die Erstellung des FSA wurde eine Übersicht über das chronologische Auftreten von Events erarbeitet und in *Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.* dargestellt. Es wird jeweils zwischen dem Auftreten von Events auf einer bemannten und unbemannten Brücke unterschieden.

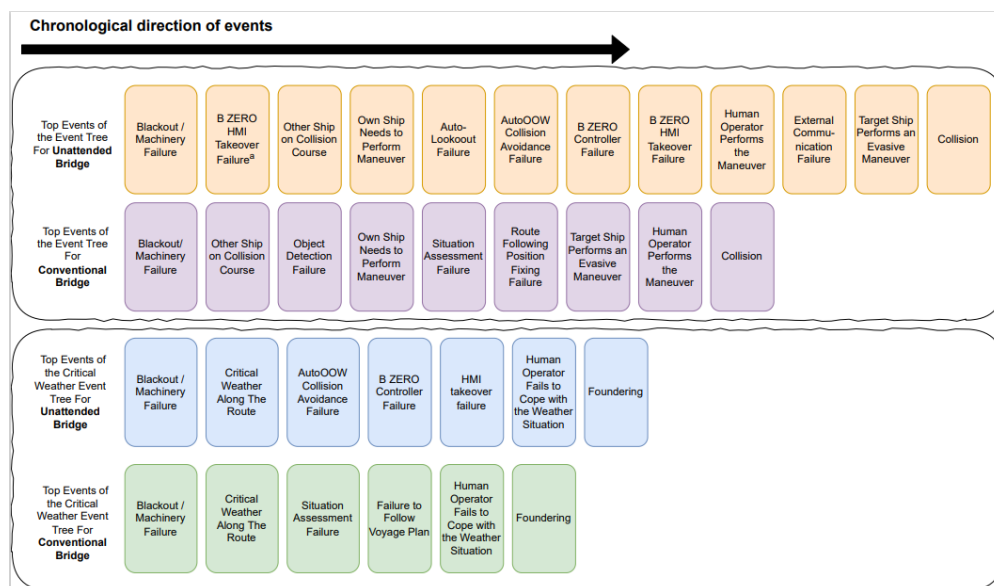


Abbildung 9: Ereignisbäume bemannter und unbemannter Brücken.

Die Ergebnisse der Analyse wurden als wissenschaftliches Paper bei der ESREL 2023 (ESREL European Safety and Reliability Conference) eingereicht. Nach Abschluss von Schritt 2 wurde ein weiterer Workshop mit den Partnern durchgeführt, um zu entscheiden, wie mit den verbleibenden Schritten des Leitfadens für die formale Sicherheitsbewertung verfahren werden soll. Basierend auf den in diesem Workshop getroffenen Entscheidungen werden derzeit die Risikokontrolloptionen (RCO - Schritt 3) definiert und umgesetzt.

Die für das Projekt relevanten Schritte des FSA wurde mit Abschluss des Projektes fertiggestellt und im Rahmen eines Vortrages auf einer wissenschaftlichen Konferenz vorgestellt.

2.1.9.5 Arbeitspaket 5.5 | Usability Assessment

Nach der Durchführung der Usability-Evaluationen in Simulator- und an Bord wurden die erfassten Daten analysiert, Fragebögen sowie Interviews ausgewertet und die Ergebnisse dokumentiert. Ein Ziel der Untersuchung war es, die Gebrauchstauglichkeit (bzw. Usability; [7]) des HMIs zu bewerten, welche über die Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit definiert wird, mit der Nutzer des Systems ihre Ziele erreichen. Des Weiteren wurde überprüft, in welchem Maße die kurzfristige Schaffung des notwendigen Situationsbewusstseins beim Menschen nach der Übernahme der Steuerung vom autonomen System mit Hilfe des HMIs möglich ist. Die Erfassung des Situationsbewusstseins wurde während der Simulatoruntersuchungen mit Hilfe der Methode „Situation Awareness Global Assessment Technique“ (SAGAT) durchgeführt [8].

Es nahmen vier Personen an den Simulatoruntersuchungen und drei an den Borduntersuchungen teil. Für die Bewertung der Usability wurden die Ergebnisse zusammen ausgewertet. Lediglich bei den Fällen, wo deutliche Unterschiede in den Antworten aufgrund der unterschiedlichen Versuchsbedingungen auftraten, wurden die Ergebnisse aus den Simulator- und Borduntersuchungen getrennt bewertet.

Erfahrung der Versuchspersonen (VPs) als nautische Offiziere

Erfahrung als Seemann:

- Mittelwert: 7,1 Jahre,
- Standardabweichung: 3,6.

Erfahrung als Offizier:

- Mittelwert: 5,5 Jahre,
- Standardabweichung: 3,2.

Drei von sieben VPs sind länger als 2 Jahre nicht mehr zur See gefahren.

Auswertung der Ergebnisse zum Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein (Situation Awareness; SA) wurde nur bei den Simulatoruntersuchungen erfasst (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Aufgrund einer zu kleinen Stichprobe (4 VPs) war keine inferenzstatistische Auswertung möglich. Trotzdem können die Ergebnisse interpretiert werden, da eine bestimmte Tendenz in den Daten beobachtet wurde. Erwartungsgemäß wurden die Fragen auf dem SA-Level 1 am besten beantwortet (66% richtig). Wenn man nur die Fragen des SA-Levels 1 betrachtet, bei denen nur HMI als Informationsquelle diente, liegt der Prozent der richtig beantworteten Fragen bei 82 (s. Tabelle 6). Dies zeigt die Effektivität des HMIs als Informationsquelle. Die daraus ergebende Empfehlung ist, die Unterstützung der SA-Levels 2 und 3 bei den zukünftigen Entwicklungen im HMI zu berücksichtigen.

Fragen zum Situationsbewusstsein	Richtig beantwortete Fragen (%)
Gesamt	62 %
Fragen des SA-Levels 1	66 %
Fragen des SA-Levels 1, für die nur das HMI als Informationsquelle diente	82 %
Fragen des SA-Levels 2	57 %
Fragen des SA-Levels 3	25 %

Tabelle 6: Ergebnisse der SA-Untersuchungen

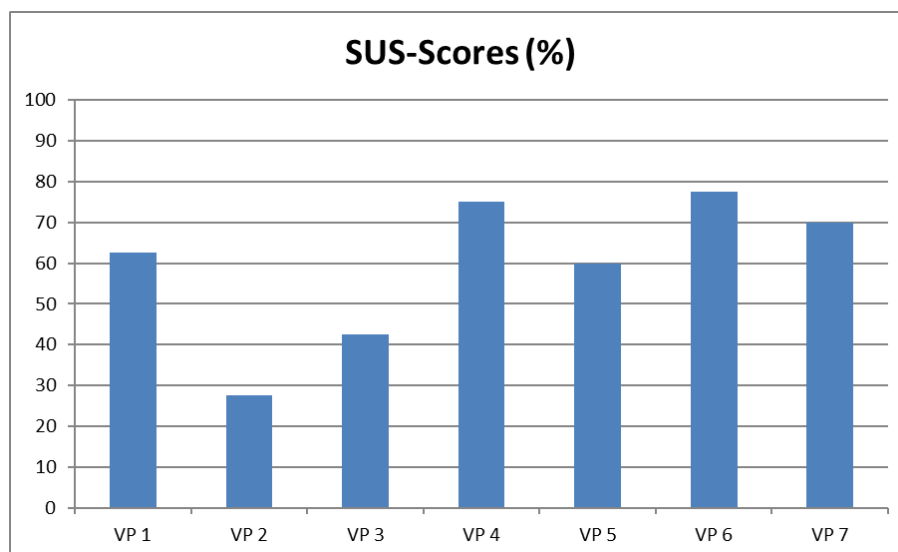


Abbildung 10: Ergebnisse des SUS-Fragebogens

Auswertung der Ergebnisse der Fragebögen

1. Standardisierter Fragebogen zur Analyse der Gebrauchstauglichkeit: System Usability Scale (SUS, [9]).

SUS ist eine quantitative Methode zur Bewertung der Nutzerfreundlichkeit der Software. Sie liefert Erkenntnisse darüber, ob und in welchem Maße eine Anwendung Usability-Probleme hat. Der erreichte SUS-Score von 59% (Durchschnittswert liegt bei 68%) zeigt, dass die Gebrauchstauglichkeit der Software ausreichend ist, kann aber verbessert werden (s. Abbildung 10: Ergebnisse des SUS-Fragebogens).

Die vorgesehenen Funktionalitäten in der Karte waren zum Zeitpunkt der Evaluation noch nicht vollständig im HMI umgesetzt. Diese Funktionalitäten wurden aber von den VPs als sehr wichtig gewertet. Deshalb wird die Umsetzung der Funktionen in der Karte die Gebrauchstauglichkeit verbessern.

Bei einer VP ist die Bewertung des HMIs im Fragebogen sehr negativ ausgefallen, obwohl es beobachtet wurde, dass die VP keine Probleme bei der Interaktion mit dem HMI hatte (z.B. hat diese VP angegeben, dass sie technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen, obwohl sie im Versuch ohne Probleme das System bedienen konnte). In diesem Fall liegt die Vermutung nahe, dass die Bewertung der VP durch eine negative Einstellung gegenüber der autonomen Navigation beeinflusst werden konnte.

2. Mit dem Fragebogen zur subjektiven Arbeitsbelastung, wurde die Arbeitsbelastung bei einer Wachübernahme vom autonomen System mit Hilfe des HMIs im Vergleich zu einer konventionellen Wachübernahme erfragt (basierend auf dem Fragebogen „NASA-TLX“ [10]).

Die Ergebnisse wurden getrennt für Simulator- und Borduntersuchungen ausgewertet, da es unterschiedliche Rahmenbedingungen gab. Bei den Simulatoruntersuchungen wurde die Arbeitsbelastung bei der Wachübernahme vom AutoOOW im Durchschnitt als etwas höher im Vergleich zu einer konventionellen Wachübernahme bewertet. Bei den Borduntersuchungen als etwas niedriger bzw. bei der mentalen Anforderung als gleich.

Dies kann daran liegen, dass die Bedingungen im Simulator insgesamt schwieriger waren, da man in einer unvertrauten Umgebung arbeiten musste. Die Ergebnisse an Bord zeigen, dass durch die Nutzung des HMIs die Arbeit der Nautiker nicht erschwert wird.

3. „Singe Ease Question“-Fragebogen (SEQ, z.B. in [11] verwendet) mit einer Frage zur Schwierigkeit der Aufgabe, die nach der Bearbeitung eines Szenarios gestellt wurde.

Die Standard-Wachübergabe wurde im Durchschnitt als eher leicht bewertet. Dies bedeutet, dass die Aufgabe durch das HMI genügend unterstützt wurde. Die Evaluations- und Emergency-Wachübergaben wurden im Fragebogen (nur bei Simulatoruntersuchungen eingesetzt) als etwas schwieriger bewertet, was aufgrund komplexerer Situationen bei der Wachübergabe zu erwarten war.

4. Fragebogen „Autonomie in der Schifffahrt“ zur Erfassung der Nutzermeinungen zu teilautonomen Schiffen.

Die VPs waren sich sicher, dass durch die Einführung der Autonomie ihre Arbeitsbelastung verringert wird, sie dadurch Zeit für andere Aufgaben an Bord gewinnen, und sie sehen nicht unbedingt, dass das Risiko eines Jobverlusts. Sie finden außerdem, dass die Einführung der Autonomie keine Auswirkung auf die Anzahl der Unfälle auf See hat. Allerdings haben sie Bedenken darüber, dass sie im Falle einer kritischen Situation nicht rechtzeitig zur Brücke gerufen werden, oder dass die Verantwortlichkeiten im Falle eines Unfalls während der autonomen Fahrt unklar sind, oder, dass das autonome System gehackt wird.

Auswertung der Interviews und der Kommentare der VPs

Als gut wurde von den VPs bewertet:

- Aufteilung der einzelnen Fenster in der Anwendung
- Visualisierungen zu den Komponenten „Status-Display“ und „ODD-Parameter“ und die dort dargestellten Informationen
- Darstellung aller ODD-Parameter auf einer Seite
- Vorhandensein der Karte
- Konzept der Checkliste
- Benachrichtigung auf dem Handy über die bevorstehende Wachübernahme bzw. einen Vorfall
- Verwendung des Ampelsystems (Symbolfarben)
- Anzeige der Informationen zum aktuellen Manöver
- Reduzierte (nur notwendige) Informationen

Die von VPs genannten Schwächen des HMIs wurden erfasst, analysiert, und der Anforderungskatalog wurde entsprechend angepasst.

Beobachtungen der Versuchsleitung:

- Wie man mit dem HMI interagiert wurde auch ohne eine detaillierte Einführung verstanden: VPs bekamen keine Einführung in das HMI. Lediglich gab es schriftliche Instruktionen zur Aufgabe und zu den Prozessen der Wachübernahme.
- Informationen im Status-Display und im ODD-Parameter-Fenster wurden gut verstanden
- Wie die Checkliste ausgefüllt werden muss, wurde sofort verstanden
- Bedeutung der Symbolfarben (Ampelsystem) wurde gut verstanden

Szenario	Freezing Point	SA-Frage	SA-Level	Nur HMI als Informationsquelle	Richtig beantwortete Fragen (%)	Tabelle 7: SA-Fragen und Ergebnisse der SA-Untersuchungen
Standard	1	1. What is the current UKC of your vessel?	1		25	
		2. What was the cause of the takeover alert? (Multiple selections possible)	1	X	75	
		3. What is the planned course (COG) of your vessel after the next waypoint?	1		75	
		4. When is the scheduled ODD exit?	1	X	75	
	2	1. What navigational hazards are present? (Multiple selections possible)	1		75	

		2. What works on board are in progress? (Multiple selections possible)	1	X	100
		3. What is the time to go to the next waypoint?	3		25
		4. What takeover relevant alerts are active? (Multiple selections possible)	1	X	100
Emergency	1	1. What ODD parameters are critical? (Multiple selections possible)	1	X	100
		2. What is the current speed (SOG) of your vessel?	1		50
		3. What is the CPA of the most critical stand-on target?	2		50
		4. What is the course (COG) of the most critical stand-on target?	2		50
	2	1. What is the relevant information in the master's standing/night orders?	1	X	25
		2. What navigational maneuver is currently performed by the AutoOOW? (Multiple selections possible)	1	X	100
		3. How far is your vessel off track?	2		50
		4. What is the current wind force?	1		100
Evaluation	1	1. What is the CPA of the most critical give- way target?	2		100
		2. What is the current course of your vessel?	1		25
		3. What is the distance to the most critical give-way target?	2		25
		4. What is the TCPA of the most critical give-way target?	2		75
	2	1. What is the distance to the floating hazards?	2		50
		2. What is the planned course on the current route leg?	1		75
		3. How many vessels are present within a 2- mile radius?	1		25
		4. What is the current XTD of your vessel?	1		25

2.1.10 Arbeitspaket 6

Im Arbeitspaket 6.1 B0-Roadmap, AP 6.2 Validierung autonomer Systeme und Arbeitspaket 6.3 Standardisierungsarbeit haben das CML und FKIE mit dem BSH und BS an Workshops teilgenommen, um die Risiken beim Einsatz eines autonom fahrenden B0-Systems zu identifizieren und wirtschaftliche Lösungen zur Prüfung solcher Risiken zu entwickeln.

Dieses Arbeitspaket wurde wie geplant abgeschlossen.

2.1.10.1 Arbeitspaket 6.1 | B0-Roadmap

Das Fraunhofer FKIE unterstützte die Erarbeitung einer ersten Roadmap für das regulatorische Rahmenwerk im Hinblick auf die Anpassung von HMI-Anforderungen in IMO-Navigationsrichtlinien. Für die Ergebnisse wird auf den Abschlussbericht vom BSH verwiesen.

2.1.10.2 Arbeitspaket 6.2 | Validierung autonomer Systeme

Für die Validierung des Gesamtsystems B Zero im Rahmen der regulatorischen Arbeiten des BSH wurden verschiedene unterstützende Arbeiten durch das CML geleistet.

Für die Entwicklung einer Validierungsstrategie wurden vom BSH Szenarien zur Prüfung der autonomen Systeme entwickelt und vom CML erweitert, insbesondere wurden mögliche Anforderungen aus dem Betrieb eines autonomen Systems zur zielgerichteten Entwicklung der Szenarien herangezogen.

Die Entwicklung der Szenarien wurde durch das CML vorallem in den folgenden Bereichen unterstützt und spezifiziert:

- Detaillierte Beschreibung und Formalisierung von Schiff-zu-Schiff Begegnungen mit Blick auf die Definition „gefährlicher“ Ziele (CPA, TCPA, RM, Geschwindigkeit)
- Unterstützung in der Definition eines Aktionsradius in dem sich das Schiff im autonomen Betrieb bewegen darf
- Festlegung des Kollisionsverhütende Maßnahmen und entsprechende Kursänderungen kontinuierlich vom System erfasst, geprüft und durchgeführt werden
- Keine Festlegung einer minimalen Geschwindigkeitsvorgabe – entsprechende Grenzwerte sollten wenn nötig aus den Wachvorgaben hervorgehen und manuell im System konfigurierbar sein.

Die Arbeiten wurden wie geplant abgeschlossen.

2.1.10.3 Arbeitspaket 6.3 | Standardisierungsarbeit

Das Fraunhofer FKIE unterstützte das BSH bei der Erarbeitung von Entwürfen für Equipment Performance Standards für teilautonome Brückensysteme.

2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wesentlichen Kosten auf den Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind Personal- und Reisekosten. Die Reisekosten sind durch teilweise längerfristige Reisen an Bord des Testschiffes zu Integrationszwecken des autonomen Navigationssystems und der HMI entstanden. Personalkosten sind durch die Mitarbeit von Wissenschaftlichem Personal der Fraunhofer Gesellschaft entstanden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Durchführung der Arbeiten am autonomen Navigationssystem hat grundlegende Erkenntnisse in der Entwicklung, dem Betrieb und der Validierung von autonomen Schiffen gebracht. Die Forschungsergebnisse aus der Entwicklung der Kollisionsverhütung und Routenplanung dient als Grundlage zukünftige Entwicklungen auf diesem Gebiet zu beschließen. Die Entwicklung einer HMI zur Kommunikation von Entscheidungen und Prozessen eines autonomen Systems können fachübergreifend Anwendung finden und ein breites Spektrum an Entwicklungen durch die gewonnen Erkenntnisse unterstützen.

Die durchgeführten Entwicklungen stärken zudem den Wirtschaftsstandort Deutschland in seiner Position als Innovationstreiber auf dem Gebiet der maritimen Autonomie.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen

Die im Rahmen von B0 durchgeführten Arbeiten können zur Verbesserung der Positionierung der Fraunhofer Gesellschaft in der Entwicklung autonomer Systeme im maritimen Sektor genutzt werden. Die entwickelten Teilsysteme und Algorithmen konnten mit Abschluss des Projektes bereits erfolgreich an Partner aus der Industrie vermittelt werden wodurch eine direkte Verwertung der durchgeführten Arbeiten gewährleistet wurde. Dies betrifft insbesondere Entwicklungen im Bereich der elektronischen Seekarte und Auswertung spezifischer Teilinformationen bestimmter Objektklassen in einer elektronischen Seekarte. Weiterführend arbeitet das Fraunhofer CML an einer Verwertung der KVR Algorithmen zur Verbesserung der Sicherheit im Seeverkehr in einem anderen Forschungsprojekt und nutzt Ergebnisse in der Entwicklung autonomer Navigationssystem zur Auslegung von Testverfahren gleichartiger Systeme. Entwicklungen aus dem Projekt B ZERO werden zudem zur Automatisierung von sogenannten „Fremdschiffen (eng. traffic ships)“ in den Schiffsführungssimulatoren des Fraunhofer CML verwendet um Schiffsverkehre in Simulationsumgebungen realistischer abbilden zu können.

2.5 F&E Ergebnisse von dritter Seite

Im Berichtszeitraum wurden keine neuen, für das Vorhaben relevanten Forschungsergebnisse bekannt. Dennoch gab es im Themenfeld der autonomen Schifffahrt eine Vielzahl von Projekten, die von Dritten während der Projektlaufzeit durchgeführt wurden. Eine Marktrecherche die während der Projektlaufzeit im Rahmen eines anderen Projektes durchgeführt wurde zeigte eine Vielzahl von Projekten im Bereich der autonomen Umgebungswahrnehmung und das generelle Wachstum des gesamten autonomen Navigationssektors.

Die Verteilung der Patentanmeldungen im Bereich MASS dargestellt in Abbildung 11 zeigt das stark anwachsende Interesse in der Entwicklung von automatisierten und autonomen Navigationssystemen. Dieses Wachstum unterstreicht den Bedarf an Forschungsprojekten in diesem Bereich und insbesondere in der Entwicklung von Algorithmen die zur Umsetzung dieser Zielsetzungen notwendig sind.

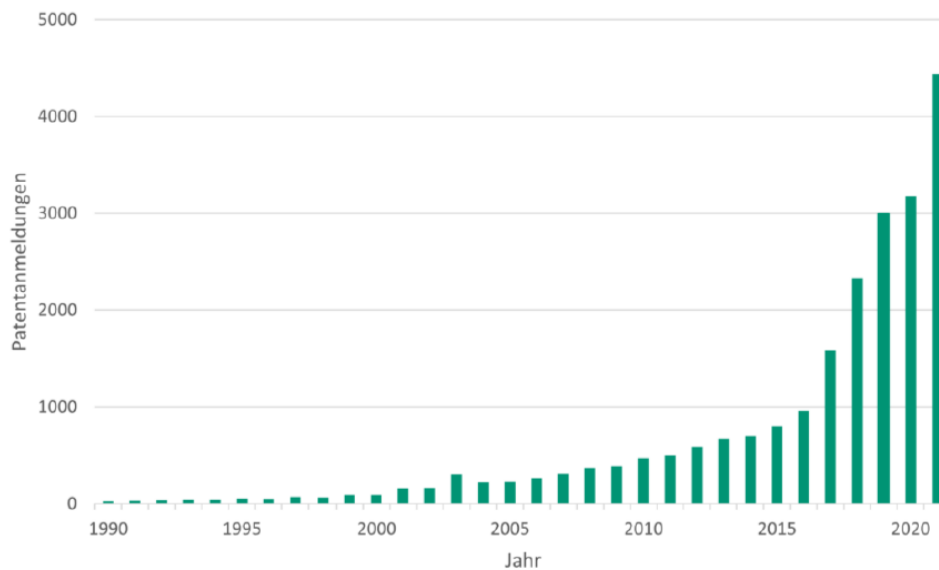


Abbildung 11:
Patentanmeldungen mit
MASS-Bezug für 1990 bis 2021.
Auszug aus Studie „VerifAI“

2.6 Veröffentlichungen im Vorhabenszeitraum

Das Projekt konnte erfolgreich auf mehreren Fachmessen, Publikationen und in Form von wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorgestellt werden und einem breiten Fachpublikum aus Wirtschaft und Forschung näher gebracht werden. Nachfolgend sind die wesentlichen Veröffentlichungen in chronologischer Reihenfolge aufgeführt.

Vortrag hubTV meets IBM & Fraunhofer am 14.05.2020

Vortrag Schiff & Hafen Konferenz am 07.12.2020

Wissenschaftliche Veröffentlichung Burmeister, Ugé, Constapel (2020) From Sensors to MASS: Digital Representation of the Perceived Environment enabling Ship Navigation; ICMAS 2020

Vortrag TransNav 2021 – 14th International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation

Wissenschaftliche Veröffentlichung Hochgeschurz S., Dalinger E., Motz F.: Modelling the Processes of Taking Over the Watch From an Autonomous Navigation System. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 1, doi:10.12716/1001.15.01.11, pp. 117-124, 2021

Vortrag Maritime Innovation Update, 2021 - Autonomous Navigation in the B ZERO Project - Technical Integration

Vortrag Maritime Innovation Update, 2021 – “AI for the Unmanned Bridge: Use of Expert Systems in the Maritime Domain”, FCML

Vortrag Maritime Innovation Update, 13.05.2022 – “Object annotation for situational awareness of autonomous navigation”, FCML

Vortrag Inside DIN, 17.05.2022 – „Autonome Systeme im maritimen Bereich“

Wissenschaftliche Veröffentlichung "On the implementation of a rule-based system to perform assessment of COLREGs onboard maritime autonomous surface ships", ICMAS 2022, 29.06.2022

Wissenschaftliche Veröffentlichung „Quantitative Risk Assessment of a Periodically Unattended Bridge“, (Mert Yildiz, Manfred Constapel, Hans-Christoph Burmeister, Lennart Swoboda, Athalie Njabou, Karl-Heinz Warnstedt), ESREL European Safety and Reliability Conference 2023, Wird 2023 veröffentlicht

Vortrag Schifffahrtskolleg Schifffahrtsinstitut Warnemünde, 16.-17.11.2023, "B ZERO – die wachfreie Brücke", FCML - FFKIE

3 Literaturverzeichnis

- [1] Waterborne TP, Waterborne Vision 2030 & 2050, <https://www.waterborne.eu/vision/>, 2016.
- [2] Waterborne TP, Waterborne implementation plan: Issue May 2011. Waterborne strategic research agenda, 2011.
- [3] OMG, „Business Process Model and Notation (BPMN). Specification Version 2.0.2.,“ Object Management Group (OMG) Specification, December 2013. [Online].
- [4] Reederei Bernhard Schulte , „Marine Operations Manual BSM,“ [Online]. [Zugriff am 19 Dezember 2019].
- [5] Reederei Bernhard Schulte , „Master's Standing Orders - Guidance Document (MOM 051),“ [Online]. [Zugriff am 19 Dezember 2019].
- [6] DIN EN ISO 9241-11:2018, *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*, 2018.
- [7] M. R. Endsley, „Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT,“ in *Situation awareness analysis and measurement*, Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum, 2000, pp. 147-174.
- [8] J. Brooke, „SUS: a 'quick and dirty' usability scale,“ in *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester und A. L. McClelland, Hrsg., London, Taylor and Francis, 1996, pp. 189-194.
- [9] S. G. Hart und L. E. Staveland, „Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research,“ in *Human Mental Workload*, P. A. Hancock und N. Meshkati, Hrsg., Amsterdam, Elsevier, 1988, pp. 139-183.
- [10] J. Sauro und J. S. Dumas, „Comparison of three one-question, post-task usability questionnaires,“ in *CHI '09: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2009.
- [11] Internationale Organisation für Normung (ISO), *Technische Spezifikation (TS)*, 2022.
- [12] H.-C. Burmeister, M. Constapel, C. Uge und C. Jahn, „From Sensors to MASS: Digital Representation of the Perceived Environment enabling Ship Navigation,“ *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020.
- [13] M. Constapel und H.-C. Burmeister, „Autonomous Collision Avoidance at Sea: A Survey,“ *Frontiers in Robotics and AI*, 2021.
- [14] M. Constapel, P. Koch und H.-C. Burmeister, „On the implementation of a rule-based system to perform assessment of COLREGs onboard maritime autonomous surface ships,“ *Journal of Physics: Conference Series*, 2022.

- [15] C. Ugé und S. Hochgeschurz, „Learning to Swim - How Operational Design Parameters Determine the Grade of Autonomy of Ships,” *TransNav*, 2021.

4 Anhang

Anforderungskatalog HMI (seperates Dokument)

B ZERO

Work package 4.6

Human-Machine-Interface Catalog of Requirements

Elena Dalinger
Stephanie Hochgeschurz

Date: October 20, 2023
Version: 4.0

Fraunhofer Institute for Communication, Information Processing and Ergonomics FKIE
Fraunhoferstr. 20 | 53343 Wachtberg

Table of Contents

List of Figures	3
List of Tables.....	5
1 Introduction.....	6
1.1 Objective of the Project.....	6
1.2 Scope of the Document	6
1.3 Method.....	7
1.4 Definition of terms.....	7
2 Functional Requirements.....	8
2.1 Communication with the AutoOOW	8
2.2 Communication with the AutoLogbook.....	8
2.3 General	8
2.4 Own ship data	8
2.5 Status Display	8
2.6 Verification.....	9
2.7 Watch Takeover (watch transfer from the AutoOOW to the human OOW)	9
2.8 Event Log	10
2.9 Alerting OOW about takeover	10
2.10 Handover (watch transfer from the human OOW to the AutoOOW).....	10
2.11 ODD Parameters	10
2.12 ODD Setup	11
2.13 Chart.....	11
2.14 Maneuvers	11
3 Design Concepts.....	12
3.1 General aspects	12
3.2 Status Display	16
3.3 Watch Takeover (watch transfer from the AutoOOW to the human OOW)	21
3.4 Watch Handover (watch transfer from the human OOW to the AutoOOW)	32
3.5 ODD Parameters	37
3.6 ODD Setup	41
3.7 Chart.....	43
3.8 Event Log	49
3.9 Maneuvers	52

4	Proposals for future system development	54
5	Bibliography	55
6	Appendix	56
6.1	Data exchange with the AutoLogbook	56
6.2	Maneuvers	57
6.3	Takeover-relevant alerts	57
6.4	Data Exchange with the AutoOOW	59
6.5	Visualization examples	64

List of Figures

Figure 1. HMI structure	13
Figure 2. HMI dimensions in pixel	14
Figure 3. Overview information	14
Figure 4. Verification window to initiate a takeover	15
Figure 5. Verification window to initiate an evaluation	16
Figure 6. Verification window after deciding that no takeover is required	16
Figure 7. Status display examples	19
Figure 8. Checked checkbox	21
Figure 9. Checklist for watch takeover (standard procedure)	22
Figure 10. Checklist for watch takeover (standard procedure) - continued	23
Figure 11. Checklist for watch takeover (fast-track procedure)	24
Figure 12. Checklist for watch takeover (fast-track procedure) - continued	25
Figure 13. Eye-buttons (on the right – enabled button)	27
Figure 14. Possibility to enter additional information	27
Figure 15. Additional item for takeover after evaluation	27
Figure 16. Possibility to sign master's orders	28
Figure 17. Displayed „Current work on board“ with the possibility to set status to „finished“	28
Figure 18. Enabled "Take over"-button	29
Figure 19. Disabled checkbox	29
Figure 20. Confirmation that the checklist is completed after pressing the "Checklist completed"-button	29
Figure 21. Confirmation of the performed takeover after pressing the "Take over"-button	30
Figure 22. Confirmation of the performed emergency takeover after pressing the "Take over"-button	30
Figure 23. Information about what happens when you take over	30
Figure 24. Presentation of takeover relevant and active alerts	31
Figure 25. "Initiate Handover to AutoOOW"-button	32
Figure 26. Enabled "Hand over to AutoOOW"-button	33
Figure 27. Disabled checkbox	34
Figure 28. Handover window if the current ODD status is "Outside ODD"	34
Figure 29. Handover window if the current ODD status is "Inside ODD"	35
Figure 30. Handover window if the current ODD status is "Entering ODD"	36
Figure 31. Handover window after handover was performed	37
Figure 32. Presentation of ODD parameters	37
Figure 33. Example presentation of ODD parameters	38
Figure 34. Example presentation of ODD parameters in case of AutoOOW failure	39
Figure 35. Presentation of categorical ODD parameters	39
Figure 36. Presentation of combination parameters	40
Figure 37. Indication für the availability of additional information	41
Figure 38. List of ODD Legs	42
Figure 39. Editable view for ODD Legs	43
Figure 40. New Line for ODD Leg	43

Figure 41. Presentation of the chart without any additional information.....	43
Figure 42. ROT indicator.....	44
Figure 43. Presentation of the maneuver.....	44
Figure 44. Presentation of the traffic situation.....	45
Figure 45. Presentation of the navigational hazard	45
Figure 46. Presentation of the map scale	46
Figure 47. Possible filters with the traffic situation filter selected	47
Figure 48. Selection marker	47
Figure 49. More detailed information about the selected target	48
Figure 50. Additional information about a navigational hazard	49
Figure 51. Example visualization of predicted trajectories	49
Figure 52. Event Log with no current events.....	50
Figure 53. Event Log display with a current emergency event.....	50
Figure 54. Display of maneuvers	53
Figure 55. Display of alternatives maneuvers.....	53
Figure 56. Verification screen after selecting a critical action.....	64
Figure 57. Emergency takeover required due to several critical parameters	65
Figure 58. Autonomous mode, the OOW is not on the bridge	66

List of Tables

Table 1. Colors for presentation and their respective Hex- and RGB codes (day colour scheme)	12
Table 2. Colors for presentation and their respective Hex- and RGB codes (night color scheme)	12
Table 3. Fonts	12
Table 4. Button design and criticality of actions	15
Table 5. Data structure of entries for the status display	16
Table 6. Event buttons	19
Table 7. Priority for critical parameters	20
Table 8. Checklist items for the watch takeover checklist	26
Table 9. Hints for disabled buttons	30
Table 10. Icons for the alert presentation	31
Table 11. Checklist items for the watch handover checklist	34
Table 12. Additional information about ODD parameters	40
Table 13. Border color of takeover-events	50
Table 14. Data structure of events	51
Table 15. Data structure for the information column of events	51
Table 16. Data exchange with the AutoLogbook – Takeover Alerts	56
Table 17. Data structure for maneuvers	57
Table 18. Possible takeover-relevant alerts	57
Table 19. Data structure for takeover-relevant alerts	58
Table 20. Data structure for ODD parameters (numerical parameters)	59
Table 21. Data structure for ODD parameters (categorical and count parameters)	61
Table 22. Data structure for ODD relevant alerts	61

1 Introduction

1.1 Objective of the Project

The maritime industry is striving towards increasing levels of autonomy within the field of navigation. However, fully autonomous vessel navigation requires an extraordinarily complex system. As a step towards full autonomy and to reduce system complexity, nautical officers should still be available on board to take over the watch from the autonomous system in situations, in which human intervention is required.

The project B ZERO aims at developing a sensor- and navigation system, which shall serve as an autonomous navigation system for merchant ships. In addition to the automated ship operation mode, nautical officers will still be on board to take over navigation of the vessel in certain situations and in critical situations, where autonomous navigation is not possible. In some phases of the voyage, however, they should be kept watchfree.

An important aspect for smooth ship operation is a Human-Machine-Interface (HMI) for effective communication between the watchfree officer and the autonomous system, especially in take-over situations. The HMI is intended to provide the officer of the watch with all the information he or she needs in the particular situation.

1.2 Scope of the Document

The HMI shall support the watch transfer between the autonomous system (AutoOOW) and the officer of the watch (OOW) for scheduled exits of the Operational Design Domain (ODD) and unscheduled ODD exits, i.e., in critical situations. The ODD describes the conditions under which the autonomous system can operate safely. If the conditions are no longer met, the OOW is informed and summoned to the bridge. The HMI shall provide guidance for those situations (referred to as “evaluation” situations), in which the OOW first must determine the necessity of a watch takeover. The HMI shall additionally maintain an overview of the current situation of the autonomous systems at any time by providing status information as well as information about the ODD. The HMI can display more accurate information (e.g., regarding CPA and TCPA of target vessels) using artificial intelligence than conventional ECDIS and radar systems. Furthermore, additional information is displayed there that is not available on other navigation systems.

This document describes the functional and design requirements for the HMI. Information on the status of the autonomous systems, the status of the ODD and the OOW, and current events shall form the basis of the situation overview. In addition to the general state of the ODD, the state of each ODD parameter shall also be indicated by showing the deviation between critical and currently measured parameter values. It shall further be possible to define the ODD with the help of the HMI. In addition, a takeover-event history shall be available to record current and past takeover-events such as conducted and required watch takeovers from the AutoOOW.

To support the watch takeover from the AutoOOW to the human OOW (hereinafter referred to as “takeover”), as well as the handover from the human OOW to the AutoOOW (hereinafter referred to as “handover”), the HMI shall provide a checklist listing all important steps that need to be considered during the watch takeover, while also providing relevant hints. Such hints for the takeover include for instance information about the current maneuver of the AutoOOW, as well as information about the current traffic situation and navigational hazards. These hints shall be presented on a chart. Depending

on whether the takeover was scheduled or due to a critical situation, the checklist shall be adjusted so that not all aspects of the checklist must be checked before being able to take over in the case of a time-critical situation.

The HMI shall provide important information about the current situation, support various watch takeover situations and shall be stationary on the bridge. When a critical situation occurs and the OOW is called to the bridge, the system shall depict the critical situation and critical ODD parameters that are outside ODD limits. It shall also provide various options for responding to the particular situation.

An important part of the autonomous navigation is the data exchange between the HMI and the AutoLogbook, a digital ship logbook presented on a mobile device. It was found that the AutoLogbook is an essential component of the watch takeover process, as it can alert the watch officer in critical situations and transmit the information about the current situation to him.

1.3 Method

The general procedure of developing an HMI was based on the human-centred design processes for interactive systems [1]. The Applied Cognitive Work Analysis (ACWA, [2]) was used to develop the HMI. ACWA is a methodical approach to developing and evaluating an HMI. ACWA begins with the creation of a functional abstraction network that describes the goals to be achieved in a work domain and the associated functions that support the achievement of those goals. From these goals and functions, cognitive and then information requirements are determined. From the latter, visualization requirements are created that describe how information should be presented and, in a final step, lead to a design concept that is prototypically implemented. Afterwards, evaluations of the design concepts take place with the help of the designed prototype with the involvement of the end users. The definition of requirements and evaluations are iterative. Requirements for the HMI and the prototype are adjusted after each validation with end users.

1.4 Definition of terms

The *Autonomous Officer of the Watch (AutoOOW)* is an autonomous navigation system, which navigates the ship without the intervention of a nautical officer. Nautical officers do not have to be on the bridge while the AutoOOW is on watch.

The *Operational Design Domain (ODD)* describes the conditions under which the autonomous system can operate safely. The ODD is defined through certain parameters, which describe, e.g., specific traffic situations or weather conditions. Whenever the ODD parameter limits are exceeded, the ODD is left, and the nautical officer must take control of the ship.

An *ODD Leg* is a route leg for which it was determined during route planning whether this leg is inside the ODD, i.e., safe for autonomous navigation, or outside the ODD, i.e., autonomous navigation on this leg is not possible.

The *AutoLogbook* is a smart logbook for log keeping during the watch and is presented on a smartphone. With its help, the nautical officer is alerted, when the ship is outside ODD limits, and the nautical officer may have to take over the watch.

2 Functional Requirements

2.1 Communication with the AutoOOW

- 2.1.1 The HMI shall be able to send information to the AutoOOW.
- 2.1.2 The HMI shall be able to receive information from the AutoOOW.

2.2 Communication with the AutoLogbook

- 2.2.1 The HMI shall be able to send information to the AutoLogbook (see chapter 6.1).
- 2.2.2 The HMI shall be able to receive information from the AutoLogbook (see chapter 6.1).

2.3 General

- 2.3.1 The HMI shall organize information according to Figure 1 in section 3.1.3.
- 2.3.2 The HMI shall have dimensions according to Figure 2 in section 3.1.3.
- 2.3.3 The HMI shall use the colors defined in in section 3.1.1.
- 2.3.4 The HMI shall use the fonts defined in in section 3.1.2.
- 2.3.5 The HMI shall show different windows respectively in "Workspace 1" and "Workspace 2" (see section 3.1.5).
- 2.3.6 The HMI shall provide the user with the ability to choose the windows that shall be shown in "Workspace 1" and "Workspace 2" (see section 3.1.5).
- 2.3.7 The HMI shall use a decimal point as decimal separator.
- 2.3.8 The HMI shall use the format "YYYY-MM-DD" for dates.
- 2.3.9 Unless otherwise specified, the HMI shall indicate time in hours and minutes in the following manner: [X] h [X] min. If either indication is 0, the respective indication shall be omitted (e.g., 12 min).
- 2.3.10 For disabled buttons, the HMI shall show hints on click/hover to inform the user of the action to be taken (see Table 9).

2.4 Own ship data

- 2.4.1 The HMI shall show the current ship time.
- 2.4.2 The HMI shall show the current UTC time.
- 2.4.3 The HMI shall show the current date.
- 2.4.4 The HMI shall show the current heading of the own ship.
- 2.4.5 The HMI shall show the current course over ground (COG) of the own ship.
- 2.4.6 The HMI shall show the current speed over ground (SOG) of the own ship.
- 2.4.7 The HMI shall show the final ETA.

2.5 Status Display

- 2.5.1 The HMI shall show the current event/notification.
- 2.5.2 The HMI shall show the status of the ODD.
- 2.5.3 The HMI shall show the status of the AutoOOW.

- 2.5.4 The HMI shall show the status of the OOW.
- 2.5.5 The HMI shall show the statuses as defined in chapter 3.2.
- 2.5.6 The HMI shall use the color-coding for statuses defined in chapter 3.2.

2.6 Verification

- 2.6.1 The HMI shall provide the user with the ability to verify his or her identity when performing critical actions as described in section 3.1.6.

2.7 Watch Takeover (watch transfer from the AutoOOW to the human OOW)

- 2.7.1 The HMI shall show the checklist for the watch takeover as described in chapter 3.3.
- 2.7.2 The HMI shall provide the user with the ability to choose between the standard and fast-track procedure for the watch takeover as described in chapter 3.3.
- 2.7.3 The HMI shall show the watch takeover checklist in „Workspace 1“(see Figure 1).
- 2.7.4 The HMI shall provide the user with the ability to mark a checklist item as completed.
- 2.7.5 If additional information about the checklist item exists, the HMI shall provide the user with the ability to retrieve this additional information.
- 2.7.6 The HMI shall provide the user with the ability to fill in the necessary information in the checklist.
- 2.7.7 The HMI shall be able to save the information provided by the user and to set a timestamp when a field in a checklist was filled in.
- 2.7.8 If additional information about the checklist item exists, the HMI shall show this additional information as described in chapter 3.3.
- 2.7.9 The HMI shall provide the user with the ability to confirm the watch takeover as described in chapter 3.3.
- 2.7.10 The HMI shall be able to send the confirmation of the watch takeover to the AutoLogbook.
- 2.7.11 The HMI shall be able to send the completed checklist of the watch takeover to the AutoLogbook.
- 2.7.12 The HMI shall be able to receive the following information relevant for the takeover from the AutoOOW:
 - Information about the current maneuver
 - Alerts
 - Engine status
 - Navigational hazards
 - Traffic situation
- 2.7.13 The HMI shall be able to receive the following information relevant to the takeover from the AutoLogbook:
 - Engine room status
 - Current work on board
 - Master’s standing/night orders

2.8 Event Log

- 2.8.1 The HMI shall show all occurred alerts and takeover/handover events in „Workspace 2“ (see Figure 1).
- 2.8.2 The HMI shall show the event log as defined in chapter 3.8.
- 2.8.3 The HMI shall be able to send event's data to the AutoLogbook.

2.9 Alerting OOW about takeover

- 2.9.1 The following alerts shall be sent to the AutoLogbook:
 - Emergency takeover required (alarm)
 - Evaluation required (warning)
 - Takeover required (caution)
- 2.9.2 The following data shall be logged for each alert:
 - Time of occurrence
 - Name of alert (see chapter 3.2, Table 5)
 - Description (see chapter 6.4, Table 20, column "ODD/event description")
- 2.9.3 Data shall be exchanged with the AutoLogbook according to the description in chapter 6.1, Table 16.
- 2.9.4 The HMI shall be able to receive a signal that the AutoLogbook of the respective person has lost connection.

2.10 Handover (watch transfer from the human OOW to the AutoOOW)

- 2.10.1 The HMI shall show the checklist for the watch handover to AutoOOW as described in chapter 3.4.
- 2.10.2 The HMI shall show the watch handover checklist in „Workspace 1“(see Figure 1).
- 2.10.3 The HMI shall provide the user with the ability to mark a checklist item as completed.
- 2.10.4 The HMI shall provide the user with the ability to add information to the AutoLogbook.
- 2.10.5 The HMI shall provide the user with the ability to confirm the watch handover as described in chapter 3.4.
- 2.10.6 The HMI shall be able to send the confirmation of the watch handover to the AutoLogbook.

2.11 ODD Parameters

- 2.11.1 The HMI shall show the ODD parameters in „Workspace 1“(see Figure 1).
- 2.11.2 The HMI shall show the ODD parameters as defined in chapter 3.5.
- 2.11.3 If ODD parameters are not up to date, the HMI shall show the last known values or calculated values.
- 2.11.4 If ODD parameters are not up to date, the HMI shall show the notification about the cause of the failure and the time of the last reliable measurement.
- 2.11.5 The HMI shall be able to receive current ODD parameter data from the AutoOOW.
- 2.11.6 The HMI shall use the data structure for ODD parameters defined in chapter 6.4, Table 20 and Table 21.

2.12 ODD Setup

- 2.12.1 The HMI shall show the ODD setup in „Workspace 2“(see Figure 1).
- 2.12.2 The HMI shall provide the user with the ability to define ODD legs as described in chapter 3.6.
- 2.12.3 The HMI shall provide the user with the default values for ODD parameters.
- 2.12.4 The HMI shall provide the user with the ability to define ODD parameters as described in chapter 3.6.
- 2.12.5 The HMI shall be able to send the information about the defined ODD legs to the AutoOOW.
- 2.12.6 The HMI shall be able to send the information about the defined ODD parameters for each ODD leg to the AutoOOW.

2.13 Chart

- 2.13.1 The HMI shall show the chart in „Workspace 2“(see Figure 1).
- 2.13.2 The HMI shall show the chart as defined in chapter 3.7.
- 2.13.3 The HMI shall show a map legend as defined in chapter 3.7.
- 2.13.4 The HMI shall provide the user with the ability to display additional information on the chart as described in chapter 3.7.

2.14 Maneuvers

- 2.14.1 The HMI shall show ongoing, upcoming, and performed maneuvers of the AutoOOW in “Workspace 1” (see Figure 1).
- 2.14.2 The HMI shall show the maneuvers of the AutoOOW as defined in chapter 3.9.
- 2.14.3 The HMI shall be able to receive information about maneuvers from the AutoOOW.

3 Design Concepts

3.1 General aspects

3.1.1 Colors

Table 1. Colors for presentation and their respective Hex- and RGB codes (day colour scheme)

Color	Hex-Code	RGB		
		R	G	B
Background	#EEEEEE	238	238	238
Foreground (Text)	#333333	51	51	51
Status heading	#858383	133	131	131
Green	#339B37	51	155	55
Red	#cc3517	204	53	23
Yellow	#ffcc00	255	204	0
Blue Purple (Targets)	#0000FF	0	0	255
Green (for gauges)	#a6e2a9	166	226	169

Table 2. Colors for presentation and their respective Hex- and RGB codes (night color scheme)

Color	Hex-Code	RGB		
		R	G	B
Background	#333333	51	51	51
Foreground (Text)	#EEEEEE	238	238	238
Status heading	#858383	133	131	131
Dark grey (Input field)	#666666	102	102	102
Green	#33CC33	51	204	51
Red	#FF0000	255	0	0
Yellow	#FFCC00	255	204	0
Cyan (Targets)	#00FFFF	0	255	255
Green (for gauges)	#008000	0	128	0

3.1.2 Text

Table 3. Fonts

Text	Font	Type	Font size
Headings (Tabs, Status description)	Sans serif font, e.g., Roboto (Google Font)	Bold	18
Text (e.g., ODD parameters, Log-In Buttons, second line of statuses)		Regular	14

Recommended character size for capital letters depending on the viewing distance:

- At a viewing distance of 500 mm, the character height should be 3.2 mm to 4.5 mm.
- At a viewing distance of 600 mm, the character height should be 3.9 mm to 5.5 mm.
- At a viewing distance of 700 mm, the character height should be 4.5 mm to 6.4 mm.
- At a viewing distance of 800 mm, the character height should be 5.2 mm to 7.3 mm.

3.1.3 Window and Tab-Structure

- The HMI shall have the structure displayed in Figure 1 with the dimensions indicated in Figure 2.
- The HMI's structure shall include the following components:
 - Overview (section 3.1.4)
 - Workspace 1 (section 3.1.5)
 - Workspace 2 (section 3.1.5)
 - Status Display (section 3.2)

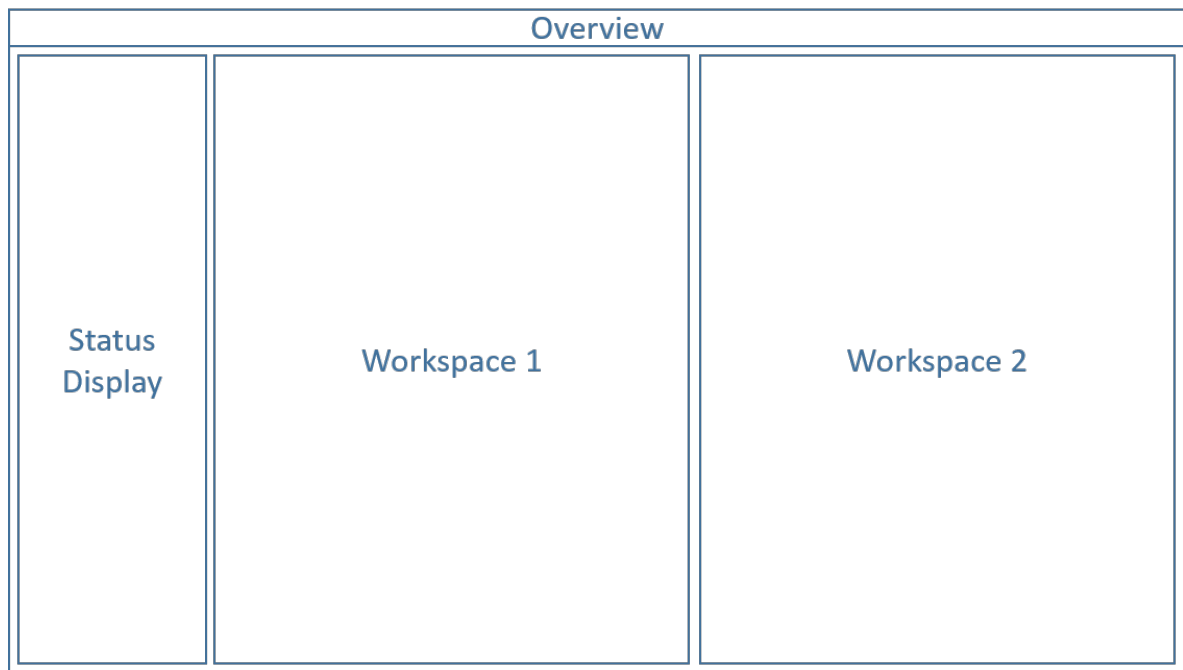


Figure 1. HMI structure

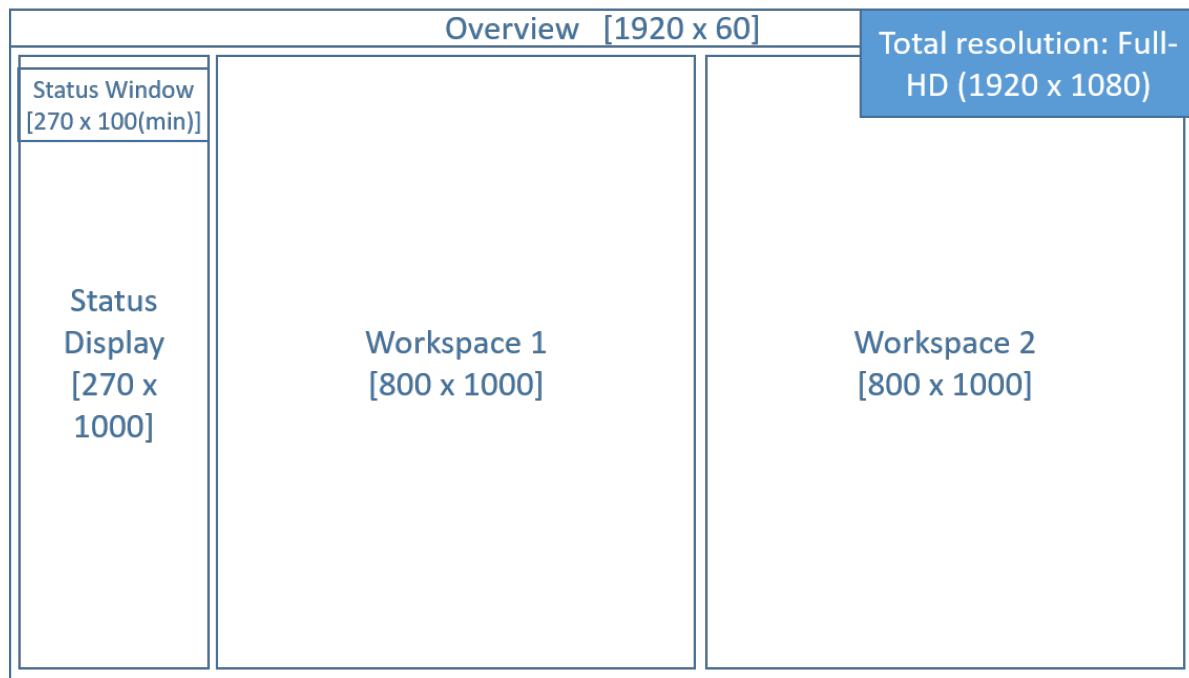


Figure 2. HMI dimensions in pixel

3.1.4 Overview

- The HMI's overview area shall show information about
 - the own ship's
 - heading
 - COG
 - SOG
 - final estimated time of arrival (Final ETA), consisting of the date and time.
 - the Coordinated Universal Time (UTC) and date
 - the local time and date (see Figure 3)

HDG: 096.4°	SOG: 18 kn	UTC: 03 Feb 2021 10:05:09
COG: 091.6°	Final ETA: 05 Feb 2021 18:12	LOCAL: 03 Feb 2021 09:05:09

Figure 3. Overview information

3.1.5 Workspaces 1 and 2

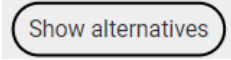
- In workspace 1 and 2, the window content shall be organized in tabs.
- The following tabs shall be available in workspace 1 in the indicated order:
 - Takeover
 - Handover
 - ODD Parameters
 - Maneuvers
- The following tabs shall be available in workspace 2 in the indicated order:
 - Chart
 - Event Log
 - ODD Setup

- By default, the ODD parameters shall be shown in workspace 1 and the chart shall be shown in workspace 2.

3.1.6 Verification

- Critical actions shall require a verification of the user's identity.
- Critical actions are:
 - Performing a watch takeover
 - Performing an evaluation
 - Performing a watch handover
 - Signing master's orders
 - Performing the ODD setup
- When performing a watch takeover, watch handover, or evaluation, a verification is necessary at both the initiation and the completion of the action.
- The HMI shall use the button design shown in Table 4 to indicate when a verification is necessary and when it is not.

Table 4. Button design and criticality of actions

Action	Description	Example
Critical	• Verification necessary • Red outline • White background	
Uncritical	• Verification not necessary • Black outline • Grey background	

- If possible, the user's identity shall be verified via a fingerprint scanner or facial recognition.
- A verification window shall appear to instruct the user to verify the identity.
- The verification window shall appear as a popup window (see Figure 56).
- In addition, it shall be possible to confirm the identity via a verification window as displayed in Figure 4 by selecting the name of the respective OOW and then "OK".
- Pressing the "Cancel"-button shall cancel the verification and the desired action cannot be performed.
- The first line of the verification window shall indicate what will happen after the verification (see Figure 4 - Figure 6).

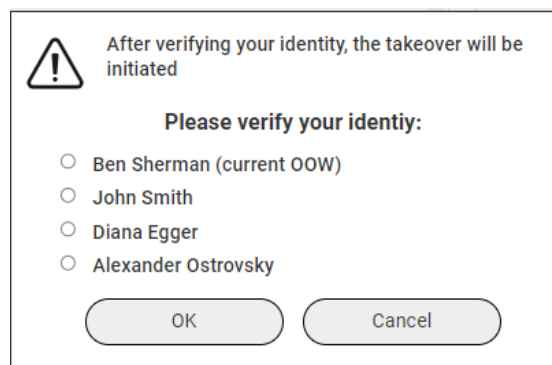


Figure 4. Verification window to initiate a takeover

After verifying your identity, the evaluation will be initiated

Please verify your identity:

☐ Ben Sherman (current OOW)

☐ John Smith

☐ Diana Egger

☐ Alexander Ostrovsky

OK Cancel

Figure 5. Verification window to initiate an evaluation

No takeover required.
Please, give reasons for your decision:

Situation evaluated, no need of takeover detect

Please verify your identity:

☐ Ben Sherman (current OOW)

☐ John Smith

☐ Diana Egger

☐ Alexander Ostrovsky

OK Cancel

Figure 6. Verification window after deciding that no takeover is required

3.2 Status Display

- The HMI shall always show status information about
 - events
 - the ODD
 - the AutoOOW
 - the OOW.
- The status of the respective aspect shall be visually indicated by color.
- Table 5 describes the possible statuses with their respective color as well as the conditions in which they are active.
- Some example presentations of the status display are shown in Figure 7.
- Depending on the current situation, different buttons shall be displayed in the event status field, which shall be used to trigger an evaluation, a takeover, or a handover (see Table 6).

Table 5. Data structure of entries for the status display

Statuses	Text (first line)	Color	Condition	Additional text (second line)
Event	No significant occurrences	green	Default if AutoOOW is on watch	-

	Evaluation required	yellow	Evaluation required (warning), i.e., at least one ODD parameter with a yellow segment is critical	-
	Emergency takeover required	red	Emergency takeover required (alarm), i.e., at least one ODD parameter with a red segment is critical	-
	Takeover required	grey	Takeover required (caution), i.e., 30 min. before leaving ODD leg	-
	Watch handover to OOW [name] in [x] min	grey	Human OOW is on watch, a handover to another human OOW is scheduled next	-
	Watch handover to AutoOOW in [x] min	grey	Human OOW is on watch, a handover to the AutoOOW is scheduled next	-
	[Emergency/evaluation] takeover in progress	Emergency – red, evaluation – yellow, otherwise grey	Takeover is started by OOW, but not yet completed.	-
	Emergency/evaluation is being resolved	Emergency – red, evaluation – yellow	OOW took over, but the checklist is not completed	-
ODD status	Entering ODD	yellow	[X] minutes before entering ODD leg	Entering ODD in [x] min
	Leaving ODD	yellow	[X] minutes before leaving ODD leg	Scheduled ODD exit in [x] min
	Outside ODD	grey	Own ship is outside ODD leg or at least one ODD parameter is critical	Scheduled ODD entry in [x] min
	Inside ODD	green	Own ship is inside ODD leg and no ODD parameters are critical	Scheduled ODD exit in [x] min
	[Event description]	Red (emergency) or yellow (evaluation)	As per Table 20 - Table 22	Parameter values (pictures, see Figure 7)
	Unknown	red	ODD parameter values cannot be calculated	Last known status: [ODD status] [x] min ago
AutoOOW status	AutoOOW navigating	green	AutoOOW on watch	-
	AutoOOW not navigating	grey	OOW on watch	-
	Failure	red	No connection to AutoOOW	-
OOW status	[OOW name] responsible	grey	OOW is not on the bridge	-
	[OOW name] on watch	green	OOW navigates	-

	Evaluation/emergency alert sent to [OOW name]	Yellow if enough time, red otherwise	OOW is not on the bridge, takeover alert is sent, but not yet acknowledged	[x] min to complete [takeover/evaluation]
	[OOW name] acknowledged evaluation/emergency alert	Yellow if enough time, red otherwise	OOW is not on the bridge, takeover alert is sent, OOW has acknowledged but not accepted the call	[x] min to complete [takeover/evaluation] [Temporarily offline]
	[OOW name] is alerted due to evaluation/emergency and is on the way to the bridge	Yellow if enough time, red otherwise	OOW is not on the bridge, takeover alert is sent, OOW has accepted the call	[x] min to complete [takeover/evaluation]
	[OOW name] on bridge	green	OOW is on the bridge, the AutoOOW is navigating	[x] min to complete [takeover/evaluation]
	[OOW name] is resolving the evaluation/emergency	green	OOW pressed the button "Initiate takeover" or "Initiate evaluation"	

AutoOOW navigating – within ODD limits

Event
No significant occurrences
Initiate Takeover

ODD status
Inside ODD
Scheduled ODD exit in 3:00 h

AutoOOW status
AutoOOW navigating

OOW status
Responsible OOW is Sherman

Human OOW navigating – watch handover in 30 minutes

Event
Watch handover to AutoOOW in 0:30 h
Initiate Handover to AutoOOW

ODD status
Outside ODD
Scheduled ODD entry in 0:30 h

AutoOOW status
AutoOOW not navigating

OOW status
OOW Ostrovsky is on watch

AutoOOW navigating – several parameters outside ODD limits

Event
Emergency takeover required
Initiate Takeover

ODD status
Outside ODD
Critical lost radar target:

- AIS not available
- Radius: 10 NM

Wind force: 8 Bft
UKC: 40 m
UKC (% of estimated): 60%

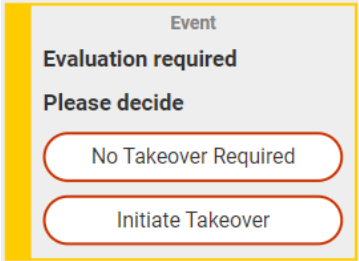
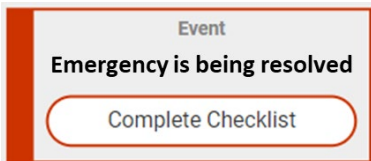
AutoOOW status
AutoOOW navigating

OOW status
OOW Sherman is alerted due to emergency and is on the way to the bridge
10 min left to complete takeover

Figure 7. Status display examples

Table 6. Event buttons

	Condition	Buttons	Display	Actions after pressing the button
1	AutoOOW is navigating	Initiate Takeover	Event No significant occurrences Initiate Takeover	After verification, the window "Takeover" shall be presented in workspace 1.
2	Human OOW is navigating	Initiate Handover to AutoOOW	Event Watch handover to AutoOOW in 0:14 h Initiate Handover to AutoOOW	After verification, the window "Handover" shall be presented in workspace 1.
3	Evaluation required	Initiate Evaluation	Event Evaluation required Initiate Evaluation Initiate Takeover	After verification, the window "ODD Parameters" shall be presented in workspace 1 and in the event status window the text "Please decide" and two buttons shall appear (see No. 4).

		Initiate Takeover		After verification, the window "Takeover" shall be presented in workspace 1 (with the fast takeover procedure).
4	Evaluation required and evaluation was initiated	No Takeover Required		A verification-window shall be presented with the possibility to enter the reasons for the decision (see Figure 6).
		Initiate Takeover		After verification, the window "Takeover" shall be presented in workspace 1 (with the fast takeover procedure).
5	Fast-takeover procedure (see Figure 11, Figure 12) was performed after emergency, the checklist must be completed	Complete checklist		The window "Takeover" shall be presented in workspace 1.

- When several parameters are critical, the order of the parameters shall be according to priority defined in Table 7.
- If the OOW responds to an "Evaluation Required" event with "No Takeover Required", then the following shall occur
 - the event status should change to "No significant occurrences"
 - the "Initiate Takeover" button shall be available in the Event Status
 - the ODD status shall change to "Inside ODD"
 - the critical parameters shall remain in the ODD status display, as long as the parameters are critical with notification: "Parameter(s) were evaluated and disregarded"
- In case of evaluation, it shall be possible to initiate a watch takeover immediately after pressing the "Initiate Takeover"-button displayed in the event status window. In that case the event status shall change to "Takeover in progress".

Table 7. Priority for critical parameters

ODD Parameter	Priority
Critical give-way targets	1
Critical stand-on targets	1
Critical lost radar targets	1
Visibility	1
Speed	1
Delay at next waypoint	2
Wind force	2
Traffic density	2
Cross Track Distance	2
Under Keel Clearance	2
Under Keel Clearance (% of estimated)	3
Roll period	3

Roll angle	3
Pitch period	3
Pitch angle	3

3.3 Watch Takeover (watch transfer from the AutoOOW to the human OOW)

3.3.1 Takeover checklist

- It shall be possible to initiate a watch takeover after pressing the “initiate takeover”-button displayed in the event status window (see Table 6).
- After a watch takeover has been initiated, the watch takeover items shall be presented in workspace 1.
- The watch takeover items shall be presented as a scrollable checklist (see Figure 9 - Figure 10).
- The icon displayed in Figure 8 is used to indicate a checked item of the checklist.



Figure 8. Checked checkbox

- the content of the takeover tab depends on various cases:
 - If a takeover is started but a checklist is not yet completely filled in, the current status of the checklist is displayed.
 - After takeover is completed by human OOW the completed checklist is displayed that has already been saved in the AutoLogbook and can therefore no longer be edited.
 - Wenn AutoOOW is navigating "Initiate Takeover" button is displayed.
- It shall be possible to choose between a standard and a fast-track takeover procedure, as depicted in Figure 9. If the human OOW has already started filling out the checklist and then switches procedures, the checklist items that have already been completed should remain checked off.
- In case of a required evaluation or emergency takeover, the fast-track takeover procedure shall be presented by default after pressing the “initiate takeover”-button. Otherwise, the standard takeover procedure shall be presented by default.
- For the standard and the fast-track takeover procedure, there shall be a different arrangement of items, which is depicted in Figure 9 -
- Figure 12.
- If a takeover is performed while the ODD status is “Inside ODD” and the fast-track procedure is selected, the item “Cause of emergency”/“Cause of evaluation” shall not be shown.
- For each checklist item, the name, and the following aspects, if available, shall be presented (see Table 8):
 - brief information,
 - text input fields, where input by the OOW is optional (e.g., see the “Compasses checked” item in Figure 10); using the tab key, it shall be possible to easily navigate from one input field to the next,
 - a button indicating an eye, if additional information on the checklist item is available on the chart. After pressing the eye-button, the chart-window with the additional information shall be presented in workspace 2 (as defined in Table 8). The relevant information shall be highlighted. The pressed eye-button shall be highlighted, see Figure

13. If there is no information available for a checklist item, the eye-button should be disabled.
 - a button indicating a pen, if information can be added by the OOW; in this case, after pressing the button, a possibility to enter additional information shall be offered (see Figure 14).
 - a chevron (✓) if additional information is available. After pressing the chevron, the additional information should appear in the checklist.
- When an emergency or evaluation event occurs, at the latest after the start of the takeover, the relevant information should already be displayed on the map (e.g., dangerous targets marked). See description in section 3.7.2.

Takeover	Handover	ODD Parameters	Maneuvers
Standard Procedure Fast-track Procedure			
☐ Ongoing maneuver Course change to starboard to avoid collision COLREG 8: Action to avoid collision ROT: 5°/min			
☐ Navigational hazards Floating object			
☐ Traffic situation 5 targets of interest			
☐ Active alerts relevant for takeover 3 relevant alerts are active			
☐ Current work on board Welding (starboard/aft)			
☐ Engine room status Engine room manned			
☐ Engine status 86 RPM			
☐ Master's standing/night orders Unsigned night orders			
☐ Navigation equipment status checked			
☐ Position checked ☐ GPS ☐ Radar ☐ Visual means			
☐ Course verified ☐ COG ☐ CTW			

Figure 9. Checklist for watch takeover (standard procedure)

☐ **Compasses checked**

Magnetic Gyro

☐ **Lookout availability checked**

☐ on the bridge ☐ on the way

☐ **Navigation lights checked**



☐ **Means of communication checked**

☐ **Fire and smoke detection system checked**

☐ **Navtex settings verified**

☐ **Echo sounder alarm settings verified**

☐ **Course recorder checked**

☐ **VDR status verified**

☐ **BNWAS checked**

When you take over, the ongoing maneuver will be aborted and the AutoOOW will stop navigating
The checklist will be saved to the AutoLogbook

Take over

Figure 10. Checklist for watch takeover (standard procedure) - continued

Takeover

ODD Parameters

Maneuvers

Standard Procedure

Fast-track Procedure

Cause of emergency

Wind force is 8 Bft. Critical value of 8 Bft is exceeded.

UKC is 40 m. Dropped below the critical value of 50 m.

Aggravating factors:

lost radar targets

☐ Ongoing maneuver

Course change to starboard to avoid collision

COLREG 8: Action to avoid collision

ROT: 5°/min

☐ BNWAS checked

When you take over, the ongoing maneuver will be aborted and the AutoOOW will stop navigating

The checklist will be saved to the AutoLogbook

Take over

You can complete the checklist later

☐ Navigational hazards

Floating object

☐ Traffic situation

5 targets of interest

Figure 11. Checklist for watch takeover (fast-track procedure)

☐	Active alerts relevant for takeover 3 relevant alerts are active	✓
☐	Current work on board Welding (starboard/aft)	✓
☐	Engine room status Engine room manned	
☐	Engine status 86 RPM	
☐	Master's standing/night orders Unsigned night orders	✓
☐	Navigation equipment status checked	✎
☐	Position checked ☐ GPS ☐ Radar ☐ Visual means	
☐	Course verified ☐ COG ☐ CTW	
☐	Compasses checked Magnetic Gyro	
☐	Lookout availability checked ☐ on the bridge ☐ on the way	
☐	Navigation lights checked	✎
☐	Means of communication checked	
☐	Fire and smoke detection system checked	
☐	Navtex settings verified	
☐	Echo sounder alarm settings verified	
☐	Course recorder checked	
☐	VDR status verified	
Checklist completed		

Figure 12. Checklist for watch takeover (fast-track procedure) - continued

Table 8. Checklist items for the watch takeover checklist

Name	Information presented	Button	Possibility to enter the information	Actions after pressing the button
Cause of evaluation (only if the OOW decides to take over after an evaluation)	ODD status Critical ODD parameters (see Figure 15)	 (if relevant information on chart available)		Show chart-window in workspace 2 with relevant information highlighted
Cause of emergency (only if an emergency takeover is required)	ODD status Critical ODD parameters (see Figure 11)	 (if relevant information on chart available)		Show chart-window in workspace 2 with relevant information highlighted
Ongoing maneuver/ Upcoming maneuver	Description of maneuver Applied COLREG rule [COLREG Number: Name] or „No maneuver planned“			Show chart-window in workspace 2 Show maneuver (see Figure 43)
Navigational hazards	[hazard type] detected or „No hazards“			Show chart-window in workspace 2 Show navigational hazards (see Figure 45)
Traffic situation	[Number] targets of interest or No (critical) targets of interest			Show chart-window in workspace 2 Highlight traffic situation (see Figure 44)
Active alerts relevant for takeover	no active takeover-relevant alerts or [Number] takeover-relevant alerts	 (if alerts are present)		Show alerts table (see Figure 24)
Current work on board	There is (no) current work on board			Show current work on board with the possibility to set status to „finished“ (see Figure 17)
Engine room status	Engine room manned Engine room unmanned			
Engine status	[Number] RPM			
Master's standing/night orders	All orders are signed Unsigned night orders		Button	In case of unsigned orders: show orders and a button to sign orders (see Figure 16)

	Unsigned standing orders Unsigned standing and night orders			
Navigation equipment status			Input field	
Position checked			Checkboxes	
Course verified			Checkboxes	
Compasses checked			Input fields	
Lookout availability checked			Radio buttons	
Navigation lights checked			Input field	
Means of communication checked				
Fire and smoke detection system checked				
Navtex settings verified				
Echo sounder alarm settings verified				
Course recorder checked				
VDR status verified				
BNWAS checked				



Figure 13. Eye-buttons (on the right – enabled button)

☐ Navigation equipment status checked
 

Figure 14. Possibility to enter additional information

Cause of evaluation
 Close quarter situation with nearby give-way target
 CPA is 0.5 NM. Dropped below the critical value of 1.5 NM
 TCPA is 15 min. Dropped below the critical value of 15 min



Figure 15. Additional item for takeover after evaluation

☐ **Master's standing/night orders**

Unsigned night orders

Keep a good lookout. Look out for fishing boats and junks, and don't approach too close to them. Make rounds and inspect steerage and steering gear. If no material change of weather, call me at 0400. Let me know when you sighted any light on the way. (source: <https://crewtraffic.com/posts/91-night-order-book-for-masters.html>)

Sign Master's orders

Figure 16. Possibility to sign master's orders

Takeover
 Handover
 ODD Parameters
 Maneuvers

Standard Procedure
 Fast-track Procedure

☐ **Ongoing maneuver**

Course change to starboard to avoid collision
 COLREG 8: Action to avoid collision
 ROT: 5°/min

☐ **Navigational hazards**

Floating object

☐ **Traffic situation**

5 targets of interest

☐ **Active alerts relevant for takeover**

3 relevant alerts are active

☐ **Current work on board**

Time	Type	Location	Expected end	Status	Set status
3 hours ago	Welding	starboard, aft	in 1 hour	in progress	
4 hours ago	Entry in enclosed spaces	port, aft	5 min ago	overdue	finished

Figure 17. Displayed „Current work on board“ with the possibility to set status to „finished“

3.3.2 Confirmation of takeover

- For the standard procedure, the “Take over”-button shall stay disabled until all checklist items are checked.
- For the fast-track procedure, the “Take over”-button shall stay disabled until all checklist items displayed above the button are checked. All checklist items displayed below the “Take over”-button can be completed later. For this purpose, a “Checklist completed” button shall be available that can be pressed once all checklist items have been completed. After pressing the “Checklist completed”-button, it shall disappear, and a written confirmation shall indicate the successful completion of the checklist (see Figure 20). Once the “Take over”-button has been

clicked, it shall no longer be possible to switch back to the standard procedure, indicated by a disabled "standard procedure" button (greyed out and not clickable).

- After a tap on the disabled "Take over"-button, the following tooltip shall be displayed: "Please complete the checklist items above" (see also Table 9).
- As soon as all checklist items above the "Take over"-button have been completed, the button shall be enabled (see Figure 18).



Figure 18. Enabled "Take over"-button

- After pressing the "Take over"-button:
 - a written confirmation of the performed takeover with the hint that the checklist items have been saved to the AutoLogbook shall be presented (see Figure 21 and Figure 22),
 - the event status should change to "Watch handover to AutoOOW in [x] min" or "Watch handover to OOW [name] in [x] min", depending on who will have the watch next (stored in the watch schedule in the AutoLogbook),
 - the button in the event status should change to "complete checklist", but only if the fast-track procedure is used, and the checklist has not yet been completely filled in.
- After pressing the "Take over" or "Checklist completed" button, the checked check boxes shall be disabled (greyed out and not clickable, see Figure 19), because it shall not be possible to make any changes once the takeover has been confirmed and/or the checklist has been completed. The completed checklist shall be displayed in the takeover tab until a new takeover is initiated via the "initiate takeover" button in the event status window.



Figure 19. Disabled checkbox

- Confirmation that the checklist is completed and saved after pressing the "Checklist completed"-button is represented in Figure 20.
- The information that the checklist items are saved in the AutoLogbook when "Take over" is clicked should be represented in the checklist, s. Figure 23 and Figure 10.
- When clicking on disabled "Take over" button, a hint shall be displayed: "Please complete the checklist items above".

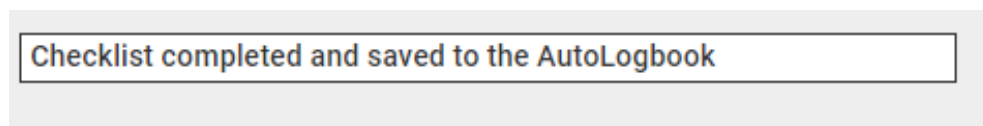


Figure 20. Confirmation that the checklist is completed after pressing the "Checklist completed"-button

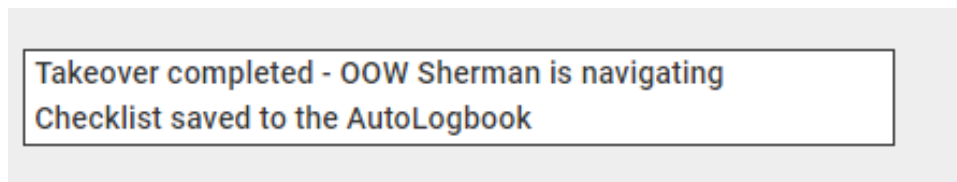


Figure 21. Confirmation of the performed takeover after pressing the “Take over”-button

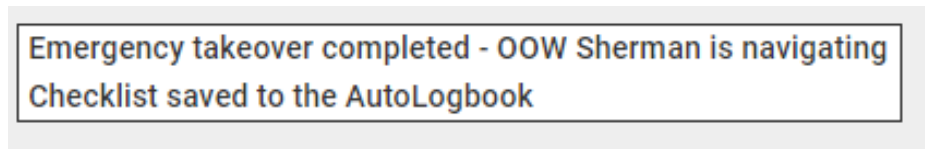


Figure 22. Confirmation of the performed emergency takeover after pressing the “Take over”-button

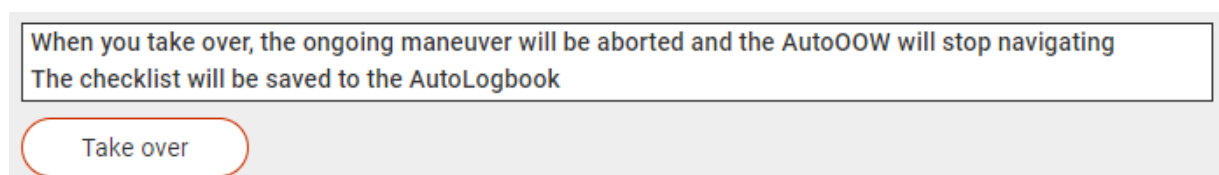


Figure 23. Information about what happens when you take over

Table 9. Hints for disabled buttons

Disabled button	Context	Hint on hover/click
OK	Verification	Please select a name
Take Over	Takeover completion	Please complete the checklist items above
Checklist completed	Checklist completion after takeover	
Hand over to AutoOOW	Handover completion	
Standard Procedure	Takeover	Please complete the checklist items below to complete the takeover.

3.3.3 Alerts

- All relevant icons for the presentation of alerts are displayed in Table 10.
- Active alerts relevant for the takeover (see Table 18) shall be presented as a list with the data structure defined in Table 19 within the watch takeover checklist after pressing the unfold button (▼, see Figure 9).
- After pressing the unfold button, the button shall change to a fold button (▲).
- Sorting the alert list:
 - It shall be possible to change the sorting of the alert list by tapping on the up- and downward pointing arrows (see Figure 24).
 - Tapping on an up- and downward pointing arrow shall change the icon to an upward pointing arrow and sort the list by the respective column in ascending order. The icon of the column by which the alerts were previously sorted shall then change to an up- and downward pointing arrow.
 - Tapping on the upward pointing arrow shall change the icon into a downward pointing arrow and sort the list by the respective column in descending order.

- Tapping on the downward pointing arrow shall change the icon into an upward pointing arrow and sort the list by the respective column in ascending order.
 - By default, the alert list shall be sorted in ascending order by “ship time”, indicated by an upward pointing arrow.
- Alert history:
 - An alert history shall be shown if alerts relevant for the takeover have become inactive in the last five minutes.
 - The alert history shall present those alerts.
 - To underline that the alerts are no longer active, they shall be greyed out (see Figure 24).
 - It shall be possible to hide the alert history by tapping on the fold button, which shall then change into the unfold button.
 - Tapping on the unfold button shall show the alert history and the fold button again.

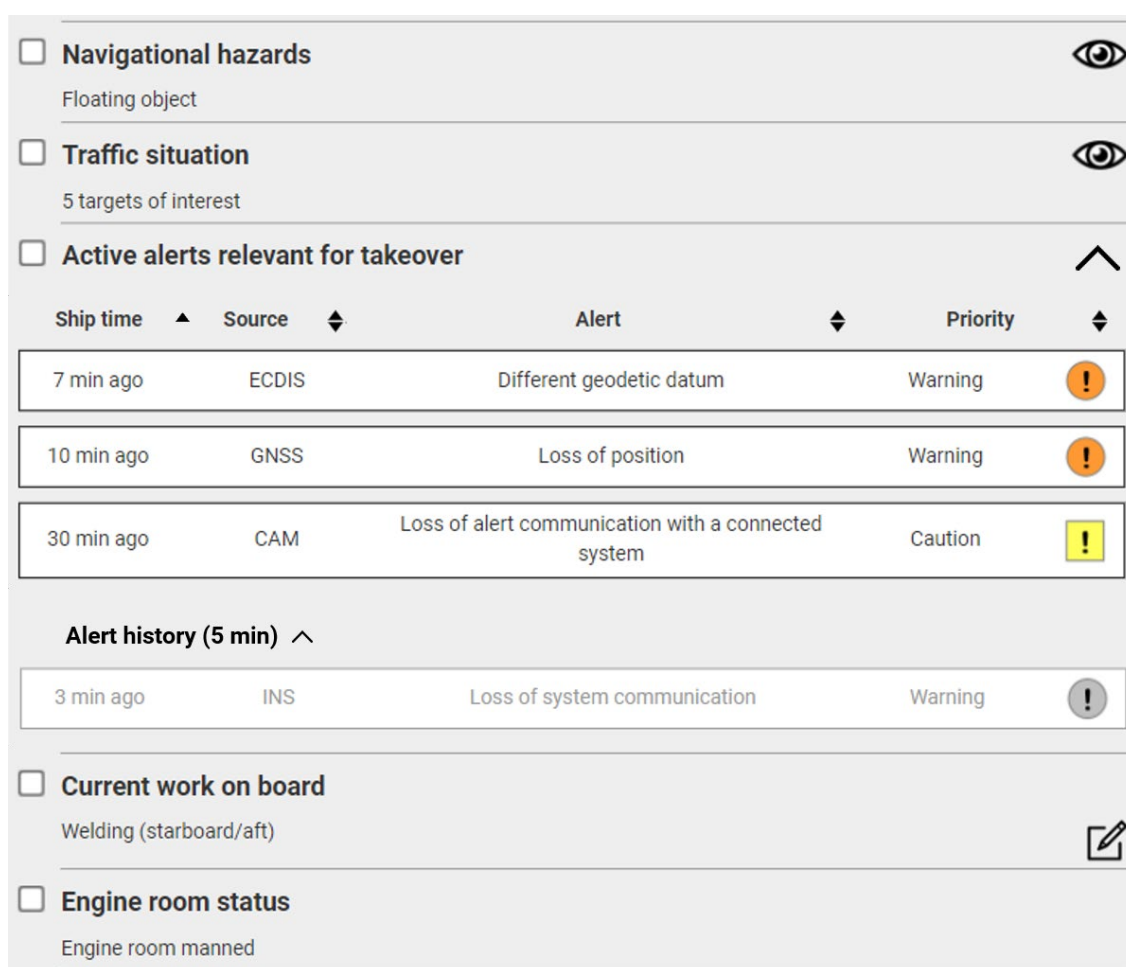


Figure 24. Presentation of takeover relevant and active alerts

Table 10. Icons for the alert presentation

Icon	Meaning
	Caution
	Warning

	Alarm
	Inactive caution, warning, and alert
	No sorting applied
	Sorted in ascending order
	Sorted in descending order
	Unfold button, display information below
	Fold button, hide information below

3.4 Watch Handover (watch transfer from the human OOW to the AutoOOW)

- When a human OOW is on watch, it shall be possible to start a watch handover to the AutoOOW using the "initiate handover to AutoOOW"-button displayed in the event status (see Figure 25).

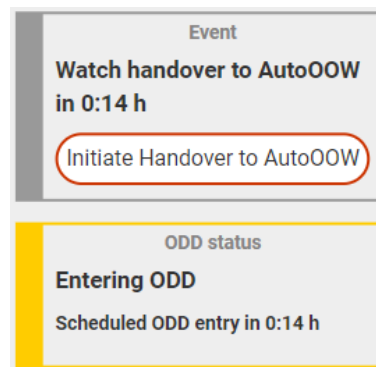


Figure 25. "Initiate Handover to AutoOOW"-button

- It shall only be possible to complete the watch handover when all ODD parameters are within ODD limits, i.e., when the ODD status is "Inside ODD".
- To enable a watch handover to the AutoOOW despite critical ODD parameters, the ODD parameters first must be redefined before the watch handover can be performed.
- After a watch handover has been initiated, the watch handover window shall be presented in workspace 1.

3.4.1 Watch handover window

- the content of the handover tab, like the content of the takeover tab, depends on various cases:
 - Handover started, checklist not yet completely filled in: the current processing status of the checklist is displayed.
 - AutoOOW navigating after handover to AutoOOW: completed checklist already saved in AutoLogbook and therefore cannot be edited anymore
 - Takeover of the watch by the human officer: "Initiate Handover" button.
- The content of the watch handover window shall depend on the current ODD status.
- If the current ODD status is "Outside ODD", the handover window shall contain (see Figure 28):

- a notification that ODD parameters are outside ODD limits
 - a list of critical ODD parameters with their current values
 - an information about the time until the scheduled entry in the next ODD leg, corresponding to the ODD parameter "Entering ODD leg in [x] min"
 - an information that ODD parameters must be redefined to enable the handover to the AutoOOW.
- If the current ODD status is "Inside ODD", the handover window shall contain (see Figure 29):
 - a notification that ODD parameters are within ODD limits
 - an information about how long ODD parameters are expected to remain within ODD limits, corresponding to the expected duration in which the own ship is on the current ODD leg
 - the checklist items listed in Table 11 (all input fields are optional)
- If the current ODD status is "Entering ODD", the handover window shall contain (see Figure 30):
 - a notification that ODD parameters are outside ODD limits
 - an information about the time until the scheduled entry in the next ODD leg, corresponding to the ODD parameter "Entering ODD leg in [x] min"
 - an information about how long ODD parameters are expected to remain within ODD limits, corresponding to the duration in which the own ship is on the next ODD leg
 - the checklist items listed in Table 11 (all input fields are optional)
- Similar to the watch takeover checklist, in the watch handover checklist,
 - the icon displayed in Figure 8 shall be used to indicate a checked item of the checklist,
 - a button indicating a pen shall provide the possibility to enter additional information in a text input field,
 - a button to perform the handover to the AutoOOW ("Hand over to AutoOOW") shall be displayed.
- The "Hand over to AutoOOW"-button shall stay disabled until all checklist items are checked and the ODD status is "Inside ODD". After a tap on the disabled button, the following tooltip shall be displayed: "The checklist items above have to be completed before the handover" (see also Table 9).
- As soon as all checklist items above the "Hand over to AutoOOW"-button have been completed, the button shall be enabled (see Figure 26).

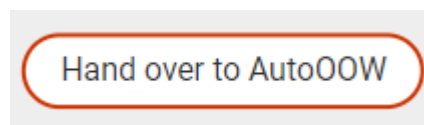


Figure 26. Enabled "Hand over to AutoOOW"-button

- After tapping on the "hand over to AutoOOW"-button, a written confirmation of the performed handover with the hint that the checklist items have been saved to the AutoLogbook shall be presented (see Figure 31) and the check boxes above the button shall be disabled (greyed out and not clickable, see Figure 27), because it shall not be possible to make any changes once the watch has been handed over to the AutoOOW. The completed checklist shall be displayed in the handover tab until a new handover is initiated via the "initiate hand-over to AutoOOW" button in the event status window.



Figure 27. Disabled checkbox

Table 11. Checklist items for the watch handover checklist

Name	Information presented	Button	Possibility to enter information
Check external parameters	Do not hand over the watch if the parameters give rise to concern		Input fields (air pressure, visibility, wind speed, wave height)
Recent watch orders	Please add relevant information to the AutoLogbook		Input field
Current work on board	Please add relevant information to the AutoLogbook		Input field
Adjust the configuration of the radar to the next route section	Select Auto mode. Set the distance range. Make sure that the same speed reference is used for targets and the own ship. Select the Gyro compass.		

Takeover

Handover

ODD Parameters

Maneuvers

ODD parameters are outside ODD limits:

- Wind force: 8 Bft

Scheduled entry into ODD in 30 min

To perform a handover in the current situation, ODD parameters must be redefined

Start ODD Setup

Figure 28. Handover window if the current ODD status is "Outside ODD"

TakeoverHandoverODD ParametersManeuvers

ODD parameters are inside ODD limits.

ODD parameters are expected to remain within ODD limits for 3 h 10 min.

☐

Check external parameters

Do not hand over the watch if the parameters give rise to concern.

Air pressure

hPa

Visibility

NM

Wind force

Bft

Wave height

m

☐

Recent watch orders

Please add relevant information to the AutoLogbook

☐

Current work on board

Please add relevant information to the AutoLogbook

☐

Adjust the configuration of the radar to the next route section

Select Auto mode. Set the distance range. Make sure that the same speed reference is used for targets and the own ship. Select the Gyro compass.

Hand over to AutoOOW

Figure 29. Handover window if the current ODD status is "Inside ODD"

Takeover
Handover
ODD Parameters
Maneuvers

ODD parameters are outside ODD limits.

ODD parameters are expected to be within ODD limits in 14 min.

ODD parameters are expected to remain within ODD limits for 3 h 10 min.

☐
Check external parameters

Do not hand over the watch if the parameters give rise to concern.

Air pressure hPa
Visibility NM
Wind force Bft
Wave height m

☐
Recent watch orders

Please add relevant information to the AutoLogbook 

☐
Current work on board

Please add relevant information to the AutoLogbook 

☐
Adjust the configuration of the radar to the next route section

Select Auto mode. Set the distance range. Make sure that the same speed reference is used for targets and the own ship. Select the Gyro compass.

Hand over to AutoOOW

Figure 30. Handover window if the current ODD status is "Entering ODD"

Takeover
Handover
ODD Parameters
Maneuvers

ODD parameters are inside ODD limits.

ODD parameters are expected to remain within ODD limits for 3 h 10 min.

☒
Check external parameters

Do not hand over the watch if the parameters give rise to concern.

Air pressure
 hPa
Visibility
 NM
Wind force
 Bft
Wave height
 m

☒
Recent watch orders

Please add relevant information to the AutoLogbook 

☒
Current work on board

Please add relevant information to the AutoLogbook 

☒
Adjust the configuration of the radar to the next route section

Select Auto mode. Set the distance range. Make sure that the same speed reference is used for targets and the own ship. Select the Gyro compass.

Handover completed - the AutoOOW is navigating
Checklist saved to the AutoLogbook

Figure 31. Handover window after handover was performed

3.5 ODD Parameters

- An example presentation of the HMI with the opened ODD Parameter window is provided in the appendix (see Figure 58).
- An ODD parameter shall be presented in the form of a gauge.
- For each parameter, the parameter name, a gauge, which depicts the actual and critical value of the parameter, and a field with the actual value of the parameter shall be presented (see Figure 32).
- The colors to be used for depicting the ODD parameters are defined in Table 1.
- ODD parameters shall be grouped into categories with similar parameters (see Figure 33).

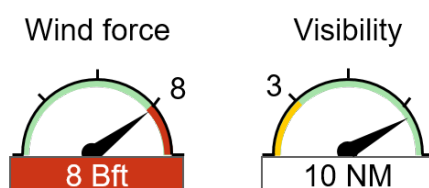


Figure 32. Presentation of ODD parameters



Figure 33. Example presentation of ODD parameters

- The current criticality of the respective ODD parameter shall be indicated by a field under the gauge indicating the actual value (Figure 32):
 - White field – ODD parameter value is within ODD limits
 - Red field – ODD parameter value is outside ODD limits and an emergency takeover is required
 - Yellow field – ODD parameter value is outside ODD limits and an evaluation is required
 - Grey field – last known ODD parameter value (actual value cannot be calculated due to AutoOOW failure, see Figure 34)

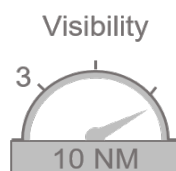


Figure 34. Example presentation of ODD parameters in case of AutoOOW failure

- It shall be defined in the ODD, whether a critical parameter value requires an evaluation or an emergency watch takeover.
- A colored segment of the gauge shall indicate the ODD limit and the required reaction.
 - A yellow segment shall indicate a required evaluation.
 - A red segment shall indicate a required emergency takeover.
 - A green segment shall indicate that the parameter is within ODD limits.
- For numerical parameters there shall be three possibilities for indicating the limit:
 - Low parameter values are critical (the scale begins with zero)
 - High parameter values are critical (the scale begins with zero)
 - Both low and high parameter values are critical (the zero point is in the middle of the scale)
- For numerical parameters, if low parameter values are critical, the yellow/red colored segment shall begin at the zero point and end at $\frac{1}{4}$ of the scale of the gauge.
- For numerical parameters, if high parameter values are critical, the yellow/red colored segment shall begin at $\frac{3}{4}$ and extends to the end of the scale.
- If both low and high parameter values are critical the colored segments are depicted as described above.
- For categorical parameters (“traffic density”, “current ODD leg”, “AIS”), the colored segment of the gauge shall be on the gauge’s right half and the pointer shall have two positions: either pointing at $\frac{1}{4}$ of the gauge’s scale (if the parameter value is uncritical) or pointing at $\frac{3}{4}$ of the gauge’s scale (if the parameter value is critical), see Figure 35.



Figure 35. Presentation of categorical ODD parameters

3.5.1 Combination parameters

- Some ODD-parameters are only critical to the ODD in combination with other ODD-parameters (e.g., for a lost radar target, an evaluation is only required, if the following conditions are additionally met: no AIS info on the lost radar target and the lost radar target is within a range of 12 NM).
- These “combination parameters” shall be depicted only if both parameters are critical.
- The combination parameters shall be displayed as in Figure 36. A description of the combination parameters can be found in Table 20 and Table 21.
- All combination parameters refer to targets. It shall be possible to show the respective targets on the chart by tapping on the eye icon, which shall trigger the same actions as selecting the target as described in section 3.7.5.

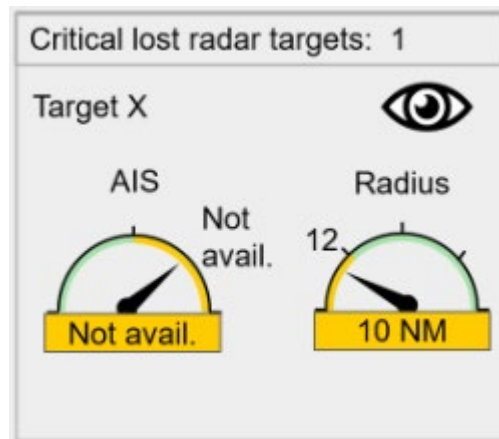


Figure 36. Presentation of combination parameters

3.5.2 The parameter „ODD relevant alerts“

- ODD relevant alerts (see Table 22) shall be displayed as a list.
- If there is not enough space to present the alerts, it shall be possible to scroll within the window.

3.5.3 Additional information about ODD parameters

- For most ODD parameters, it shall be possible to display further alphanumerical information (see Table 12).
- An info-button (see Figure 37) shall indicate for which ODD parameters further information is available.
- A click on info-button shall show a tool tip with corresponding information.

Table 12. Additional information about ODD parameters

Parameter	Additional information
Roll period	Wave height (m), wave direction (°)
Roll angle	
Pitch period	Wave height (m), wave direction (°), pitch direction (nose up/nose down)
Pitch angle	
Speed (& of intended)	Intended speed (kn), actual speed (kn)
UKC (m)	---
UKC (% of estimated UKC)	Estimated UKC (m)
Current ODD leg	Current WPT number
Time to leave ODD	Distance to leave ODD leg (NM)

XTD	Reason (e.g., avoid target X)
Delay at next WPT	Planned arrival at next WPT (min), Estimated arrival at next WPT (min), Current WPT number
ODD relevant alerts	---
Traffic density	Number of targets of interest within a certain range; e.g., 12 targets of interest within 10 NM
Critical give-way target	---
Critical stand-on target	---
Critical lost-radar target	Time lost (min), last known CPA (NM)
Wind force	Wave height (m), wave direction (°), wind speed (m/s)
Visibility	---

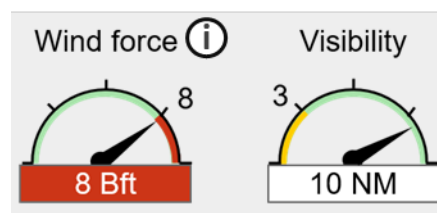


Figure 37. Indication für the availability of additional information

3.6 ODD Setup

- The ODD setup shall comprise:
 - defining the range of the legs as well as which legs of the route are to be inside the ODD and which legs are to be outside the ODD ("ODD legs setup") and
 - defining ODD parameter limits and reactions when the limits are reached for each leg inside the ODD ("ODD parameter setup").

3.6.1 ODD legs setup

- The ODD legs shall be presented as a list (see Figure 38).
- For each list item, the following shall be presented (see Figure 38):
 - the leg name
 - the start waypoint of the leg
 - the end waypoint of the leg
 - the information whether the leg is inside or outside the ODD
 - the name of the parameter setup (e.g., "default")
 - the button for the ODD parameter setup, in case the leg is inside the ODD

- At the bottom of the list, an “ODD Legs Setup”-button shall be presented. After pressing the button, the leg list shall be presented in an editable view using drop down lists, as shown in Figure 39.
- The drop-down lists shall be editable. For the leg name and the name of the ODD parameter setup, it shall be possible to add new names to the dropdown list. Existing names shall not be overwritten.
- At the bottom of the editable view, a “New Leg”-button and a “Save ODD Legs Setup”-button shall be presented.
- After pressing the “New Leg”-button in the editable view, a new line with a list item shall appear. The new list item shall contain the following values: “Leg X” (X=sequential number), no values for waypoints, “Outside ODD”, “Default” (see Figure 40).
- After pressing the “Save ODD Legs Setup”-button in the editable view, the changes shall be saved, and the editable view closed. The revised list shall then be presented.

3.6.2 ODD parameter setup

- After pressing the “ODD parameter setup”-button, the “ODD Parameters Setup”-window shall be presented.
- In this window, the ODD parameter list shall be presented in an editable view with drop-down boxes.
- The user shall be provided with the possibility to change the critical value of an ODD parameter as well as the reaction (evaluation or takeover) in case the critical value is reached. Moreover, the user shall be provided with the possibility to indicate if the parameter is applicable (active) for the respective leg.
- The drop-down list for the critical value shall present the default value and the last defined value (if different from default). It shall be possible to add a new value. The drop-down list for the reaction shall consist of “evaluation” or “takeover”.
- At the bottom of the “ODD Parameter Setup” the following buttons shall be presented:
 - “Reset to Default”-button,
 - “Cancel”,
 - “Save Parameter Settings”.
- After pressing the “Reset to Default”-button, all changes shall be discarded, and the parameter values shall be set to default (predefined values).
- After pressing the “Cancel”-button, all actual changes shall be discarded.
- After pressing the “Save Parameter Settings”-button, all changes shall be saved.

ODD Legs				
Leg name	From WP	To WP	ODD	Parameters
Leg 1	WP 1	WP 3	Outside ODD	Default
Open Sea	WP 3	WP 10	Inside ODD	Custom1
Leg 2	WP 10	WP 12	Outside ODD	Default

Figure 38. List of ODD Legs

ODD Legs				
Leg name	From WP	To WP	ODD	Parameters
Leg 1	WP 1	WP 12	Outside ODD	Default

Figure 39. Editable view for ODD Legs

Leg 2	...	...	Outside ODD	Default
-------	-----	-----	-------------	---------

Figure 40. New Line for ODD Leg

3.7 Chart

3.7.1 Presentation on the chart

- An example presentation of the watch takeover checklist together with the chart is provided in the appendix (see Figure 57).
- The following information shall always be visualized on the chart (see Figure 41):
 - Navigable (white) and non-navigable (gray) areas
 - The position of the own ship including the own ship's speed vector
 - The position and heading of the targets (as triangles)
 - Current (updated if necessary) route including waypoints, the degree on the route shall be shown.

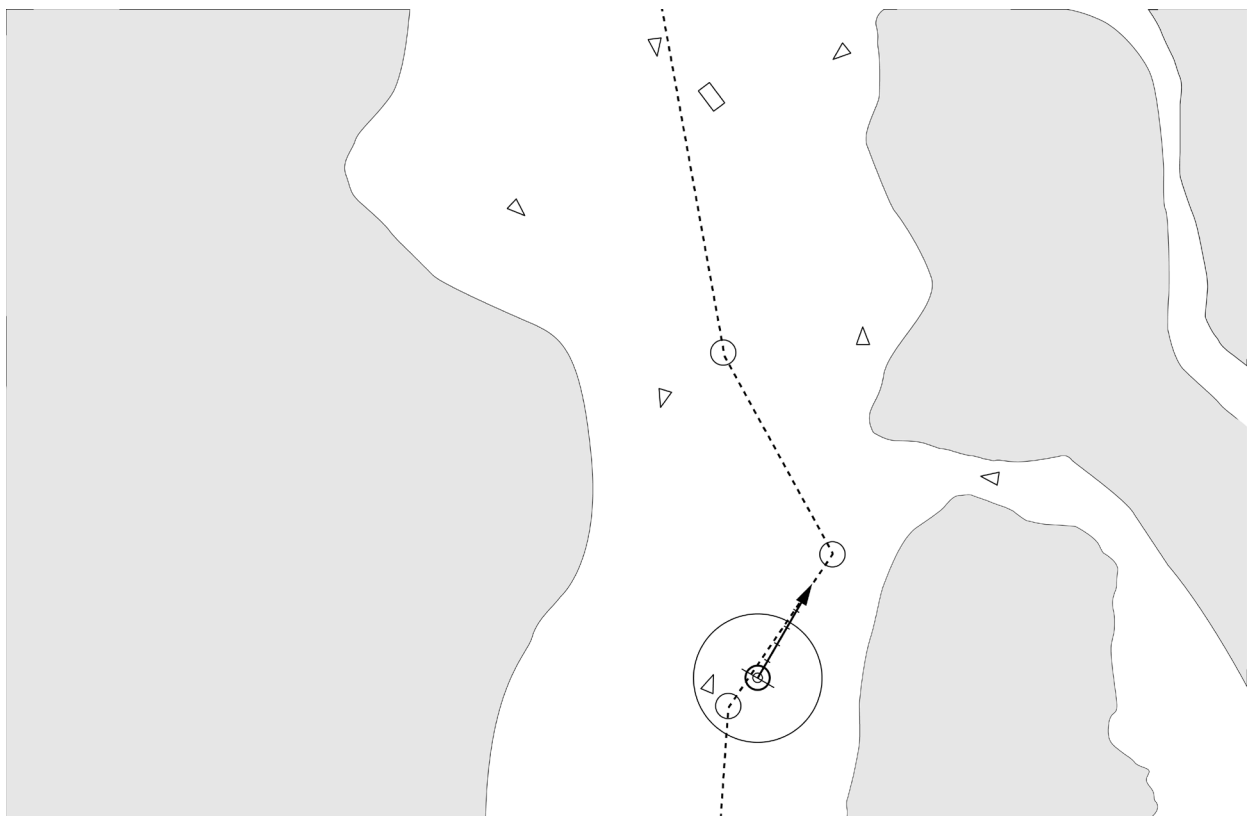


Figure 41. Presentation of the chart without any additional information

- The chart shall present the following additional information while showing the maneuver (see Figure 43):
 - Adjusted legs including adjusted waypoints in red.
 - Reason for the maneuver in red. If this is a target, the target including its speed vector shall be highlighted in red.
 - An ROT indicator in the form of a red arrow shall indicate whether the own ship is turning (see Figure 42).

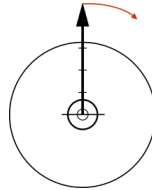


Figure 42. ROT indicator

- The chart shall present the following additional information while showing the traffic situation (see Figure 44):
 - Target classification by means of popovers and a blue target color
 - Speed vectors of classified targets (unclassified targets shall be presented without speed vectors and are not colored)
- The chart shall present the following additional information while showing the navigational hazards (see Figure 45):
 - Navigational hazards in red including an information in red lettering about the type of navigational hazard (e.g., unknown object)

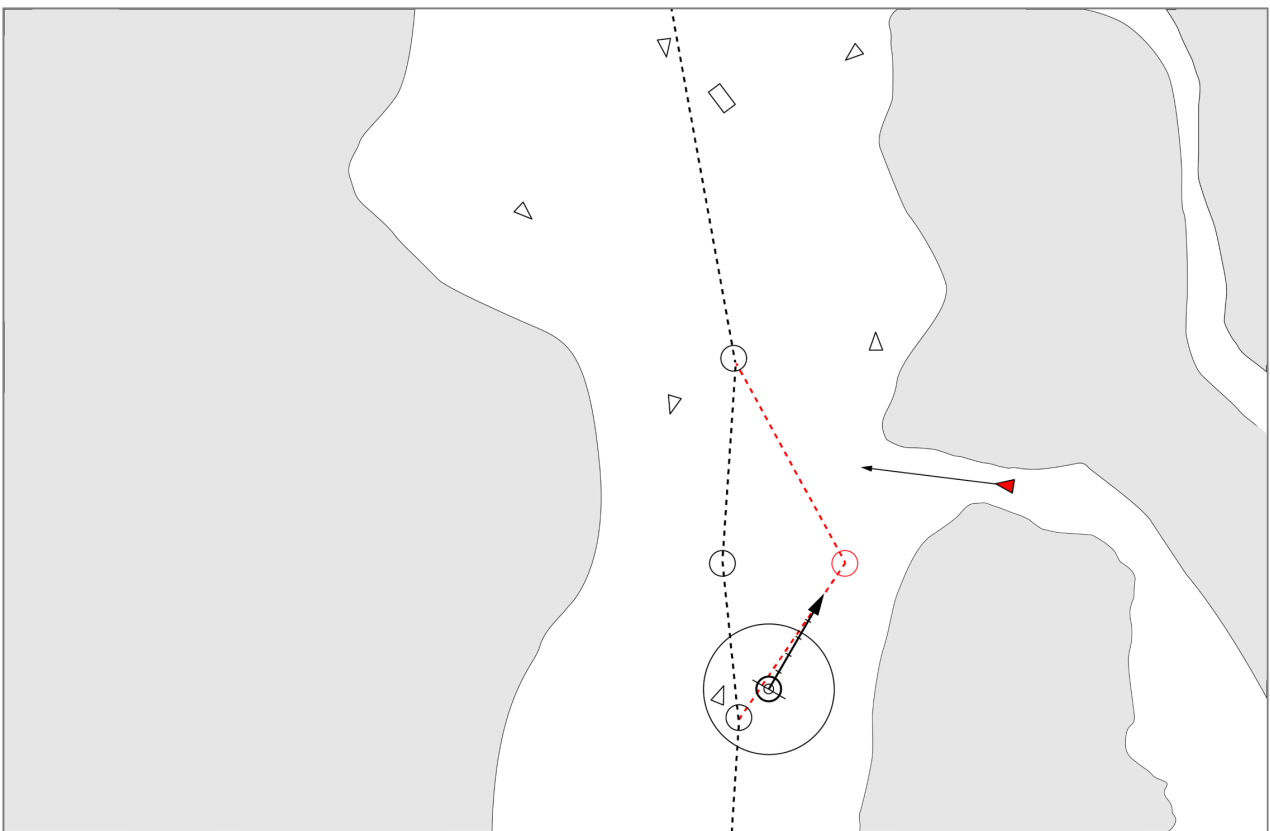


Figure 43. Presentation of the maneuver

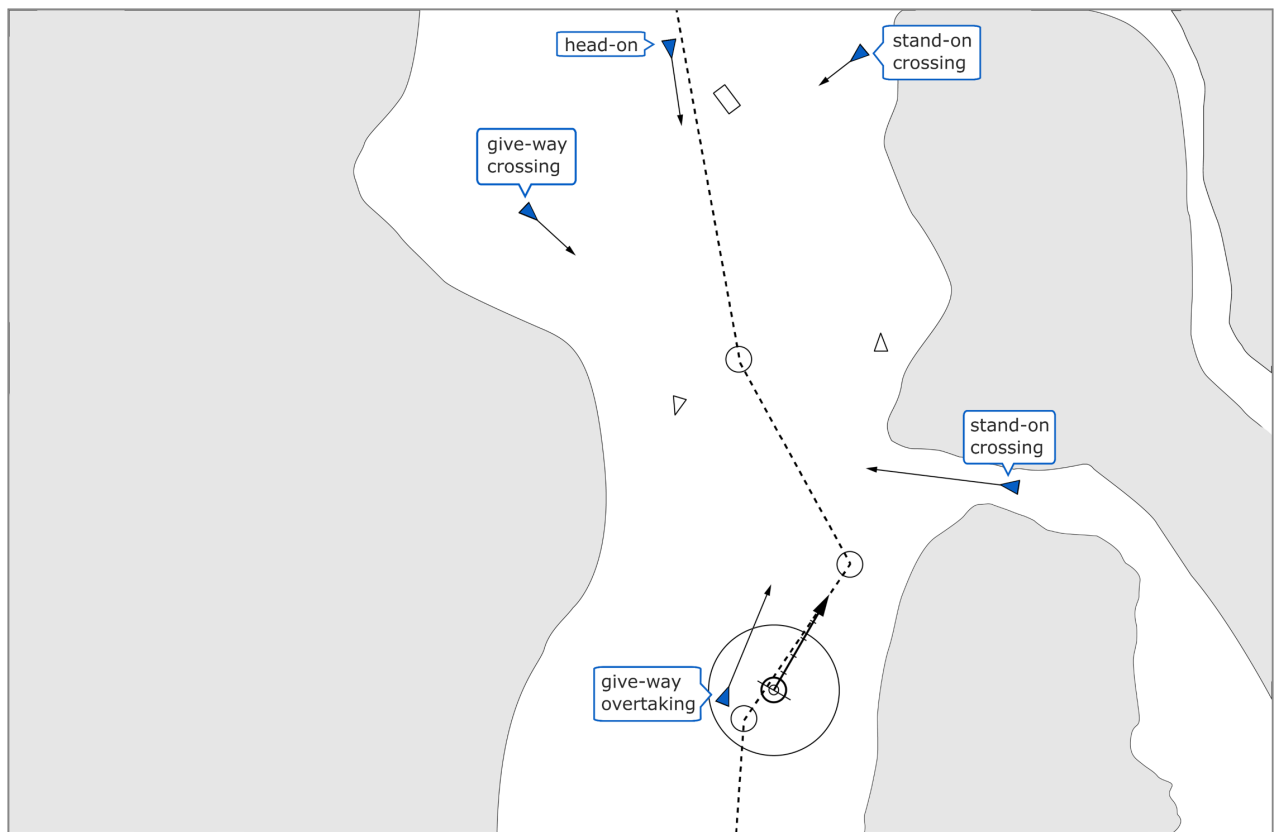


Figure 44. Presentation of the traffic situation

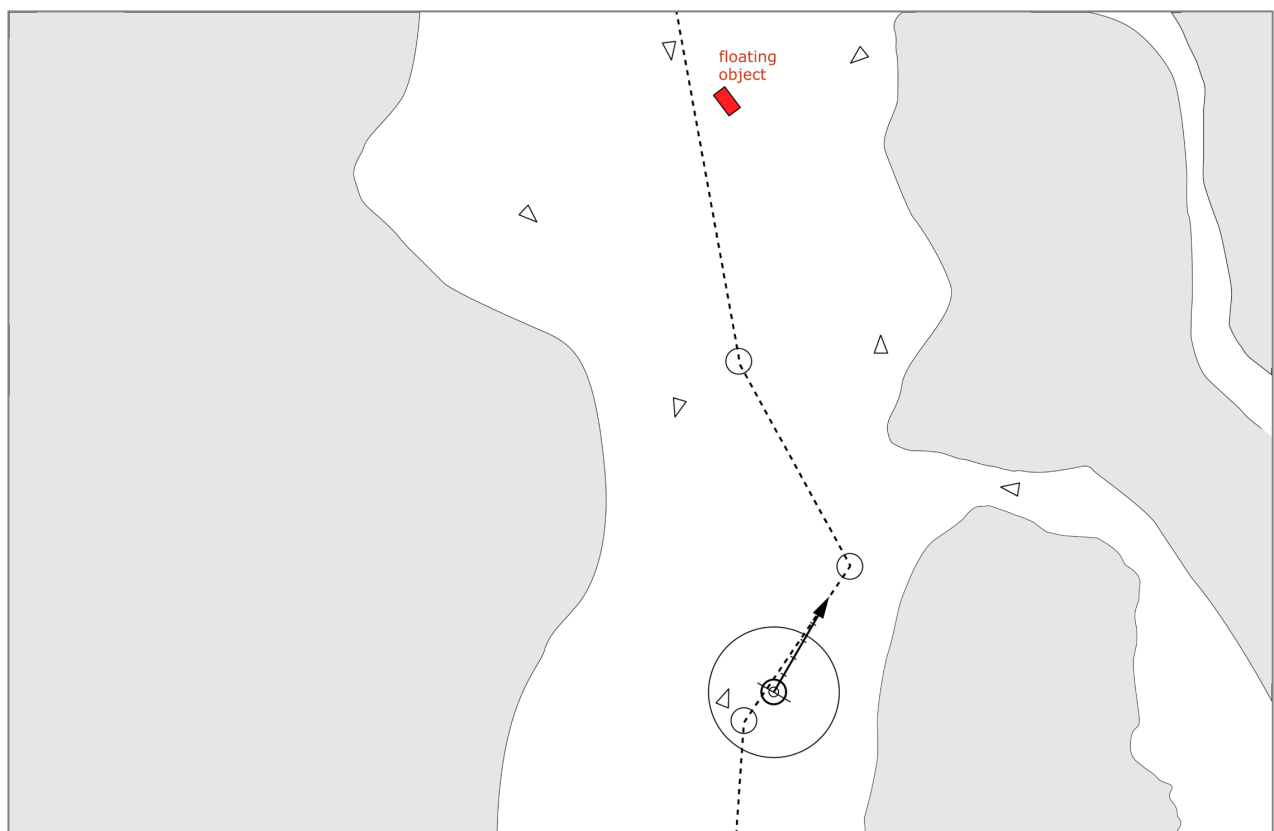


Figure 45. Presentation of the navigational hazard

3.7.2 Presentation on the chart when a takeover alert is occurred

- at the beginning of a takeover alert the targets relevant to the current situation should already be marked on the chart, and information about the targets should be displayed. These markings and notes can be faded out and faded in again by the user, using the eye-buttons in the checklist or the checkboxes under the chart
- Following targets of interest shall be presented:
 - Targets that are ahead of ownship and slower than ownship,
 - Crossing targets (in front of ownship or behind)
 - Stand-on targets
 - Targets that are the closest and have the greatest collision potential according to CPA/TCPA

3.7.3 Interactions with the chart

- Zooming in and out shall be possible in the chart.
- Automatic zooming shall be possible when the selected targets are out of chart boundaries.
- The map legend shall indicate the scale used (see Figure 46).



Figure 46. Presentation of the map scale

3.7.4 Chart presentation settings

- The user shall have the possibility to change the chart content (see Figure 47).
- The user shall be able to toggle between true ("TM") and relative motion ("RM", see Figure 47). By default, "TM" shall be activated.
- The user shall be able to toggle between North up/Head up/Course up modes (see Figure 47). By default, "North up" shall be activated.
- The user shall have the possibility to display at least the following situations/incidents:
 - Ongoing and upcoming AutoOOW maneuver
 - Hints on targets of interest (explanation for the classification of targets)
 - Hints on the current traffic situation
 - Hints on currently relevant navigational hazards
- The user shall have the possibility to select multiple hints at once (indicated by a check box).
- The icon displayed in Figure 8 shall be used to indicate a checked checkbox.
- When selecting to display an AutoOOW maneuver, a short description of the maneuver shall be shown (see Figure 47). By default, the HMI shall display the current maneuver.

Traffic situation ☐ Show targets of interest ☐ Show hints for traffic situation ☐ Show navigational hazards Display Mode ☒ TM ☐ RM ☒ North up ☐ Head up ☐ Course up	AutoOOW maneuvers ☒ Ongoing maneuver Course change to starboard to avoid collision - COLREG 8: Action to avoid collision ☐ Upcoming maneuver Modify chosen maneuver	Ever Given (H3RC) <table> <tr><td>underway</td><td></td><td></td><td>AIS</td></tr> <tr><td>CPA</td><td>0.1</td><td>NM</td><td>AI</td></tr> <tr><td>TCPA</td><td>20</td><td>min</td><td>AI</td></tr> <tr><td>BRG</td><td>310</td><td>°</td><td>ARPA</td></tr> <tr><td>DST</td><td>3.4</td><td>NM</td><td>ARPA</td></tr> <tr><td>SOG</td><td>14</td><td>kn</td><td>ARPA</td></tr> <tr><td>COG</td><td>130</td><td>°</td><td>ARPA</td></tr> <tr><td>DEST</td><td>Rotterdam</td><td></td><td>AIS</td></tr> <tr><td>COLREGs</td><td>Rule 15, (8)</td><td></td><td>AI</td></tr> </table>	underway			AIS	CPA	0.1	NM	AI	TCPA	20	min	AI	BRG	310	°	ARPA	DST	3.4	NM	ARPA	SOG	14	kn	ARPA	COG	130	°	ARPA	DEST	Rotterdam		AIS	COLREGs	Rule 15, (8)		AI
underway			AIS																																			
CPA	0.1	NM	AI																																			
TCPA	20	min	AI																																			
BRG	310	°	ARPA																																			
DST	3.4	NM	ARPA																																			
SOG	14	kn	ARPA																																			
COG	130	°	ARPA																																			
DEST	Rotterdam		AIS																																			
COLREGs	Rule 15, (8)		AI																																			

Figure 47. Possible filters with the traffic situation filter selected

3.7.5 Additional alphanumeric information about targets and navigational hazards

- The user shall be able to display more detailed alphanumeric information about targets and present navigational hazards. This information shall be presented next to the chart presentation settings (see Figure 49).
- Additional information shall be displayed when selecting the target/navigational hazard. The additional information shall be highlighted by a blue outline and a selection marker (see Figure 48) shall indicate which object has been selected. For instance, in Figure 49, the target on the top left corner was selected for information display.

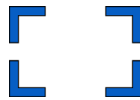


Figure 48. Selection marker

- The target information and the selection marker on the target should be hidden (disappear) when clicking on another position on the map.
- Additional alphanumeric information for a target shall include (see Figure 49):
 - Name
 - Call sign
 - Destination
 - AIS status (e.g., underway)
 - Closest point of approach (CPA)
 - Time to closest point of approach (TCPA)
 - Bearing (BRG)
 - Distance (DST)
 - SOG
 - COG
 - Applicable COLREG rules
- Additional alphanumeric information for a navigational hazard shall include (see Figure 50):
 - CPA
 - TCPA
 - BRG

- DST
 - SOG
 - COG
 - A "Show photo"/"Show video"-button to show a picture of the detected hazard
- In addition to the information itself, the information source shall be displayed. Information coming from the artificial intelligence shall be highlighted in blue. It shall be possible to switch between different sources via a drop-down menu.

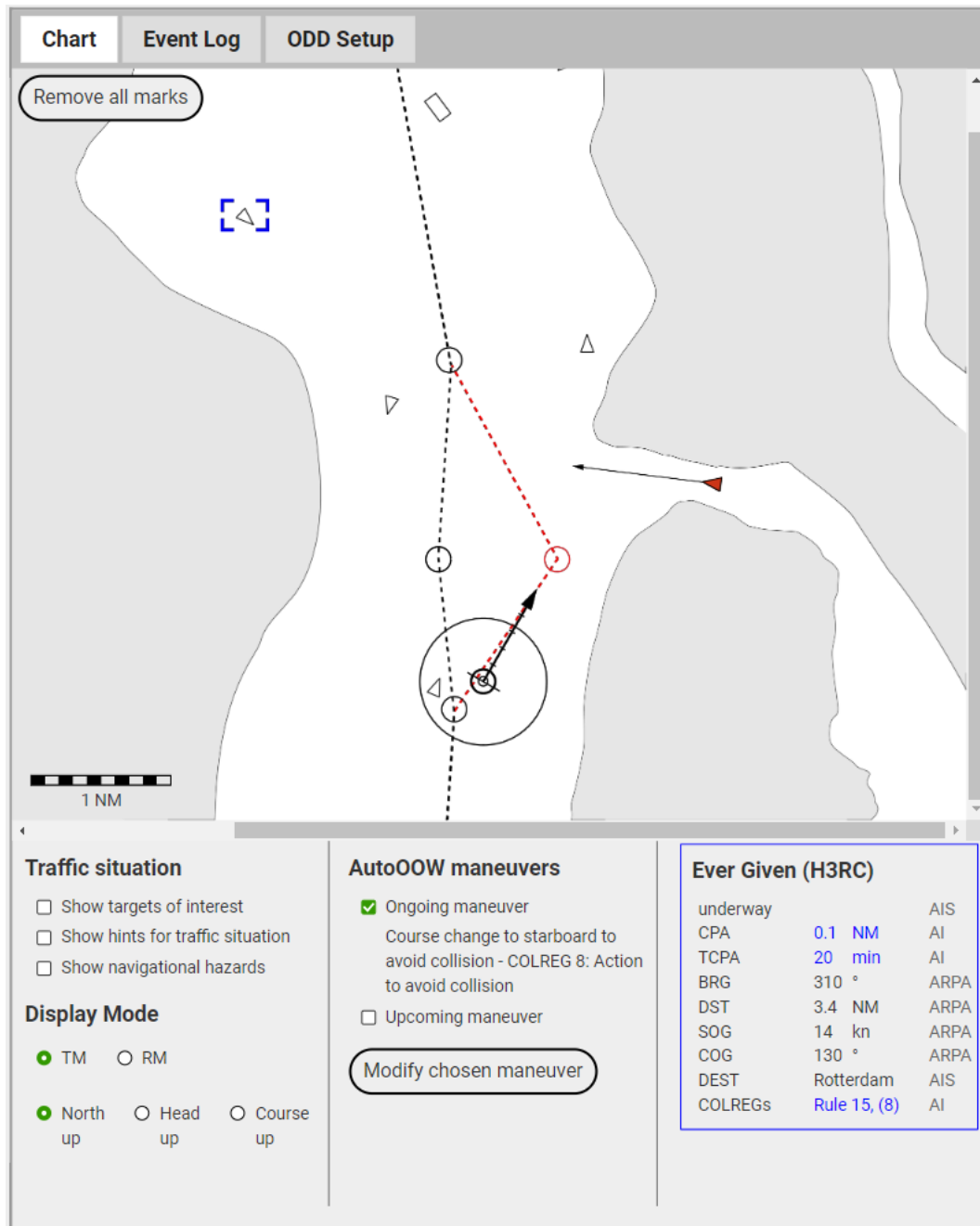


Figure 49. More detailed information about the selected target

Floating object		
CPA	0.2 NM	AI
TCPA	29 min	AI
BRG	310 °	ARPA
DST	8 NM	ARPA
SOG	0.1 kn	ARPA
COG	2 °	ARPA
Show photo		

Figure 50. Additional information about a navigational hazard

3.7.6 Predicted trajectories

- For targets, it shall be possible to display a prediction of their trajectories when hovering over the targets. For example, with a target on a collision course, the HMI should inform the watch officer where the critical target is expected to cross the own ship.
- Predicted trajectories shall be a schematic depiction of the future positions of the respective target and the own ship at the time when the CPA is expected to occur.
- This depiction shall be based on the improved CPA and TCPA values calculated using artificial intelligence.

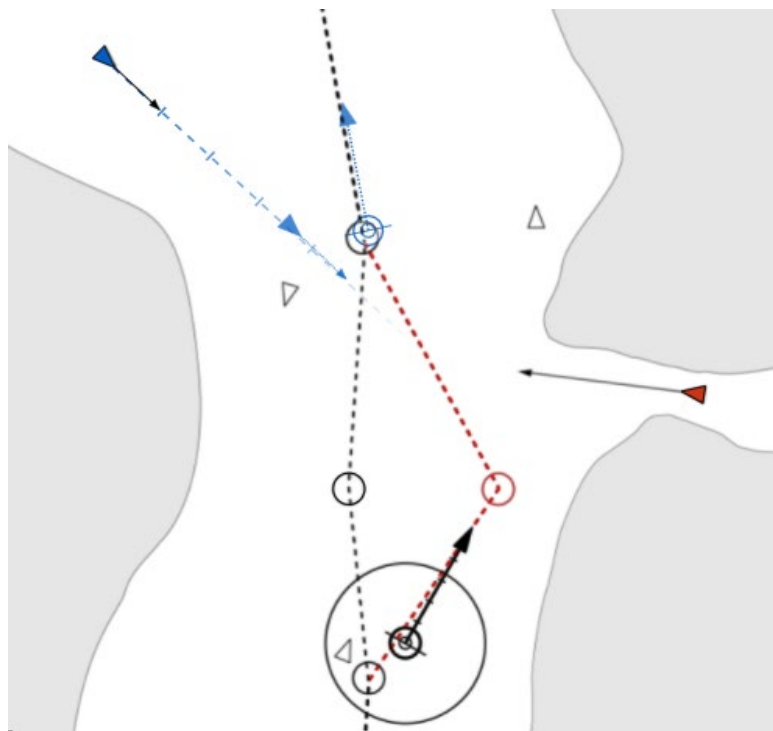


Figure 51. Example visualization of predicted trajectories

3.8 Event Log

- Event Log shall be presented as a list (see Figure 52 and Figure 53).

Ship time	Event	Information	OOW
No current events			
02/03/2021 02:40 AM	Handover to AutoOOW	Watch handover from OOW Smith to AutoOOW due to scheduled entry of ODD.	OOW Smith
02/02/2021 11:30 PM	Emergency takeover from AutoOOW	Emergency takeover by OOW Smith due to loss of position information.	OOW Smith
02/02/2021 11:19 PM	Alarm: Emergency takeover required	Loss of position information.	

Figure 52. Event Log with no current events

Ship time	Event	Information	OOW
8 min ago	Alarm: Emergency takeover required	Wind force is more than 8 Bft. Wind force: 8 Bft. UKC is less than 50 m. UKC: 40 m.	
02/03/2021 02:40 AM	Handover to AutoOOW	Watch handover from OOW Smith to AutoOOW due to scheduled entry of ODD.	OOW Smith
02/02/2021 11:30 PM	Emergency takeover from AutoOOW	Emergency takeover by OOW Smith due to loss of position information.	OOW Smith
02/02/2021 11:19 PM	Alarm: Emergency takeover required	Loss of position information.	

Figure 53. Event Log display with a current emergency event

- Current takeover-alerts (i.e., a required takeover or evaluation that has not yet been resolved) shall be highlighted by a red exclamation mark (see Figure 53).
- The event's border color shall depend on its criticality (see Table 13).
- Time of the alert shall be set to the time point when the first ODD parameter was violated.

Table 13. Border color of takeover-events

Border color	Meaning
Red	Current (i.e., not resolved) takeover alarm, where an emergency takeover is required
Yellow	Current (i.e., not resolved) takeover warning, where an evaluation is required
Black	• Current (i.e., not resolved) takeover caution, where a standard takeover is required • "no current events"-hint
Grey	Old (i.e., solved) event

- The data structure for events is defined in Table 14.

Table 14. Data structure of events

Data	Possible Values
Current takeover-event (i.e., not resolved)	Yes "!" / No
Date/Time	Ship time/ [x] min ago
Event	Caution "Takeover required" Alarm "Emergency takeover required" Warning "Evaluation required" Takeover from AutoOOW Emergency takeover from AutoOOW Takeover from AutoOOW after evaluation Handover from OOW to OOW Handover from OOW to AutoOOW AutoOOW inactive Takeover from AutoOOW after deactivation
Information	Depending on the type of event, see Table 15
OOW	OOW xy

- The data structure for the information column of events is defined in Table 15.

Table 15. Data structure for the information column of events

Takeover event	Information	Example
Takeover required	Leaving ODD leg in less than [current parameter value] min.	Leaving ODD leg in less than 12 min.
Emergency required	ODD/Event description of critical ODD parameter (see Table 20, column "ODD/Event description"). [Parameter name]: [Current parameter value] [measuring unit].	Loss of position information.
Evaluation required		Close quarter situation with nearby give-way target: CPA = 0.5 NM, TCPA = 15 min.
Takeover from AutoOOW	Watch takeover by OOW [name] due to scheduled exit of ODD.	Watch takeover by OOW Smith due to scheduled exit of ODD.
Emergency takeover from AutoOOW	Emergency takeover by OOW [name] due to [ODD/Event description].	Emergency takeover by OOW Smith due to loss of position information.
Takeover from AutoOOW after evaluation	Emergency takeover after evaluation by OOW [name] due to [ODD/Event description].	Emergency takeover after evaluation by OOW Smith due to close quarter situation with nearby give-way target.
Takeover between two OOWs	Watch takeover by OOW [name] from OOW [Name] due to scheduled watch change	Watch takeover by OOW [name] from OOW [Name] due to scheduled watch change
Handover from OOW to OOW	Watch handover from OOW [name] to OOW [name].	Watch handover from OOW Smith to OOW Ostrovsky.
Handover from OOW to AutoOOW	Watch handover from OOW [name] to AutoOOW due to scheduled entry of ODD.	Watch handover from OOW Smith to AutoOOW due to scheduled entry of ODD.
AutoOOW deactivated	AutoOOW manually deactivated by [action].	AutoOOW manually deactivated by changing course.
Takeover from AutoOOW after deactivation	Takeover by OOW [name] after manual deactivation of the AutoOOW.	Takeover by OOW Smith after manual deactivation of the AutoOOW.

- If several ODD parameters are critical, all parameters shall be listed in the information column. For the order of the parameters see Table 7.
- If a critical evaluation parameter is followed by a critical emergency parameter, the emergency event overrides the evaluation event. Then, the warning "Evaluation required" shall be displayed as an old event and an alarm "Emergency Takeover required" shall be triggered, in that case the critical evaluation parameter(s) shall be also listed together with the emergency parameters.
- If a critical emergency parameter is followed by a critical evaluation parameter, no new "evaluation required" event shall be triggered. The information about the critical evaluation parameter shall be added to the information column of the "Emergency Takeover required" event.
- If an ODD parameter returns to uncritical, before the watch was taken over, then the current parameter value shall be followed by the text "parameter back to normal". However, even if all ODD parameters are back to normal, the human OOW still must take over the watch from the AutoOOW.

3.9 Maneuvers

- Maneuvers shall be presented as a list, divided into "ongoing", "upcoming", and "performed" maneuvers (see Figure 54).
- The ongoing maneuver shall be highlighted with a green outline.
- The "upcoming maneuvers" and the "performed maneuvers (history)" sections shall be scrollable, with the headings visible at all times.
- By default,
 - the next 2 or 3 upcoming maneuvers shall be shown.
 - the list of performed maneuvers shall be hidden. The user shall be able to display the list by tapping on the downward pointing arrow.
- By tapping on the eye-icon, it shall be possible to display the maneuver on the chart (see Figure 43 as an example).
- The user shall have the possibility to modify and/or abort ongoing and upcoming maneuvers.
- After choosing to "abort", a warning message shall appear saying that "maneuver abortion is only possible after takeover" with the possibility to initiate a takeover ("initiate takeover") or to "cancel". After selecting "initiate takeover", the fast-track takeover procedure shall be presented.
- In the description of a maneuver, it shall be mentioned whether it was aborted by a takeover ("aborted") or not.
- After tapping on "modify", the possibility to edit the parameters of the maneuver shall be provided.
- For upcoming maneuvers, the user shall be able to display alternative maneuvers by tapping on "show alternatives" as shown in Figure 54 - Figure 55.
 - Alternative maneuvers shall be compared to the originally planned maneuver in terms of time and distance. Delays shall be highlighted in red, accelerations in green.
 - A tooltip ("Delays are indicated compared to the planned maneuver") shall be shown when tapping on the info-button (see Figure 55).
 - The user shall be able to modify and/or apply alternative maneuvers.
- The data structure for maneuvers is defined in Table 17, chapter 6.2.

Takeover

Handover

ODD Parameters

Maneuvers

Ongoing maneuver

Start (ship time)	est. End (ship time)	Position (Start)	Description	Cause	
10/11/2021 10:30 AM	10/11/2021 10:50 AM	37°49.040'N 122°27.128'W	course change to starboard from 080° to 101°	COLREG 8: Action to avoid collision	
			Modify Abort		

Upcoming maneuvers

est. Start (ship time)	est. End (ship time)	est. Position (Start)	Description	Cause	
11/11/2021 10:30 AM	11/11/2021 11:05 AM	37°49.040'N 122°27.128'W	course change to starboard from 272° to 320°	follow route	
			Modify Show alternatives		
11/11/2021 12:00 AM	11/11/2021 12:35 AM	37°49.040'N 122°27.128'W	course change to starboard from 272° to 320°	follow route	
			Modify Show alternatives		

Performed maneuvers (history)

Figure 54. Display of maneuvers

Upcoming maneuvers

est. Start (ship time)	est. End (ship time)	est. Position (Start)	Description	Cause	
11/11/2021 10:30 AM	11/11/2021 11:05 AM	37°49.040'N 122°27.128'W	course change to starboard from 272° to 320°	follow route	
		Modify	Abort	Hide alternatives	

Alternatives ^

11/11/2021 10:30 AM	11/11/2021 11:05 AM	37°49.040'N 122°27.128'W	course change to starboard from 272° to 320°	+ 0.2 NM - 3 min	follow route	
		Modify	Apply			

11/11/2021 10:30 AM	11/11/2021 11:05 AM	37°49.040'N 122°27.128'W	course change to starboard from 272° to 320°	- 1 NM + 9 min	follow route	
		Modify	Apply			

Figure 55. Display of alternatives maneuvers

4 Proposals for future system development

Following proposals for future system development are based on the suggestions of the OOW during the evaluation of the HMI.

General suggestions:

1. When an OOW is alerted to a critical situation and comes to the bridge, there is no time to make own settings (e.g., for ECDIS or radar). It should be possible to set profiles at the touch of a button.
2. It should be possible to have the HMI on a tablet so that an OOW can hold it in his hand when doing the usual rounds on the bridge during takeover. Ideally, both options should be available: stationary and mobile.
3. During the takeover it is necessary to get information from the engine room displayed on the HMI, e.g., can the OOW use the speed.
4. It should be possible to configure the checklist, e.g., which items to use, which fields to complete, based on a shipping company's specification.
5. There should be a choice between the standard checklist and the fast-track checklist, but it should be possible to switch off the fast-track checklist according to the shipping company's requirements.

Suggestions about the notifications via the AutoLogbook:

1. It should be possible to create one's own working profile for notifications via the AutoLogbook, e.g., how many minutes in advance one wants to be called to the bridge.
2. Further information should be provided when notifying the need to take over. This information could be made available in one of two ways:
 - a. Description of the current navigation situation as text, e.g., which targets are interesting, weather, heading, SOG, COG, close range CPAs,
 - b. A map or a picture of RADAR with position, targets, travel data, most important data (depending on the size of the mobile device).

Further considerations:

1. It should be defined, who is responsible if something happens during the autonomous navigation.
2. Training is necessary before the system is introduced on board.
3. The information contained in the checklist is generated at the time the checklist is created, i.e., some of the information that is relevant may be out of date at the time of retrieval. Special precautions must be taken for this, depending on the shipping company's specifications.

5 Bibliography

DGUV Information 215-450 „Softwareergonomie“ (April 2021), Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 2021.

ISO 9241-210:2010, „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme,“ 2010.

W. Elm, S. Potter, J. Gualtieri, E. Roth und J. Easter, „Applied cognitive work analysis: a pragmatic methodology for designing revolutionary cognitive affordances,“ in Handbook for Cognitive Task Design, London, E. Hollnagel, Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

Reederei Bernhard Schulte, „Marine Operations Manual BSM,“ [Online]. [Access date 19 december 2019].

6 Appendix

6.1 Data exchange with the AutoLogbook

Table 16. Data exchange with the AutoLogbook – Takeover Alerts

Cases	Alert events	Source of event (System)	Source of event (Interaction element)	Recipient of event	OOW name & status	Logbook entry
all	Acknowledged by OOW xy	AutoLogbook		AutoOOW	[OOW xy, acknowledged]	
all	OOW xy on the way	AutoLogbook		AutoOOW	[OOW xy, on the way]	
all	OOW xy on the bridge	AutoLogbook (Beacon)		AutoOOW	[OOW xy, on bridge]	
Emergency	Emergency takeover initiated by OOW xy	AutoOOW-HMI	Button "Initiate takeover" in "Event Status"	AutoLogbook	[OOW xy, resolving]	
Emergency / Evaluation	Emergency takeover completed by OOW xy (fast-track procedure)	AutoOOW-HMI	Button "Takeover" in fast-track procedure	AutoLogbook	[OOW xy, resolved]	Takeover by OOW xy
Emergency / Evaluation		AutoOOW-HMI	Button "Checklist completed" after fast-track procedure	AutoLogbook		Checklist completed after fast-track takeover by OOW xy
Evaluation	Evaluation initiated by OOW xy	AutoOOW-HMI	Button "Initiate evaluation" in "Event Status"	AutoLogbook	[OOW xy, resolving]	
Evaluation	No takeover required – Decision by OOW xy	AutoOOW-HMI	Button "No takeover required" in "Event Status"	AutoLogbook	[OOW xy, resolved]	No takeover required, decision made by OOW xy, [justification of decision]
	Takeover initiated by OOW xy	AutoOOW-HMI	Button "Initiate takeover" in "Event Status"	AutoLogbook	[OOW xy, resolving]	
all	Takeover completed by OOW xy	AutoOOW-HMI	Button "Takeover"	AutoLogbook	[OOW xy, resolved]	Takeover by OOW xy

		AutoOOW-HMI	Initiate handover to AutoOOW			
		AutoOOW-HMI	Hand over to AutoOOW			Handover to AutoOOW
		AutoOOW-HMI	Abort (maneuver)			
		AutoOOW-HMI	Apply (maneuver)			
		AutoOOW-HMI	Sign master's orders			Master's orders signed by OOW xy

6.2 Maneuvers

Table 17. Data structure for maneuvers

Data	Possible Values
Start	Ship time/[x] min ago
End	Ship time/[x] min ago
Position	GPS position (latitude & longitude)
Description	Course change to starboard/port from [old value]° to [new value]° Speed reduction/increase from [old value] kn to [new value] kn Aborted: Course change to...
Cause	Follow route/Avoid collision/Avoid collision/Meet schedule/...

6.3 Takeover-relevant alerts

Table 18. Possible takeover-relevant alerts

Source	Alert	Priority
CAM	Loss of alert communication with a connected system	Caution
CAM	Improper alert information received	Caution
INS	Invalid information for functions not in use	Caution
INS	Loss of system communication	Warning
ECDIS	Different geodetic datum	Warning
ECDIS	System malfunction of backup device	Warning
GNSS	No calculation of position	Warning
GNSS	Loss of position	Warning
GNSS	Loss of differential signal	Warning
GNSS	Differential corrections not applied	Warning
GNSS	Differential integrity status	Warning
BNWAS	Malfunction	Warning
BNWAS	Power supply failure	Warning

Table 19. Data structure for takeover-relevant alerts

Data	Possible values
Ship time	[x] min ago
Source	CAM / INS / ECDIS / GNSS
Alert	[Alert name] (see Table 18)
Priority	Caution / Warning / Alert

6.4 Data Exchange with the AutoOOW

Table 20. Data structure for ODD parameters (numerical parameters)

ODD parameter	Corresponding parameter(s)	Measuring unit	Critical value (limit)	Criticality of low values	Criticality of high values	Event category (Evaluation /Emergency)	ODD/Event description	Time left to complete takeover/evaluation
Roll period		s	5	x		Evaluation	"Roll period is less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
Roll angle		°	+/- 10	x	x	Evaluation	"Roll angle is greater/less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
Pitch period		s	5	x		Evaluation	"Pitch period is less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
Pitch angle		°	+/- 25	x	x	Evaluation	"Pitch angle is greater/less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
Speed (% of intended)		%	80	x		Evaluation	"Speed is less than [critical value] [measuring unit] of intended speed"	to be defined
UKC		m	50	x		Emergency	"UKC is less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
UKC (% of estimated UKC)		%	70	x		Evaluation	"UKC is less than [critical value] [measuring unit] of estimated UKC"	to be defined

ODD parameter	Corresponding parameter(s)	Measuring unit	Critical value (limit)	Criticality of low values	Criticality of high values	Event category (Evaluation /Emergency)	ODD/Event description	Time left to complete takeover/ evaluation
Time to leave ODD leg If outside ODD: "Entering ODD leg in [x] min"		min	12	x		Emergency	"Leaving ODD leg in less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
XTD		NM	+/- 1		x	Evaluation	"XTD is greater than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
Deviation from planned arrival at next WP		min	15		x	Emergency	"Deviation from planned arrival at next WP is greater than [critical value] [measuring unit]"	to be defined
Critical give-way target						Evaluation	"Close quarter situation with give-way target"	to be defined
	CPA	NM	1.5-2	x				
	TCPA	min	15-18	x				
Critical stand-on target						Evaluation	"Own ship required to give way"	to be defined
	CPA	NM	1.5-2	x				
	TCPA	min	12	x				
Critical lost radar target						Evaluation	"Lost radar target without AIS info within [Radius: critical value] [Radius: measuring unit]"	to be defined
	AIS info (see Table 21)							
	Radius	NM	12	x				
Visibility		NM	3	x		Evaluation	"Visibility is less than [critical value] [measuring unit]"	to be defined

ODD parameter	Corresponding parameter(s)	Measuring unit	Critical value (limit)	Criticality of low values	Criticality of high values	Event category (Evaluation /Emergency)	ODD/Event description	Time left to complete takeover/evaluation
Wind force		Bft	8		x	Emergency	"Wind force is greater than [critical value] [measuring unit]"	to be defined

Table 21. Data structure for ODD parameters (categorical and count parameters)

ODD parameter	Values	Color	Event category (Evaluation /Emergency)	ODD/Event description	Time left to complete takeover/evaluation
Current ODD leg	Outside ODD	red	---	---	---
	Inside ODD	green	---	---	---
Traffic density	Little traffic	green	---	---	---
	Heavy traffic	red	Emergency	"Heavy traffic was detected"	
AIS info	Available	green	---	---	---
	Not available	yellow	See Table 20 ("Critical lost radar target")		
Alerts	[number]	none (text-only)	---	---	---
	[list of alerts]		See Table 22		
Critical give-way targets	[number]	none (text-only)	See Table 20 ("Critical give-way target")		
Critical stand-on targets	[number]	none (text-only)	See Table 20 ("Critical stand-on target")		
Critical lost radar targets	[number]	none (text-only)	See Table 20 ("Critical lost radar target")		

Table 22. Data structure for ODD relevant alerts

Alert	Color	Event category (Evaluation /Emergency /Information)	ODD/Event description	Time left to complete takeover/evaluation
ECDIS failure	red	Emergency	[Alert]/[Incident]	
Radar failure	red	Emergency		
AIS failure	red	Emergency		
Gyro compass failure	red	Emergency		
Echo sounder failure	red	Emergency		
Loss of position information	red	Emergency		
THD failure	red	Emergency		
Propulsion system failure	red	Emergency		
Steering gear failure	red	Emergency		
Alarm system failure	red	Emergency		
Automatic heading control failure	red	Emergency		
Automatic track-control failure	red	Emergency		
Camera failure	red	Emergency		
VDR failure	red	Emergency		
System function loss due to loss of essential sensor input	red	Emergency		
INS: Integrity verification not possible	red	Emergency		
INS: Invalid information for functions in use	red	Emergency		
Wheel over line alarm	red	Emergency		
[Position monitor]	red	Emergency		
Crossing safety contour	red	Emergency		
Receipt of distress or urgency call	red	Emergency		
Low steering gear hydraulic fluid level	red	Emergency		
Steering system electric phase failure/overload	red	Emergency		
Propulsion machinery remote control failure	red	Emergency		
Fault requiring action by or attention of the OOW (machinery alarm including automatic changeover alarm and alarm for all important pressures, temperatures, fluid levels and other essential parameters)	red	Emergency		
Ballast water system failure	yellow	Evaluation		

Ship operating equipment (E diesel, generators, separators, electric circuit, ...) failure	yellow	Evaluation		
Reefer cooling system failure	yellow	Evaluation		
Security & safety concerns (e.g., POB, loss of stability, cargo slippage...)	yellow	Evaluation		
Log failure	yellow	Evaluation		
IMU failure	yellow	Evaluation		
Shaft power meter failure	yellow	Evaluation		
Tank gauging failure	yellow	Information		
Valve control failure	yellow	Information		

6.5 Visualization examples

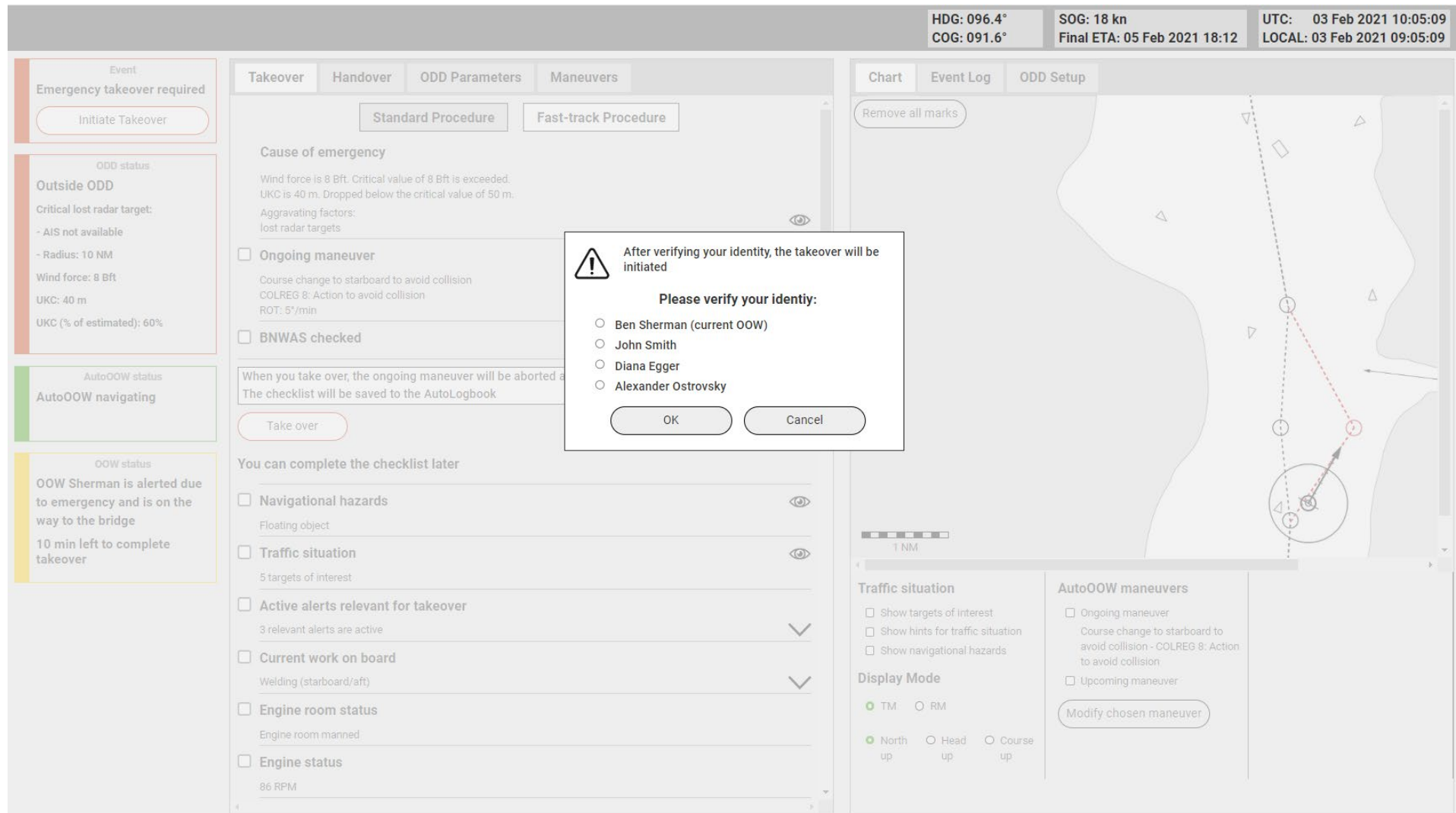


Figure 56. Verification screen after selecting a critical action

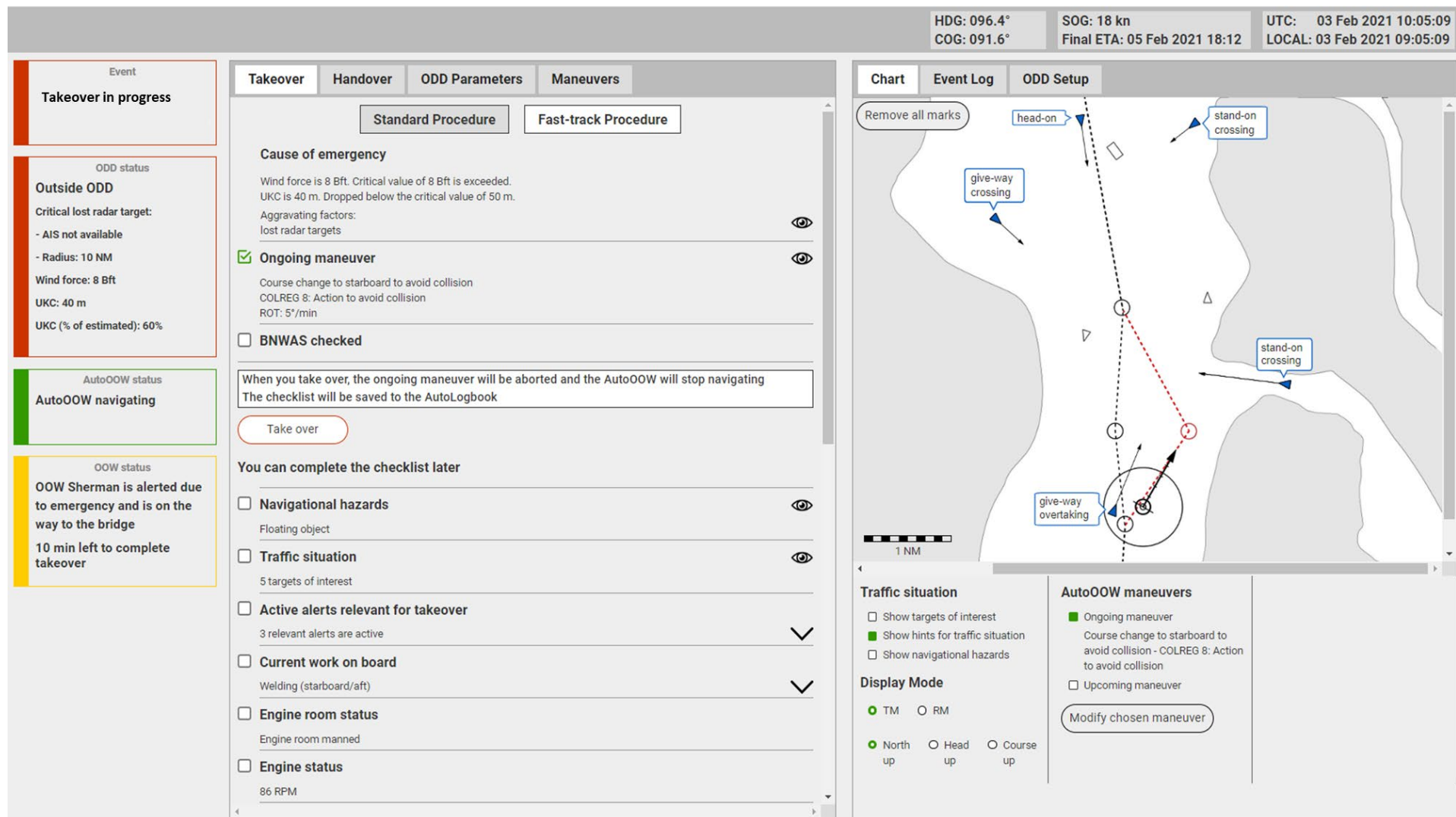


Figure 57. Emergency takeover required due to several critical parameters

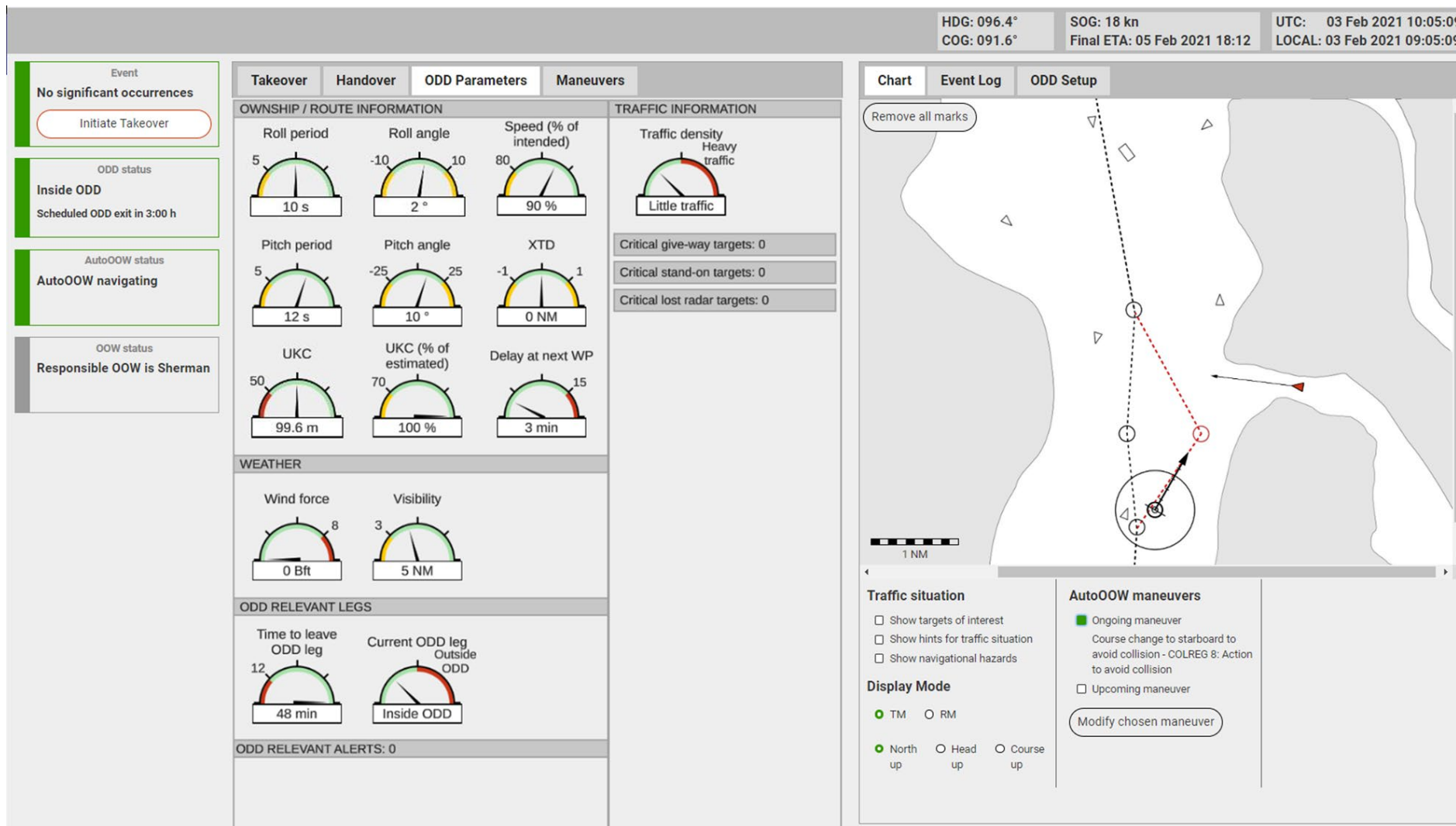


Figure 58. Autonomous mode, the OOW is not on the bridge

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel B ZERO Sach-/Schlussbericht	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Constapel, Manfred Koch, Paul Stach, Thomas Burmeister, Hans-Christoph Dalinger, Elena Hochgeschurz, Stephanie Motz, Florian	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2023
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) FRAUNHOFER-CENTER FÜR MARITIME LOGISTIK UND DIENSTLEISTUNGEN CML, Blohmstraße 32, 21079 Hamburg FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR KOMMUNIKATION, INFORMATIONSPERARBEITUNG UND ERGONOMIE FKIE, Zanderstraße 5, 53177 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 03SX500
	11. Seitenzahl 38
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 15
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung Das hohe Sicherheitsbedürfnis in der Schifffahrt und die zunehmende Globalisierung erfordern, dass Prozesse an Bord eines Schiffes optimiert, digitalisiert und gleichzeitig kosteneffizient umgesetzt werden. Neben der Zunahme von Gefahrensituationen durch menschliches Versagen führen eine steigende Anzahl von Routinetätigkeiten und der Mangel an qualifiziertem Personal zu einem Bedarf an Systemen, die Teile der Aufgaben und Entscheidungen übernehmen und autonom ausführen. Das B ZERO-Projekt realisiert und integriert wesentliche Anforderungen der maritimen Industrie in ein Gesamtsystem für die wachfreie Schiffsbrücke. Dazu gehören neben einem System zur autonomen Navigation eines Schiffes auch die Erstellung eines digitalen Schiffstagebuchs und die zuverlässige Kommunikation von Information über den Zustand des Systems an das Schiffspersonal. Zielstellung von B ZERO ist der Betrieb einer wachfreien Schiffsbrücke über einen Zeitraum von bis zu acht Stunden. Die Kernelemente des Projektes umfassen eine umfassende Anforderungsanalyse an ein autonomes Navigationssystem und die wachfreie Brücke. Ein Schwerpunkt liegt zudem auf der Entwicklung eines Sensorsystems zur Erstellung eines maschinellen Lagebildes. Die Implementierung von Algorithmen zur autonomen Navigation steht dabei im Fokus, wobei die Kollisionsverhütungsregeln (KVR) besonders berücksichtigt werden. Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Schaffung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle, die die Wachübergabe und Wachübernahme an nautische Offiziere ermöglicht und gleichzeitig das maschinelle Lagebild darstellt. Des Weiteren beinhaltet das Projekt die Entwicklung eines digitalen Schiffstagebuchs. Dieses dient der automatisierten Aufzeichnung und Benachrichtigung relevanter Parameter und Zustände, um die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Systems sicherzustellen und die Akzeptanz durch die Nutzer zu steigern. Abschließend erfolgt eine Risikoabschätzung des Betriebs eines autonomen Navigationssystems, einschließlich der Identifizierung von Anpassungen an bestehende Gesetzgebungen und Regularien zur dauerhaften Inbetriebnahme vergleichbarer Systeme. Die Entwicklungen aus dem Projekt B ZERO finden direkte Verwertung in der Entwicklung und Zulassung von autonomen Navigationssystemen, die durch den stark wachsenden Markt in den nächsten Jahren deutlich an Bedeutung zunehmen werden.	

19. Schlagwörter mass, autonomie, autonom, wachfrei, autonome navigation, ki	
20. Verlag -	21. Preis