

# Interner Bericht

**DLR-IB-FT-BS-2024-100**

## **ABSCHLUSSBERICHT**

### **Aeronautische und maritime Innovationsumgebung für interorganisationale Simulationen (AMARIS)**

## **Interner Bericht**

Tanja Martini

Tim Jusko

Torsten Gerlach

Oliver Ellis

Jan Hettwer

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Flugsystemtechnik

Braunschweig



**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt**

Institutsbericht

**DLR-IB-FT-BS-2024-100**

## **ABSCHLUSSBERICHT**

### **Aeronautische und maritime Innovationsumgebung für interorganisatorische Simulationen**

#### **(AMARIS)**

Tanja Martini  
Tim Jusko  
Torsten Gerlach  
Oliver Ellis  
Jan Hettwer

Institut für Flugsystemtechnik  
Braunschweig

35	Seiten
26	Abbildungen
1	Tabellen
13	Literaturstellen

#### **Stufe der Zugänglichkeit: I, intern und extern unbeschränkt zugänglich**

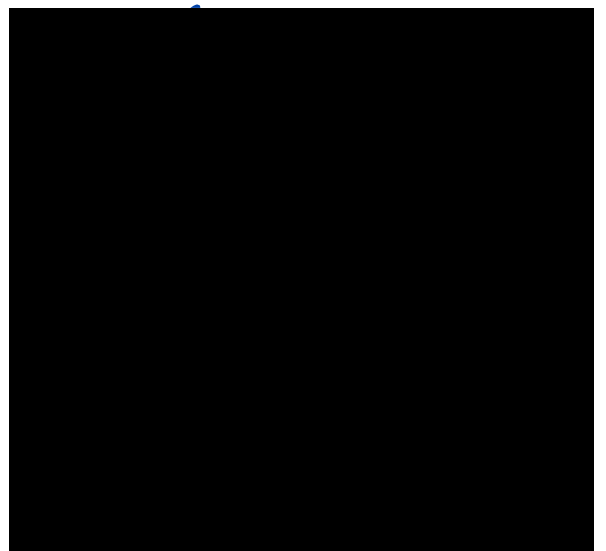
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Flugsystemtechnik  
Abt. Hubschrauber  
Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig

Braunschweig, 19.06.2024

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. S. Levedag

Abteilungsleiter: Dipl.-Ing. M. Höfinger

Verfasser: Tanja Martini



**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.****Abschlussbericht**

<b>Zuwendungsempfänger (ZE):</b> DLR, Institut für Flugsystemtechnik (FT)	<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>13N15501</b>
<b>Verbund-/Vorhabenbezeichnung:</b>  <b>AMARIS</b>  Aeronautische und maritime Innovationsumgebung für interorganisationale Simulationen	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.03.2021 bis 31.12.2024	
<b>Berichtszeitraum:</b> <b>01.03.2021 bis 31.12.2024</b>	

<b>Berichterstatter:</b>	<b>Tanja Martini</b>	<b>DLR FT</b>
	<b>Tim Jusko</b>	<b>DLR FT</b>
	<b>Torsten Gerlach</b>	<b>DLR FT</b>
	<b>Oliver Ellis</b>	<b>DLR FT</b>
	<b>Jan Hettwer</b>	<b>DLR FT</b>

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**  
**Institut für Flugsystemtechnik (FT)**  
**Lilienthalplatz 7**  
**D-38108 Braunschweig**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	5
2	Erzielte Ergebnisse .....	6
2.1	HAP 1 Systementwurf & Trainingsszenario .....	6
2.1.1	AP 1.1 Anforderungen an des AMARIS-Gesamtsystem .....	6
2.1.2	AP 1.2 Definition der Innovationsumgebung .....	6
2.1.3	AP 1.3 Definition der Kopplungsschnittstellen .....	11
2.1.4	AP 1.4 Definition des Schulungs- und Bewertungskonzeptes .....	13
2.2	HAP 2 Modifikation & Erweiterung .....	14
2.2.1	AP 2.1 Hubschraubersimulation im SAR-Simulator .....	14
2.2.2	AP 2.2 Sichtdarstellung (inkl. Verkehrslage) .....	15
2.2.3	AP 2.3 COMMS-Schnittstelle .....	18
2.2.4	AP 2.4 Umweltparameter .....	19
2.2.5	AP 2.5 Assistenzsystem (Winde) .....	21
2.2.6	AP 2.6 Trainingsszenario & -bewertung .....	22
2.3	HAP 3 Integration & Test .....	23
2.3.1	AP 3.1 Hubschraubersimulation im SAR Simulator .....	23
2.3.2	AP 3.2 Sichtdarstellung (inkl. Verkehrslage) .....	24
2.3.3	AP 3.3 COMMS-Schnittstelle .....	26
2.3.4	AP 3.4 Umweltparameter .....	26
2.3.5	AP 3.5 Assistenzsystem (Winde) .....	27
2.3.6	AP 3.6 Analysysteme .....	29
2.4	HAP 4 Testläufe als Gesamtsystem und Abschlussdemonstration .....	32
2.4.1	AP 4.1 Realisierung der Testläufe .....	32
2.4.2	AP 4.2 Vorbereitung und Durchführung einer Abschlussdemo .....	33
3	Zusammenfassung .....	34
4	Veröffentlichungen, Vorträge .....	35
5	Literaturverzeichnis .....	35

## Abkürzungsverzeichnis

AVES	Air Vehicle Simulator
COMMS	Funkkommunikation
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DGzRS	Deutsche Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger
DIS	Distributed Interactive Simulation
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Hz	Hertz
HLA	High Level Architecture
HMI	Human Machine Interface
Hz	Hertz
IOS	Instructor Operator Station
MMSI	Maritime Mobile Service Identity
MOS	Mobile Simulation Station
ND	Navigation Display
PDU	Protocol Data Unit
PFD	Primary Flight Display
RME	Rheinmetall Electronics GmbH
SAR	Search and Rescue
UAN	Unterauftragnehmer
UDP	User Datagram Protocol
VPN	Virtual Private Network

## Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AMARIS:

### 1 Einleitung

Ziel des Projektes AMARIS ist es, die Suche und Rettung Schiffbrüchiger künftig mit seegehenden und fliegenden Einheiten zusammen in einer Simulation zu trainieren, auch wenn die Teilnehmer sich nicht am gleichen Ort befinden. Hierfür wurde das Simulationszentrum der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger (DGzRS) (Abbildung 1) mit dem Air Vehicle Simulator (AVES) [1] (Abbildung 2) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) gekoppelt. Bei der Studie, in der verschiedene Such- und Rettungsmissionen gemeinsam in dem Simulationsverbund trainiert worden sind, sind physiologische Daten und subjektive Daten erhoben worden, um ein besseres Verständnis über organisationsübergreifende Teamarbeit zu erhalten. Diese Erkenntnisse sind in ein Schulungskonzept geflossen. Ebenfalls ist ein vom DLR entwickeltes Außenlastassistenzsystem in einem einsatznahen Such- und Rettungsszenario erprobt worden. Das Assistenzsystem stellt dem Piloten missionsrelevante Informationen zur Verfügung und unterstützt bei der Steuerung des Hubschraubers bei Windenmanövern.



Abbildung 1: Simulator in Bremen



Abbildung 2: Air Vehicle Simulator (AVES)

Die unterschiedlichen Simulationsumgebungen stellen die größte Herausforderung für die technische Umsetzung der Simulatorkopplung dar. AVES ist ein modulares Simulationssystem mit einem Bewegungssimulator und zwei Festsitzsimulatoren. Die unterschiedlichen Cockpitmodule des ATRA (Airbus A320), des ACT/FHS (Airbus Helicopter EC135), einer fensterlosen Kabine und des ISTAR (Dassault Falcon 2000), können mit Hilfe eines einmaligen Cockpitwechselsystems in den verschiedenen Simulatoren installiert werden. Hochauflösende Projektionssysteme bieten ein großes Sichtfeld von 240° Horizontal und 90° Vertikal, für ein breitgefächertes Einsatzspektrum. Die Cockpits sind in höchster Qualität ausgeführt und erlauben eine maximale Immersion für den Piloten. AVES ist auf die Flugsimulation und Forschung für das Fliegen von Morgen spezialisiert.

Im Kontrast dazu steht der Search and Rescue (SAR)-Simulator der Seenotretter in Bremen. Der Fokus liegt hier auf dem Team- und Kommunikationstraining der Schiffsführer. Die Simulationsplattform ist von Rheinmetall Electronics GmbH (RME) und wird im reinen Anwenderbetrieb in Bremen genutzt. Änderungen an Hard- und Software bedingen eine Einbindung des Herstellers. Die Schiffsführerkabinen enthalten alle notwendigen Steuer- und Navigationseinrichtungen. Der Betrieb erfolgt in einem ganzjährigen Schulungsbetrieb.

## 2 Erzielte Ergebnisse

### 2.1 HAP 1 Systementwurf & Trainingsszenario

#### 2.1.1 AP 1.1 Anforderungen an des AMARIS-Gesamtsystem

In Arbeitspaket AP1.1 sind die Anforderungen an das AMARIS Gesamtsystem erstellt worden. Die Erstellung der Anforderungen erfolgte basierend auf den Erfahrungen in der Forschungssimulation von Offshore Projekten als auch auf der Auswertung der durchgeführten Interviews hinsichtlich technischer Erweiterungen der AMARIS Simulationsumgebung. Hier hat das DLR speziell noch mit der Erfahrung aus Forschungsprojekten in On- und Offshore Projekten für Hubschraubereinsätze zum Interview für Piloten beigetragen, um eine genaue Vorstellung über die verwendeten Systeme, Kommunikation und Durchführung von Rettungseinsätzen zu erhalten. Die Anforderungen sind in dem Spezifikationsdokument „*Spezifikation Erweiterung Maritime Simulation*“ [2] festgehalten. Auf die Anforderungen wird im folgenden Abschnitt AP1.2 Definition der Innovationsumgebung eingegangen.

#### 2.1.2 AP 1.2 Definition der Innovationsumgebung

Die Innovationsumgebung von AMARIS besteht aus einem technischen Setup mit zwei unterschiedlichen Simulatoren, einem Trainingskonzept und entsprechenden Datenaufzeichnungseinrichtungen für die Teamforschung.

Die technische Umsetzung bedingt eine Weiterentwicklung der Simulatoren des DLR und der DGzRS. Der SAR-Simulator der DGzRS ist ein kommerzielles Produkt und ist in diesem Fall nur vom Hersteller Rheinmetall Electronics GmbH im Unterauftrag zu modifizieren. Das DLR entwickelt und betreibt seine eigenen Simulatoren und ist nicht an einen Fremdanbieter gebunden. Die Anforderung an den Unterauftragnehmer (UAN) RME sind durch die Erstellung des obengenannten Dokumentes „*Spezifikation Erweiterung Maritime Simulation*“ [2] definiert worden. Die Erstellung wurde durch DGzRS und DLR iterativ über mehrere Wochen finalisiert. Folgende Ziele standen im Fokus:

- Verbesserung der Hubschraubersimulation der DGzRS
- Kopplung des SAR-Simulators mit dem DLR-Hubschraubersimulator
- Verbesserung der Kommunikationsfähigkeiten im SAR-Simulator

Die Spezifikation ist als Leistungsbeschreibung mit Compliance Matrix für eine spätere Prüfung der Lieferung angelegt worden. Die genannten Ziele sind als Anforderungen für die folgenden Arbeitspakete definiert worden. Die Leistungsbeschreibung entstand zu Beginn des AMARIS-Projektes. Die Investitionssumme für den UAN musste bereits in der Antragstellung festgelegt werden, so dass eine vollständige Erfüllung der eruierten Anforderungen ungewiss war.

##### 2.1.2.1 *Verbesserung der Hubschraubersimulation der DGzRS*

Aufgrund großer Defizite der Hubschraubersimulation im SAR-Simulator, stand eine bessere Immersion im gesamten Simulationsszenario im Vordergrund. Die bisherige Simulation ermöglicht dem Piloten keinen realistischen Eindruck. Ein bestehender Schiffsimulator wird für eine Flugsimulation entsprechend umgerüstet und konfiguriert. Sowohl die Steuerungsmöglichkeiten (Center-Stick, Pedale und Kollektivhebel) als auch die Flugdynamik sind als vereinfachte Simulation implementiert. Nach einer gewissen Eingewöhnungsphase ist der Pilot in der Lage das Fluggerät vorwärts zu bewegen und zu einem bestimmten Punkt zu navigieren. Eine Immersion tritt nicht ein. Lediglich die Kommunikation erfolgt realistisch mit den gleichen Geräten, die auch die Schiffsimulatoren haben.



Folgende Anforderungen wurden während einer Konzeptphase erarbeitet:

- Verbesserung der Hubschrauberstation für Piloten
- Realistisches flugdynamisches Modell
- Generisches Displaysystem mit allen notwendigen Anzeigen
- Erweiterte Kommunikationsfähigkeiten

### Hubschrauberstation

Für den Anwendungsfall im SAR-Simulator ist eine generische Hubschrauberstation, mobil auf Rollen gelagert, die einfachste Möglichkeit mehr Realismus zu erzeugen. Dabei kann die bestehende Ausstattung der Simulationsräume mit Tisch und virtueller Außensicht auf Monitoren weiterhin genutzt werden. Das Konzept sieht einen aus Aluminiumprofilen gefertigten Basisrahmen mit einfachem Sitz vor. Die Einheiten zur Steuerung sind aktive Komponenten. Es können beispielsweise Produkte der Firma Brunner Elektronik AG eingesetzt werden. Diese enthalten aktive Motoren mit ausreichend Drehmoment, um eine realistische Steuerkraft zu erzeugen. Die Komponenten können über USB- oder Ethernet an den Simulationsrechner angebunden werden. Abbildung 3 zeigt eine 3D-Studie eines möglichen Aufbaus.

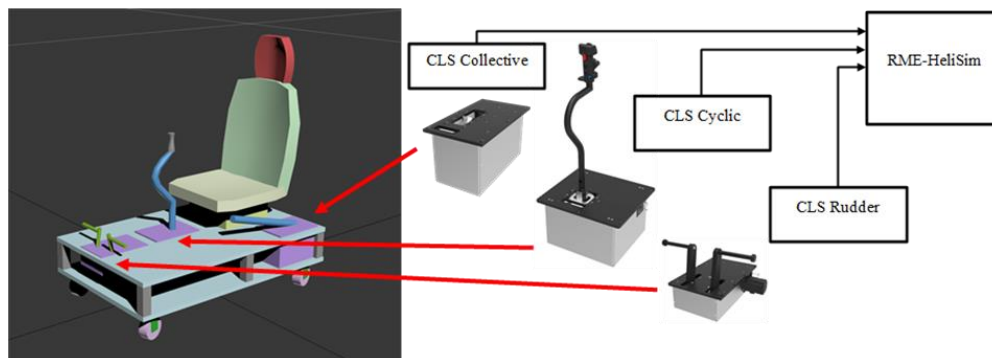


Abbildung 3: Konzept Pilotenstation

Die Griffe der Steuereinheiten sind, wie im jetzigen einfachen Simulatorenaufbau, mit Knöpfen ausgestattet und ermöglichen die Ansteuerung unterschiedlicher Funktionen, z.B. der Bedienung einer Winde.

Der SAR-Simulator sollte mit mindestens zwei dieser Pilotenstationen ausgestattet werden, um auch eine Dual-Cockpit-Konfiguration zu erlauben. Die ergibt einen noch realistischeren Einsatzzweck der Hubschraubersimulation im SAR-Simulator.

### Flugdynamisches Modell

Die jetzige Flugdynamik ist eine einfache Schiffsdynamik, die in verschiedenen Freiheitsgraden verändert wurde. Der Austausch durch ein lineares Flugmodell ist notwendig. Das Modell kann einfach gehalten werden und muss nur die typischen dynamischen Eigenschaften, z.B. Drehung um die Hochachse, wenn das Kollektiv gezogen wird, unterstützen.

Für ein realistisches Einsatzspektrum ist eine einfache Flugregelung mit folgenden Eigenschaften zu implementieren.

- Lagehaltung in Nick- und Roll-Achse
- Kurshaltung im Schwebeflug

- Automatisierter koordinierter Kurvenflug im Reiseflug (Turn coordination in cruise)
- Entkopplung der Roll-, Nick- und Gier-Achse

Abgerundet wird dies durch folgende UpperModes in der Regelungskette:

- Beibehaltung von Geschwindigkeit über Grund und Kurshaltung basierend auf GPS
- Änderung der Sollwerte durch Steuereingaben vom Piloten
- Beibehaltung der Geschwindigkeit über Grund von Null und Kurshaltung im Schwebeflug basierend auf GPS

Des Weiteren ist die vorhandene Treibstoffsimulation zu erweitern. Wind und Abwind müssen für die Interaktion mit der Umgebung ebenfalls in der Simulation berücksichtigt werden.

### Außenlastsimulation und Visualisierung

Die Simulation einer Last am Seil und die entsprechenden Windenoperationen müssen Teil der Hubschraubersimulation sein. Die entsprechenden Kräfte und Gewichtsänderungen sind in der Flugdynamik und im Treibstoffverbrauch zu berücksichtigen. Folgende typische Windenvorgänge sind notwendig und in der Visualisierung darzustellen:

- Haken -> Einzelne Person
- 1 Person -> 2 Personen (Doppelwinchverfahren)
- Rettungstrage (Stretcher) -> Rettungstrage mit Person (waagrecht)
- Rettungstrage (Stretcher) -> Rettungstrage mit Person (waagrecht) + Begleitperson
- Rettungskorb -> Rettungskorb mit Person
- Haken -> Kiste/Rettungsrucksack/Gitterbox etc.

### Generisches Displaysystem

Die vorhandenen analogen Anzeigen entsprechen nicht den typischen Displays moderner SAR-Hubschrauber. Digitale Anzeigen sind hier zu bevorzugen. Folgende Anforderungen werden an ein neues generisches Displaysystem gestellt. Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine Anordnung und ein Foto eines EC 135 Displaysystems.



Abbildung 4 Exemplarische Anordnung des digitalen Displaysystems

Gerade das Primary Flight Display (PFD) und das Navigation Display (ND) sind für die Piloten von entscheidender Bedeutung auch bei schlechten Sichtbedingungen sicher fliegen zu können. Das PFD (luftfahrtspezifische Anordnung) mit folgenden Komponenten muss dargestellt werden:

- Künstlicher Horizont (Pitch: +-60 Grad, Roll +-90 Grad)
- Libelle im künstlichen Horizont
- Höhenmesser (Radarhöhe (digital) und barometrische Höhe)
- Warnanzeige und Warnton für Decision Height (DH), frei einstellbare Höhe
- Geschwindigkeitsmesser
- Vertical Speed Indicator

Ein ND muss mit folgenden Komponenten dargestellt werden:

- Kompassrose
- Flugzeugsymbol
- Kennzeichnung Ziel/Richtung zum Ziel (Unfallort)
- Digitale Richtungsanzeige

Für die Navigation auf See ist die Darstellung und Nutzung einer Moving Map notwendig. Es müssen ebenfalls typische Anzeigen wie Drehzahl und Tankanzeige verfügbar sein.

#### Kommunikation, Funk und Soundsimulation

Die bestehenden Kommunikationsmöglichkeiten sind ausreichend und können um zusätzliche Warn-töne, z.B. Treibstoffwarnung, ergänzt werden. Um den Realismus zu erhöhen, können echte Headsets aus herkömmlichen Hubschraubern eingesetzt werden.

#### *2.1.2.2 Simulatorkopplung SAR-Simulator mit DLR-Simulator*

Im AMARIS-Verbund werden der SAR-Simulator und der DLR-Hubschraubersimulator gekoppelt. Dabei werden Daten aller Teilnehmer der Simulation, Umwelteinstellungen und Datenbasen ausgetauscht bzw. abgeglichen werden müssen. Zusätzlich ist die Funkstrecke des DLR-Simulators zum SAR-Simulator herzustellen. Die bestehenden 3D-Datenbasen und Modelle der SAR-Simulation müssen erweitert werden, um komplexere Szenarien zu ermöglichen. Ein Hardware-Update der Image Generatoren der SAR-Simulation ist in Betracht zu ziehen.

#### Netzwerk

Der Datenaustausch muss über das Internet in einer gesicherten Verbindung erfolgen können. Dabei muss zum einen die Datenverbindung mit Hilfe von entsprechenden Gateway-Rechnern hergestellt werden und zu anderen das Datenaustauschformat zwischen den Simulationen definiert werden. Die Netzwerktopologie ist in Abbildung 5 zu sehen.

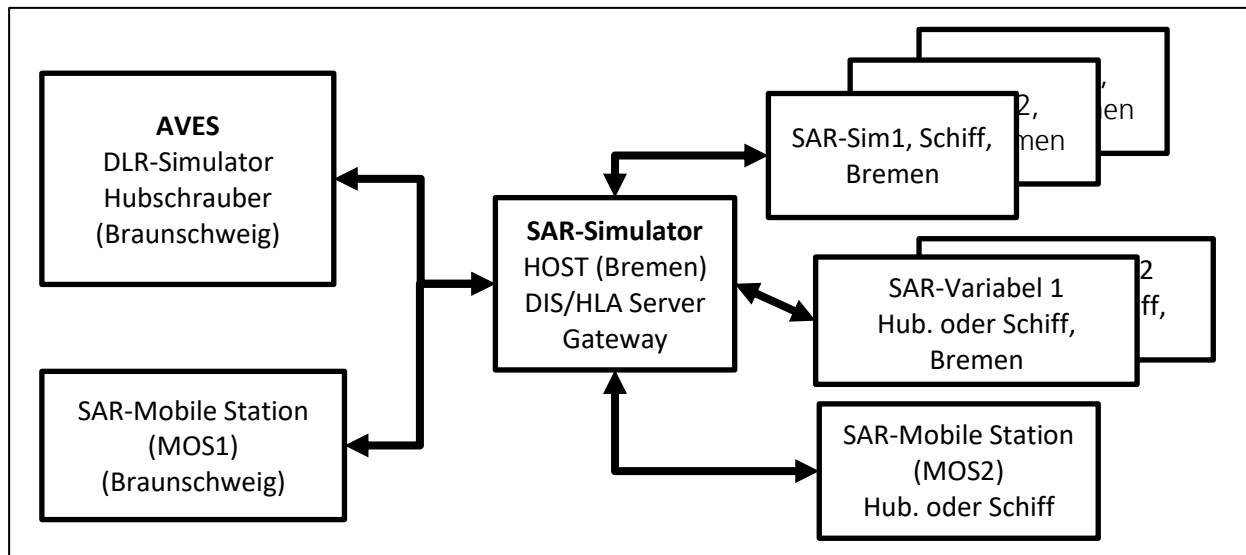


Abbildung 5 Schematische Darstellung der Netzwerktopologie

Die Komplexe Infrastruktur in Bremen wird über einen HOST-Rechner als Gateway verfügbar gemacht. Der Zugang muss aus Braunschweig über das Internet mit Hilfe eines VPN-Tunnels erfolgen. Dabei sind möglichst kurze Laufzeiten zu erreichen, da auch die Funksimulation dieses Netzwerk nutzen muss.

Im Vorfeld der Anforderungserstellung konnten die Rahmenbedingungen des Datenaustauschs mit RME abgesprochen werden.

### Funk und Sound

Der DLR-Simulator muss als Teilnehmer der Gesamtsimulation die gleichen Funk-Möglichkeiten wie die SAR-Simulator Hubschrauberstation haben. Dafür muss eine entsprechende Schnittstelle zur SAR-Simulation geschaffen werden. Das von RME verwendete System ist proprietär und kann vom DLR nicht genutzt werden. Eine flexible Lösung muss auf beiden implementiert werden.

### Datenbasis

Die virtuelle Welt muss in einer gemeinsamen Simulation möglichst identisch aussehen. Die Datenbasen des SAR-Simulators sind in die Jahre gekommen und sollen erneuert werden. Sie sind geospezifisch mit Luftbildern darzustellen und anhand aktueller Seekarten zu erneuern.

Falls das Datenformat austauschbar ist, wird das DLR die Datenbasis übernehmen. Alternativ wird eine neue Datenbasis für den AVES entwickelt. Da Grundinformationen über Gelände und Seezeichen einheitlich sind, ist es so ebenfalls möglich eine passende Darstellung zu gewährleisten.

### 3D-Modelle

Die bewegten Objekte sind für das AMARIS-Projekt zu erneuern. Es müssen SAR-typische Hubschraubermodelle in der Simulation und der Sichtsimulation verfügbar sein. Folgende 3D-Modelle (Hubschrauber) sind zu liefern und zu integrieren:

- H225 (SuperPuma)
- H155
- AS365
- H145
- AW139
- NH 90

- Lynx

Da auch Flächenflugzeuge Teil maritimer Einsätze sind werden folgende Modelle gewünscht

- Dornier (Öl-Do)
- P8
- P3 Orion (Die sind Flächenflugzeuge die ggf. eine ACO Rolle übernehmen könnten, bei sehr umfangreichen SAR Lagen)

Wichtig ist der Austausch der 3D-Modelle zwischen SAR-Simulator und AVES. Ein einheitliches Datenformat, oder die Konvertierung der Modelle muss gewährleistet sein.

### Szenerie und Umwelt

Damit SAR-Simulator und DLR-Simulator im gleichen Umweltszenario arbeiten, ist es notwendig die entsprechenden Einstellungen auszutauschen. Dies muss mindestens in textueller Form, d.h. eine Beschreibung der Umwelteinstellungen, und über die Netzwerkverbindung zum SAR-Simulator möglich sein. Der DLR-Simulator ist in diesem Fall als Client-Simulator anzunehmen.

Folgende auszutauschende Umweltparameter müssen verfügbar sein:

- Wind (Stärke und Richtung)
- Tidenhub
- Wolkenschichten und entsprechende Wolkentypen
- Sichtweiten
- Regen/Schnee mit entsprechendem Stärkegrad
- Seegang
- Tageszeit
- Datum
- lokale Nebelfelder (Position, Ausdehnung und Höhe)

#### 2.1.2.3 *Comm-Panel und INCO-Raum*

Im AMARIS-Projekt werden neben den fünf Simulationskammern in Bremen auch externe Teilnehmer per Funk eingebunden. Das stellt erhöhte Anforderungen an die Kommunikationsfähigkeiten des so genannten INCO-Raums. Dort sitzen die Schulungsleiter und kontrollieren das Training im SAR-Simulator. Aus diesem Grund gibt es weitere Anforderungen der DGzRS die ausschließlich den SAR-Simulator betreffen. Z.B. Einrichten mehrerer Sendekanäle, Nutzung von Touchpads und Erweiterung der Anzeigemöglichkeiten in den Schifffunkeinrichtungen.

#### 2.1.3 AP 1.3 Definition der Kopplungsschnittstellen

Die Kopplung der verschiedenen Simulatoren bedingt einen gemeinsamen Standard zum Datenaustausch. AVES und SAR-Simulator sind im Anwendungsfall sehr unterschiedlich und sind mit unterschiedlicher Soft- und Hardware ausgestattet. Da das DLR im Vorfeld keine Informationen zu möglichen Austauschformaten hatte, entschied es sich ein kommerzielles Produkt mit industriellem Standard zu beschaffen. Das Produkt VRLink der Firma MAK Technologies ist letztendlich ausgewählt worden. Das Produkt unterstützt die Standards Distributed Interactive Simulation (DIS) und High Level Architecture (HLA), die seit vielen Jahren zur Vernetzung von Simulatoren in Trainingsumgebungen eingesetzt werden.

Die Software wird als Bibliothek geliefert und kann in DLR-eigene Software eingebettet werden. Die Nutzung einer kommerziellen Software zur Datenübertragung ermöglicht die Minimierung des Aufwandes und Reduzierung zusätzlicher Entwicklungsarbeit auf DLR-seite. Gleichzeitig erweitert es die Fähigkeiten des AVES, zukünftige Projekte mit diesen Standards durchzuführen.

Die Infrastruktur zur Kopplung von AVES und SAR-Simulator ist in Abbildung 6 dargestellt.

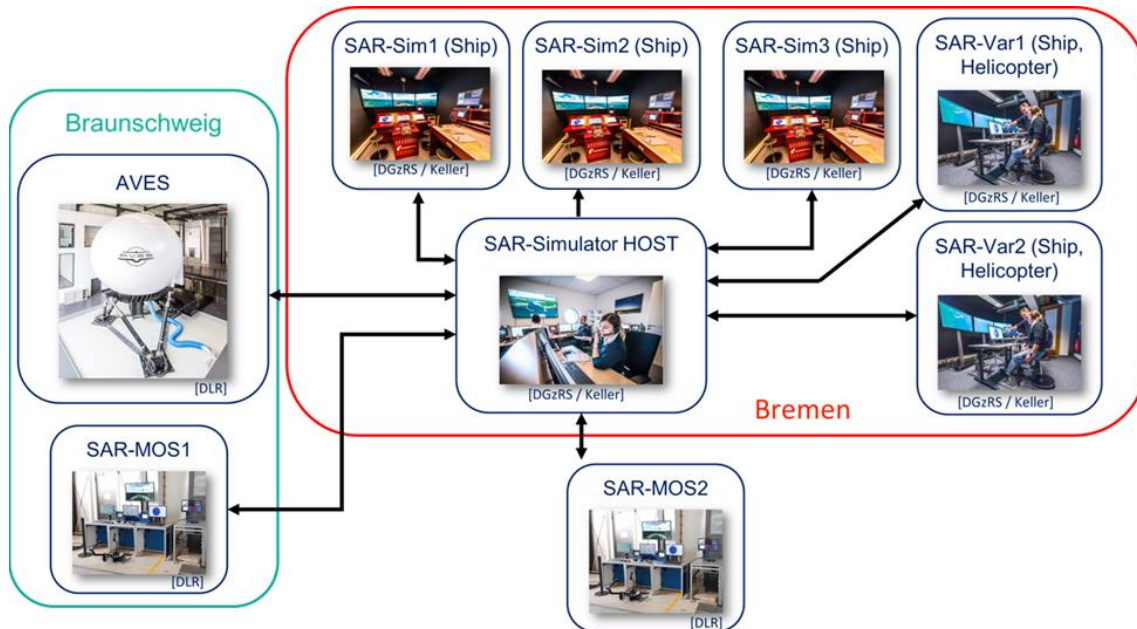


Abbildung 6: Übersicht Kopplung der Simulatoren

Für die Funkkommunikation (COMMS) wurde mit RME vereinbart DIS zu verwenden. Zu diesem Zweck fanden im August und September 2022 jeweils ein Workshop statt, um Kompetenzen in der Audioentwicklung aufzubauen und nötige Bestandteile für eine Schnittstelle zu erörtern.

Bei DIS handelt es sich um einen Datenaustauschstandard für die vernetzte Simulation. Es wurde im Rahmen des SIMNET Projektes in den 1980er von der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) [3] des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums entwickelt. In DIS werden Daten mittels Datenpaketen, sogenannten Protocol Data Units (PDUs), ausgetauscht. PDUs sind spezialisierte User Datagram Protocol (UDP)-Pakete, für die verschiedene Typen, je nach Zweck, definiert wurden. Für den Datenaustausch sind folgende PDU eingesetzt worden:

Schiffe und Luftfahrzeuge, bewegte Objekte

- Standard DIS-EntityPdu
- Zur eindeutigen Identifikation wird die Variable MarkingText genutzt

Winching

- ActionRequestPdu für das Winching-Kommando
- DataPdu für die Winching-Information

Umweltdarstellung

- DataPdu für alle Wetter- und Umweltinformationen

## Funkkommunikation

- Signal PDU für den Austausch der Audiosignale (COM-Daten).
- Transmitter PDU zum Austausch der Aktivstatus der Teilnehmer im Netzwerk.

Die Netzwerksicherheit wird durch die Verwendung eines VPN-Tunnels sichergestellt. RME schlug die Software tinc vor. Dieses freie Produkt ermöglicht eine sehr einfache Konfiguration von VPN-Verbindungen zwischen zwei Netzwerken durch das Internet.

### 2.1.4 AP 1.4 Definition des Schulungs- und Bewertungskonzeptes

Das DLR hat in diesem Arbeitspaket die Partner bei dem Entwurf des Interviewleitfadens und bei der Auswertung des Interviews hinsichtlich der technischen Anforderungen unterstützt. Ebenfalls hat das DLR bei dem Workshop für die Erstellung von Trainingskonzepten im Oktober teilgenommen.

Für das Interview sind ebenfalls spezifische Fragen an die Piloten ausgearbeitet worden. Auf folgende Punkte wurde im Interview eingegangen [4]:

- 1) Briefing
- 2) Debriefing
- 3) Herausforderungen im Einsatz
- 4) Verständnis für das technische Setup eines Hubschraubersimulators
- 5) Beschreibung des Winch-Verfahrens

Es sind Fragen zum Briefing und Debriefing gestellt worden, um ein Verständnis über den Informationsgehalt und Informationsaustausch von Rettungseinsätzen zu erhalten. Ebenfalls um einen Eindruck zu bekommen, welche Aspekte in einem Briefing bzw. Debriefing wichtig sind. Des Weiteren sind Fragen zu Herausforderungen im Einsatz gestellt worden, um mögliche wichtige Schulungsthemen herauszuarbeiten, die Teil des AMARIS Trainingskonzeptes beinhalten soll. Anschließend sind Fragen zu den benötigten technischen Systemen in einem Hubschrauber Simulation gestellt worden. Hierbei ging es darum ein Verständnis zu erhalten, welche Systeme essentiell sind, um einen Einsatz mit seegehenden und fliegenden Einheiten zu simulieren. Abschließend ging es bei dem Interview noch um das Winch-Verfahren. Dabei sind Informationen zum Ablauf, der Funktionen des jeweiligen Crewmitgliedes, aber auch welche Systeme/Funktionalitäten dafür notwendig sind, erfragt worden.

Bei dem Workshop ging es darum, die Lernziele des AMARIS Trainings herauszuarbeiten. Hierfür wurden Leit-, Grob und Feinziele definiert und anhand dessen die Schulungsinhalte daraus abgeleitet. Auf Basis des Workshops ist das AMARIS Schulungskonzept [4] entstanden.

Ebenfalls sind Trainingsszenarien mit unterschiedlicher Komplexität basierend auf dem AMARIS Schulungskonzeptes herausgearbeitet worden. Das Training ist somit folgendermaßen aufgebaut worden:

- 1) Simulator Einweisung und Eingewöhnungsphase mit den technischen Systemen
- 2) „Warm-Up“ Übung:  
In dieser Übung starten die Schiffe und der Hubschrauber zu einem gemeinsamen Training in ein Übungsgebiet. Hier wird zum ersten Mal eine gemeinsame Winch-Ex trainiert.
- 3) Kollision eines Motorbootes mit einem Fischkutter:  
In dieser Übung ist es zu einer Kollision zweier Boote gekommen. Es wird ein Notruf abgesetzt. Für die Such- und Rettungsmissionen werden die Seenotretter und Hubschrauber angefordert.
- 4) Kollision mit dem Fahrgastschiff Fair Lady:  
Es wird eine Mayday Relay via Channel 16 ausgestrahlt, dass es zu einer Kollision mit einem Fahrgastschiff gekommen ist. Maritime Rescue Coordinator bestimmt einen On-Scene-Coordinator, der die Koordination des Einsatzes übernimmt.

Die Komplexität steigert sich nach und nach im AMARIS Training. Hauptziel ist das Training der Kommunikation zwischen den Besatzungen, aber auch innerhalb der seegehenden und fliegenden Einheiten.

Die Trainingsszenarien sind maßgebend für die Ableitung der Anforderungen für die Simulationsumgebung.

Zur Einführung fortschrittlicher Analysewerkzeuge wurde ein Messsystem der Firma NOLDUS beschafft. Hiermit können die Herzfrequenzen der Probanden gemessen und somit Rückschlüsse auf die Arbeitsbelastung der Probanden während der Trainingsmission gezogen werden.

## **2.2 HAP 2 Modifikation & Erweiterung**

### **2.2.1 AP 2.1 Hubschraubersimulation im SAR-Simulator**

Zur Verbesserung der Immersion für den Hubschrauberpiloten und somit des Trainings im SAR-Simulator sollte die Hubschraubersimulation modifiziert, bzw. erweitert werden. Die Anforderungen an die Hubschraubersimulation für den SAR-Simulator sind in die Spezifikation für den UAN RME [2] eingegangen. Das DLR ist hier in beratender Funktion für die DGzRS aufgetreten und hat die technischen Anforderungen erstellt. Durch die Befragung von Helikopterbesatzungen im Vorfeld, konnten auch Anforderungen an eine Simulationsumgebung im SAR-Simulator abgeleitet werden.

Im SAR-Simulator steuert die Helikopterbesatzung einen virtuellen Helikopter, mit der Dynamik eines Schiffes. Die Steuereingaben erfolgen über einfache Controls, ohne realistische Kraftrückkopplung. Angebunden ist diese an eine bestehende modular umbaubare Schiffskabine. Sichtsimulation und Kommunikation sind dadurch bereits vorhanden. Um eine Helikopterstation zu erstellen, müssen wenige Prozesse in der Simulationssoftware neu gestartet werden. Durch diese einfache Umstellung einer Schiffskabine zur Hubschrauberstation, lag der Fokus bei der Optimierung des Human Machine Interfaces (HMI). Hierfür wurde ein AMARIS Design-Konzept für eine Pilotenstation erstellt (siehe Abbildung 3). Neben den Anforderungen an die Pilotenstation sind ebenfalls Anforderungen bezüglich eines flugmechanischen Modells und einer realistischen Darstellung von Hubschrauberdisplays erstellt worden. Grundlage für die Erweiterung waren auch die Erfahrungen in der Simulationstechnik beim DLR und des jahreslangen Betriebs von Flugsimulatoren.

Nach Prüfung der Anforderungen seitens RME, wurden aufgrund des begrenzten Budgets nur wenige Anforderungen umgesetzt. Die Beauftragung von RME enthielt keine Modifikation des flugmechanischen Modells und auch keine Flugregler für die Hubschrauberkonfiguration des SAR-Simulators. Die Hubschrauberkonfiguration im SAR-Simulator wurde jedoch von RME dahin optimiert, dass Cockpitanzeigen, wie z.B. die Tankanzeige und eine Leistungsanzeige modifiziert dargestellt werden (siehe Abbildung 7). Zudem wurden das Einfahren und Ausfahren eines Seils über eine Winch-Funktion realisiert, die über die Steuerorgane des Piloten gesteuert oder über die Kontrollsoftware von RME ein- und ausgefahren werden kann.



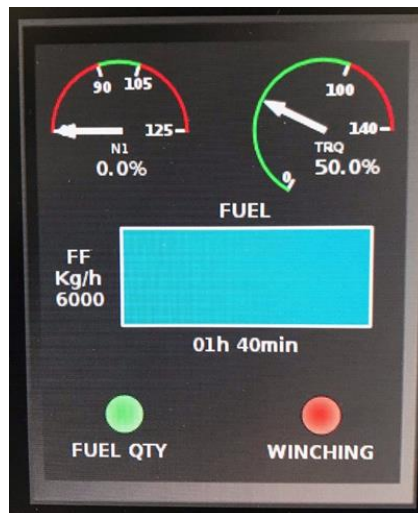


Abbildung 7: Erweiterte Cockpitanzeige

Folgende Erweiterung der Anzeigen wurden implementiert:

- Leistung (Torque)
- Tankfüllung
- Warnung bei niedrigem Tankfüllstand
- Windenoperation aktiv

Darüber hinaus wurde die interne Simulationssoftware erweitert, um die Winching-Manöver korrekt in der Visualisierung darzustellen.

Neben der Verbesserung der Hubschrauberstation, musste auch die Kopplung zum DLR-Simulator implementiert werden. Die entsprechenden Fähigkeiten des SAR-Simulators lagen bereits aus anderen Projekten vor. RME hat entsprechend der Schnittstellendefinition, in Absprache mit dem DLR die datentechnische Kopplung realisiert.

### 2.2.2 AP 2.2 Sichtdarstellung (inkl. Verkehrslage)

Für das Trainingsszenario müssen definierte Schiffe, Helikopter, andere Objekte und eine definierte Datenbasis der Landmasse generiert werden. Der Abgleich der 3D-Modelle und Szenarien ist für eine gemeinsame Simulation essentiell. Da der SAR-Simulator eine nicht ohne weiteres erweiterbare Visualisierung hat, wurde sich in diesem AP auf die Aufnahme der vorhandenen Features und der Abgleich mit dem DLR-Simulator fokussiert. Ein direkter Austausch der 3D-Modelle ist aufgrund des proprietären SAR-Simulators nicht ohne weiteres möglich und hing von der Beauftragung von RME ab.

### 3D-Geländedatenbasis

Es wurden verschiedene Trainingsszenarien für unterschiedliche Schadenslagen definiert für deren äquivalente Darstellung in beiden Simulatoren in Braunschweig und in Bremen sowohl die 3D Modelle, als auch die Datenbasis homogenisiert wurden. Als Trainings- und Übungsszenario ist die Deutsche Bucht ausgewählt worden. Eine entsprechende Datenbasis existierte für den AVES nicht und wurde neu erstellt.

Die Erstellung erfolgt mit dem kommerziellen Produkt Trian3DBuilder. Die Quelldaten sind Höheninformationen, Luftbilder, OpenStreetMap-Daten und 3D-Modelle generiert mit dem 3DStudioMax 2012. Abbildung 8 zeigt den Train3DBuilder mit dem Projekt Deutsche Bucht.

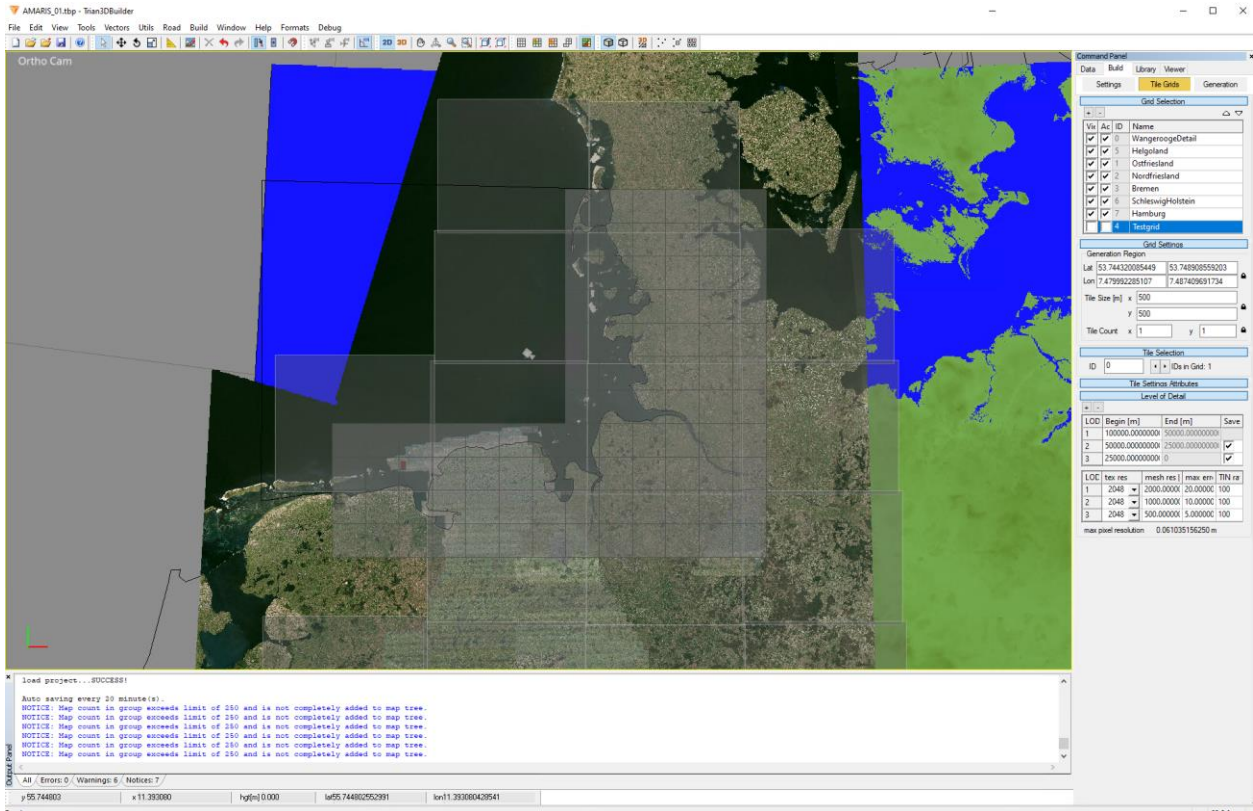


Abbildung 8: Projekt Deutsche Bucht im Trian3DBuilder

Die Datenbasis wird als so genannte PagedLOD-Datenbasis erstellt, in der einzelne Kacheln höhere Auflösungen haben und bei Bedarf von der Festplatte nachgeladen werden können. Auf diesem Wege ist es möglich eine einzige virtuelle Welt als Grundlage für die verschiedenen AMARIS-Szenarien zu erzeugen. Die Simulation der Wasseroberfläche geschieht mit der Software AVESViewer. Eine DLR-eigene Entwicklung, die auf OpenGL basiert und in allen AVES-Simulatoren zum Einsatz kommt. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt des erzeugten Gebietes. Die Datenbasis kann direkt im Hubschraubersimulator genutzt werden.



Abbildung 9: Generierte Datenbasis im Trian3DBuilder

## Bewegliche Objekte

Alle Objekte die dynamischen Daten verwenden und ihre Position verändern können, werden in der Regel durch ein 3D-Modell dargestellt. Dies sind alle Schiffe, Luftfahrzeuge oder sonstige Objekte, z.B. Bojen. Die Nutzung der exakt gleichen Objektgeometrien ist für eine gekoppelte Simulation enorm wichtig, da die visuelle Darstellung einen direkten Effekt auf die Interaktion der Teilnehmer hat. Das Lastabsetzen auf einem Schiff muss in beiden Simulatoren gleich aussehen und führt sonst zu einer Verminderung der Immersion. Da der SAR-Simulator bereits vollständig mit maritimen Objekten ausgestattet ist, wurden die Objekte im Rahmen einer Lizenzvereinbarung mit RME ausgetauscht. Eine direkte Nutzung war aufgrund des proprietären Datenformates nicht möglich. Es wurde eine Werkzeugkette zur Konvertierung aufgebaut. RME konvertierte die Modelle in das verbreitete OpenFlight-Format (.flt). Daraus konnte im AVES ein passendes Binärformat (.ive) mit Koordinatentransformation und erneuter Texturzuweisung erzeugt werden.

Die Ansteuerung der Objekte im AVES erfolgt durch den Datenaustausch mit dem SAR-Simulator. Die Zuordnung der Daten zu spezifischen Objekten, und des Winchings erfolgt über die MMSI und spezielle DIS-Datenpakete. Die von der DGzRS generierten Szenariodateien wurden beim DLR softwareseitig übersetzt und stellen somit eine gleichwertige Sichtdarstellung sicher. Abbildung 10 zeigt einen Blick in den Projektionsdome des Hubschraubersimulators mit der generierten Szenerie und den beweglichen Objekten in der Elbemündung bei Cuxhaven.



Abbildung 10: Blick auf das Szenario in Cuxhaven

### 2.2.3 AP 2.3 COMMS-Schnittelle

Da aufseiten des DLR sowohl für die Kommunikation noch keine Lösung vorhanden war als auch die Expertise fehlte, liegt der Fokus in diesem AP zum einen darauf, entsprechende Kompetenzen aufzubauen und zum anderen ein Programm zu konzipieren, mit dem die COMMS zwischen der DGzRS in Bremen und dem DLR in Braunschweig ermöglicht wird. In 2022 wurden zu diesem Zweck zwei Workshops, wie bereits im Abschnitt 2.1.4 erwähnt, mit bereits erfahrenen Mitarbeitern von RME durchgeführt.

Gegenstand war die Erläuterung der RME Lösung für die Kommunikation und die Realisierbarkeit des Austausches von Daten über DIS. Ab dem zweiten Workshop wurde von RME eine Test-Hardware für die COMMS dem DLR bereitgestellt, auf der eine Testapplikation der RME Software installiert war. Die DIS Schnittstelle gibt vor, dass folgende Daten für die COMMS über das Netzwerk versendet werden müssen (es existieren weitere optionale Datenfelder, jedoch werden in diesem Dokument nur die für das Projekt relevanten aufgelistet):

Bezeichnung	Beschreibung
Identifikationsnummer	Eine eindeutig vergebene Nummer, zum Identifizieren eines Funkgerätes.
Frequenz	Für die Schifffahrt wurde das UKW-Frequenzspektrum gewählt.
Aktivstatus	1. ausgeschaltet 2. Eingeschaltet ohne Sprechintention 3. Eingeschaltet mit Sprechintention
Codec	$\mu$ -Law
Abtastrate	8000 Hz
COM-Daten	Aufgenommene Sprache als Characters ohne Vorzeichen formatiert, 1 Byte Datentyp
Sample-Länge	Die Anzahl der Character

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der für das Projekt relevanten Datenfelder.

Anzumerken sei, dass gemäß des DIS Standards diese Datenfelder mit Inhalten gefüllt werden müssen. Für das Projekt wurde folgendes festgelegt: Um Konflikte bei der Vergabe der Identifikationsnummer zu vermeiden, würden alle funkende Einheiten in Bremen den Zahlenpool von 0 bis 100 verwenden und die Funkgeräte des DLR bekamen die Identifikationsnummern für den Pilot 301, für den Copilot 302 und für den Winch-Operator und den Instructor Operator Station (IOS) 303.

Da sich das Projekt um Seenotrettung handelt, musste das Frequenzspektrum des mobilen Seefunkdienst für Ultrakurzwelle verwendet werden. Eine Frequenz wird als Hertz (Hz) in das Datenpaket geschrieben.

Für den Codec wurde vereinbart, dass  $\mu$ -Law [5] verwendet werden sollte. Der Grund dafür war, dass COM-Daten normalerweise mit 2 Byte Integer aufgenommen werden. Mit  $\mu$ -Law werden diese auf Character ohne Vorzeichen formatiert, bei der von einem 2 Byte Datentyp auf einen 1 Byte Datentyp komprimiert wird, wobei der Dynamikumfang des Tons größtenteils erhalten bleibt. Als Vorgabe des  $\mu$ -Law Algorithmus muss die Abtastrate 8000 Hz betragen. Die Sample-Länge gibt die Menge der Character (Datenteile im Sample mit einer Größe von einem Byte) im Sample an (typischerweise 128 bei 8000 Hz).

Der Aktivstatus kennt drei Zustände. Erstens, ein Funkgerät ist ausgeschaltet. Zweitens, ein Funkgerät ist eingeschaltet, aber es besteht keine Sprechintention (ein Push-to-Talk Taster wird nicht gehalten). Drittens, ein Funkgerät ist eingeschaltet und es besteht eine Sprechintention.

Diese Daten werden mit DIS über zwei PDU-Typen im Netzwerk verteilt. Transmitter PDUs übertragen mit der Identifikationsnummer auch den Aktivstatus und werden während der gesamten Laufzeit der Simulation im Abstand von wenigen Millisekunden gesendet. Damit können Empfänger im Netzwerk Aktionen eindeutig mit dem entsprechenden Funkgerät verknüpfen. Signal PDUs werden ausschließlich versendet, wenn ein Push-to-Talk Taster gehalten wird und sich damit der Aktivstatus auf

Sprechintention ändert. Diese Pakete senden die über ein Mikrofon aufgenommenen Samples, die Identifikationsnummer und die restlichen oben genannten Einträge der Schnittstelle.

Während RME den SAR-Simulator mit ihrer Kommunikationssoftware angepasst haben um den Funkverkehr über DIS zu gewährleisten, hat die Arbeitsgruppe im DLR eine eigene Lösung implementiert. Dafür wurde, wie im AP 1.3 bereits erwähnt, VRLink von MAK Technologies gekauft.

Für die Verarbeitung der COM-Daten wurde außerdem die Software-Bibliothek PortAudio beschafft. PortAudio ist ein frei erhältliches Open Source Projekt, das für mehrere Plattformen (Windows, Mac OS und Linux) verfügbar ist. Es bildet eine Abstraktionsschicht zu den COM-Schnittstellen (Lautsprecher und Mikrofon).

Die beiden Bibliotheken wurden mit 2Simulate für die Entwicklung des Programms TsimRadio verwendet. 2Simulate ist ein Framework für Echtzeitentwicklung, das von der DLR Arbeitsgruppe in Braunschweig entwickelt wird [6]. TsimRadio fungiert als Emulator für die Funkgeräte. Über das Programm wurden drei Funkgeräte definiert. Jeweils für den Piloten, den Copiloten und bei der IOS. Das Programm wurde auf einem Kopplungsrechner installiert. Auf dem Kopplungsrechner wurde eine VPN-Verbindung mit tinc, zum Simulator des DGzRS aufgebaut.

Im Cockpit wurde mithilfe einer Audio-Matrix und Dante drei virtuelle COM-Schnittstellen eingerichtet, die von TsimRadio angesprochen werden konnten.

Eine Audio Matrix funktioniert als Switch, wobei eine Anzahl von Inputs zu einer Anzahl von Outputs umgeleitet werden. Wenn die Inputs die y-Achse darstellen und die Outputs die x-Achse, bilden diese eine Matrix.

Dante ist ein Netzwerkprotokoll, mit dem COM-Daten digital über ein Netzwerk von einer Hardwarekomponente zu einer anderen ohne Komprimierung transportiert werden können. Mit Dante können mehrere getrennte Kanäle angelegt werden. Somit werden virtuelle Audioschnittstellen geschaffen. Die DLR Arbeitsgruppe hat sich entschieden, Dante zu verwenden, da ansonsten lange Kabel vom Cockpit hin zum Kopplungsrechner gelegt werden müsste. Man hätte wahrscheinlich eine höhere Latenz als mit Dante. Folgende Abbildung 11 zeigt den schematischen Aufbau der COMMS aus Sicht des DLR.

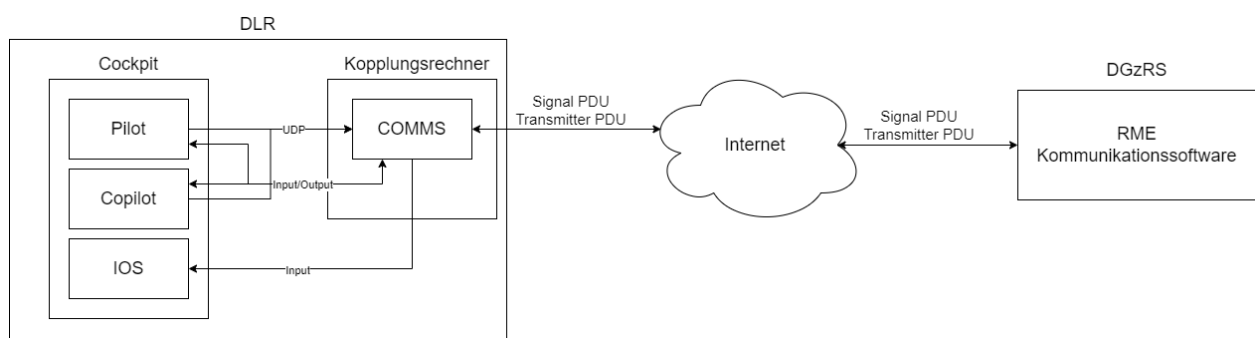


Abbildung 11: Schematischer Aufbau der COMMS aus Sicht des DLR.

Zwei Schnittstellen wurden für den Piloten und den Copiloten festgelegt, die sowohl zum Hören als auch zum Sprechen verwendet werden konnten. Beide Piloten konnten individuell einen Kanal einstellen und mit dem Halten eines Push-to-Talk Tasters sprechen. Die dritte Schnittstelle leitete die COM-Daten auf die Ausgänge der IOS und des Winch-Operators weiter. Über die IOS konnte für beide ein Kanal eingestellt werden. Ein Kanal war auf eine UKW-Frequenz gemappt.

#### 2.2.4 AP 2.4 Umweltparameter

Neben der identisch aussehenden virtuellen Umgebung, müssen ebenfalls die Umweltparameter in beiden gekoppelten Simulatoren identisch sein. Die folgenden wichtigsten Parameter wurden im Vorfeld eruiert.

- Tageszeit
- Datum
- Sichtweite über Nebel
- Wellenrichtung
- Wellenhöhe nach Douglas-SeaScale

Die einstellbaren Umweltparameter auf Seiten des SAR-Simulators wurden durch Simulator-Runs in der Mobile Simulation Station (MOS) eruiert. Bis auf wenige Ausnahmen, kann im AVES alles entsprechend gleichwertig eingestellt werden. Der SAR hat ebenfalls eine Oberfläche zur Einstellung der Umweltparameter. Der Fokus dieser Einstellungen liegt auf der Schiffsimulation. So spielen beispielsweise der Tidenhub oder die Meeresströmung eine große Rolle.

Die einzustellende Information wird in einer Textdatei auf dem HOST-Rechner abgelegt. In einer ersten Version wurde dieses Text-Format zum Austausch der Umweltparameter genutzt. Dies war für erste Tests ausreichend.

AVES nutzt seine eigene Visualisierungssoftware (AVESViewer) und bietet ebenfalls diverse Steuerungsmöglichkeiten. Das externe Kontrollprogramm AVESVisualControl, siehe Abbildung 12, ermöglicht die Kontrolle relevanter Umweltparameter für die Flugsimulation zur Laufzeit.

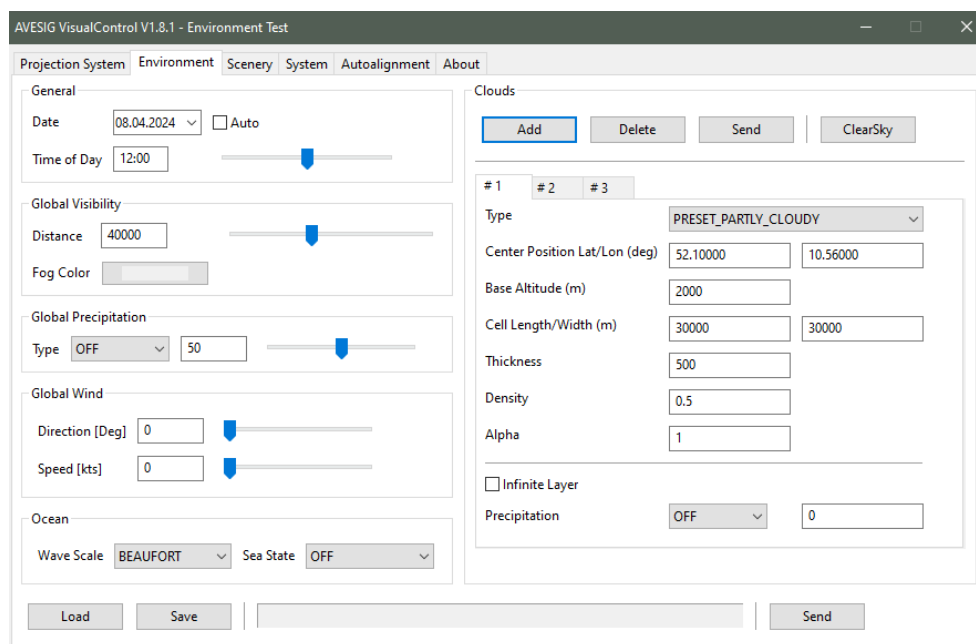


Abbildung 12: Environment-Tab des AVESVisualControl

Die für die beiden Trainingsszenarien wichtigen Umweltparameter wurden definiert und ein Konzept zum netzwerkbasieren Abgleich gemäß AP 1.2 wurde entwickelt. Dabei werden die relevanten Parameter des SAR-Simulators automatisch in die Sichtsimulation übernommen. Das entsprechende Datenpaket ist nach dem DIS-Standard eine DataPDU, die mit einer vorab definierten Identifikationsnummer erkennbar ist.

## 2.2.5 AP 2.5 Assistenzsystem (Winde)

Die Modellierung der Außenlastdynamik im AVES Simulator sowie die Zustandslogik wurden für das AMARIS-Einsatzszenario weiterentwickelt und umfassen:

- Abwerfen der Außenlast („Load Release System“) – Dieses System ist für Notfallsituationen konzipiert und ermöglicht es dem Hubschrauberpiloten, die externe Last, schnell freizugeben.
- Aussetzen und Einholen der Last in und aus dem Hubschrauber – Änderung der Gewichtsverteilung zwischen „Last an Bord“ und „Last am Seil“ welches in der Simulationsdynamik berücksichtigt wird. Das Ziel ist die Erhöhung der Simulationsgüte z.B. durch den spürbaren „Ruck“ beim Aussetzen der Last.

Weiterhin wurden Funktionen von Assistenzsystemen für die Laststabilisierung und Positionierung in Hubschraubern [7] weiterentwickelt und evaluiert. Ziel war es, den spezifischen Anforderungen in Großschadenslagen gerecht zu werden. Die spezifische Konfiguration des Systems wurde durch eine umfassende Vorab-Bewertung verschiedener Flugregelungsmodi sowie durch die Analyse der Interaktionsmöglichkeiten der Crew mit dem System und der Darstellung von missionsrelevanten Informationen festgelegt.

Der ausgewählte und integrierte „Hover Hold“ Modus hält bei Aktivierung die aktuelle Position der Außenlast und ermöglicht es der Crew anschließend, die Sollposition der Außenlast manuell in präzisen 0,5-Meter-Schritten anzupassen. Diese Feineinstellung erfolgt entweder über einen 4-Wege-Schalter am zyklischen Steuer des Piloten, oder über einen 4-Wege-Schalter am Winchdevice welches vom Windenoperator bedient werden kann und eine flexible und präzise Kontrolle der Lastposition ermöglicht (Abbildung 13). Der Hubschrauber reagiert automatisch mit Positionsänderungen der Zelle, um die gewünschte Lastposition zu erreichen, während gleichzeitig Lastschwingungen effektiv gedämpft werden.



Abbildung 13: HMI Schnittstellen zur manuellen Positions Vorgabe der Außenlastposition: 1. Zyklisches Steuer des Piloten, 2. Winchdevice des Windenoperators

Wichtige Informationen, wie Sollpositionsvorgaben, die tatsächliche Position der Last, Pendelwinkel und Systemzustand werden dem Piloten über ein Heads-down-Display bereitgestellt (Abbildung 14).

Durch die Möglichkeit der Ansteuerung des Lastpositionierungssystems entweder durch den Piloten oder den Windenoperator, kann das System sowohl in der „Single Pilot“- als auch in der „Crew“-Konfiguration verwendet werden. Im „Single Pilot“-Fall interagiert der Pilot direkt mit dem Lastpositionierungssystem, während im „Crew“-Fall der Windenoperator über das Winchdevice mit dem System interagiert. Je nach Einsatzszenario müssen die einzelnen Crewmitglieder unterschiedliche Aufgaben erfüllen, und die Arbeitsbelastung kann starken Fluktuationen unterliegen. Die Flexibilität der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human-Machine Interface, HMI) des Lastpositionierungssystems gewährleistet eine hohe Anpassungsfähigkeit an verschiedene Einsatzszenarien durch die dynamische Umverteilung von Aufgaben und Arbeitsbelastung je nach Situation.

Um die Herausforderungen durch Simulationseinschränkungen zu überwinden, wurden zusätzliche Funktionen und Informationsliefernde Elemente integriert. Da die Außenlast in der AVES-Simulation auf der linken Seite des Hubschraubers platziert ist (während der Pilot in Command rechts sitzt), sorgt eine zusätzliche Außenlastkamera für visuelle Unterstützung des Piloten (Abbildung 14). Da der Windenoperator in der Simulation das Seil nicht stabilisieren kann, eine Aktion, die im echten Einsatz durch das Festhalten und Ausbalancieren des Kabels/Seils erfolgt, greift zur Kompensation dieses Simulator bedingten Defizits eine automatische, FCS-basierte Laststabilisierung ein, um entstehende Pendelbewegungen automatisch zu dämpfen.



Abbildung 14: Multifunktionsdisplay des Außenlastassistentensystems: Außenlastkamera (links oben), Primary Flight Display (rechts oben), Lastpositionierungsdisplay (unten)

## 2.2.6 AP 2.6 Trainingsszenario & -bewertung

Die Trainingsszenarios sind entsprechend weiter detailliert ausgearbeitet worden um auch die Anforderungen für die zu simulierenden Objekte und Szenarien im AVES abzuleiten. Zum einen wurde identifiziert, welche Objekte und beispielweise Wetterlagen in dem Trainingsszenario benötigt werden als auch die Systeme identifiziert, welche Systeme die Crew für solch eine Rettungsmission benötigen.



Beispiele für identifizierte Objekte für die Simulation (siehe Abbildung 15):

- Rettungsreifen
- Westen
- Rettungsinseln
- Menschen
- Schiffsfrack



Abbildung 15: Beispiele von Objekten in der Simulation

Beispiele für identifizierte Wetterlagen (siehe auch AP 1.2 Definition der Innovationsumgebung):

- klare Sicht
- Nebel mit einer Sichtweite von 800 m
- Wind (auch wichtig für die Darstellung der Wellen)

Beispiele für identifizierte Systeme für die Simulation:

- Funkgeräte
- Moving Map (Karte mit enthaltenen aktuellen Standorten von bspw. Schiffen)
- Winch-Device für den Hoist-Operator

Anschließend ist evaluiert worden, wie das Außenlastassistenzsystem in das Szenario integriert und auch evaluiert werden kann (siehe Arbeitspakete Assistenzsystem (Winde)).

## 2.3 HAP 3 Integration & Test

### 2.3.1 AP 3.1 Hubschraubersimulation im SAR Simulator

Da das DLR in beratender Tätigkeit aktiv war, wurden hier die durch RME entwickelten Features getestet und auf ihre Vollständigkeit geprüft. Die Mobile Operator Station 1 (MOS1) stand dem DLR seit Projektbeginn als Testsystem zur Verfügung. Sie ist vollständig im SAR-Simulator Netzwerk angebunden (siehe Abbildung 6) und wurde über Fernzugriffe auf den AMARIS Entwicklungsstand gebracht. Zusätzlich stand ein Test-Laptop von RME für die COMMS-Entwicklung und das Testen mit dem DLR zur Verfügung.

Die erfolgten Erweiterungen sind:

- Neues Pilotendisplay im SAR-Simulator
- Erweiterte Winching-Funktionalität und Darstellung

- Integration der Kopplungsschnittstellen über DIS
- Update der 3D-Modelle
- Erweiterung der COMMS-Schnittstelle

Um umfangreiche Tests im DLR zu ermöglichen wurde eine gesonderte Netzwerkinfrastruktur geschaffen. Abbildung 16 zeigt die Netzwerktopologie im DLR. Die Kopplung nach Bremen kann bei Bedarf zugeschaltet werden. Durch das private Netzwerk können die bestehenden IP-Adressen der Rechner weiterhin genutzt werden und mussten bei standortübergreifender Kopplung nicht geändert werden.

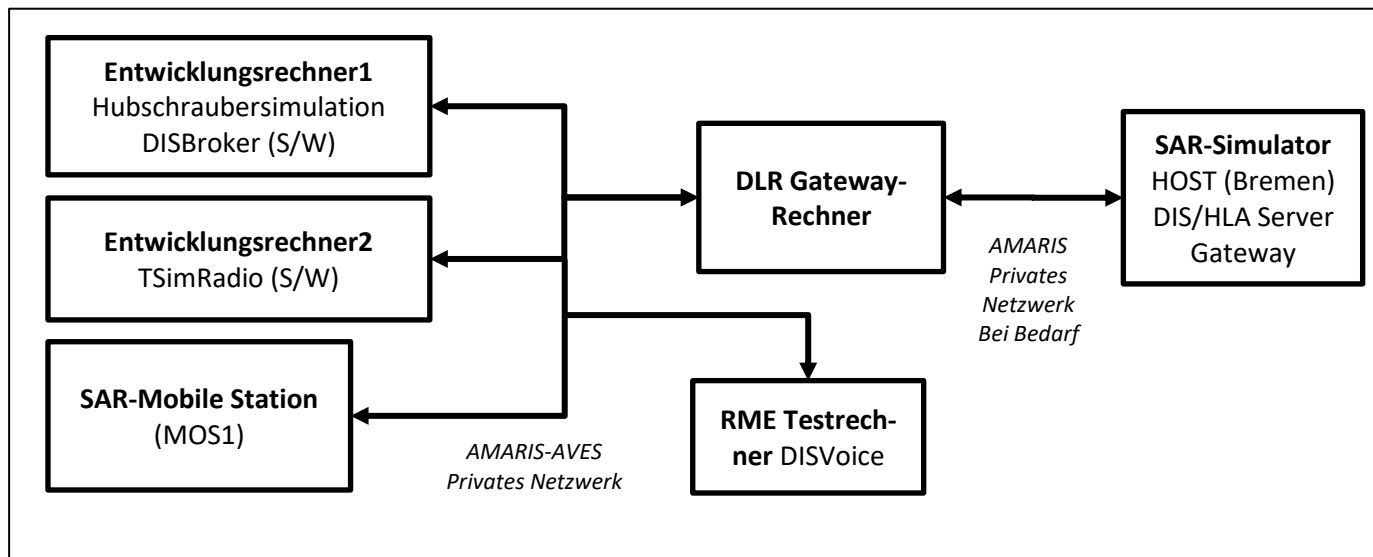


Abbildung 16: Netzwerkinfrastruktur der Testumgebung im DLR

Während Testmöglichkeiten auch ohne Gesamtsimulation und aktive Kopplung mit dem Bremer Simulator möglich waren, wurden auch umfangreiche Tests mit gekoppelten Systemen durchgeführt. Dabei wurden vor allem die COMMS-Erweiterungen und die Szenariendarstellungen überprüft.

### 2.3.2 AP 3.2 Sichtdarstellung (inkl. Verkehrslage)

Nach finaler Definition des Einsatzgebietes, Austausch und Modellierung der notwendigen 3D-Modelle und der Einrichtung der wiederholbaren Werkzeugketten, wurden die finalen Simulationsteile in die Gesamtsimulation des AVES EC135 Hubschraubersimulators integriert. Auf Seiten der DGzRS wurden durch RME die neuen 3D-Modelle auf den SAR-Simulator gebracht und getestet. Das DLR hatte dort keine Arbeitsanteile.

Die Integration in den AVES gliedert sich in die Installation der Datenbasis und 3D-Modelle und die Konfiguration der entsprechenden Softwaresysteme. Hauptsächlich sind hier der AVESViewer, Software zur Darstellung der virtuellen Welt im Projektionssystem, und das VisualControl zu nennen. Die Konfiguration aller Szenarien erfolgt im AVES SDK [8]. Das AVES SDK stellt als allgemeine Konfigurationsumgebung des gesamten AVES den zentralen Ablageort aller Startskripte und Simulatoreinstellungen.

#### 3D-Geländedatenbasis

Die neue Datenbasis „Deutsche Bucht“ wurde auf die Rechner, jeweils neun pro Projektionssystem und eine Instanz auf dem IOS-Rechner, zu Sichtdarstellung kopiert. Die Sichtsysteme im AVES

verfolgen eine Low-Latency-Strategie. D.h. die Ladezeit der Daten von der Festplatte in den Arbeitsspeicher und die Grafikkarte ist so gering wie möglich zu halten. Im Gegensatz zu den beweglichen Objekten, die auf einem Netzwerk-Laufwerk zentral abgelegt sind, muss für die Geländedatenbasis etwas mehr Aufwand betrieben werden, da die Ladezeiten über das Netzwerk sonst zu groß werden.

Anschließend wurden neue Konfigurationen für die Durchführung der Versuche erstellt. Dabei sind ein Eingewöhnungs- und zwei Trainingszenarien entstanden. Alle Szenarien nutzen die gleiche Datenbasis. Es werden nur unterschiedliche bewegliche Objekte genutzt.

### Bewegliche Objekte

Die beweglichen Objekte sind nach Konvertierung und visuellem Test auf dem zentralen Netzlaufwerk für Szenariendaten des AVES abgelegt worden. Das schließt die bestehenden 3D-Modell des DLR und die durch AMARIS generierten ein. Dadurch sind automatisch alle Modelle auf allen für die Sichtdarstellung notwendigen Rechnern verfügbar. Die Konfiguration für die spezifischen Szenarien erfolgt durch automatische Skriptgenerierung aus den Szenariendateien des SAR-Simulators. Dort wird jedem definierten Objekt eine passende Repräsentation und eindeutige Identifikationsnummer für den AVES zugeordnet. Abbildung 17 zeigt ein Schiff der Seenotretter beim Auslaufen aus dem Hafen.

Für die Ansteuerung der verschiedenen Modelle, sowie dem Versenden der relevanten Daten des AVES Hubschraubers wurde die Software DIS Databroker entwickelt. Sie verwendet das VRLink Toolkit. Der DIS Databroker empfängt hierbei eindeutige Positions- und Lagedaten der zu simulierenden Schiffs- und Luftverkehrsteilnehmer und schickt diese zur Darstellung direkt an die Sichtsimulation weiter.



Abbildung 17: Angesteuertes SAR-Schiff in der AVES Sichtsimulation

### 2.3.3 AP 3.3 COMMS-Schnittstelle

Im AP 2.3 wurde die Konzipierung von TSimRadio vorgestellt. Dafür wurden zwei Software Bibliotheken beschafft (VRLink und PortAudio). Diese wurden mit 2Simulate (im DLR entwickelt) verwendet um das Programm zu implementieren. Um die Interoperabilität zwischen Bremen und Braunschweig zu gewährleisten, wurde vereinbart, dass die COMMS über DIS ausgetauscht wird.

Bei der Integration wurde TSimRadio auf einem Kopplungsrechner installiert. Auf diesem Rechner wurde ein VPN-Tunnel mit tinc zur DGzRS aufgebaut. Mit TSimRadio wurden Transmitter PDUs und Signal PDUs versendet und empfangen. Zum Cockpit hin bestanden zwei Verbindungen. Zum einem empfing TSimRadio UDP-Pakete, die die Aktivstatus sowie die eingestellten Kanäle enthielten. Diese wurden dann in PDU-Pakete geschrieben. Die andere Verbindung wurde hergestellt, indem ein Dante-Netzwerk über eine Audio-Matrix etabliert wurde. Damit wurden über Netzwerk virtuelle COM-Schnittstellen (virtuelle Schnittstellen für Mikrofon und Lautsprecher) eingerichtet, die von TSimRadio bedient werden konnten. Im Cockpit wurden für Pilot, Copilot, Winch-Operator und IOS je ein Headset bereitgestellt. Die Piloten hatten Bedienelemente zur Verfügung um Kanäle entsprechend den vorher definierten Kanallisten wechseln zu können. Der Push-to-Talk Taster befand sich am Steuerstick. Der Winch-Operator hatte keine Möglichkeit, einen Kanal einzustellen. Aus diesem Grund teilte er sich den COM-Output mit der IOS, von wo Kanäle einstellbar waren.

COM-Daten wurden mit einer Abtastrate von 44100 Hz aufgenommen und anschließend auf 8000 Hz herunter gesampelt und mit  $\mu$ -Law kodiert. Empfangene COM-Daten kamen ebenfalls mit  $\mu$ -Law kodiert an und wurden nicht von 8000 Hz auf 44100 Hz hoch gesampelt, sondern direkt auf die Lautsprecher abgespielt, da sich die Qualität mit dieser Abtastrate für Wiedergabe als hinreichend erwiesen hatte.

Für die Gesamtintegration des Systems spielten Tests der COMMS eine übergeordnete Rolle, da zum einen aufgrund der Neuentwicklung der COMMS eine Abstimmung zwischen den beiden Systemen in Bremen und Braunschweig notwendig war. Es kam erschwerend hinzu, dass für gemeinsame Integrationstests Termine gefunden werden mussten, bei denen die Simulatoren auf beiden Seiten zu Verfügung standen. Das beschränkte spürbar die Handlungsmöglichkeiten. Zum anderen traten beim Testen hörbare Artefakte in der Wiedergabe in Braunschweig auf. Dies drückte sich darin aus, dass beim Funkverkehr kleinere und größere Sprachfetzen nicht hörbar waren. Datenpakete wurden teilweise nicht von Bremen nach Braunschweig gesendet. Dadurch hatte der Bedarf an Tests der COMMS deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen.

Es hat sich herausgestellt, dass die in Bremen verwendete Hardware veraltet war. Es wurde sichtbar, dass an den CPUs eine hohe Last anlag und periodisch das Versenden von Daten nach Braunschweig blockiert war. Das Problem wurde damit beholfen, dass die Kollegen von RME Optimierungsmaßnahmen ergriffen, indem die Last auf den CPUs gradliniger aufgeteilt wurde.

### 2.3.4 AP 3.4 Umweltparameter

Durch die Simulatorkopplung und die Entwicklung des Datenaustauschprogramms DISDataBroker, ist es einfach möglich Umweltparameter innerhalb des Netzwerkes auszutauschen. Da AVES in AMARIS als Teilnehmer der Simulation agiert und in Bremen der HOST angesiedelt ist, übernimmt die AVES Simulation die gesendeten Parameter automatisch. Die Aktivierung dieses Verfahrens kann mit der Instructor Operator Station (IOS) in der Operatorkabine des Hubschraubersimulators aktiviert und deaktiviert werden. Dies ermöglicht eine Einstellung der Umweltbedingungen auch ohne Kopplung. Zusätzlich werden der Kopplungsstatus und die gesendete Tageszeit des Szenarios in der IOS angezeigt.

Das im DISDataBroker ausgewertete Datenpaket enthält mehr Informationen über die aktuellen Umweltbedingungen als die Simulation im AVES verarbeiten kann. Beispielsweise wird der Tidenhub nicht ausgewertet, da die Datenbasis keinen Meeresboden enthält und somit keine Darstellung des Wattenmeeres bei Ebbe ermöglicht. Dies war jedoch nicht problematisch, da die fliegerische Aufgabe und das Windenmanöver im DLR-Simulator im Vordergrund standen.

Die finale Integration der neuen Features in den Simulator beschränkte sich auf die Erweiterung der IOS, um den DISDataBroker zu steuern und die Installation neuer Softwareversionen des AVESViewers und des AVEVisualControls.

Zum Test der Datenübermittlung und der visuellen Darstellung in Braunschweig, wurden zum einen das Datenpaket selbst geprüft. Dabei wurden in Bremen einzelne Parameter geändert und in Braunschweig überwacht. Parallel wurden die Daten telefonisch übermittelt und konnten instantan geprüft werden. Anschließend wurde die visuelle Darstellung und damit gleichzeitig die Datenübertragung vom Kopplungsrechner zur AVES Sichtsimulation im Simulator überprüft. Für den Test der visuellen Darstellung, war vor allem das Wasser- und Wellenbild wichtig. Hier zeigte sich, geprüft durch Videokonferenz, dass die verschiedenen Sichtsysteme unterschiedliche Darstellungen bei gleicher Windstärke haben. Da das Wellenbild für die Orientierung im Flug wichtig ist, wurde im AVES mit Hilfe einer Lookup-Tabelle die Darstellung angepasst.

### 2.3.5 AP 3.5 Assistenzsystem (Winde)

Im Rahmen der drei AMARIS-Trainings, die in Kooperation mit dem Simulationszentrum in Bremen durchgeführt wurden, wurden in einer Studie die Auswirkungen von Arbeitsbelastungen unter verschiedenen Umweltbedingungen und Crewkonfigurationen in zwei spezifischen Szenarien untersucht: zum einen in der Simulation einer Winch-Operation mit dem Tanker "King Darius" und zum anderen mit einem kleinen Seenotrettungsschiff.

Diese beiden Schiffe bieten der Crew sehr unterschiedliche Sichtreferenzen (Abbildung 18). Der Tanker, mit seinen komplexen Strukturen und einer Länge von ca. 300 Metern, bietet eine gute Umgebung zur optischen Einschätzung von Position und Geschwindigkeit durch den Piloten. Eine reichhaltige Sichtreferenzumgebung trägt im Allgemeinen zur einfacheren und präziseren Steuerung des Hubschraubers bei. Im Gegensatz dazu bietet das Seenotrettungsschiff nur eine Sichtreferenzumgebung mit geringem Informationsgehalt. Sobald der Hubschrauber sich über dem Schiff befindet, um den Winching-Vorgang durchzuführen, bleiben der Crew nur wenige optische Referenzen, um die korrekte Geschwindigkeit und relative Position einzuschätzen, was im Allgemeinen zu einer Erhöhung der Arbeitsbelastung führt.



Abbildung 18: Grafische Simulationsumgebung im AVES: Links - Tankerschip „King Darius“; Rechts - DGzRS Schiff

Die Untersuchungen fanden sowohl unter windstillen als auch unter turbulenten Windbedingungen statt. Die Turbulenzen wurden durch ein „Low-Altitude Dryden Turbulence Model“ simuliert und repräsentieren „moderate Turbulenzen“, die im Rahmen des Dryden-Modells für Windgeschwindigkeiten von 30 Knoten angenommen werden.

Die Crews wurden angewiesen, die Schiffe anzusteuern, eine Person am designierten Winching-Punkt abzusetzen und die Flugaufgabe durch Weiterfliegen durch einen sicheren Korridor zu beenden. Anschließend wurde die Arbeitsbelastung des Piloten mittels der Bedford Workload Rating Scale erfasst (Abbildung 20). Die gemittelten Ergebnisse sind in Abbildung 19 dargestellt.

Unter windstillen Bedingungen konnte ein Rückgang der Arbeitsbelastung durch den Einsatz des Lastpositions-Assistenzsystems festgestellt werden. Speziell für Anflüge auf das kleinere Schiff sank die Arbeitsbelastung von „*workload was tolerable*“ in den „*satisfactory without reduction*“-Bereich. Die niedrigste Arbeitsbelastungsbewertung wurde für den Einsatz des Assistenzsystems in der Crew-Konfiguration abgegeben – hier wird die Arbeitsbelastung für den Piloten gesenkt, indem die Feinpositionierung durch das Assistenzsystem und den Windenoperator mithilfe des Winching-Geräts übernommen wird. Allerdings ist der Unterschied zur Pilot-Only-Konfiguration (Pilot führt das Manöver vollständig alleine durch) überraschend gering. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Implementierung des Systems auch für Pilot-Only-Operationen unter den untersuchten Flugbedingungen zulässig ist.

Für turbulente Umweltbedingungen hatte der Unterschied zwischen den verfügbaren Sichtreferenzen durch die beiden Schiffsgrößen einen signifikanten Einfluss. Während die Präsenz von Turbulenzen wenig Einfluss auf die Bewertungen für die Anflüge auf den Tanker hatte, war der Einfluss auf die Arbeitsbelastung bei Anflügen auf das kleine Schiff umso größer. Die Piloten begründeten dies damit, dass die Einschätzung der eigenen Geschwindigkeit und Position relativ zum Schiff bei Turbulenzen von deutlich größerer Relevanz ist, da windinduzierte Positionsänderungen schnellstmöglich ausgeglichen werden müssen, um eine präzise Position über dem Schiff zu halten. Für die unassistierte und die Single-Pilot-Konfiguration war die Arbeitsbelastung im „*not tolerable*“-Bereich. Nur die Crew-Konfiguration unter Verwendung des Assistenzsystems wurde im *tolerablen* Bereich bewertet. Die Piloten beschrieben, dass in dieser Konfiguration der Pilot durch das Kinnfenster der Cockpits eine bessere (obwohl limitierte) Sicht speziell auf das Schiff hat - Die Aufgabenverteilung wurde dann so angepasst, dass die volle Arbeitslast des Piloten auf der Feststellung der eigenen Position relativ zum Schiff lag, und die Crew simultan angesprochen wurde, während der Windenoperator (mit stark limitierter Sicht) die Aufgabe der Interaktion mit dem Positionssystem übernahm.

Die zentralen Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von fortschrittlichen Automatisierungstechnologien und einer gut abgestimmten Teamdynamik für die Effizienz und Sicherheit von Rettungseinsätzen:

- Die Arbeitsbelastung konnte durch die Verwendung des automatischen Positionierungssystems reduziert werden.
- Die flexible HMI-Schnittstelle ermöglichte es der Crew, die Arbeitslasten dynamisch in Abhängigkeit von der Situation (vorhandene Sichtreferenzen, Umwelteinflüsse, andere Aufgaben) zu relokieren. Dieser Aspekt ist besonders in Phasen starker Arbeitsbelastung von Bedeutung.
- Die "Single Pilot"-Konfiguration verzeichnete bei Testpunkten mit ausreichender Sichtreferenz für den Piloten nur eine geringfügig höhere Arbeitsbelastung. Dieses Ergebnis motiviert zur weiteren Untersuchung zusätzlicher oder modifizierter Assistenzfunktionen, um die "Single Pilot"-Operation auch für Flugphasen mit stark limitierter Sichtreferenz zu ermöglichen.
- Die Konfiguration mit der niedrigsten Arbeitsbelastung war die Verwendung des Assistenzsystems in der Crew-Konfiguration. Dieses Setup ermöglichte es, dass Arbeitskapazitäten der Crew auf zusätzliche Aufgaben, wie beispielsweise Funkkommunikation oder die Navigation in der Nähe von Hindernissen, effizienter konzentriert werden konnten.
- Der Einfluss der Arbeitsbelastung auf gut geschulte und erfahrene Teams fiel geringer aus als ursprünglich angenommen. Dies deutet darauf hin, dass eine hohe Kompetenz und eingespielte Zusammenarbeit wesentliche Faktoren sind, um den Stress in kritischen Situationen zu minimieren.

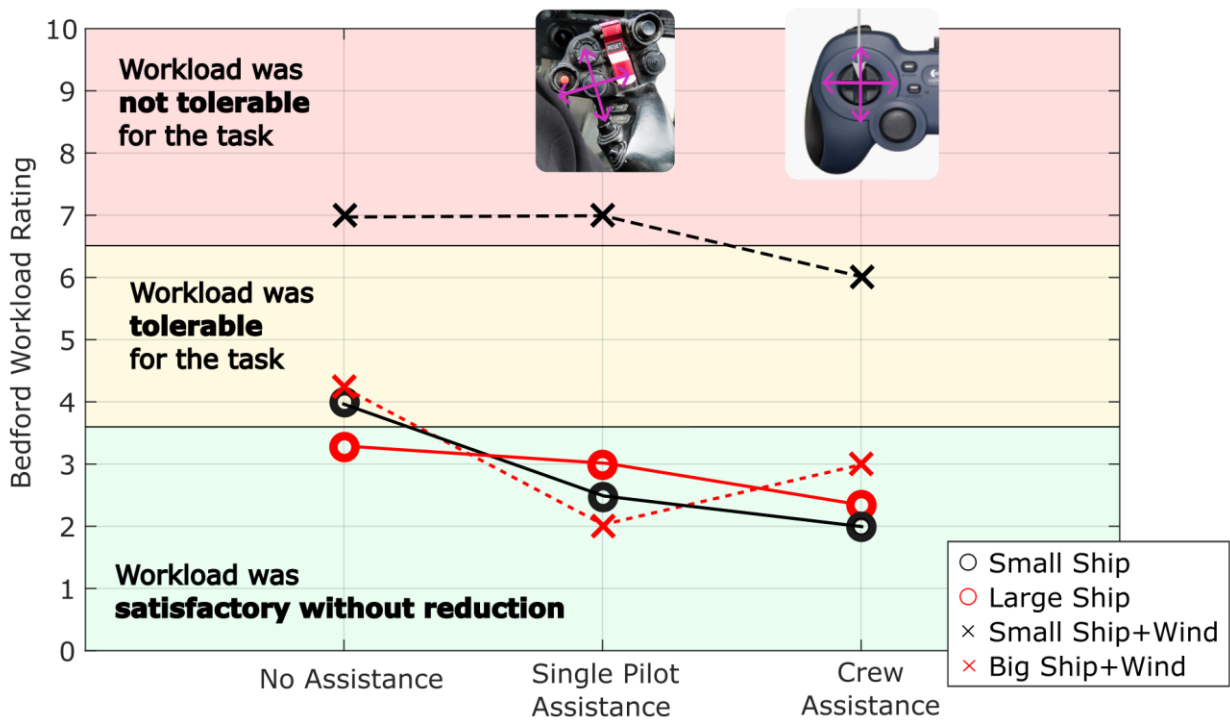


Abbildung 19: Arbeitsbelastungsbewertungen

## Bedford Workload Scale

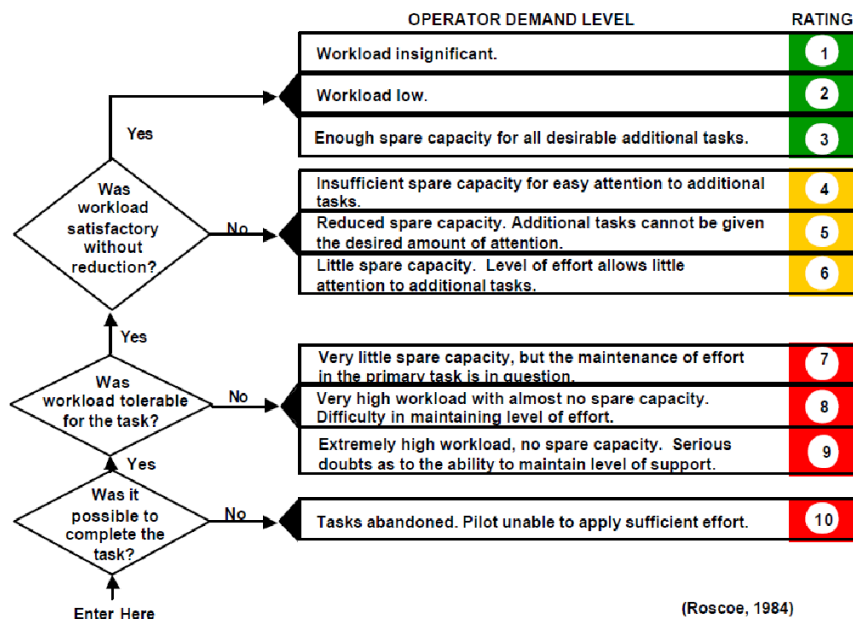


Abbildung 20: Bedford Workload Scale

### 2.3.6 AP 3.6 Analysesysteme

Im Oktober 2022 hat eine zweitägige Noldus Schulung in Braunschweig stattgefunden. Hierbei wurde zum einen die Anwendung der Systeme (FaceReader für Gesichtserkennung und BIOPAC

MP160 für die EKG Messungen) erklärt und zum anderen sind die Systeme probeweise in den AVES integriert (siehe Abbildung 21).



Abbildung 21: Integration der Noldus Kameras im AVES Cockpit

### 2.3.6.1 Einrüstung der Kameras

Es sind insgesamt drei Kameras eingerüstet worden, die jeweils auf eines der drei Crew Mitglieder (Pilot, Co-Pilot und Hoist-Operator) gerichtet wurde um durch die Analyse der Grundemotionen nach Paul Ekman [9] beispielsweise Freude, Angst und Überraschung zu detektieren. Diese sind mit Netzkabeln über einen Netzwerk Switch mit einem Laptop verbunden worden. Der Laptop ist auf einem Tisch außerhalb des Cockpits aufgestellt worden. Für die Auswertung der Kamerabilder wurde die FaceReader Software von Noldus © [10] eingesetzt. Um einen Eindruck für die Auswertung zu erhalten ist der Ablauf der Auswertung in Abbildung 22 dargestellt:

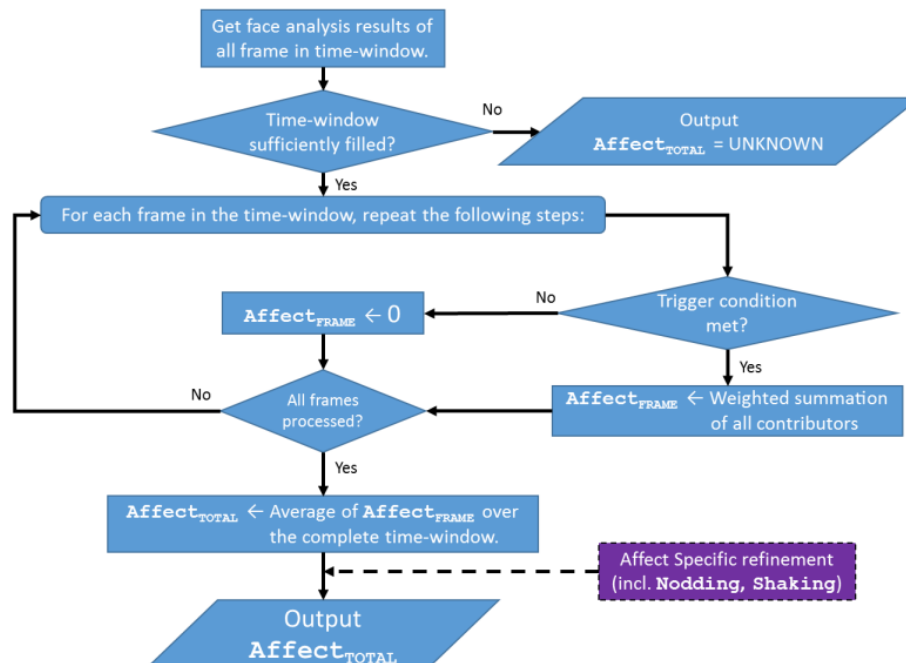


Abbildung 22: Flussdiagramm zur Berechnung der Gesichtserkennungsanalyse [11]

Dieses Flussdiagramm zeigt die Schritte für die Berechnung der verschiedenen Gefühlregungen im Gesicht. Die wichtigsten Schritte bestehen aus folgenden Parameter [11]:



1. Dauer des Zeitfensters: Die Dauer (in Sekunden) der vergangenen Frames, über die Gefühlsregung berechnet werden soll.
2. Auslösebedingung: Eine Gefühlsregung wird nur berechnet, wenn seine Auslösebedingung erfüllt ist.
3. Gewichtete Merkmale: Sobald die Auslösebedingung erfüllt ist, wird eine Gefühlsregung im Gesicht mit einer entsprechenden Gewichtung berechnet.

### 2.3.6.2 Integration des BIOPAC Systems für die Elektrokardiogramm Aufzeichnung

Ebenfalls wurde das „BIOPAC MP160“ [12] für die Studien verwendet. Das System besteht aus einem abgestimmten Sender- und Empfängerpaar, das für Elektrokardiogramm-Aufzeichnung der vom Herzen erzeugten elektrischen Aktivität dient (siehe Abbildung 23). Zur Auswertung kann die Software „AcqKnowledge“ verwendet werden.

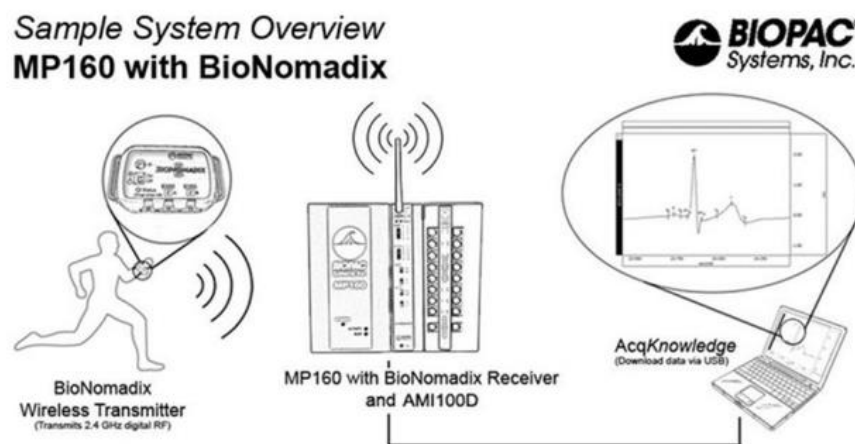


Abbildung 23: Systemübersicht MP160 mit BioNomadix [12]

#### Wireless Transmitter:

Von dem „Wireless Transmitter“ gehen drei Kabel heraus die wie folgt an dem Teilnehmer verkabelt werden musste:



Abbildung 24: Anbringung der Elektroden des Transmitters am Teilnehmer [13]

Die besondere bipolare Anordnung von zwei Elektroden (eine positiv (VIN+), eine negativ (VIN-)) in Bezug auf eine dritte Elektrode (die Masse (GND)) wird als Lead bezeichnet [13]. Die Elektrodenpositionen für die verschiedenen Ableitungen sind standardisiert. Die Probanden wurden entsprechend der Abbildung 24 verkabelt. Der Transmitter ist mittels eines elastischen Bandes am Körper des Teilnehmers getragen worden.

### 2.3.6.3 MP160 Receiver und Laptop mit AcqKnowledge Software:

Der MP160 Receiver und auch der Laptop sind außerhalb des Cockpits aufgebaut worden. Die EKG-Daten sind über Funk an den Empfänger gesendet und anschließend über ein Netzwerk an die den Laptop weitergeleitet worden um die Daten entsprechend mit der AcqKnowledge Software zu speichern und anschließend die Daten auswerten zu können.

Nach der Integration ist sind beide Systeme getestet worden. Sowohl die Übertragung der Videos der Kameras als auch die EKG-Daten sind ohne Störung an die Laptops zur Aufzeichnung weitergeleitet worden.

Die Ergebnisse der physiologischen Datenmessung werden von der Universität Witten / Herdecke ausgewertet.

## 2.4 HAP 4 Testläufe als Gesamtsystem und Abschlussdemonstration

### 2.4.1 AP 4.1 Realisierung der Testläufe

Bevor es zur Durchführung der Studien kam sind Testläufe durchgeführt worden. Hierfür sind Piloten eingeladen worden, die die Trainingsszenarien im Simulationsverbund mit Bremen durchführen. Bei diesen Testdurchläufen sind zum einen die technischen Abläufe (physiologisches Messsystem, Simulator Kopplung, Einsatz von Fragebögen, etc.) und zum anderen das gesamte Trainingskonzept getestet worden. Mit der Rückmeldung der Piloten und der Schiffsführer in Bremen wurde das AMARIS Training finalisiert. Hier gab es noch einige Abstimmungen und Testdurchläufe mit dem Unterauftragnehmer um möglichst eine reibungslose Durchführung der Studien zu gewährleisten.

Die Organisation der Testdurchläufe erwies sich als Herausforderung. Da sowohl bei der DGzRS als auch im DLR Belegungspläne für den jeweiligen Simulator existieren, waren die Möglichkeiten das System zu testen eingeschränkt.

Tests ohne Kopplung umfassten die Arbeitsgebiete:

- Inbetriebnahme und Test des DLR-Windenassistenzsystems
- Integration und Performances Tests der Datenbasis Deutsche Bucht inkl.3D-Modelle
- Test der Simulationsinfrastruktur für den Datenaustausch

Im gekoppelten Betrieb wurden folgende Bereiche getestet:

- Datenübertragung der Verkehrsteilnehmer, Umweltbedingungen
- Tests der Kommunikationssysteme zwischen Braunschweig und Bremen
- Gemeinsames Simulieren in einem Testszenario
- Test der Datenerhebungswerkzeuge von NOLDUS

Einen überproportionalen Teil der technischen Testläufe hat die Kommunikation eingenommen. Die Qualität der empfangenen COM-Daten zum Sprechfunk wurde bei den Testprobanden und auch im DLR Team nicht als hinreichend gut wahrgenommen. Stimmfetzen waren nicht hörbar oder es setzte ein Rauschen ein. Die Investigation zu diesem Verhalten hat viel Zeit in Anspruch genommen, da es schwer war die Ursache zu ermitteln. Während der Probeläufe mit Probanden fiel auf, dass dem Winch-Operator Möglichkeiten fehlt um zu navigieren und nicht, abgesehen vom eigentlichen Winch-Vorgang, bei der Personensuche aktiv beitragen konnte. So sollte nachträglich eine Moving Map, eine Karte, die sich mit den Bewegungen des Hubschraubers mit bewegt, integriert werden. Sie sollte Informationen zu Merkmalen für den Schiffsverkehr enthalten (z.B. Lage von Bojen). Aufgrund zeitlicher Restriktionen wurde auf eine nicht optimale Lösung zurückgegriffen. Bei der DGzRS wurde ein Rechner bereitgestellt, auf dem eine Karte der Simulation aus dem SAR-Simulators dargestellt wurde. Mithilfe einer Remote-Anwendung konnte diese Karte ins Cockpit übertragen werden. Auf dieser Karte konnte der DLR Hubschrauber zentriert werden, sodass sie beim Flug sich

entsprechend bewegt hatte. Einschränkungen ergaben sich daraus, dass bei der Einstellung der Karte eine Abhängigkeit vom Personal der DGzRS bestand, da diese den Rechner bedienen mussten.

#### 2.4.2 AP 4.2 Vorbereitung und Durchführung einer Abschlussdemo

Insgesamt sind drei AMARIS Trainings im Verbund mit dem Simulationszentrum im Bremen durchgeführt worden. Dafür hat jeweils eine Crew aus drei Personen im AVES Simulator an der Studie teilgenommen. Die Crew bestand aus zwei Piloten und einen Hoist Operator. Das zweitägige AMARIS Training hat am Vormittag mit einem gemeinsamen virtuellen Briefing mit Bremen begonnen. Anschließend gab es eine Einweisung in dem Simulator und die Nutzung des Außenlastassistenzsystems (siehe Abbildung 25).



Abbildung 25: Screenshot aus der Videoaufnahme der Studie - Windenmanöver auf einen Tanker

Am Nachmittag ist zum ersten Mal im Verbund ein Training durchgeführt worden. Hier handelt es sich um ein „Einstiegsszenario“, bei der im ersten Teil die Hubschraubercrew Windenmanöver erst mit einem vorankerliegenden Schiff und anschließend mit einem DGzRS Schiff, welches aus Bremen von einer Kabine gesteuert wurde, trainiert hat (siehe Abbildung 26) bis zur ersten Notrufmeldung. Anschließend begann die erste gemeinsame Such- und Rettungsmission. Der Tag endete mit einem gemeinsamen Debriefing mit allen Teilnehmern wieder virtuell. Der zweite Tag bestand aus zwei weiteren Trainingsszenarien (siehe auch Arbeitspaket AP 1.4 „Definition des Schulungs- und Bewertungskonzeptes“), die jeweils einen halben Tag ausgefüllt haben. Während allen Trainingsszenarios stand den Piloten das Außenlastassistenzsystem zur Verfügung.

Das erste Szenario des zweiten Tages lief in zwei Phasen ab. In der ersten Phase sollten die Schiffsführer in Bremen zu einer Trainingsmission aufbrechen und ein Sector Search Manöver trainieren. Zur gleichen Zeit startete der Hubschrauber von Nordholz und führte mehrere Winch Manöver an zwei Schiffen durch, die nah beieinanderliegend auf Grund lagen. Die zweite Phase wurde eingeleitet indem irgendwann während der Übung ein Notruf von der Segelyacht „Lepanto“ abgesetzt wurde. Der Auftrag war, in der Meldorfer Bucht sollte eine koordinierte Flächensuche durchgeführt werden. Dabei konnten auch Personen im Wasser treiben. Im Anschluss des Szenarios gab es eine Mittagspause für die Probanden.

Das zweite Szenario am zweiten Tag ist war eine Großschadenslage. Das Fahrgastschiff „Fair Lady“ setzte einen Notruf ohne Angabe des Notfalls ab. Im Laufe der Übung wurde festgestellt, dass das Schiff havariert ist. Der Auftrag wurde in zwei Einsatzabschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt wurde die Rettung direkt bei der havarierten „Fair Lady“ koordiniert durchgeführt. Beim zweiten Abschnitt wurde ein Suchgebiet definiert und eine Flächensuche gestartet um treibende Personen im Wasser zu retten.

Der letzte Durchlauf ist ebenfalls als Abschlussdemonstration durchgeführt worden.



Abbildung 26: Simulation im AVES – Windenmanöver mit DGzRS Schiff

### 3 Zusammenfassung

Ziel des Projektes AMARIS war es, die Suche und Rettung Schiffbrüchiger künftig mit seegehenden und fliegenden Einheiten zusammen in einer Simulation zu trainieren, auch wenn die Teilnehmer sich nicht am gleichen Ort befinden. Zuerst sind die Anforderungen an das Training von Noteinsätzen erstellt worden, in dem beispielsweise Interviews mit derzeitigen Einsatzkräften (Piloten und Schiffsführern, aber auch dem Personal der Einsatzstellen) durchgeführt worden sind. Im Rahmen eines Workshops sind die zu vermittelten Lehrinhalte ausgearbeitet worden. Mit dem gewonnen Wissen sind die Anforderungen an die Simulationsumgebung abgeleitet worden und in dem Dokument [1] zusammengefasst worden. Anschließend hat die technische Umsetzung begonnen. Zum einen wurden die maritimen Szenarien im AVES erweitert, das Außenlastassistenzsystem in diesen Szenarien integriert und die Schnittstellen für die Kopplung vorbereitet. In Absprache mit dem Unterauftragnehmer sind die Schnittstellen final definiert und anschließend implementiert und getestet worden. Nach den Testdurchläufen der technischen Systeme sind Testläufe mit Hubschrauberpiloten in Braunschweig und Schiffsführern in Bremen in der gekoppelten Simulationsumgebung durchgeführt worden. Mit der Rückmeldung der Teilnehmer ist das AMARIS Setup finalisiert worden. Abschließend sind drei AMARIS Trainings mit jeweils einer Hubschrauber Crew bestehend aus zwei Piloten und einem Windenoperator durchgeführt worden. Dabei sind physiologische Daten und subjektive Daten mithilfe von Fragebögen erhoben worden. Das gemeinsame Training von seegehenden und fliegenden Einheiten soll zukünftig einmal im Jahr stattfinden.

## 4 Veröffentlichungen, Vorträge

Es ist ein Vortrag über das Projekt AMARIS auf dem European Rotors 2021 vom DLR gehalten worden. Ein weiterer Vortrag über AMARIS ist von der Universität Witten / Herdecke auf der World Maritime Rescue Congress 2023 gehalten worden.

Eine gemeinsame Veröffentlichung ist bereits publiziert worden:

T. Lübcke, H. Hendrik, O. Schliebusch-Jacob, T. Kreter, T. Martini and T. Gerlach, „Inter-professional simulator training for reliable ship-helicopter interactions“, Proceeding of the 21st ISCRAM Conference, Germany, May, 2024. (peer-reviewed)

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] H. Duda, T. Gerlach, S. Advani and M. Potter, "Design of the DLR AVES Research Flight Simulator," AIAA Modeling and Simulation Technologies (MST), Boston, 2013.
- [2] R. Detlesfen und T. u. H. J. Gerlach, „Spezifikation zur Erweiterung der maritimen Simulation,“ 2021.
- [3] D. A. Fullford, „Distributed interactive simulation: its past, present, and future,“ IEEE Computer Society, 1996.
- [4] T. Szczygielski, E. Gerten und H. Wilhelm, „AMARIS Schulungskonzept,“ 2024.
- [5] D. Lyon, „The  $\mu$ -Law CODEC,“ Journal of Object Technology, 2008.
- [6] J. Gotschlich, T. Gerlach and U. Durak, "2Simulate: A Distributed Real-Time Simulation Framework," ASIM STS/GMMS, 2014.
- [7] T. Jusko und M. Jones, „Evaluation of a Slung Load Control System for Piloted Offshore Winching Operations,“ in *Vertical Flight Society's 77th Annual Forum & Technology Display*, Virtual, 2021.
- [8] T. Gerlach and U. Durak, "AVES SDK: Bridging the Gap between Simulator and Flight Systems Designer," AIAA AVIATION, Dallas, TX, 2015.
- [9] P. Ekman, "Basic emotions," in *Handbook of cognition and emotion*, Wiley, 1999, pp. 45-60.
- [10] Noldus, „FaceReader,“ <https://www.noldus.com/facereader>, Accessed 2.04.2024.
- [11] A. Gudi, „Affective Attitudes in FaceReader 7.1,“ Machine Vision Research Engineer - Vicar Vision, 2017.
- [12] I. BIOPAC Systems, „BIOPAC MP160: The fastest, easiest way for better data,“ <https://www.biopac.com/product-category/research/systems/mp150-starter-systems/>, Accessed 02.04.2024.
- [13] I. BIOPAC Systems, „Introductory ECG Guide,“ <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/ECG-Guide.pdf>, Accessed 02.04.2024.