

**Entwicklung eines nutzerorientierten
Informationssystems für die
anwendungsorientierte
Missionsbegleitung des maritimen
Testzentrums Helgoland**

Masterarbeit Systems Engineering

Ole Specht

Matrikelnummer: 4135348

Prüfer Prof. Dr.-Ing. Udo Freese

Dr. René Neuholz

Bremen, den 12. Mai 2022

Offizielle Erklärungen zur Masterarbeit

von: Ole Specht Matr.Nr.: 4135348

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Alle Teile meiner Arbeit, die wortwörtlich oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Gleiches gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht. Die elektronische Fassung der Arbeit stimmt mit der gedruckten Version überein. Mir ist bewusst, dass wahrheitswidrige Angaben als Täuschung behandelt werden.

Erklärung zur Veröffentlichung von Masterarbeiten

Die Abschlussarbeit wird zwei Jahre nach Studienabschluss dem Archiv der Universität Bremen zur dauerhaften Archivierung angeboten. Archiviert werden Masterarbeiten mit lokalem oder regionalem Bezug sowie pro Studienfach und Studienjahr 10 % aller Abschlussarbeiten. Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.

Einverständniserklärung über die Bereitstellung und Nutzung Masterarbeit in elektronischer Form zur Überprüfung durch Plagiatssoftware

Eingereichte Arbeiten können mit der Software Plagscan auf einen hauseigenen Server auf Übereinstimmung mit externen Quellen und der institutionseigenen Datenbank untersucht werden. Zum Zweck des Abgleichs mit zukünftig zu überprüfenden Studien- und Prüfungsarbeiten kann die Arbeit dauerhaft in der institutionseigenen Datenbank der Universität Bremen gespeichert werden.

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir vorgelegte und verfasste Arbeit zum Zweck der Überprüfung auf Plagiate auf den Plagscan-Server der Universität Bremen hochgeladen wird.

Mit meiner Unterschrift versichere ich, dass ich die oben stehenden Erklärungen gelesen und verstanden habe.

Mit meiner Unterschrift bestätige ich die Richtigkeit der oben gemachten Angaben.

Bremen, 12. Mai 2022

Unterschrift

Abstract

In Zeiten der wachsenden Digitalisierung und Entwicklungen der Industrie 4.0 werden zunehmend Daten von verschiedensten Prozessen gesammelt, analysiert und verarbeitet. Dadurch lassen sich verschiedenste Systeme in ihrer vollen Komplexität erfassen und automatisieren bzw. den Mitarbeitenden die Arbeiten erleichtern. Das maritime Testzentrum Helgoland führt verschiedene Missionsbegleitungen durch. An den Korrosionsprüfständen werden lackierte Probenbleche auf Korrosion und Bewuchs geprüft. Im Bereich mobiler Robotik werden unbemannte Drohnen und Fahrzeuge für verschiedene Tätigkeiten im Offshore-Kollektiv getestet. Das Testzentrum bietet dazu auch Missionsbegleitungen für Kunden an. Für die Bewertung und Durchführung der jeweiligen Aufgaben werden eine Vielzahl an Datenschnittstellen benötigt. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Durchführung dieser Aufgaben daraufhin untersucht, wie das Versuchspersonal bei seiner Arbeit im Testzentrum bestmöglich unterstützt und entlastet werden kann. Die dabei anfallenden Daten werden in einem webbasierten Portal aufbereitet und für die jeweiligen Projekte zur Verfügung gestellt. Das mittels User-Centered-Design-Methoden entwickelte System lässt die Arbeitsabläufe deutlich verbessern und erreicht im Bereich der wahrgenommenen Benutzbarkeit eine Wertung von 91,3 nach der System Usability Scale.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Ausgangslage | 1 |
| 1.2 | Zielsetzung | 3 |
| 2 | Stand der Technik | 5 |
| 2.1 | User Centered Design | 5 |
| 2.1.1 | Analyse des Nutzungskontextes | 7 |
| 2.1.2 | Definition von Nutzeranforderungen | 7 |
| 2.1.3 | Konzeption und Entwurf | 8 |
| 2.1.4 | Evaluierung | 10 |
| 2.2 | Funksysteme | 11 |
| 2.2.1 | Funksysteme für die Luftfahrt | 11 |
| 2.2.2 | Funksysteme für die Schifffahrt | 13 |
| 2.3 | Umgebungsanforderungen von UAS-Systemen | 14 |
| 3 | Designprozess | 18 |
| 3.1 | Ausgangslage | 18 |
| 3.1.1 | Probendokumentation Auslagerungsgestelle | 18 |
| 3.1.2 | Missionsbegleitung X-Wakes | 23 |
| 3.1.3 | Testfeld | 25 |
| 3.2 | Nutzerbeschreibung | 26 |
| 3.3 | Positive Aspekte und Optimierungspotentiale | 26 |
| 3.4 | Personas und Szenarien | 27 |
| 3.4.1 | Szenario für Jonas Klein | 28 |
| 3.4.2 | Szenario für Katharina Hoppe | 29 |
| 3.5 | Anforderungsanalyse | 30 |
| 3.5.1 | Datenstruktur | 30 |
| 3.5.2 | Auslagerungsstände | 35 |
| 3.5.3 | UAS | 36 |
| 3.5.4 | AUV | 39 |
| 3.6 | Prototyp | 40 |
| 3.7 | Technische Lösungsmöglichkeiten | 45 |
| 3.7.1 | Wetterstation | 45 |
| 3.7.2 | Flugverkehrsdatenempfänger | 48 |
| 3.7.3 | Server | 49 |
| 3.7.4 | Datenverarbeitung | 50 |
| 3.7.5 | Datenhaltung | 50 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.7.6 | Datenvisualisierung | 52 |
| 4 | Umsetzung | 53 |
| 4.1 | Influx-Datenbank | 53 |
| 4.2 | HELIOS | 53 |
| 4.2.1 | Externe Daten | 53 |
| 4.2.2 | Davis | 55 |
| 4.2.3 | Influx | 56 |
| 4.2.4 | Dashboard Home | 56 |
| 4.2.5 | Digimash | 57 |
| 4.2.6 | UAS-Statistiken | 58 |
| 4.2.7 | UAS-Briefing | 63 |
| 4.2.8 | UAS-Checkliste | 64 |
| 4.2.9 | UAS-In | 65 |
| 4.2.10 | UAS-Post | 68 |
| 4.2.11 | Export | 69 |
| 5 | Evaluation | 71 |
| 5.1 | Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit | 71 |
| 5.2 | Testpersonen | 71 |
| 5.3 | Ergebnis | 71 |
| 6 | Fazit und Ausblick | 73 |
| | Quellenverzeichnis | 75 |
| A | Anhang | 82 |
| A.1 | Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit von HELIOS | 82 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Karte der Testfelder | 2 |
| 2 | Übersicht einzelner Projekte | 3 |
| 3 | UCD Prozess | 6 |
| 4 | Teststände | 19 |
| 5 | Auslagerungsgestell | 20 |
| 6 | Rahmen | 21 |
| 7 | Werkzeuge Probendokumentation | 22 |
| 8 | Tablet | 22 |
| 9 | Auslagerungsgestell-Datenbank | 23 |
| 10 | X-Wakes-Drohne | 23 |
| 11 | Missionsbegleitung | 25 |
| 12 | Testfelder | 25 |
| 13 | Datenschnittstellen von HELIOS zu Datenquellen | 32 |
| 14 | Prototyp Startfenster | 41 |
| 15 | Prototyp Fenster Digimash | 42 |
| 16 | Prototyp UAS-Statistiken | 42 |
| 17 | Prototyp Missionsbriefing | 43 |
| 18 | Prototyp Checkliste | 43 |
| 19 | Prototyp In-Mission | 44 |
| 20 | Prototyp De-Briefing | 44 |
| 21 | Wetterdatenfluss | 46 |
| 22 | AirSquitter | 49 |
| 23 | Jetvision Air Traffic | 49 |
| 24 | Node-Red Beispiel-Datenfluss | 50 |
| 25 | Datenflussübersicht | 53 |
| 26 | Externe Daten | 54 |
| 27 | APIv2 | 55 |
| 28 | InfluxDB-Ansteuerung | 56 |
| 29 | Digimash | 58 |
| 30 | Statistik-Datenfluss | 60 |
| 31 | Statistik-Fenster | 61 |
| 32 | Briefing-Fenster | 64 |
| 33 | Checkliste-Fenster | 65 |
| 34 | In-Mission-Fenster | 67 |
| 35 | In-Mission-Datenfluss | 68 |
| 36 | Post-Mission-Fenster | 69 |

37 Export-Fenster 70

Tabellenverzeichnis

1 Personas 28
2 Parameterübersicht 1 33
3 Parameterübersicht 2 34

Abkürzungsverzeichnis

ADS-B englisch: automatic dependent surveillance - broadcast, eine Luftraum-Überwachungstechnik (Unterabschnitt 2.2)

AIS englisch: Automatic Identifikation System, ein Funksystem für den Austausch von Navigations- und anderen Schiffsdaten (Unterabschnitt 2.2.1)

API englisch: application programming interface, eine Programmierschnittstelle

AUV englisch: autonomous underwater vehicles, autonomes Unterwasserfahrzeug

BSH Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie

csv englisch: character-separated values, beschreibt den Aufbau einer Textdatei zum Austausch oder Speicherung einfach strukturierter Daten

DFKI deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH

DTMT Deutsches Testzentrum für maritime Technologien

DWD Deutscher Wetterdienst

FLARM ein Verkehrsinformations- und Kollisionsvermeidungssystem der Luftfahrt des gleichnamigen Unternehmens (Unterabschnitt 2.2)

IFAM Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung

HELIOS Helgoländer Informations- und Operationssystem, Name des in dieser Arbeit zu entwickelnden Projekts

http englisch: hypertext transfer protocoll, zustandsloses Protokoll zur Datenübertragung über ein Rechnernetz

IP englisch: internet protocol, verbindungsloses Netzwerkprotokoll

JSON englisch: javascript object notation, kompaktes Datenformat in einfach lesbarer Textform für den Datenaustausch zwischen Anwendungen

NFC englisch: near field communication, ein Standard des RFID

METAR ursprünglich französisch: Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation, bzw. englisch: METeorological Aerodrome Report, eine standardisierte Meldung in Kurzform, die die Wetterbeobachtung eines einzelnen Flugplatzes wiedergibt

MLAT Multilateration, Positionsbestimmungsverfahren (Unterabschnitt 2.2)

NOTAM englisch: Notice(s) to Airmen, Anordnungen und Informationen, welche für den Flugverkehr relevant sind

OWEA Offshore-Windenergieanlagen

RFID englisch: radio-frequency identification, Technologie zur Identifizierung durch Radiowellen

SUS System Usability Scale, standardisierter Fragebogen

TCP englisch: Transmission Control Protocol, ein Übertragungssteuerungsprotokoll

UAS englisch: unmanned aerial systems, unbemannte Luftfahrtsysteme

UAV englisch: unmanned aerial vehicle, unbemanntes Luftfahrzeug

UCD englisch: User Centered Design, menschenzentrierte Gestaltung mit Ansätzen für den Designprozess

USB englisch: Universal Serial Bus, ein Datenübertragungssystem zur Verbindung eines Computers mit anderen Systemen

UTC koordinierte Weltzeit, globaler Zeitstandard unabhängig von Zeitzonen

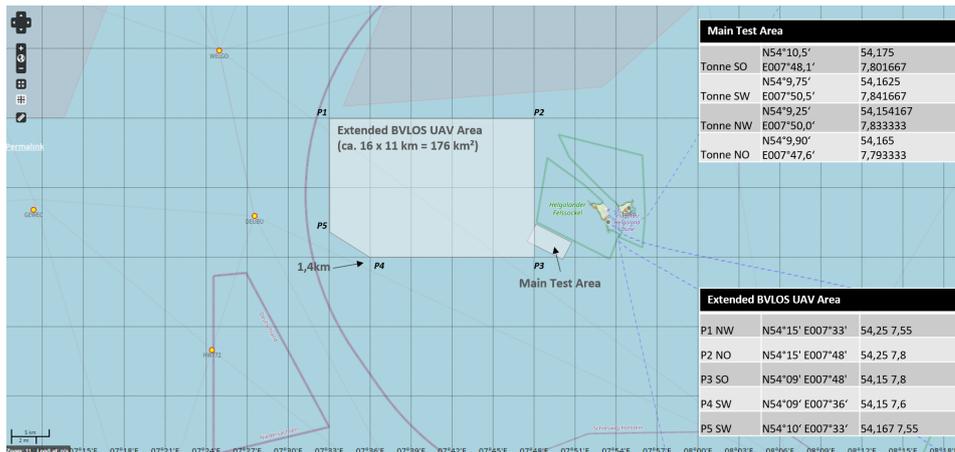
1 Einleitung

„Digitalisierung“, „Industrie 4.0“ oder auch das „Internet der Dinge“ sind vor allem in der Industrie viel diskutierte Themenbereiche. Die Digitalisierung beginnt bei ursprünglich analogen Informationen (zum Beispiel Ereignisse in Form von Bildern oder Musik sowie Eigenschaften physischer Objekte), welche in digitale, binäre Informationen umgewandelt und in großer Geschwindigkeit informationstechnisch verarbeitet werden [1, 2]. „Die Digitalisierung fungiert gewissermaßen wie ein „Universalübersetzer“, der die Daten unterschiedlicher Quellen für den Computer bearbeitbar macht und damit viele Möglichkeiten bereitstellt, die ansonsten undenkbar wären. Darunter fallen zum Beispiel komplexe Analysen und Simulationen von Objekten, Maschinen, Prozessen, Systemen“ oder die Speicherung riesiger Datenmengen [1]. Das Internet der Dinge nutzt diese digitalisierten Informationen, um verschiedene Systeme intelligent zu vernetzen und auch autonom oder in Kollaboration zwischen Mensch und Maschine agieren zu lassen [3].

Auch das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) digitalisiert immer mehr der verschiedenen Sektoren, um die Arbeit mit Hilfe von verknüpften Daten und Analysen bestmöglich zu unterstützen. In dieser Masterarbeit werden dabei die Aktivitäten des deutschen Testzentrums für maritime Technologien (DTMT) betrachtet, die federführend zusammen mit dem Robotics Innovation Center des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI) durch das Fraunhofer IFAM koordiniert werden.

1.1 Ausgangslage

Das deutsche Testzentrum für maritime Technologien (DTMT) erprobt Materialien, Bauteile und Systeme für den maritimen Einsatz unter anwendungsnahen Umgebungsbedingungen auf Deutschlands einziger Hochseeinsel Helgoland. Im Südhafen der Insel und in einem rund fünf Quadratkilometer großen Testareal westlich von Helgoland können Tests unter den anspruchsvollen Umweltbedingungen der Hochsee durchgeführt werden. Zu den Bedingungen zählen zum Beispiel die sehr korrosive Atmosphäre und die biologischen Belastung durch Makro- und Mikrofouling. Dort können Trägersysteme der Sensoren und Aktuatoren (sogenannte AUV-, ROV- und UAS-Systeme) auf ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit getestet werden. Das maritime Testzentrum wird in einer Kooperation vom Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, des Robotics Innovation Center des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), dem Institut für Chemie und Biologie des Meeres der Universität Oldenburg und der Jacobs University Bremen betrieben. Die Projekte des Testzentrums lassen sich in drei Bereiche zusammenfassen:



Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 1: Karte der Testfelder

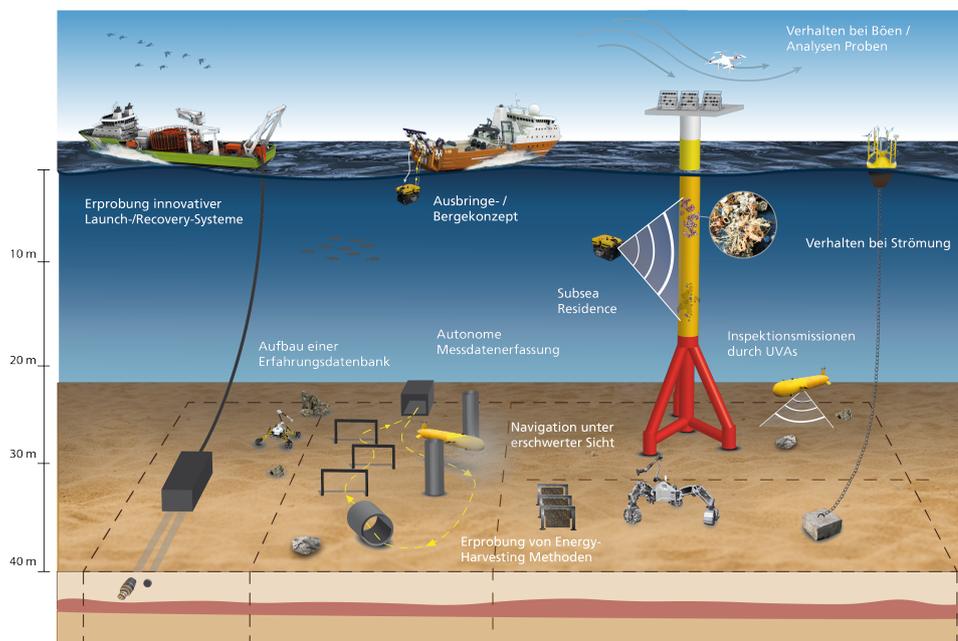
- **Korrosionsprüfstände:** Auf den Korrosionsprüfständen im Helgoländer Südhafen werden lackierte Prüfkörper und Bauteile auf ihre Beständigkeit im Einfluss von Witterung und Salzwasser geprüft. Diese werden auf speziellen Gestellen ausgelagert und in regelmäßigen Abständen begutachtet. Die Proben können dabei je nach Anforderung in Spritzwasser-, Wecheltauch- und Dauertauchzone ausgelagert werden. Diese definieren sich dabei nach der Tide, so ist die Dauertauchzone ständig unter Wasser; die Spritzwasserzone erreichen nur Wassertropfen von beispielsweise Wellen. Das Fraunhofer IFAM übernimmt dabei die Planung, Koordination und Installation der Prüfkörper und Bauteile und begutachtet und dokumentiert diese regelmäßig. Diese werden nach spezifischen Prüfkennwerten bewertet sowie Biodiversität, Aufwuchsgemeinschaften und Bedeckungsgrade ermittelt (DIN EN ISO 4628).

- **Unmanned aerial systems (UAS):** Durch die mobile Robotik lassen sich Inspektionen, Messungen und Reparaturen an kaum erreichbaren Orten auf lange Sicht auch autonom durchführen (Abbildung 2). Wind und Wetter auf hoher See bieten Flugsystemen hohe Anforderungen. Durch das Testzentrum sollen die Offshore-Tauglichkeit erprobt und Entwicklungsansätze validiert werden. Dies ermöglicht perspektivisch, dass Drohnen ganzjährig Transporte, Messungen oder auch Reparaturen auf hoher See durchführen können. Industriekletterer und -Techniker sind auf Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) hohen Gefahren ausgesetzt. Zudem ist ihr Einsatz ebenfalls mit hohen Kosten verbunden.

Des Weiteren bietet das Testzentrum eine Beratung, Planung, Koordination und Auswertung von Erprobungskampagnen für marine Sensorik, autonome mobile Robotik und ferngesteuerte Fahrzeuge im Offshore-Einsatz an. Dazu zählen unter anderem die wissenschaftliche und technische Begleitung während der Durchführung von Er-

probungskampagnen, die Auswertung und Bewertung der Ergebnisse und Handlungsempfehlungen sowie die Übernahme von Logistik und Genehmigungsverfahren. Für die Einsätze betreibt das Testzentrum eigene Testfelder westlich von Helgoland (Abbildung 1).

- Autonomous underwater vehicles (AUV): Die mobile Robotik wird nicht nur für autonome Flugsysteme erforscht, auch Unterwasserfahrzeuge sollen in Zukunft eine Vielzahl an Aufgaben wie Inspektionen, Messungen und Reparaturen unter dem Lastkollektiv der Offshore-Umgebung vornehmen können. In einem rund drei Quadratkilometer großen Testfeld (Abbildung 1) mit einer Tiefe von bis zu 45 m können verschiedene Erprobungsmissionen durchgeführt werden. Das Testzentrum bietet in diesem Bereich ebenfalls eine Betreuung von Erprobungskampagnen durch wissenschaftliche- und Industriepartner an.



Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 2: Übersicht einzelner Projekte

1.2 Zielsetzung

Die verschiedenen Projekte des Testzentrums für maritime Technologien benötigen alle eine große Menge an Daten für die Durchführung und Bewertung ihrer jeweiligen Aufgaben. Dazu werden eine Vielzahl an Quellen zum Beispiel der deutsche Wetterdienst das Bundesamt für

Schiffahrt und Hydrographie oder eigene Sensorik wie eine Wetterstation auf dem Gelände des Testzentrums genutzt. Hier setzt die folgende Arbeit an: Im Rahmen dieser Masterarbeit soll die Durchführung der Versuche im Testzentrum daraufhin untersucht werden, wie das Versuchspersonal bei seiner Arbeit im Testzentrum bestmöglich unterstützt und entlastet werden kann. Dazu sollen die anfallenden und verfügbaren Daten möglichst effektiv aufbereitet und den verschiedenen Anwendern in einem integrierten Gesamtkonzept zu Verfügung gestellt werden. Zu diesen Daten zählen zum Beispiel Wasser- oder auch Strömungsdaten, sowie meteorologische und weitere während der Versuche relevante Prozessdaten. Das Konzept beinhaltet, wie diese Daten gespeichert, nutzergerecht zur Verfügung gestellt und visualisiert werden können.

Die Arbeit umfasst folgende Teilaspekte:

- Ist-Analyse der heutigen Prozesse, verfügbaren Daten und Versuchsdurchführung oder anderer Tätigkeiten im Testzentrum
- Konzeption eines Informationssystems unter User-Centered-Design-Aspekten
- Prototypische Umsetzung von ausgewählten Teilaspekten des Informationssystems

2 Stand der Technik

Dieses Kapitel erläutert den Stand der Technik in den verschiedenen Teilbereichen der Masterarbeit. Zunächst werden User-Centered-Design-Methoden (UCD) erklärt und wie mit Hilfe dieser Methoden ein neues System benutzerfreundlich aufgebaut werden kann. Danach werden verschiedene Funksysteme beschrieben, welche in der Luft- und Schifffahrt verwendet werden und in dieser Arbeit als Schnittstelle implementiert werden. Im letzten Abschnitt werden Anforderungen an unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) erläutert, welche in dieser Arbeit ebenfalls mit Hilfe von Wetterdaten ausgewertet werden.

2.1 User Centered Design

User Centered Design ist ein Ansatz zur Entwicklung interaktiver Systeme, welche den Nutzer in das Zentrum des Designprozesses setzt. Systeme sollen gebrauchstauglich und zweckdienlich gemacht werden, indem sie sich auf den Benutzer mit seinen Erfordernissen und Anforderungen konzentrieren und menschliche Faktoren sowie Kenntnisse und Techniken zur Gebrauchstauglichkeit anwenden. Durch dieses Konzept sollen die Effektivität, Effizienz und die Barrierefreiheit erhöht werden[4]. Im Folgenden werden Ansätze beschrieben, wie eine nutzerzentrierte Gestaltung organisiert und angewendet werden kann.

Der nutzerorientierte Gestaltungsprozess ist in der Regel ein iteratives Vorgehen, welches mehrere Phasen durchläuft. Nach ISO 9241-210[4] werden dafür vier Phasen definiert, welche in der Folge wiederholt werden, bis das gewünschte Ergebnis erzielt wurde (Abbildung 3):

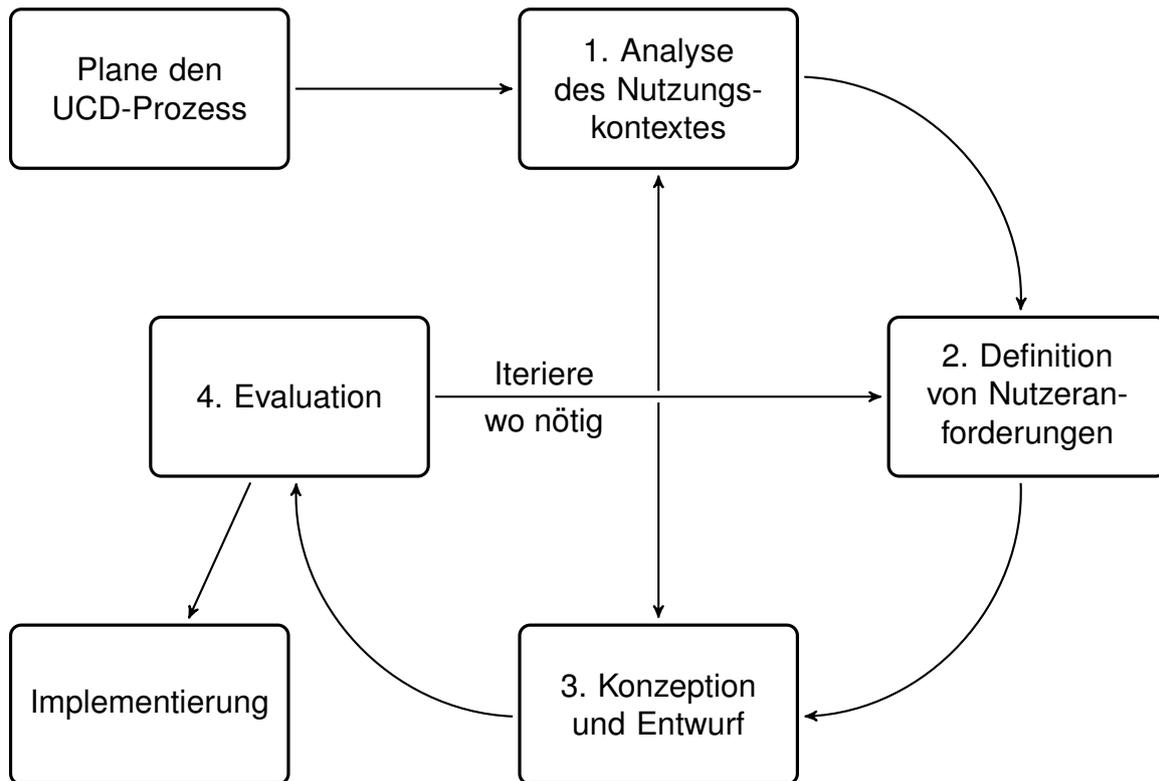


Abbildung 3: UCD Prozess

Durch dieses Vorgehen werden bereits verschiedene Problemfelder berücksichtigt:

- häufig gibt es eine Anzahl unterschiedlicher Benutzergruppen und weiterer Stakeholder, deren Erfordernisse zu beachten sind;
- der Nutzungskontext kann vielfältig sein und sich von Benutzergruppe zu Benutzergruppe sowie zwischen verschiedenen Aufgaben unterscheiden;
- die Anforderungen, die in der Anfangsphase eines Projekts erfasst werden können, sind wahrscheinlich nicht erschöpfend;
- einige Anforderungen zeigen sich erst dann, wenn ein Lösungsvorschlag vorliegt;
- die Nutzungsanforderungen können vielfältig sein, sich gegenseitig widersprechen und im Widerspruch zu den Anforderungen anderer Stakeholder stehen;
- die anfänglichen Gestaltungslösungen befriedigen selten sämtliche Benutzererfordernisse;
- es ist schwierig sicherzustellen, dass sämtliche Teile des Systems in einer integrierten Weise berücksichtigt werden[4].

Dennoch ist zu beachten, dass es sich um einen Designprozess handelt und keine Zustände, welche statisch repräsentiert werden könnten[5].

Im Folgenden werden die Phasen und einige Methoden beschrieben, wie diese umgesetzt werden können.

2.1.1 Analyse des Nutzungskontextes

Am Anfang eines neuen Projekts steht das Team vor der Herausforderung, neue Lösungen zu planen, von der es noch nicht genau wissen kann, wofür sie eingesetzt werden, was sie bieten sollen und wer die Benutzer werden könnten.

Während der Analyse des Nutzungskontextes werden Informationen über die zukünftigen Nutzer gesammelt und in Nutzerprofilen zusammengefasst. Ebenso werden die Aufgaben und Ziele der Nutzer, Arbeitsabläufe und die Arbeitsumgebung, zu der auch die technischen Rahmenbedingungen zählen, analysiert. Dadurch können Notwendigkeiten, Probleme und Einschränkungen aufgezeigt werden, die ansonsten möglicherweise übersehen werden können.

Personas

Typischerweise werden Applikationen von verschiedenen Personen mit verschiedenen Bedürfnissen und Zielen verwendet. Personas sind prototypische Individuen, welche jeweils einen Nutzertyp repräsentieren. Das Spezifizieren von Zielen und Aufgaben der Personas kann bei der Definition von Produktfunktionalitäten unterstützen. Personas versuchen unter anderem drei Fragen zu beantworten [6]:

- Welche Personentypen könnten das Produkt verwenden?
- Wie könnten sich deren Bedürfnisse und Verhaltensmuster unterscheiden?
- Im welchen Kontext wird das Produkt verwendet?

2.1.2 Definition von Nutzeranforderungen

Basierend auf den Erkenntnissen der Kontextanalyse werden funktionale und weitere Anforderungen definiert, die während des Entwurfsprozesses umgesetzt werden sollen.

Szenarien

Bei Szenarien werden imaginäre Situationen beschrieben, in denen die Nutzer mit dem Produkt interagieren. Dadurch sollen ähnlich wie bei Personas intuitive, geschichtenerzählende Diskussionen ermöglicht werden, welche das Definieren von Nutzeranforderungen unterstützen sollen [6].

Aufgabenanalyse

Durch die Aufgabenanalyse soll ein Verständnis aufgebaut werden, wie die Nutzer eine bestimmte Aufgabe lösen, wie sie sich dabei verhalten, was es für eine Aufgabe ist und welches Wissen für die Lösung der Aufgabe nötig ist. Diese Aufgaben können dabei in verschiedene Unteraufgaben gegliedert werden. Je nach Ziel der Aufgabenanalyse können sich die Aufgaben und Teilaufgaben im Detailgrad unterscheiden. [7].

2.1.3 Konzeption und Entwurf

In dieser Prozessphase werden zunächst Konzepte für das zukünftige Produkt entwickelt. Diese werden weiter ausgearbeitet, bis ein vollständiger Entwurf vorliegt. Als Ergebnis dieser Phase können Designdokumente, Mockups oder Papier-Prototypen entstehen.

Prototypen

Prototypen sind ein Werkzeug, um Ideen für einen Produkt zu kommunizieren, diese zu testen und zu verbessern. Dadurch kann ein Verständnis für die Nutzer, das zu bearbeitende Problem und mögliche Lösungsmöglichkeiten aufgebaut werden. Je nach spezifiziertem Ziel des Prototyps kann die Ähnlichkeit zum fertigen Produkt variieren. Diese Prototypen unterscheiden sich dabei in verschiedenen Ebenen[8]:

- Funktionsumfang: Soll das Produkt im vollen Umfang dargestellt werden oder zunächst nur einzelne Abschnitte?
- Funktionstiefe: Wie detailliert sollen einzelne Abschnitte dargestellt werden?
- Darstellungstreue: Wie ähnlich soll der Prototyp dem Endprodukt in Bezug auf das Aussehen der graphischen Oberfläche sein (Look and Feel)?
- Interaktivität: Wie interaktiv soll der Prototyp sein? Sollen für komplexe Abläufe Programme zum Demonstrieren entwickelt werden oder reichen statische Darstellungen?
- Datengehalt: Sollen reale Daten zum Einsatz kommen oder reichen gar Platzhalter?
- Technische Reife: Wie viele Technologien für das Endprodukt sollen bereits eingebaut werden beziehungsweise soll ein Prototyp bereits auf der Zielplattform entwickelt werden, oder reichen einfache Zeichenwerkzeuge?

Insgesamt lassen sich die Prototypen in drei verschiedene Arten unterteilen: Einfache Prototypen ohne große Ähnlichkeit zum fertigen Produkt testen Kernkonzepte des Designs auf

Kosten von eingeschränkten Interaktionsmöglichkeiten. Typische Beispiele sind Papierprototypen oder digitale, klickbare Prototypen. Aufwendigere Prototypen sind meist dem fertigen Produkt ähnlicher und bilden einen größeren Kontext ab und haben größere Interaktionsmöglichkeiten wie Klicken oder Prototypen mit kleinen Programmen. Die dritte Gruppe von Prototypen sind komplett visualisiert, sind mit realen Inhalten versehen und sind größtenteils interaktiv. Das Ziel dieser Prototypen besteht im Testen von verschiedenen Abschnitten oder visuellen Repräsentationsmöglichkeiten für die späteren Nutzer[9].

Richtlinien zur Benutzerfreundlichkeit

Es gibt viele Definition von *Usability*. Deshalb ist es schwer, eine korrekte und allgemeingültige Definition zu formulieren. Viele beleuchten dies auf verschiedenen Ebenen oder von verschiedenen Seiten[8]. Die beiden populärsten sind die Nielsons Heuristik[10] und die Shneidermans acht goldenen Regeln[5]. Nielsen entwickelte dabei seine Heuristik für die Evaluation von graphischen Oberflächen, Shneidermans Ansatz war die Zusammenfassung von Kernprinzipien für graphische Oberflächen. Beide Werke überschneiden sich dabei in vielen Punkten, wie zum Beispiel, dass der Nutzer nicht zu viele Informationen auf einmal verarbeiten und sich merken kann. Im Folgenden werden zunächst die Shneidermans acht goldenen Regeln genannt, welche dann von zwei weiteren Regeln von Nielsen erweitert werden, um beide Werke zusammenzufassen:

1. *Konsistenz anstreben* in Bedienbarkeit und Gestaltung durch ähnliche Aktionen, Funktionen (Löschen, Weiter, Zurück), Inhalte, Design (Farbe, Layout, Schriftart) und Meldungen
2. *Für universelle Einsetzbarkeit sorgen* für verschiedene Typen von Benutzern (Wissen, Erfahrung, etc.), dessen unterschiedliche Bedürfnisse erkannt und berücksichtigt werden sollten.
3. *Informatives Feedback anbieten* für jede Aktion eines Benutzers geben. Die Art der Rückmeldung kann dabei unterschiedlich ausfallen. Kleine und häufig ausgeführte Aktionen lösen ein kleineres Feedback aus. Seltene und kritische Aktionen sollten allerdings eine deutlichere Rückmeldung hervorrufen.
4. *Aktionssequenzen/Dialoge abgeschlossen gestalten*, indem der Benutzer am Ende der Aktionssequenz eine eindeutige Rückmeldung darüber erhält, ob die Aktion abgeschlossen ist und der Fokus einer anderen Aufgabe gewidmet werden kann.
5. *Einfache Fehlerbehandlung anbieten*. Im besten Fall sollte das Interface so gestaltet sein, dass es dem Nutzer nicht möglich ist, fehlerhafte Aktionen durchzuführen. Da aber nicht alle Fehler ausgeschlossen werden können, sollte dem Nutzer eine Möglichkeit gegeben werden, begangene Fehler schnell und einfach zu korrigieren.

6. *Einfaches Umkehren von Aktionen ermöglichen.* Dadurch verliert der Benutzer die Angst Fehler zu begehen und es wird die Erforschung unbekannter Funktionen und Anwendungen durch den Nutzer gefördert.
7. *Dem Benutzer das Gefühl der Kontrolle bieten.* Das System soll auf die Aktion des Nutzers reagieren und nicht umgekehrt. Erfahrene Benutzer wollen beispielsweise keine Überraschungen oder Veränderungen des vertrauten Verhaltens des Systems.
8. *Kurzzeitgedächtnis entlasten.* Laut Miller ist die Größe des Kurzzeitgedächtnisses genetisch festgelegt; ein Mensch kann sieben plus minus zwei Informationseinheiten im Kurzzeitgedächtnis präsent halten. [11]

Das zweite Prinzip von Nielsen beschäftigt sich mit der Vorerfahrung von den Nutzern. Konzepte und Strukturen von ähnlichen Programmen, welche die Nutzer bereits kennen, sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Laut Niensons letztem Prinzip sollte jede graphische Oberfläche dem Nutzer eine Dokumentation und andere Hilfestellungen bieten. Dies beinhaltet keine große Bedienungsanleitung; Hilfestellungen sollten auch in die Applikation eingebunden werden.

2.1.4 Evaluierung

Die erstellten Konzepte und Entwürfe werden wiederholt mit Nutzern besprochen, Prototypen werden ausprobiert. Dies alles dient dazu sicherzustellen, dass die Anforderungen der Nutzer auch tatsächlich erfüllt werden.

Umfragen

Umfragen bieten meist quantitative Ergebnisse, um standardisierte Antworten von einer größeren Anzahl an Personen zu erhalten, anders als beispielsweise Interviews. Sie können sowohl zur Analyse von Benutzern und Kontext als auch zur Evaluation eines Systems eingesetzt werden. Je nach Ziel und Fragestellung können dabei einfache, selbst erstellte Fragebögen oder einheitliche standardisierte Fragebögen, welche methodisch geprüft wurden[8]. Standardisierte Fragebögen bieten einige Vorteile, wie zum Beispiel Wiederholbarkeit oder die Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Der Normenausschuss hat in der Norm 9241-10 folgende sieben Dialogkriterien formuliert[12]:

- Aufgabenangemessenheit,
- Selbstbeschreibungsfähigkeit,
- Steuerbarkeit,
- Erwartungskonformität,

- Fehlertoleranz,
- Individualisierbarkeit und
- Lernförderlichkeit.

Mittels einer Skala, welche die Nutzer während der Umfrage ankreuzen können, lassen sich die Ergebnisse verdichten, statistisch auswerten und Aussagen miteinander vergleichen[8]. Um die Gebrauchstauglichkeit eines Systems am Ende einer Studie zu bewerten, wurden verschiedene Fragebögen entworfen. Nach J. Sauro und J. R. Lewis sind die am häufigsten verwendeten standardisierten Fragebögen[13]:

- Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS) [14],
- Software Usability Measurement Inventory (SUMI) [15],
- Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ) [16] und
- System Usability Scale, standardisierter Fragebogen (SUS) [17].

Diese sind je nach Ziel und Art der Anwendung auszuwählen und bei Bedarf um weitere Fragen zu erweitern.

2.2 Funkssysteme

In diesem Kapitel werden einige Funkssysteme und ihre Funktionsweise sowohl in der Schifffahrt als auch in der Luftfahrt erläutert, mit denen vom Boden aus kommuniziert werden kann. Viele Fahrzeuge sowohl auf dem Wasser als auch in der Luft senden ihre Positionsdaten sowie weitere Daten regelmäßig aus, um die Sicherheit und Verkehrseffizienz im Luftraum sowie zur See zu gewährleisten. Diese Daten können in der Regel frei über entsprechende Empfänger aufgezeichnet und ausgewertet werden.

2.2.1 Funkssysteme für die Luftfahrt

ADS-B

Hinter der Abkürzung ADS-B steht die Bezeichnung für Automatic Dependent Surveillance – Broadcast. Dies kann mit automatischer, bordabhängiger Überwachung übersetzt werden. Dabei handelt es sich um eine Luftraum-Überwachungstechnik, mit denen die von Flugzeugen gesendeten Daten verarbeitet werden. Damit können beispielsweise Flugplätze den Luftraum ohne konventionelle Radare überwachen oder Piloten untereinander Positionsdaten kommunizieren, sofern sie eine entsprechende Ausstattung besitzen. Dadurch lassen sich

mögliche Kollisionen vermeiden. In aller Regel bestimmen Luftfahrzeuge per GPS (global positioning system) oder über EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) über Navigationssatelliten selbst ihre Position. Bei Verkehrsflugzeugen werden beispielsweise die Positionsdaten, der Flugzeugtyp, die Flughöhe, die Geschwindigkeit, die Flugnummer, die geplante Flugrichtung und das Zeitsignal übermittelt. Im Sekundentakt werden diese Daten in der Regel über die Frequenz 1090 MHz gesendet.

Das Senden dieser Daten vom Flugzeug wird als ADS-B out bezeichnet, das Empfangen als ADS-B in. Der Empfang wird mithilfe eines ADS-B Receivers ermöglicht. Vorteile von ADS-B sind:

- **Kosten:** ADS-B-Ausrüstung ist deutlich günstiger als gängige Radarsysteme.
- **Verbreitung:** ADS-B ist in vielen modernen Flugzeugen Standard und in einigen Ländern sogar für Verkehrsteilnehmer verpflichtend (beispielsweise die Vereinigten Staaten).
- **Informationen:** Ein Pilot kann die Umgebung seines Fluggerätes einsehen inklusive verschiedener Informationen wie Geschwindigkeit, Höhe, Position oder Entfernungen von anderen Flugobjekten, welche ebenfalls mit ADS-B ausgestattet sind. Einige ADS-B Technologien versenden außerdem Wetterinformationen oder temporäre Flugeinschränkungen und NOTAMs.
- **Sicherheit:** Durch erhöhte Sichtbarkeit von anderen Verkehrsteilnehmern können Kollisionen vermieden werden.

Ein ADS-B Receiver empfängt die Daten des Flugzeugtransponders. Dies ist bei einer Frequenz von 1090 MHz nur dann möglich, wenn der Empfang nicht durch andere Signale gestört wird. Um ein freies Sichtfeld zu ermöglichen, errichten in der Regel Empfangsstationen daher auf dem Dach die Empfangsantennen. Für den Betrieb werden neben der Antenne für 1090 MHz noch der Receiver, ein Decoder und ein PC mit entsprechender Software für die Datenanzeige benötigt[18].

FLARM

FLARM ist ein Verkehrsinformations- und Kollisionsvermeidungssystem. Ursprünglich wurde FLARM in der Schweiz von dem gleichnamigen Unternehmen für den Segelflug entwickelt, wird jedoch immer populärer. FLARM Geräte werden von verschiedenen Herstellern für Motorflugzeuge, Hubschrauber, Segelflugzeuge und Drohnen angeboten. Es hat die Größe einer Zigarettenschachtel und umfasst im Wesentlichen einen GPS-Empfänger und ein digitales Funkmodul, welches aus einem Sender besteht, der u.a. die aktuelle Position des Geräts im Nahbereich (einige Kilometer) anderen FLARMS übermittelt, und einem zugehörigen Empfänger. Die Datenübertragung erfolgt dabei auf einer konfigurierbaren Frequenz (in Europa 868,2 und 868,4 MHz)[19][20].

Multilateration

Multilateration (auch kurz MLAT genannt) ist ein Verfahren, bei dem die Position eines Objektes durch Entfernungsmessung von bekannten Punkten aus bestimmt wird. Befindet sich ein Objekt im Bereich zwischen mindestens drei verschiedenen Referenzpunkten, kann mittels der Entfernung durch geometrische Verfahren die Position des Objekts ermittelt werden. Direkte Seitenwinkelmessungen (und damit große Richtantennen) sind nicht notwendig. Dieses Verfahren benötigt keine besondere Ausrüstung der Luftfahrt und nutzt existierende Ausrüstung. Moderne Flugzeuge senden bereits Positionsdaten durch beispielsweise ADS-B-Signale. Ältere Flugzeuge senden nur ihre Identität und ihre Flughöhe, aber keine Positionsmeldung. Durch Multilateration lässt sich auch die Position dieser Flugzeuge bestimmen, da die Entfernung zu anderen Referenzpunkten durch die Empfangsdauer der Signale gegeben ist. Durch dieses Verfahren soll ebenfalls die Sicherheit im Flugverkehr erhöht werden [21][22].

2.2.2 Funksysteme für die Schifffahrt

AIS

Hinter der Abkürzung AIS steht die Bezeichnung für Automatic Identification System und bezeichnet ein Funksystem, das durch den Austausch von Navigations- und anderen Schiffsdaten die Sicherheit und die Steuerung des Schiffsverkehrs verbessert. Dabei sollen Kollisionen zwischen Schiffen vermieden sowie eine landseitige Regelung des Schiffsverkehrs verbessert werden. Dieses System wurde am 6. Dezember 2000 von der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (IMO) als verbindlicher Standard genommen. AIS ist ein Funksystem, welches im UKW (Ultrakurzwellen)-Frequenzbereich arbeitet. Dies ermöglicht es, sowohl Nachrichten zwischen Schiffen, als auch Nachrichten mit Küstenstationen auszutauschen. Eine AIS-Nachricht beinhaltet dabei verschiedene Informationen:

- statische Informationen:
 - MMSI-Nummer (maritime mobile service identity, entspricht der Rufnummer einer Seefunkstelle im GMDSS (global maritime distress and safety system), diese wird in Deutschland durch die Bundesnetzagentur vergeben)
 - Schiffsname
 - IMO-Nummer (eindeutige Schiffsnummer vergeben durch die IMO (internationale Seeschifffahrts-Organisation)
 - Länge und Breite des Schiffs in Metern
 - Schiffstyp
- dynamische Informationen:

- Position in Längen- und Breitengraden
 - Zeitstempel der Position in UTC
 - Kurs über Grund in Grad
 - Geschwindigkeit über Grund in Knoten
 - Steuerkurs in Grad
 - Navigationsstatus
 - Kursänderungsrate
- reisespezifische Informationen:
 - Gefahrgutklasse der Ladung
 - Reiseziel
 - erwartete Ankunftszeit

Problematiken bestehen dabei, dass dynamische Informationen nur zuverlässig erfasst werden können, wenn die entsprechende Sensorik ebenfalls zuverlässig funktioniert. Außerdem sind AIS-Nachrichten unverschlüsselt. In der Regel sollten AIS-Sender immer eingeschaltet sein, jedoch sind sicherheitskritische Gebiete durch die Gefahr von beispielsweise Piraten ausgenommen, welche diese Nachrichten ebenfalls für eigene Zwecke verwenden können. Auch sind nicht alle Verkehrsteilnehmer wie kleine Schlauchboote oder Ruderboote mit AIS ausgestattet. Daher bietet dieses System keine vollständige Seeraumüberwachung[23].

2.3 Umgebungsanforderungen von UAS-Systemen

Die autonome Operation von unmanned aerial systems (UAS) oder zu deutsch unbemannte Luftfahrtsysteme wird immer wichtiger für neue Aufgaben im Bereich von Logistik, Überwachung von Vorgängen oder von Inspektionen. Dabei sind UAS-Systeme stark von Wettereinflüssen während des Flugs betroffen. Um einen sicheren Betrieb dieser Systeme zu gewährleisten, müssen Parameter und Grenzwerte definiert werden, welche nicht überschritten werden dürfen. Dies gilt besonders für prototypische Systeme, da diese sich noch in einer Testphase befinden. Durch Simulationen wurden verschiedene Parameter spezifiziert, welche einen besonderen Einfluss auf die Flugfähigkeit eines englisch: unmanned aerial vehicle, unbemanntes Luftfahrzeug (UAV) haben[24]:

- Windgeschwindigkeit: beeinflusst die Geschwindigkeit und die Manövrierfähigkeit des UAVs.
- Windböen: beeinflussen die Manövrierfähigkeit insbesondere bei Start- und Landevorgängen.

- Vereisung: beeinflusst die Leistung von Flügeln und Propellern durch Verringerung des Auftriebs. Vereisung auf Flugzeugoberflächen erhöht im Allgemeinen das Gewicht und kann den Luftwiderstand erhöhen. Vereisung auf frei liegenden beweglichen Teilen wie Servomotoren kann ihre Funktionalität einschränken. Die Reichweite der Funkkommunikation kann außerdem eingeschränkt werden, wenn Antennen oder Teile davon mit Eis abgedeckt sind.
- Bewölkung: beeinflusst die Sichtweite und damit die Leistung von DAA-Sensoren (detect and avoid - aufspüren und vermeiden).
- Niederschlag: beeinflusst die Leistung von einigen Sensoren und erhöht die Gefahr von Kurzschlüssen.
- Schneefall: beeinflusst ebenfalls die Leistung von Sensoren, jedoch in der Regel nicht so stark wie bei anderem Niederschlag wie beispielsweise Regen.
- Taupunkt: beeinflusst die Leistung, wenn der Taupunkt nahe der Lufttemperatur ist. Dadurch können sich Wassertropfen in der Luft bilden.
- Temperatur: beeinflusst die Leistung von Batterien, Sensoren, Elektronik und die strukturelle Integrität.
- Gewitter: kann die Kommunikation des UAVs mit anderen System unterbrechen. Auch ist es möglich, dass ein Blitz die Elektronik zerstört, auch wenn die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Fall sehr niedrig ist.
- Windrichtung: beeinflusst die Reichweite des UAVs.

Vereisung hängt dabei von vielen verschiedenen Faktoren ab. Ein wichtiger Faktor ist die Temperatur. Vereisung kann bei einer Temperatur von -40 °C - 0 °C auftreten. Ein weiterer Faktor ist der Taupunkt. Ist dieser nahe der Lufttemperatur, bilden sich leichter Wassertropfen oder auch Eis in der Luft. In der Literatur werden für die Differenz zwischen Taupunkt und der Lufttemperatur verschiedene Werte genannt: Beträgt die Differenz zwischen Taupunkt und der Lufttemperatur weniger 2 °C nach [25], $2,8\text{ °C}$ nach [26] oder 3 °C nach [27], ist Eisbildung sehr wahrscheinlich.

Die Windgeschwindigkeit ist je nach Höhe sehr variabel. So bremst eine Stadt oder ein Wald den Wind aufgrund von Reibung deutlich stärker als eine Steppe oder offenes Meer. Ein vereinfachtes Modell berechnet anhand dieses Rauheitsparameters die Windgeschwindigkeit je nach Höhe. Wettereinflüsse werden dabei vernachlässigt, dennoch lässt dieses Modell eine gute Abschätzung zu. In Abhängigkeit dieser Rauheitslänge z_0 , über die angegeben wird, in welcher Höhe über dem Boden die Windgeschwindigkeit durch Hindernisse (also die

Rauhigkeit) auf Null verringert wird, lässt sich für jedes Gelände ein spezifisches, logarithmisches Grenzschichtmodell berechnen[28]. Umso größer also die Rauigkeitslänge ist, umso stärker wird der Wind abgebremst. Zur Bestimmung der Rauigkeitslänge benötigt man zwei gemessene Windgeschwindigkeiten v_1 und v_2 in den Höhen h_1 und h_2 sowie die Dicke der Grenzschicht d :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\ln\left(\frac{h_2-d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1-d}{z_0}\right)}$$

Eine vereinfachte Form der Formel lautet:

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^g$$

Kleemann und Meliß haben eine Richtwerttabelle für den Exponenten g aufgestellt[29]:

- Offenes Gelände (Wasser, Gras- oder Ackerland, Küsten, Wüsten etc.): 0,16
- Gelände mit Hindernissen bis 15m (Wälder, Siedlungen, Städte etc.): 0,28
- Gelände mit großen Hindernissen (große Städte etc.): 0,40

Die Temperatur ist ebenfalls je nach Höhe variabel. Die Temperatur verringert sich, je nach dem in welcher Höhe diese gemessen wird. Die ICAO (International Civil Organization) hat für die Luftfahrt eine Normatmosphäre definiert[30], für die Folgendes gilt:

- Luft wird als ein absolut trockenes Gas betrachtet, d.h. die Relative Luftfeuchte U beträgt $U = 0\%$.
- Die Konstanten als globale Mittelwerte im mittleren Meeresniveau (NN) lauten:
 - Lufttemperatur $T_o = 288,15\text{ K}$ (15 C),
 - Luftdruck $p_o = 1.013,25\text{ hPa}$ und
 - Luftdichte $\rho_o = 1,2250\text{ kg m}^{-3}$
- Die vertikale Temperaturänderung beträgt bis $11.000\text{ m ü. NN} - 0,0065\text{ K m}^{-1}$ (Abnahme mit der Höhe)

Somit gilt nach diesem Modell eine lineare Temperaturabnahme von 0.65 pro 100 m bis zur Tropopause. Darüber hinaus sind die Daten für Drohnenflüge nicht interessant, da diese in der Regel in deutlich niedrigeren Höhen fliegen.

Ein weiterer Faktor ist der kp-Index. Er ist ein Maß für die globale geomagnetische Aktivität,

welcher auf einer Skala von 1-9 dargestellt wird. Normalerweise ist dieses Aktivitätslevel unter vier, die geomagnetische Aktivität ist „leise“, während der Wert 4 „unruhig“ ist und über vier von einem magnetischen Sturm gesprochen wird[31]. Der geomagnetische 3-Stunden Kp-Index wurde 1949 von J. Bartels eingeführt. Dieser berechnet sich auch den standardisierten K-Indizes (Ks) von 13 geomagnetischen Observatorien[32]. Diese geomagnetischen Aktivitäten werden beispielsweise durch Sonnenaktivitäten verursacht, welche einen großen Einfluss auf die Leistung von GPS-Systemen (global positioning systems) hat. GPS-Systeme senden dabei Radiowellen zu Navigationsatelliten. Bei hoher geomagnetischer Aktivität wird die Geschwindigkeit dieser Radiowellen so stark beeinflusst, dass das GPS-System nicht mehr zuverlässig eine Position berechnen kann[31].

3 Designprozess

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit dem Entwicklungsprozess und der anschließenden Umsetzung des Projekts. Das Ziel des Prozesses ist es, das Versuchspersonal bei seiner Arbeit im Testzentrum in den unterschiedlichen Bereichen bestmöglich zu unterstützen und zu entlasten. Der Entwicklungsprozess basiert dabei auf das User-Centered-Design (UCD) Methoden, um eine hohe Nutzerfreundlichkeit zu gewährleisten.

Diese Arbeit wird sich dabei hauptsächlich auf die Auslagerungsstände und die UAS-Projekte fokussieren. AUV-Projekte sind in der Regel nah an den UAS-Projekten und haben ähnliche Anforderungen. Des weiteren unterliegen aktuelle Projekte der Geheimhaltung und können daher im Rahmen dieser Arbeit nicht im Detail betrachtet werden.

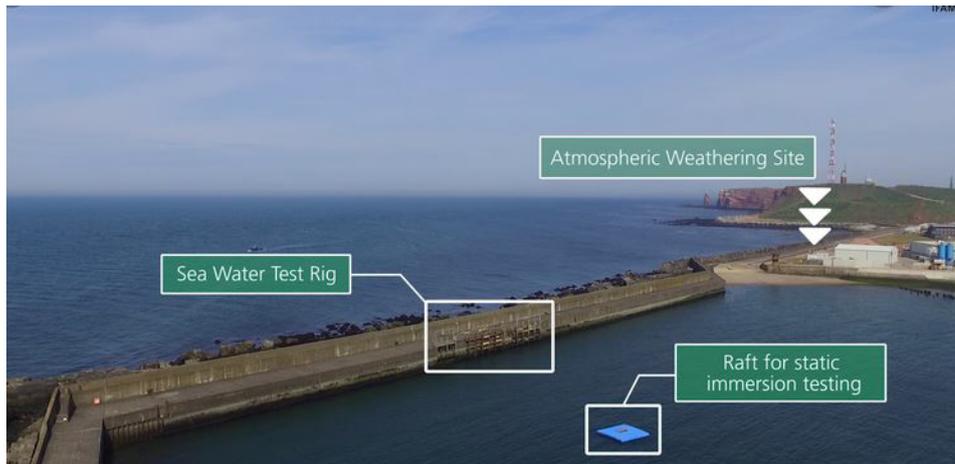
Zunächst wird die Ausgangslage beschrieben und die Anforderungen für das Projekt durch eine Analyse der Ausgangslage und durch Interviews mit Mitarbeitenden und zukünftigen Nutzern gesammelt. Die Nutzer werden in Personas charakterisiert und mögliche Szenarien erstellt. Durch die Analyse werden Aufgaben deutlich, die das Programm später behandeln soll. Daraus wird ein erster Prototyp erstellt, der evaluiert und nach Bedarf erweitert und verbessert wird. Aus dem Prototyp wird dann das System umgesetzt.

3.1 Ausgangslage

Zunächst wird die Ausgangslage der einzelnen Projekte analysiert, um den aktuellen Prozess am Testzentrum nachzuvollziehen und Optimierungspotentiale erkennen zu können. Im ersten Schritt wird dazu die Arbeit an den Auslagerungsständen beschrieben. Anschließend werden UAS-Missionen anhand einer beispielhaften Missionsbegleitung „X-Wakes“ beschrieben.

3.1.1 Probendokumentation Auslagerungsgestelle

Das Fraunhofer IFAM besitzt mehrere Auslagerungsgestelle für die Proben an mehreren Orten in Deutschland, unter anderem ein Gestell an der Mole von der Hochseeinsel Helgoland. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Teststände auf Helgoland für das Testzentrum vor Ort betrachtet.



Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 4: Teststände

Im Helgoländer Südhafen gibt es drei Teststände: einen Teststand an der Mole, auf dem Proben der atmosphärischen Wetterbeeinflussung ausgesetzt sind, einem Seewassergestell, an dem Proben in verschiedenen Zonen (Dauertauch-, Wechsellauch- und Spritzwasser-Zone) geprüft werden und einem Gestell auf einem Ponton, an dem Proben ebenfalls in im Wasser weiter in der Mole geprüft werden (Abbildung 4). Im Folgenden wird das Seewassergestell betrieben durch das IFAM detailliert beschrieben:

An einem Gestell auf Helgoland hängen bis zu acht Rahmen untereinander beziehungsweise fünf Rahmen nebeneinander. Benannt werden diese von oben nach unten mit den Buchstaben A bis H und vertikal 1 bis 5 (vgl. Abbildung 5). Dadurch können die Proben auf verschiedene Arten an Witterungseinflüssen getestet werden. Die unteren Rahmen sind auch bei Niedrigwasser dauerhaft unter Wasser, andere Rahmen nur bei Hochwasser. Die oberen Rahmen sind dem Spritzwasser ausgesetzt und tauchen in der Regel nicht. An diese Rahmen werden je nach Kunden verschiedene Proben aufgeschraubt. Diese reichen von einfachen kleinen Metallproben bis hin zu elektronischen Bauteilen zum Beispiel für Schiffe oder Offshore-Anlagen. Ein Rahmen hat eine Größe von 42 x 240 cm; je nach Probenform können eine verschiedene Anzahl an Proben am Rahmen angebracht werden (Abbildung 6). Da es sich in der Regel um Bleche aus Metalllegierungen handelt, können ungefähr 20 Proben auf einem Rahmen montiert werden. Bei kleineren Proben werden auch Hilfsträger eingesetzt, um mehrere Proben auf einer Rahmenposition unterzubringen. Die Rahmen können mit einem mobilen Kran aus dem Gestell gehoben oder im Gestell verkeilt werden.



Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 5: Auslagerungsgestell

Zweimal im Jahr fährt ein Team vom IFAM nach Helgoland und führt dort eine komplette Dokumentation durch. Einzelne Prüfungen werden auch regelmäßiger durchgeführt. Für die Dokumentation werden sämtliche Rahmen aus dem Wasser zu befordert und die Proben zu dokumentiert. In der Regel wird dazu ein Foto von dem Rahmen und von jeder Probe gemacht. Gegebenenfalls gehören dazu Detailfotos und wissenschaftliche Untersuchungen wie zum Beispiel biologische Betrachtungen des Bewuchses oder chemische Betrachtungen der Korrosion anhand von spezifischen Prüfkriterien. Danach werden anhand der Pläne einzelne Proben entnommen und für den Kunden verpackt und neue Proben aufgebracht. Je nach Probe werden diese für eine festgelegte Zeit auf den Rahmen angebracht, von einigen Monaten bis hin zu mehreren Jahren.

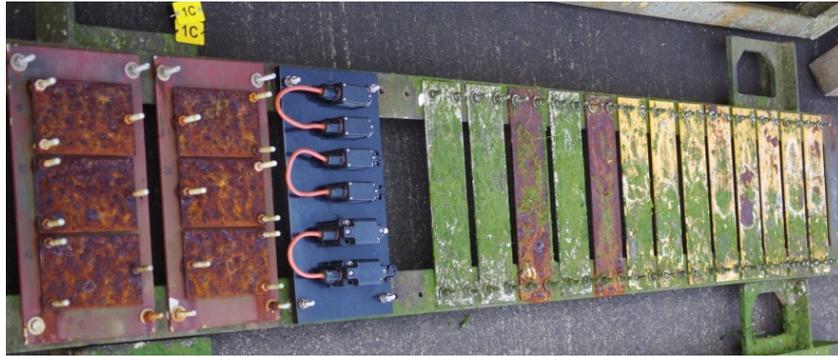


Abbildung 6: Rahmen

Für die Fotos werden des Weiteren verschiedene Kameras für verschiedene Perspektiven verwendet. Für einen Gesamtüberblick über einen Rahmen wird eine Sony-Alpha-6000 mit einem 12 mm Objektiv verwendet und für Nahaufnahmen einzelner Proben eine Pentax K-3 mit einem 35 mm Objektiv. Somit lassen sich die verschiedenen Bilder erstellen, ohne die Objektive wechseln zu müssen. Anschließend werden die Fotos und Dokumente den einzelnen Proben zugeordnet und in einem entsprechenden Ordnersystem gespeichert. Zum Schluss einer Dokumentation wird für einen Überblick eine Excel-Tabelle angefertigt, in der Fotos sowie Kommentare zu jedem Rahmen enthalten sind. Je nach Kunde gehören dazu auch ein Probenbericht mit der Probenhistorie sowie den Messdaten.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde dieser Dokumentationsvorgang digitalisiert[33]. Die verschiedenen Proben werden dabei kontaktlos über RFID-Transponder referenziert. Dies ermöglicht eine Identifikation, die weniger anfällig gegen Umwelteinflüsse wie Bewuchs ist. Dazu wird in der Hutmutter, mit denen die Proben auf den Rahmen befestigt werden, ein NFC-Transponder vergossen (Abbildung 7). Diese lässt sich während der Probendokumentation mit einem entsprechenden Empfänger auslesen. Die Daten von der identifizierten Probe liegen in einer SQLite-Datenbank, welche dann angezeigt werden und bearbeitbar sind. Zusätzlich lassen sich Planungsaufgaben hinterlegen. Ebenfalls lassen sich externe Dateien wie zum Beispiel Testergebnisse oder Bilder anfügen. Um die Bilder von der externen Kamera zu übertragen, wird eine W-LAN-Karte von „Flashair“ verwendet. Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde dieses System mittels der Programmiersprache JAVA für ein Windows-Tablet entwickelt. JAVA ermöglicht eine betriebssystem-unabhängige Entwicklung eines Systems; während der Bachelorarbeit war die Erweiterung für ein Tablet vorgesehen. Für die NFC-Schnittstelle wurde der USB-Dongle PUR-Dongle-100U von rf-embedded verwendet. Dieses System wurde anschließend für ein Android-Tablet (Samsung Galaxy Tab Active 2) erweitert, welches einen NFC-Transponder enthält. Für eine zuverlässige Übertragung der Referenznummer der Probe müssen Transponder und Empfänger sehr nah beieinander sein. Für eine zuverlässige Übertragung wurde dafür eine Mulde gedruckt und an die Stelle des

NFC-Transponders des Tablets geklebt (Abbildung 8).

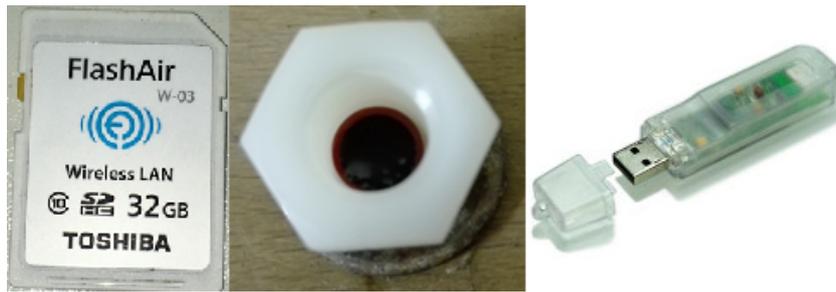


Abbildung 7: Werkzeuge Probendokumentation



Abbildung 8: Tablet

Für die Datenbank wurde eine lokale SQLite-Variante gewählt, da eine sichere Internetverbindung auf der Mole nicht gewährleistet werden kann. In dieser Datenbank werden in verschiedenen Tabellen die Probandaten gespeichert (Abbildung 9): Jede Probe ist an Rahmen angebracht und somit dieser untergeordnet. Dafür wurde eine Rahmentabelle erstellt, welche die Rahmendaten enthält. Eine weitere Tabelle enthält alle Proben, welche jeweils einen Verweis zu ihrem Rahmen haben. Eine andere Tabelle enthält alle Planungsaufgaben, die letzten beiden Tabellen enthalten jeweils eine Rahmen- und eine Probenhistorie. In diesen Tabellen werden Änderungen vermerkt sowie Verweise zu angehängten Dateien gespeichert. Angehängte Dateien werden neben der Datenbank-Datei in einer Ordnerstruktur gespeichert.

Jeder Rahmen erhält einen eigenen Ordner mit angehängten Dateien zu dem Rahmen sowie weitere Ordner, welche die Proben darstellen. In den Probenordnern sind ebenfalls die angehängten Dateien zu der Probe hinterlegt.

Diese digitale Probendokumentation befindet sich momentan in einer Testphase.

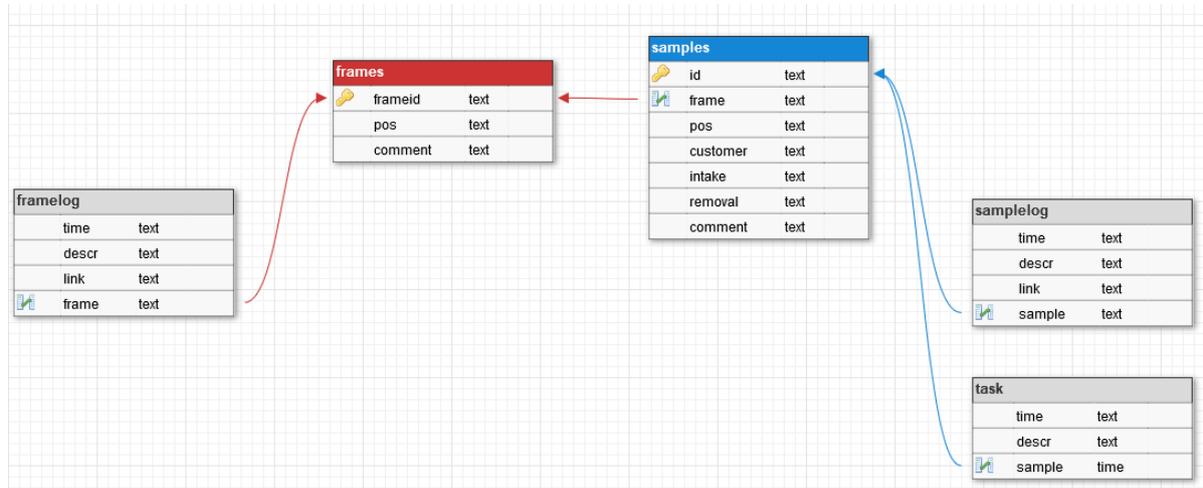


Abbildung 9: Auslagerungsgestell-Datenbank

3.1.2 Missionsbegleitung X-Wakes

Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit mobiler Robotik inklusive unbemannter Drohnenflüge. Im Folgenden wird dazu am Beispiel X-Wakes eine typische Missionsbegleitung eines UAS-Projekts vorgestellt:



Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 10: X-Wakes-Drohne

Im Rahmen des X-Wakes Projekts führte die Universität Tübingen im Zeitraum vom 13. - 24. September 2021 unbemannte Messflüge zur Erforschung der Wechselwirkung von Windparks und Windparkclustern, sowie des Küsteneinflusses auf Windparks in der Deutschen Bucht in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM durch[34][35]. Ein beispielhafter Tagesablauf wird anhand dieses Projektes im Folgenden beschrieben:

Morgens war der Treffpunkt im Testzentrum Helgoland. Zunächst wurde dort ein Wetterbriefing durchgeführt. Dafür wurden verschiedene Quellen aus dem Internet zu Hilfe genommen: Für einen groben Überblick der Wetterlage diente die Analyse- und Prognosekarte des DWD[36] und für eine feinere Darstellung eine Wetterkarte von windy[37]. Diese Webseite verwendet verschiedene Prognosemodelle, wodurch sich ein recht gutes Lagebild ergibt. Eine weitere Quelle aus dem Flugverkehr ist das METAR[38]. Dies ist eine standardisierte Meldung in Kurzform, welche die Wetterbeobachtungen vom Helgoländer Flugplatz wiedergibt. Im nächsten Schritt werden die NOTAMs[39] in dem geplanten Fluggebiet betrachtet. Diese beinhalten verschiedene Anordnungen und Informationen für den Flugverkehr. Z.B. der geplante Drohnenflug wird ebenfalls als NOTAM ausgeschrieben. Für das X-Wakes-Projekt ist ebenfalls der Seegang[40] aus Projekt-Sicht interessant, sowie das Meteogramm, welches mit den Daten vom DWD erstellt wurde.

Anschließend wird die Flugmission geplant. Hierzu zählt der geplante Weg, den die Drohne später nehmen soll sowie die Besprechung von Notfallplänen.

Als nächstes wird an der Mole der Drohnenflug vorbereitet. Dazu gehört zunächst die Akkumulatoren zu laden und der Aufbau einer Antenne zur Übertragung der Daten von der Drohne. Anschließend wird die Drohne aufgebaut und getestet (Preflightcheck). Dabei werden alle „Flightcontrols“ geprüft. Währenddessen werden verschiedene Kontrollstellen des Luftraums über die Mission informiert. Hierzu zählt die Anmeldung der ED-R bei FIS Langen und Bremen sowie der Seewarndienst. Danach wird die Messhaube installiert und auf ihre Funktion getestet. Anschließend findet ein „Weight- and Balancecheck“ statt. Dazu wird die Drohne auf eine Art Waage gelegt und die Gewichtsverteilung geprüft. Zuletzt wird der Motor getestet.

Nun kann die eigentliche Mission beginnen. Die Drohne wird auf den Startplatz getragen und die vorprogrammierte Route wird gestartet. Der Flug wird permanent überwacht. Besonders wird auf verschiedene äußere Einflüsse wie zum Beispiel der Flug- und Schiffsverkehr und das Wetter geachtet. Hilfe dazu bieten verschiedene Webseiten und Radarsysteme aus dem Internet. Den Schiffsverkehr zeichnen Webseiten wie marinetraffic[41] oder vesselfinder[42] auf. Der Flugverkehr wird durch ein ADS-B- und FLARM-System des Fraunhofer IFAM aufgezeichnet. Auf einem weiteren Monitor befinden sich detaillierte Informationen der Peripheriegeräte der Drohne (Abbildung 11).

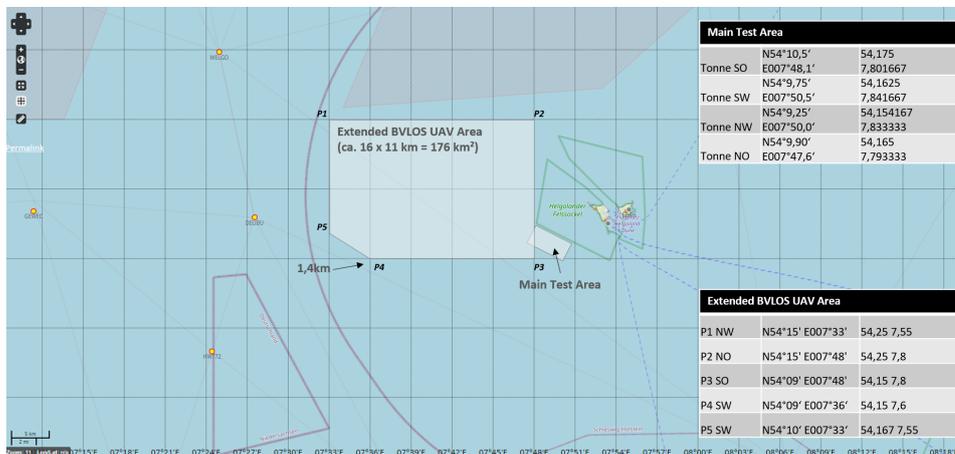


Abbildung 11: Missionsbegleitung

Nach dem Abschluss der Mission wird die Ausrüstung wieder abgebaut und die Mission nachbesprochen und dokumentiert.

3.1.3 Testfeld

Das maritime Testzentrum besitzt für seine Missionen verschiedene Testfelder. Das Haupttestfeld westlich von Helgoland wurde mit Tonnen versehen und ist auf üblichen Seekarten vermerkt (Abbildung 12). Dort können beispielsweise AUV- und UAS-Missionen durchgeführt werden. Das größere UAV-Testfeld ebenfalls westlich von Helgoland ist als NOTAM für die Flugsicherung vermerkt und kann mit entsprechender Genehmigung als Testfeld für UAV-Systemen in niedrigen Höhen genutzt werden. Dies ist aber nicht dauerhaft aktiv.



Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 12: Testfelder

3.2 Nutzerbeschreibung

Die Nutzer der zu entwickelnden Applikation sind die Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts, welche die verschiedenen Missionen des Testzentrums betreuen, und die Kunden, welche die Missionen in Auftrag geben. Die Altersgruppe ist dabei groß, mit einer Spanne von ungefähr 18 bis 60 Jahren. Typische Nutzer haben einen wissenschaftlichen Hintergrund und grundlegende Computerkenntnisse. Sie sind in der Regel auf ihre jeweiligen Projekte spezialisiert und mit diesen vertraut. Die meisten Nutzer kommen aus Deutschland und teilweise auch anderen europäischen Ländern.

Das Ziel aller Nutzer ist eine einfache und schnelle Missionsdurchführung ohne Zwischenfälle.

3.3 Positive Aspekte und Optimierungspotentiale

In diesem Abschnitt werden typische Missionsbegleitungen der einzelnen Projekte des Testzentrums ausgehend von der Ausgangssituation auf positive Aspekte und Optimierungspotentiale analysiert. Daraus lassen sich in der Anforderungsanalyse bereits erste Anforderungen an das Produkt entwickeln.

Auslagerungsstände

Für die Auslagerungsstände wurde bereits ein digitales Probendokumentationssystem entwickelt. Sofern dieses die Testphase erfolgreich besteht, lässt sich dieses System in das HELIOS-Portal integrieren und mit den anderen Daten verknüpfen. Dadurch lassen sich bereits Wetterdatenanalysen durchführen, um beispielsweise die Probenveränderungen (Korrosion, Bewuchs, etc.) mit den Wetter- und Wasserdaten belegen zu können. Außerdem sind dadurch die Probendaten einfacher zugänglich und einsehbar.

UAS

Ein typischer Ablauf beginnt mit dem Missionsbriefing. Dazu werden viele verschiedene Quellen zur Analyse der Wettersituation herangezogen. Diese bestehen aus verschiedenen Webseiten. Dabei hat jeder Mitarbeiter ein Repertoire an Quellen; eine Sammlung besteht nicht. Ein Optimierungspotential besteht darin, diese Quellen zu sammeln, sodass das Missionsbriefing einfacher und einheitlicher gestaltet werden kann, ohne dass wichtige Informationen übersehen werden.

Während der Missionen müssen einige verschiedene Aspekte beachtet werden, damit es zu keinen Zwischenfällen während der Mission kommen kann. Das Wetter kann potentiell sehr schwanken, was einen Flugabbruch hervorrufen kann. Ein anderer Aspekt ist die Überwachung des Luftraums, um unangemeldete Zwischenfälle zu vermeiden. Auf Helgoland gibt es einen Flugplatz und militärischen sowie kommerziellen Helikopterbetrieb. Au-

Berdem gibt es einen SAR-Stützpunkt (Search and Rescue, Suche und Rettung) auf Helgoland, welche unter Umständen den geplanten Flugverkehr durcheinander bringen können. Dasselbe gilt für den Schiffsverkehr, wenn die Drohne startet und dabei recht tief im Hafen fliegt. Diese Einflüsse werden auf verschiedenen Monitoren überprüft, sodass ein schneller Überblick nur schwer möglich ist. Diese Informationen sollten ebenfalls gebündelt aufbereitet und präsentiert werden, sodass diese übersichtlicher und somit schneller verarbeitet werden.

3.4 Personas und Szenarien

Nach Interviews mit den Mitarbeitern und Beobachtungen der Arbeitsabläufe wurden zwei Personas erstellt, welche typische Aspekte der Nutzer umfassen. Sie repräsentieren eine große Altersgruppe und typische Mitarbeitertypen: eine Studentin und einen erfahrenen Mitarbeiter. Die Studentin heißt Katarina Hoppe und der Mitarbeiter Jonas Klein, welche in Tabelle 1 vorgestellt werden.

| Personas | |
|---|--|
| Jonas Klein | Katharina Hoppe |
| Meeresbiologe am IFAM 55 Jahre | Technischer HIWI Uni Tübingen 24 Jahre |
| <u>Situation</u> Jonas ist ein sehr erfahrener Biologe und arbeitet seit 20 Jahren am IFAM. Er betreut die Auslagerungsstände auf Helgoland betrieben durch das Fraunhofer IFAM (Kapitel 3.1.1). | <u>Situation</u> Katarina ist eine junge, kreative Studentin und arbeitet seit einem Jahr am Projekt X-Wakes. Hierfür führt sie unbemannte Messflüge in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM durch (Kapitel 3.1.2). Sie geht Probleme offen an und sucht verschiedenste Wege, diese zu lösen. |
| <u>Ziel</u> versucht die Probandaten digital zusammenfassen und mit weiteren Daten für verschiedene Auswertungen zu ergänzen | <u>Ziel</u> sucht nach einer Möglichkeit, Daten für Versuchskampagnen auf einen Blick zu haben, anstatt viele verschiedene Quellen verwenden zu müssen |
| <u>Selbsteinschätzung</u> Computerkenntnisse ● ● ● ○ ○ Fachliche Expertise ● ● ● ● ● | <u>Selbsteinschätzung</u> Computerkenntnisse ● ● ● ● ○ Fachliche Expertise ● ● ● ● ○ |

Tabelle 1: Personas

Mit dem Wissen über die groben Funktionalitäten des zukünftigen Wissen und den prototypischen Nutzern lassen sich im nächsten Schritt Überlegungen anstellen, wie Jonas und Katharina mit dem neuen Portal interagieren könnten. Aus den resultierenden Szenarien ergeben sich Motivationen, Ziele und Möglichkeiten der Personas in Bezug auf die Interaktion mit dem neuen System. Dadurch wird der Entwickler in die Position und Rolle der Nutzer gesetzt.

3.4.1 Szenario für Jonas Klein

Jonas betreut schon seit einiger Zeit die Korrosionsprüfstände. Doch den Überblick zu behalten, wo welche Proben von wem hinkommen sollen ist gar nicht so einfach. Dennoch hat das alte System bisher gut funktioniert. Nun soll ein neues Programm her, welches die Da-

ten sammeln soll; Jonas ist etwas frustriert, dennoch neugierig, ob das neue Programm eine zuverlässige Hilfe sein kann. Mit diesen Gedanken nimmt er noch einen Schluck Kaffee aus seiner Tasse und startet den PC. Draußen prasseln Regentropfen gegen die Schreibe. Er tippt sein Passwort ein und öffnet seinen Internet-Browser. Dort hatte er sich noch gestern ein Lesezeichen des neuen Portals erstellt. Die Seite öffnet sich. Als erstes fällt ihm ein Bild von einer Webcam auf: Ein Bild von der Helgoländer Düne unter blauem Himmel. „Immerhin scheint wohl dort die Sonne“. Dann lenkt er seinen Blick auf die linke Seite, wo er verschiedene Tabs auswählen kann. Dies kommt ihm von anderen Webseiten bekannt vor, und er klickt auf den zweiten Tab, wo er den Namen von seinem Projektnamen wiedererkennt. Zuerst schaut er verwundert, die Einträge scheinen leer zu sein, doch er hat noch keine Probe ausgewählt. „Lade Datenbank“ steht ganz oben, „versuchen wir das doch mal“ denkt er sich und klickt dort darauf. Eine Meldung erscheint „Datenbank geladen“ und die leeren Felder füllen sich. „Na geht doch“ denkt er sich und wählt eine neue Probe aus. Die Felder ändern sich. Er scrollt etwas hinunter und findet Graphen mit Temperaturverläufen zu der Probe. Nun kramt er auf seinem Tisch, um seine eigenen Tabellen zu suchen. Letzte Woche kam noch ein Kunde, der seine neue Beschichtung für Offshore-Windanlagen testen wollte. Nachdem er die Tabellen gefunden hat, klickt er auf „neue Probe“ und überträgt die Daten und klickt auf „ok“. „Datenbank aktualisiert“ erscheint. Mit einem Lächeln schließt er seinen Browser und geht hinunter, um die Probe einzupacken. Nächste Woche soll diese bei der nächsten Probendokumentation ausgelagert werden.

3.4.2 Szenario für Katharina Hoppe

Katharina ist aufgeregt, seit dieser Woche ist sie zum ersten Mal auf der Insel Helgoland. Dort arbeiten, wo andere Urlaub machen, hat schon etwas. Vor zwei Wochen hatte sie als Hilfswissenschaftlerin angefangen und soll nun ein neues Sensorsystem mit einer Drohne testen. Gestern war der erste Testflug, bei dem sie sich schon mit den technischen Hilfsmitteln vertraut machen durfte. Heute morgen wurden während des Missionsbriefing alle Bedingungen geprüft, das Wetter scheint perfekt zu sein. Sie sitzt im Container des IFAM, welches zum Kontrollzentrum umfunktioniert wurde. Um sie herum stehen verschiedene Monitore, auf denen gestern noch Schiffe und Flugzeuge rund um Helgoland zu sehen waren. Doch heute braucht sie diese nicht mehr. Sie wechselt den Tab vom Portal auf „UAS - In Mission“. Es öffnet sich eine Karte mit einem Flugzeug am Rand der Karte und einem in der Mitte. Dies muss wohl die Drohne sein, denkt sie sich und tippt die Kennung in ein leeres Feld. Das Symbol des Flugzeugs ändert sich in eine Drohne. „Es sieht alles gut aus, es kann los gehen“, sagt sie durch ihr Funkgerät den anderen am Hafen, welche die Drohne starten. Die Drohne kreist noch einmal über dem Hafen und startet dann ihren Flug. Auf dem Rückflug erscheint

auf einmal ein rotes Flugzeug auf dem Monitor, welches sich bedrohlich der Flugbahn der Drohne nähert. Sie warnt durch ihr Funkgerät. und ihre Kollegen können noch einmal erfolgreich die Drohne stoppen. „Das war ja noch einmal gut gegangen“, denkt sie sich und wartet, bis das rote Flugzeug vorbeigeflogen ist. Nach der Landung sind alle glücklich, dass nichts schlimmeres passiert ist.

3.5 Anforderungsanalyse

Auf Basis von Interviews und einer Teilnahme an einer Missionsbegleitung wurde ein typischer Ablauf und deren Optimierungspotentiale spezifiziert. Anhand dessen werden im folgenden Abschnitt Anforderungen an das System spezifiziert.

Die Missionsbegleitung sollte nach Möglichkeit in einem webbasierten Dashboard umgesetzt werden. Dadurch lässt sich das Dashboard plattformunabhängig von überall aus aufrufen, sofern man einen Zugang zum Netzwerk des maritimen Testzentrums hat. Die einzelnen Projekte werden dann je nach Anwendungsbereich strukturiert. Dazu zählen:

- die Auslagerungsstände,
- UAS- und
- AUV-Missionen.

Des weiteren lassen die einzelnen Projekte auch in zeitlichen Zusammenhängen strukturieren:

- Pre-Mission,
- In-Mission und
- Post-Mission.

Im Folgenden wird zunächst eine Datenstruktur skizziert, welche Daten in das System einfließen sollen. Danach werden die einzelnen Projekte mit ihren jeweiligen Anforderungen benannt.

3.5.1 Datenstruktur

Das Projekt soll Anschluss zu verschiedenen Datenschnittstellen bieten (Abbildung 13). Dazu gehören Wetterdaten von einer eigenen Wetterstation des Fraunhofer IFAM. Da die eigene Wetterstation noch nicht sehr lange Daten aufzeichnet, werden diese durch die deutlich größere Datenbank des deutschen Wetterdienstes (DWD) ergänzt. Somit können für weitere

Analysen mehr Parameter über einen längeren Zeitraum verwendet werden. Dies ermöglicht ebenfalls einen Vergleich, sofern die Daten stark von einander abweichen sollten.

Ein anderer Bereich beschäftigt sich mit Wasserdaten. Das Fraunhofer IFAM möchte in Zukunft eine eigene Tonne mit verschiedenen Wassersensoren in Betrieb nehmen, was zum Zeitpunkt der Arbeit noch nicht geschehen ist. Diese Daten sollen in Zukunft ebenfalls in das System einfließen, entsprechend soll das System um weitere Schnittstellen erweiterbar sein. Stattdessen werden Daten vom Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie verwendet, welche ähnlich der Datenbank vom DWD eine umfangreiche Datenbank über verschiedene Parameter über einen längeren Zeitraum besitzt.

Des Weiteren sollen Flug- und Schiffsdaten verwendbar sein. Dazu gehören ADS-B / FLARM-Daten sowie AIS-Daten.

Für die Flugdaten wurde bereits vom IFAM ein AirSquitter-System in Betrieb genommen, welche ADS-B / FLARM-Daten aufzeichnet und zugänglich macht. Ein Empfänger für AIS-Daten ist in Planung, zum Zeitpunkt der Arbeit ist dieser aber noch nicht vorhanden. Hierfür soll das Projekt ebenfalls um eine weitere Schnittstelle erweiterbar sein.

Eine weitere Schnittstelle beschäftigt sich mit den Probedaten des Auslagerungsgestells, welche ebenfalls in dem Projekt einsehbar und bearbeitbar sein sollen. Diese Daten sollen in einer Datenbank gespeichert werden, sodass eine Historie visualisiert werden kann. Außerdem sollen diese einsehbar und exportierbar in gängigen Formaten sein (beispielsweise csv).



Abbildung 13: Datenschnittstellen von HELIOS zu Datenquellen

Im Folgenden werden Parameter aufgelistet, welche in eine eigene Datenbank einfließen sollen (Tabelle 2):

| Parameter - Quelle | Davis | DWD |
|--------------------------|---|---|
| Format | sensor:name(einheit) | ordner:name(einheit) |
| Luftdruck Meereshöhe | sensor242:bar_sea_level(inches of mercury) | pressure:p(hPA) |
| Relative Feuchte | sensor243:hum_in(percentage) | air_temperature:RF_TU(percentage) |
| UV | sensor55:uv_index(index) | |
| Taupunkt | sensor243:dew_point_in(degrees.f) | dew_point:TD(degrees.c) |
| Temperatur | sensor243:temp_in(degrees.f) | air_temperature:TT_TU(degrees.c) |
| Sonnenstrahlung | sensor55:solar_rad(W/m ²) | solar:FG_LBERG(J/cm ² , Globalstrahlung) |
| Regen/Stunde | sensor55:rainfall_last_60_min_mm(mm/h) | precipitation:R1 (mm/h) |
| Windgeschwindigkeit | sensor:55:wind_speed_avg_last_10_min(miles/h) | wind:F(m/s) |
| Windrichtung | sensor55:wind_dir_scalar_avg_last_10_min(degrees) | wind:D(degrees) |
| Sichtweite | | visibility:V_VV(m) |
| Wolken (1.Schicht): Höhe | | cloud_type:V_S1_HHS(m) |
| - Art | | cloud_type:V_S1_CS(Code) |
| - Bedeckungsgrad | | cloud_type:V_N(1/8) |

Tabelle 2: Parameterübersicht 1

| Parameter - Quelle | BSH | HZP |
|--------------------|-------------------------|---------------|
| Format | datei:name(einheit) | name(einheit) |
| Wassertemperatur | NorthWR:TEMP(degrees_c) | |
| Meeresspiegelhöhe | HelgolandTG:SLEV(m) | |
| Wellenhöhe | NorthWR:VHMO(m) | |
| Wellenrichtung | NorthWR:VPED(degrees) | |
| Kp-Index | | kp(index) |

Tabelle 3: Parameterübersicht 2

Davon sind verschiedene Schnittstellen ausgenommen:

- Auslagerungsgestell mit den Probandaten: Diese Daten werden bereits in einer eigenen SQLite-Datenbank hinterlegt. Diese kann für diese Arbeit ebenfalls verwendet werden. Sie werden in Unterunterabschnitt 3.5.2 beschrieben.
- AIS und Tonne mit Wassersensoren sind bisher nur in Planung und können somit noch nicht eingebunden werden.
- ADS-B / FLARM-Daten werden bereits in einer eigenen Datenstruktur auf einem Computer auf Helgoland frei zugänglich gespeichert.

Der deutsche Wetterdienst hat für seine Wetterdatenbank einen eigenen Serverdienst aufgebaut[43], über den die Daten frei verfügbar sind. Die Daten des BSH sind über ein Portal des „european marine observation and data network“ zugänglich[44]. Das Helmholtz-Zentrum Potsdam stellt die Daten auf seiner eigenen Seite bereit[45]. Sind bestimmte Schnittstellen nicht erreichbar, soll dies dem Nutzer sichtbar gemacht werden. Außerdem sollen verantwortliche Nutzer darüber per E-Mail benachrichtigt werden.

3.5.2 Auslagerungsstände

In diesem Reiter soll der aktuelle Status der Gestelle dargestellt werden. Dazu wurde bereits im Rahmen einer Bachelorarbeit [33] die Probandokumentation digitalisiert. Diese Proben- und Rahmendaten sollen einsehbar und bearbeitbar sein. Sie beinhalten:

- Rahmen:
 - Identifikationsnummer
 - Position
 - Kommentarfeld
- Probe
 - Identifikationsnummer (NFC-Tag)
 - Rahmennummer
 - Position
 - Kundenwunschnummer
 - Datum Anfang Auslagerung
 - Datum Ende Auslagerung
 - Kommentar

Dazu wurde eine Planungsmöglichkeit entwickelt. Die Aufgaben der Planungstabelle enthalten ein Textfeld sowie ein Abschlussdatum. Dadurch lassen sich im Büro Aufgaben zuweisen (beispielsweise soll eine Probe umgehängt werden oder bestimmte Prüfungen vorgenommen werden), welche dann von den Mitarbeitern am Gestell eingesehen und bearbeitet werden können. Zu der Datenbank gehören auch die Rahmen- und die Probenhistorie. Diese enthalten Änderungen an der Probe sowie Verweise zu den jeweiligen Dateien. Die angehängten Dateien befinden sich mit der Datenbank in einer Ordnerstruktur. Jeder Rahmen erhält einen eigenen Ordner mit angehängten Dateien zu dem Rahmen sowie weitere Ordner, welche die Proben darstellen. In den Probenordnern sind ebenfalls die angehängten Dateien zu der Probe hinterlegt.

Zusätzlich zu der Implementierung des Datenbanksystems in das Projekt sollen passende Wetterdaten in Bezug auf die Probe gefiltert werden. Jede Probe hat ein Einlagerungs- und ein Auslagerungsdatum, welches die zu filternde Zeitspanne darstellt. Dabei soll zunächst die Historie der Wetterdaten aus der hinterlegten Wetterdatenbank über den Probenzeitraum dargestellt werden.

3.5.3 UAS

Die UAS-Missionsbegleitung wird in verschiedene Bereiche untergliedert:

- Allgemeine Präparation: Ein Wunsch ist die Auswertung historischer Daten anhand der Anforderungen der Drohne (Unterabschnitt 2.3). Zu den Anforderungen zählen:
 - Windgeschwindigkeit auf maximaler Flughöhe: Ein wichtiger Aspekt bei Flügen ist der Wind, ist dieser zu stark, kann die Drohne sich nicht zuverlässig stabilisieren und lässt sich nicht manövrieren. Da der Wind in der Regel mit zunehmender Höhe zunimmt, soll dieser Wert entsprechend auf die Flughöhe hochgerechnet werden.
 - Windböen: beeinflussen insbesondere bei Start- und Landevorgängen die Drohne. Um Böen zu messen, kann hier der maximale Wind als Parameter eingebunden werden.
 - Temperatur auf maximaler Flughöhe: Die Temperatur beeinflusst insbesondere die Elektronik. Die Temperatur verringert sich, je nach dem in welcher Höhe diese gemessen wird. Hierfür sollte ebenfalls die Temperatur auf die Flughöhe angepasst werden.
 - Vereisung: Vereisung kann die Flugfähigkeit beeinträchtigen.
 - Niederschlag: Ein weiterer Parameter ist der Niederschlag, dieser kann die Leistung von einigen Sensoren beeinflussen.

- **Wolkenuntergrenze:** Die Wolkenuntergrenze ist ein weiterer wichtiger Parameter, der die Sichtweite der Drohne und ggf. von Piloten beeinflussen kann. Diese Kurve lässt sich auf eine Höhe von 1.500 Meter begrenzen, da laut den standardisierten europäischen Regeln für die Luftfahrt (SERA) der europäischen Kommission festgelegt wurde, dass eine Wolke von „betrieblicher Signifikanz“ (cloud of operational significance) ist, wenn diese unter 1500 m beziehungsweise 5000 ft ist[46].
- **Sichtweite:** Die Sichtweite schließt an den obigen Parameter an, eine gute Sicht soll dem Piloten einen sicheren Flug gewährleisten.
- **Kp-Index:** Ein hoher Kp-Index beeinflusst Orientierungssysteme der Drohne, weshalb dieser Parameter hier ebenfalls eine Rolle spielt.

Somit lassen sich einige Parameter definieren, welche die Drohne erfüllen muss, um Aussagen über eine sichere UAS-Mission zu treffen:

- Das Zeitintervall, in dem Wetterdaten ausgewertet werden sollen,
- die maximale Windgeschwindigkeit,
- die maximale Flughöhe,
- die minimale und maximale Temperatur
- der maximale Niederschlag,
- der k_p-Index und
- die minimale Sichtweite

Ein weiteres Feld soll eine Heatmap beinhalten. In dieser soll der Flugverkehr mit Hilfe von historischen Daten im Umkreis von Helgoland anhand von verschiedenen Flughöhen dargestellt werden. Diese Flughöhen werden folgendermaßen unterteilt:

- Einmal Auswertung für alle Flugobjekte,
 - eine Auswertung für alle Flugobjekte in der Höhe von 0 bis 2.000 ft
 - eine Datei für alle Flugobjekte in der Höhe von 2.000 bis 10.000 ft
 - und eine Datei für alle Flugobjekte in der Höhe von 10.000 bis 60.000 ft.
- **Checkliste:** In diesem Reiter sollen Checklisten und Telefonnummern zur Missionsvorbereitung bereitgestellt werden. Eine Historie von bearbeiteten Checklisten soll ebenfalls zur Nachverfolgung einsehbar sein. Hierzu kann ein Name und ein Datum in einer Datei gespeichert werden.
 - **Briefing (Pre-Mission):** Hier sollen die verschiedenen Quellen des Missionsbriefing gesammelt und bereitgestellt werden. Dies beinhaltet:

- windy.com[37]: Mittels dieser Webseite lässt einer guter Überblick über die Gesamtwetterlage über verschiedene Wetterparameter verschaffen. Außerdem bietet diese Seite Wettersvorhersagen über verschiedene Wettermodelle an.
- DWD Analysekarte Europa[36]: Über diese Webseite lassen sich ebenfalls Informationen über die Großwetterlage über Europa darstellen.
- DWD Seewetterbericht[47]: Der Seewetterbericht ist ein Wetterbericht für die deutsche See, welcher ebenfalls relevant für Missionen vor der Helgoländer Insel ist.
- BSH-Seegangsvorhersage[40]: Das BSH stellt mit dem DWD eine Seegangsvorhersage bereit, welche für die Missionen bei niedrigen Flughöhen ebenfalls relevant ist.
- METAR / TAF[38]: METAR und TAF sind standardisierte Meldungen in Kurzform, die die Wetterbeobachtungen von einzelnen Flugplätzen wiedergeben. In diesem Fall soll der Flughafen Helgoland Düne (mit der ICAO-Kennung: EDXH) verwendet werden.
- DFS NOTAMs[39]: Die deutsche Flugsicherung stellt über NOTAMs für den Flugverkehr relevante Anordnungen und Informationen bereit. Über diese Webseite können diese unter anderem für die Mission um Helgoland abgerufen werden.
- Swiss Droneweather[48] Diese Webseite visualisiert Temperaturen, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Höhe. Werden bei der Mission höhere Flughöhen erreicht, kommt diesen Daten eine besondere Bedeutung zu, da diese sich dort deutlich von den Bedingungen in Bodennähe unterscheiden können.
- UAV-Forecast[49]: Diese Webseite visualisiert aktuelle Wetterinformationen -und vorhersagen speziell für Drohnenflüge. Dies beinhaltet ähnliche Parameter wie im Statistiken-Fenster: unter anderem Wind, Temperatur, Niederschlag, Sichtweite, GPS-Satelliten und der Kp-Wert sind dort aufgeführt.
- In-Mission: Hier soll nach Möglichkeit eine Karte eingebunden werden, auf denen verschiedene Dinge visualisiert werden:
 - Der aktuelle Drohnenstandort: Anhand der empfangenen ADS-B / FLARM-Daten durch den Empfänger des Testzentrums werden die Positionsdaten einer zuvor benannten Drohne gefiltert und auf der Karte visualisiert.
 - Eine ADS-B / FLARM-Karte: Dabei werden alle empfangenen ADS-B / FLARM-Objekte im Umkreis um Helgoland visualisiert. Diese werden gefiltert nach ihrer Flughöhe und ihrer Entfernung abhängig von ihrer Geschwindigkeit zu Helgoland. Deutsche Kennzeichen enthalten nach Verordnung der Bundesnetzagentur[50] verschiedene Buchstaben je nach Flugzeugtyp:

- * kleines Flugzeug: D-E, D-F, D-G, D-I, D-K, D-M, D-N,
- * Helikopter: D-H,
- * UAV: ausgewählte Drohne,
- * Flugzeug: andere Flugobjekte

Damit lassen sich bereits Flugzeugtypen unterscheiden. Unterschiedliche Farben sollen je nach Flughöhe verwendet werden:

- * Es wird graues Symbol verwendet, wenn das Flugobjekt über flightlevel 200 (20.000 ft) fliegt und
- * ein rotes Symbol, wenn das Flugobjekt tief genug fliegt und nah um Helgoland fliegt
- * Es wird ein schwarzes Symbol verwendet, wenn das Flugobjekt tief genug fliegt, aber noch weit genug weg fliegt.

Ebenfalls sollen die Flugzeuge einen Sichtkegel erhalten, über den deutlich wird, wo sich die Flugzeuge in 5 oder 10 min befinden.

- Eine AIS-Karte: Dabei werden alle empfangenen AIS-Daten im Umkreis von Helgoland visualisiert.
- Eine Wetterkarte: mit einem Niederschlagsradar lässt sich ein Überblick über die Wetterlage verschaffen.

Außerdem soll ein Wetterverlauf der letzten Stunden einsehbar sein. So lassen sich beispielsweise über Luftdruckänderungen Aussagen über Wetterveränderungen treffen.

- De-Briefing (Post-Mission): Hierbei wird ebenfalls eine Karte implementiert, die den Drohnenkurs darstellen und ablegen kann. Der Drohnenflug wird dabei anhand einer Kennung und eines Datums spezifiziert.

3.5.4 AUV

AUV-Projekte bieten in vielen Bereichen ähnliche Anforderungen wie UAS-Projekte. Hinzu kommen jedoch verschiedene Parameter aus Wasser- und Wellendaten:

- Wassertemperatur,
- Meeresspiegelhöhe,
- Wellenhöhe und

- Wellenrichtung.

Hierfür wird ebenfalls ein Missionsbriefing durchgeführt, in dem die Wetterlage und -Prognose analysiert wird. In den Vordergrund gehen dabei die BSH-Seegangsvorhersage und der DWD-Seewetterbericht.

Während der Mission kann eine Karte mit verschiedenen Ebenen ebenfalls wichtig sein: Hierfür könnte ebenfalls der Standort des AUV-Systems angezeigt werden, sofern sich dieser unter Wasser zuverlässig über eine Schnittstelle für das HELIOS-System lokalisieren lässt. Des Weiteren sollen auch Schiffe im Umkreis von Helgoland anhand der AIS-Daten visualisiert werden. Auch ist das Wetter auf See von hoher Bedeutung, so soll auch ein Niederschlagsradar als Ebene implementiert werden.

Da aktuelle AUV-Projekte der Geheimhaltung unterliegen, kann in dieser Arbeit nicht näher auf diese eingegangen werden. Außerdem sind AUV-Missionen in den Anforderungen sehr nah an UAS-Missionen und einige Schnittstellen wie eine Tonne mit Wassersensoren und ein AIS-Empfänger sind noch in Planung. Daher wird dieser Bereich der Missionsbegleitung nicht weiter umgesetzt.

3.6 Prototyp

Auf Basis der gesammelten Anforderungen für die einzelnen Missionen des Testzentrums wurde ein erster Prototyp entwickelt. Mit Hilfe dieses Prototyps sollen Strukturen im Design und einzelne Funktionsabläufe demonstriert und diskutiert werden. Dafür wird zunächst der Typ des Prototypen festgelegt, bevor dieser erstellt wird. Normalerweise werden in anfänglichen Testprozessen rudimentäre Prototypen verwendet, beispielsweise Papierprototypen. Dadurch lassen sich Kernkonzepte des Projekts festlegen. Für diese Arbeit wäre ein Papierprototyp ebenfalls ein geeigneter Typ gewesen, da dieser sehr einfach gehalten werden kann und sehr flexibel ist. Durch die momentane Corona-Krise können persönliche Treffen mit den Mitarbeitern nicht oder nur im begrenzten Maße stattfinden. Daher wurde eine digitale Version eines Prototypen erstellt, welcher möglichst nah an einem Papierprototypen ist. Dadurch ist auch der Prototyp dem fertigen Produkt ähnlicher, da bereits der Prototyp am Endgerät realisiert wird, über den später auch das Produkt funktionieren wird. Der Prototyp wurde anschließend mit einigen Mitarbeitern des Testzentrums diskutiert und bei Bedarf um weitere Elemente erweitert. Aus diesem Prototypen haben sich auch weitere Ideen und Anforderungen entwickelt, welche in die Anforderungsanalyse aufgenommen wurden und in den Prototypen implementiert wurden.

Als Werkzeug für die Realisierung des Prototypen wurde Microsoft PowerPoint gewählt. Mit diesem Programm lassen sich die einzelnen Elemente frei erstellen und bewegen. Außerdem sind bereits typische Elemente einer graphischen Oberfläche vorhanden, wie zum Beispiel

ein Browserfenster, Knöpfe oder Textfelder.

Das Endprodukt soll ein webbasiertes Dashboard werden. Daher wurde als Grundlage ein Browserfenster verwendet. Jede Seite repräsentiert im Prototypen einen Reiter, den man später im Endprodukt über eine Menüleiste links wechseln kann. Im Folgenden werden die einzelnen Reiter kurz vorgestellt.

Das Startfenster (Abbildung 14) soll einen schnellen Überblick über die aktuelle Wetterlage bieten sowie einen ersten Ausblick auf die zukünftigen Tage. Dazu zählt auch ein Gezeitenkalender sowie die Mondphase, um Informationen über die aktuelle Tide bereitzustellen. Außerdem soll der Status von anderen Diensten einsehbar sein. Somit kann der Nutzer früh einsehen, ob das System ordnungsgemäß funktioniert oder ob einige Schnittstellen nicht erreichbar sind.

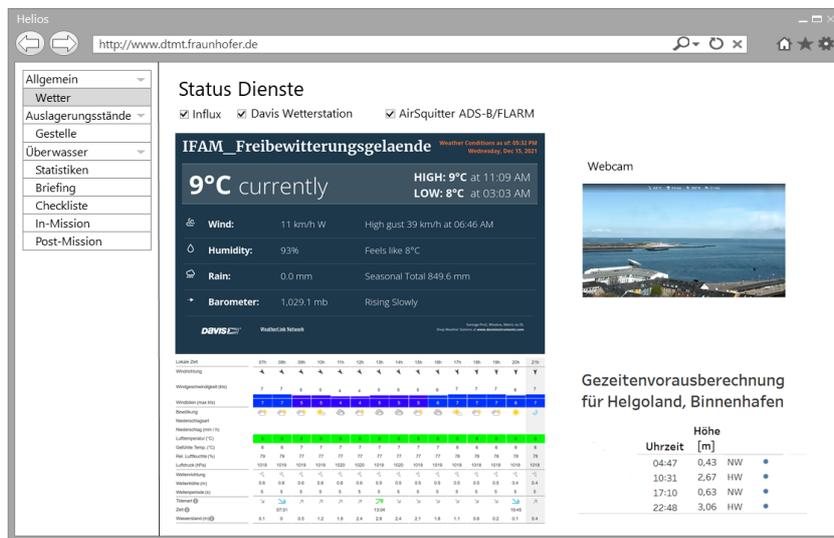


Abbildung 14: Prototyp Startfenster

Im Reiter Auslagerungsstände (Abbildung 15) können die Proben eingesehen werden. Dieses System wurde bereits für ein Tablet für die Probendokumentation vor Ort entwickelt. Dieses System soll ebenfalls für das HELIOS-System übernommen werden: Unter einer Rahmentabelle lassen sich die dort eingehängten Proben einsehen. Wurde eine Probe oder ein Rahmen ausgewählt, lassen sich die entsprechenden Daten auslesen. Dazu gehört sowohl das Planungswerkzeug als auch die Rahmen- und Probenhistorie, über die auch angehängte Dateien einsehbar sind. Anhand des Ein- und Auslagerungsdatums werden Verläufe der Wetterdaten visualisiert.

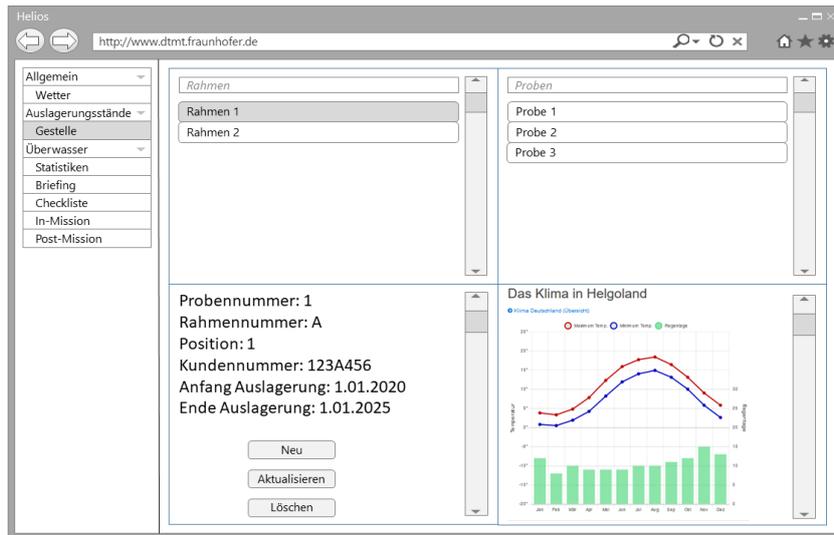


Abbildung 15: Prototyp Fenster Digimash

Über die Statistiken (Abbildung 16) lassen sich die Anforderungen von Drohnen anhand von historischen Wetterdaten beurteilen. Dafür können zunächst die Parameter einer Drohne eingegeben werden, das System wertet diese aus und erstellt einen Graphen, ob und wie gut die Drohne einsetzbar ist. Dies wird anschließend für die einzelnen Parameter aufgelöst.

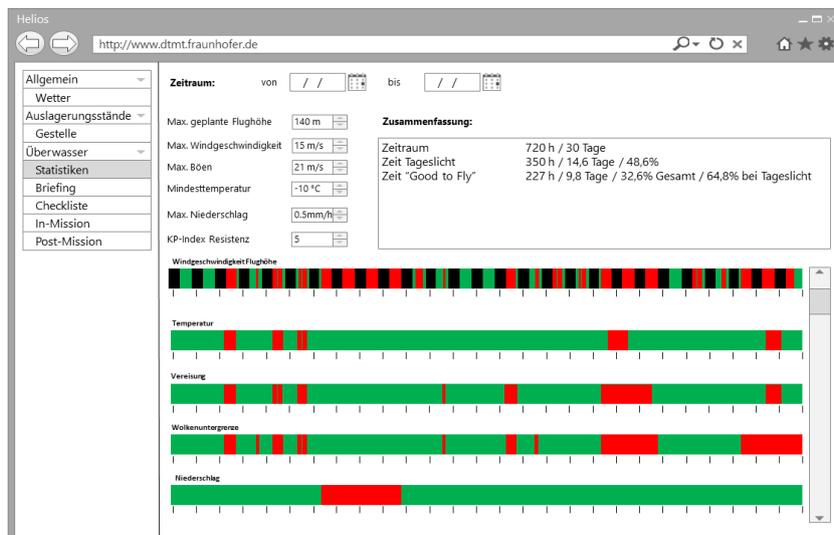


Abbildung 16: Prototyp UAS-Statistiken

Im Missionsbriefing (Abbildung 17) werden die verschiedenen Quellen dargestellt, welche in aktuellen Missionsbriefings verwendet werden. Diese können, wenn möglich, direkt in die Seite eingebunden werden. Eine Alternative sind Links zu der jeweiligen externen Seite.

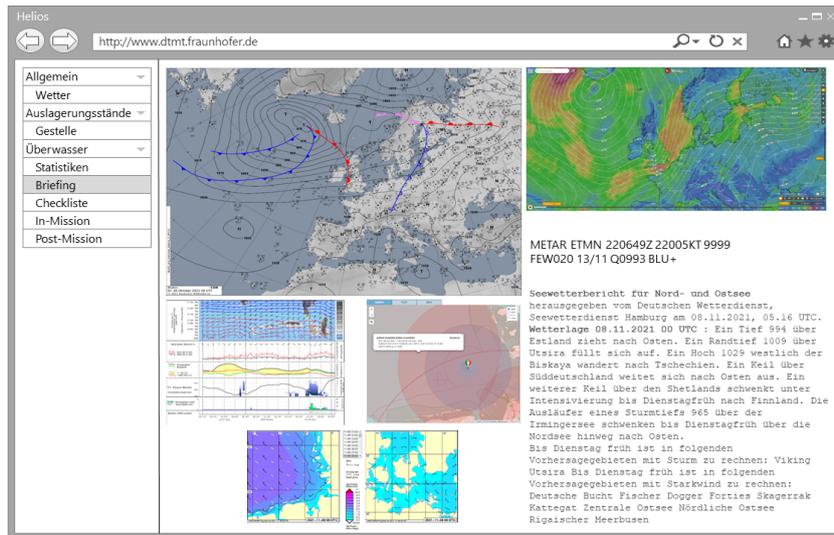


Abbildung 17: Prototyp Missionsbriefing

In der Checkliste (Abbildung 18) werden verschiedene Punkte, die wichtig in einer Mission sind, dargestellt. Diese können abgehakt und unterschrieben werden. Unter der Checkliste befindet sich eine Tabelle mit der Historie von unterschriebenen Checklisten. So kann im Nachhinein nachvollzogen werden, wann die Missionen unter welcher Verantwortung durchgeführt wurden.

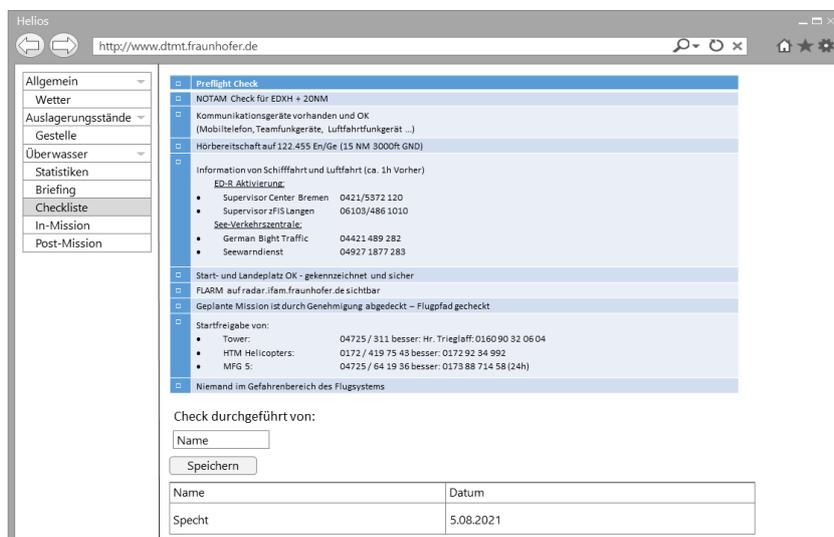


Abbildung 18: Prototyp Checkliste

In der Mission (Abbildung 19) wird die zu fliegende Drohne auf einer Karte markiert. Die Karte beinhaltet einen Niederschlagsradar sowie Flug- und Schiffsverkehrsdaten. Mittels eines Kreises um ein angewähltes Flug- oder Schiffsobjekt kann nachvollzogen werden, ob diese

möglicherweise kritisch für den Drohnenflug sein könnten. Flugobjekte werden ebenfalls nach Höhe und Entfernung gefiltert und in anderen Farben markiert.

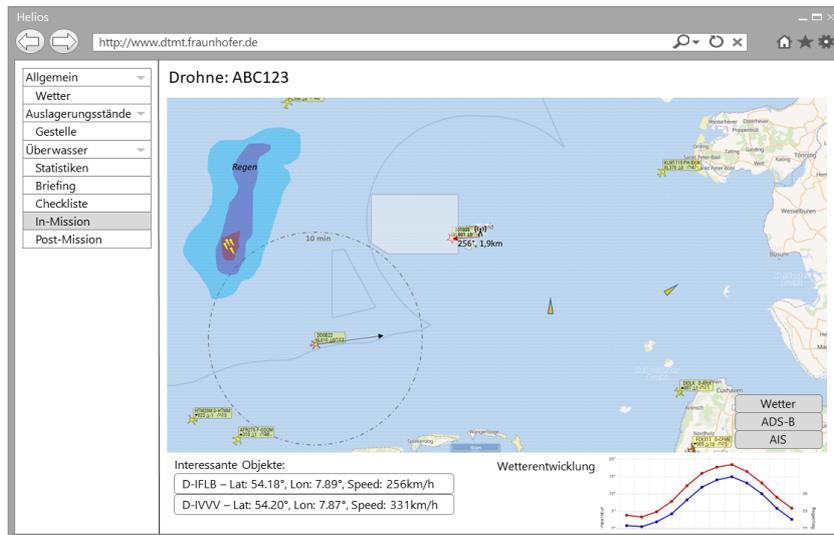


Abbildung 19: Prototyp In-Mission

Für das De-Briefing (Abbildung 20) wird der zurückgelegte Drohnenflug auf einer Karte dargestellt. Dazu lässt sich über ein Textfeld die Drohnenkennung auswählen

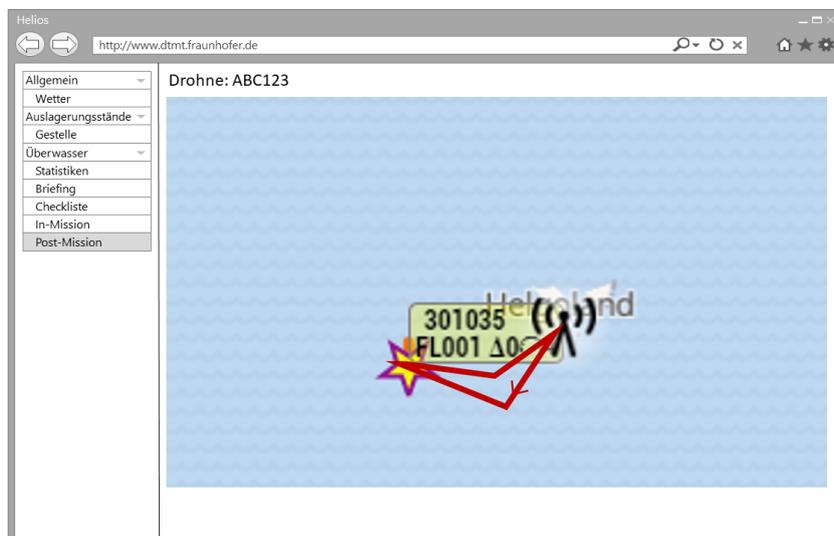


Abbildung 20: Prototyp De-Briefing

Anschließend wurde ein weiterer Prototyp entwickelt, welcher eine Karte mit verschiedenen Ebenen wie einem Niederschlagsradar und einem Beispielkurs eines Flugzeugs enthält. Dieser wurde auf der späteren Plattform Node-Red entwickelt. Somit ließen sich bereits inter-

aktive Möglichkeiten mit der Karte testen. Dadurch konnten auch verschiedene Kartenbibliotheken getestet werden. So bietet Google eine eigene Programmierschnittstelle (API) an, um die hauseigenen „Google Maps“ zu manipulieren. Die Bibliothek Leaflet bietet jedoch eine große offene Kartenbibliothek, mit der sich Karten und Ebenen sehr flexibel manipulieren lassen. Leaflet ist eine open-source-Bibliothek, die auf JavaScript basiert. Leaflet bietet für viele verschiedene Anwendungen Plugins und wird von diversen Unternehmen für eigene Zwecke verwendet (dazu zählt beispielsweise <https://www.wetter.com/>). Über Leaflet lassen sich unterschiedliche Basisebenen anlegen. Standardmäßig wird die Openstreetmap[51] geöffnet, welche ein offenes Kartenprojekt ist, in denen alle Nutzer neue Karteninformationen hinzufügen können. Openstreetmap fokussiert sich dabei auf die Straßen der Welt, je nach Bedarf können auch andere Basiskarten ausgewählt werden. Außerdem können verschiedene Ebenen angelegt werden, auch eine Heatmap-Ebene[52].

3.7 Technische Lösungsmöglichkeiten

Die technische Umsetzung des Projekts lässt sich in verschiedene Pakete unterteilen:

- Hardware
 - Sensoren, welche Daten generieren
 - Middleware (Hardware), welche die Daten anschließend verarbeitet und verwaltet
- Software
 - Datenverarbeitung in Form von Software, über die die Daten verarbeitet werden
 - Datenhaltung in Form von Software, die die Daten speichert und verwaltet
 - Visualisierung der Daten

Dazu werden zunächst Hardwareschnittstellen wie die Wetterstation und der ADS-B / FLARM-Empfänger näher beschrieben, welche bereits vom Fraunhofer IFAM in Betrieb genommen wurden. Danach werden Programme vorgestellt, mit denen anschließend das Produkt realisiert wird.

3.7.1 Wetterstation

Das Fraunhofer IFAM betreibt auf Helgoland eine eigene Wetterstation. Diese stammt von der Firma Davis und enthält die Vantage Pro2 6327OV Station. Sie nutzt verschiedene Sensoren:

- Grundstation der Vantage Pro2 ISS, welche verschiedene Sensoren enthält. Dazu gehören:

- Temperatursensor
 - Anemometer, welches die Windgeschwindigkeit und -Richtung misst
 - Regensensor
 - Luftfeuchtigkeitssensor
 - Barometer
- UV-Sensor 6490
 - Solarstrahlungssensor 6450

Die Wetterdaten werden dabei von der Wetterstation aufgezeichnet und über Funk an eine Empfängerstation gesendet. Dies geschieht momentan über zwei Wege (Abbildung 21):

- die Daten werden an eine weitere Recheneinheit namens „LiveLink“ gesendet. Mittels TCP / IP werden die Daten von dort an weatherlink in ein Cloud-System weitergeleitet.
- die Daten werden an eine weitere Recheneinheit namens „Vantage Pro Console“ gesendet. Diese Einheit visualisiert bereits die Wetterdaten. Von dort aus werden sie über einen USB-Logger an einen Computer weitergeleitet. Dies ist ein NUC-Computer von Intel. Dort werden die Daten als Backup regelmäßig in einer Textdatei gespeichert. Außerdem werden sie via TCP / IP an die weatherlink-Cloud weitergeleitet.

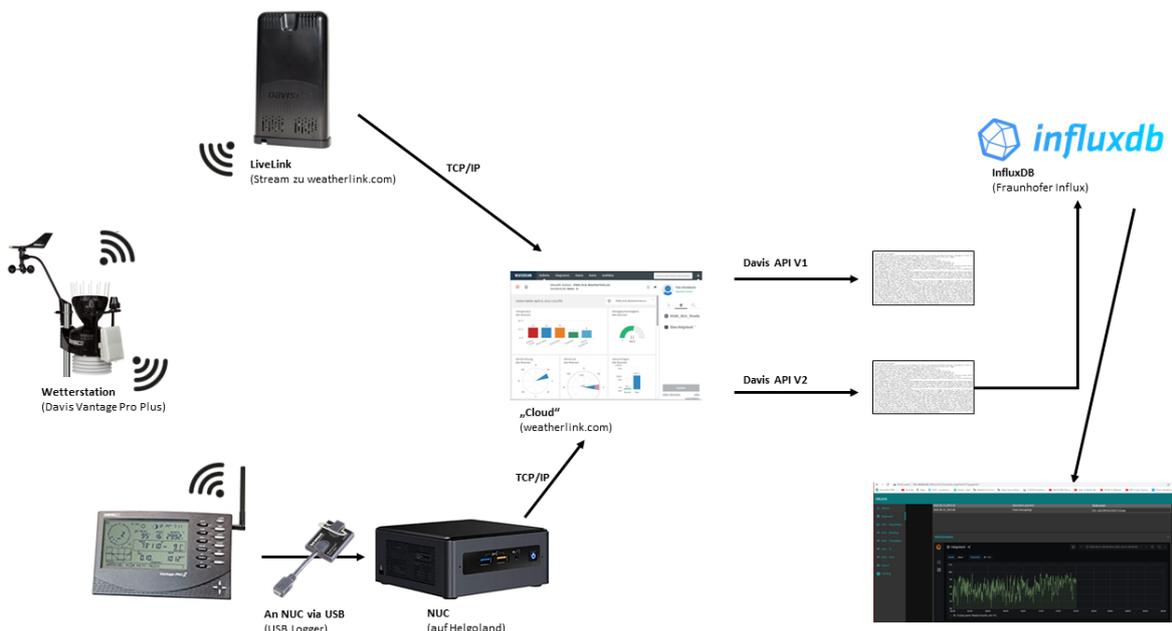


Abbildung 21: Wetterdatenfluss

In dieser Cloud sind die Daten einsehbar. Über die API v1 und die API v2 sind die Daten auch abrufbar. API v2 ist dabei eine neuere Schnittstelle, welche mehr Sicherheitsfunktionen bietet und die Daten neu strukturiert hat. Daher wird diese Schnittstelle auch in dieser Arbeit verwendet. Eine Anfrage kann mittels eines http-Requests gestellt werden. Dabei schützt sich Davis mit einem Authentifizierungssystem vor Angriffen. Ein API-Schlüssel und ein Geheimnis-Schlüssel kann von der Davis-Webseite abgefragt werden. Mittels eines Geheimnis-Schlüssels und der Identifikationsnummer der Wetterstation auf Helgoland wird ein Hash über HMAC SHA-256-Verfahren erstellt. Dieser Algorithmus ist in den gängigen Programmiersprachen als Bibliothek fertig programmiert, auch in Javascript. Mit dieser erstellten Signatur, dem API-Schlüssel und dem Zeitstempel zum Anfragezeitpunkt können die Daten angefragt werden:

Anfrage als Hash (api-key + timestamp (t)): api-key987654321t1558729481

HMAC secret key: ABC123

Errechneter HMAC als hexadezimaler-String: 9b6a15f40d78b309a10b8b5a70ce5de4a3993
ac2309795b9f90c9f93d5c31f2

Beispielergebnis: <https://api.weatherlink.com/v2/stations?api-key=987654321&t=1558729481&api-signature=9b6a15f40d78b309a10b8b5a70ce5de4a3993ac2309795b9f90c9f93d5c31f2>

Die Antwort ist im JSON-Format. Sie ist die verschiedenen Sensorenpakete unterteilt, welche dann die Messwerte enthalten:

```
{
  "station_id": 374964,
  "sensors": [
    {
      "lsid": 5271270,
      "data": [
        {
          "ip_v4_netmask": "255.255.255.0",
          "battery_voltage": 70,
          ...
        }
      ],
      "sensor_type": 504,
      "data_structure_type": 15
    },
    {
      "lsid": 5271273,
      "sensor_type": 45,
      "data_structure_type": 10,
      "data": [{
```

```
    "ts": 1558741927,  
    "wind_speed_hi_last_2_min": 5,  
    "hum": 42.7,  
    "wind_dir_at_hi_speed_last_10_min": 260,  
    ...  
  }  
},  
"generated_at": 1558741957  
}
```

3.7.2 Flugverkehrsdatenempfänger

Um den Flugverkehr über Helgoland aufzuzeichnen hat sich das Fraunhofer IFAM das AirSquitter FLARM Bundle installiert (Abbildung 22). Darüber lassen sich ADS-B- und FLARM-Daten empfangen. MLAT (Multilateration) wird dabei über das Jetvision FlightTracking Netzwerk bereitgestellt. Eine entsprechende Antenne wurde auf dem Dach des Containers des Geländes des Testzentrums montiert, in dem sich die Recheneinheit befindet. Eine Darstellung einer Karte und der detaillierten Daten wird über eine eigene Webseite bereitgestellt. Diese sind für weitere Analysen exportierbar (Abbildung 23). Mittels eines http-Requests sind aktuelle Daten im JSON-Format abrufbar. Außerdem werden dem AirSquitter-Computer mittels eines Pythonskripts werden alle zehn Sekunden alle empfangen Flugdaten über Helgoland in csv-Dateien abgelegt. Dabei wird jeden Tag eine neue Datei erstellt und auf einem USB-Stick gespeichert. Diese Dateien sind ebenfalls über ein http-Request abrufbar.



Quelle: <https://airsquitter.com/>

Abbildung 22: AirSquitter

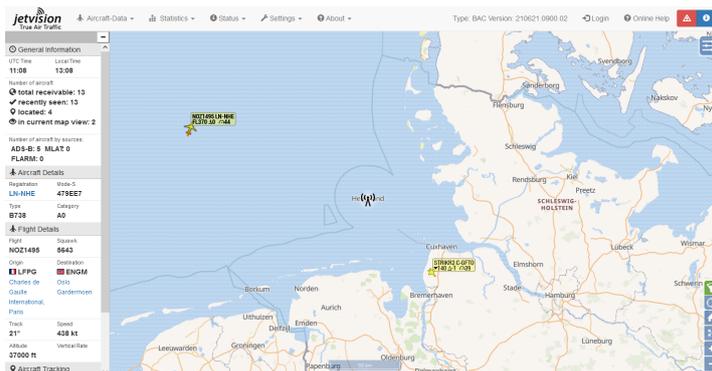


Abbildung 23: Jetvision Air Traffic

3.7.3 Server

Um alle benötigten Daten zusammenzuführen und zu verarbeiten ist eine Recheneinheit nötig. Von der IT-Abteilung des Fraunhofer IFAM wurde dazu eine eigene virtuelle Maschine auf einem IFAM-Server eingerichtet. Als Arbeitsspeicher wurden dazu 8 GB RAM vorgesehen. Als Betriebssystem wird Debian verwendet, auf dem alle benötigte Software betrieben werden kann.

3.7.4 Datenverarbeitung

Für die Datenverarbeitung auf der Middleware stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung, von denen im Folgenden eine Auswahl an populären Beispielen beschrieben wird:

Node-Red

Node-Red ist ein graphisches Entwicklungswerkzeug, welches von der Firma IBM entwickelt wurde. Die Software ermöglicht es, Anwendungsfälle im Bereich des Internet of Things mit einem einfachen Baukastenprinzip umzusetzen. Die sogenannte flussbasierte Programmierung (flow-based programming) lässt das Verhalten eines Programms als ein Netzwerk von „Black-Boxes“ beschreiben, welche als Knoten (nodes) in Node-Red umgesetzt sind. Jeder Knoten hat eine spezifische Aufgabe: Dieser bekommt Daten, verarbeitet sie anhand seiner spezifischen Aufgabe und gibt die verarbeiteten Daten weiter. Das Netzwerk beschreibt den Fluss der Daten zwischen diesen Knoten. Dieses Modell bietet so eine gute visuelle Repräsentation des Programms, welches so einfacher auch von außen nachvollziehbar ist[53]. Node-Red basiert auf Node.js, welches eine große Auswahl an Open-Source-Komponenten und eine aktive Gemeinschaft hat. Andere Beispiele, welche auf Node.js basieren, sind z.B. PayPal oder Netflix[54]. Node-Red verwendet JavaScript als Laufzeitumgebung. Der Editor von Node-Red lässt sich über einen Webbrowser aufrufen. Dort lassen sich die verschiedenen Knoten verschieben, verbinden oder programmieren (Abbildung 24).

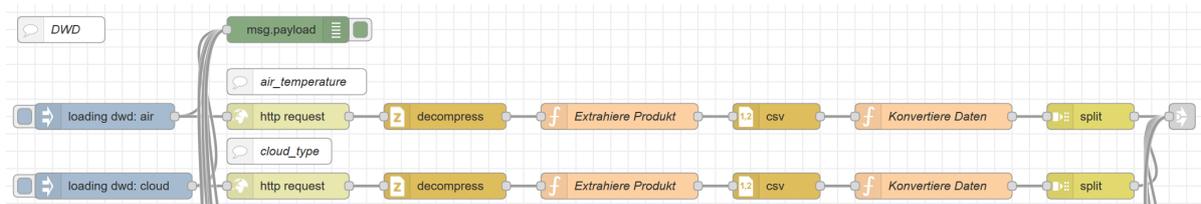


Abbildung 24: Node-Red Beispiel-Datenfluss

Als weitere mögliche Alternativen sind z.B. Thingsboard[55] oder Google Cloud IoT[56] zu nennen. Node-Red ist Open-Source und lässt sich als eigener Server betreiben. Node-Red bietet eine große Auswahl an fertigen Knoten, welche die verschiedensten Aufgaben übernehmen können. Außerdem wird bereits am IFAM Node-Red in verschiedenen Projekten verwendet. Daher wird in dieser Arbeit auf Node-Red zurückgegriffen.

3.7.5 Datenhaltung

Eine Datenbank ist ein verteiltes, integriertes Computersystem, das Nutzdaten und Metadaten enthält. Nutzdaten sind die Daten, die Benutzer in der Datenbank anlegen und aus

denen die Informationen gewonnen werden. Metadaten werden oft auch als Daten über Daten bezeichnet und helfen, die Nutzdaten der Datenbank zu strukturieren. Eine Datenbank ist eine geordnete, selbstbeschreibende Sammlung von Daten, die miteinander in Beziehung stehen[57].

Je nach Nutzdaten sind zwischen verschiedenen Datenbankentypen zu unterscheiden. Beispielsweise benötigen Accountdaten eine andere Datenstruktur als zeitreihenbasierte Datenbanken. Zeitreihen enthalten nicht selten mehrere Millionen Datenpunkte, welche beim Visualisieren zusammengefasst werden (ein Monitor hat beispielsweise Pixel als ein Jahr stündlicher Temperaturdaten). Um diese Daten effizient zu verarbeiten, ist hierbei eine spezialisierte Datenbank nötig. In dieser Arbeit werden Zeitreihen betrachtet, wobei der Zeitstempel eine zentrale Rolle spielt. Diesem Zeitstempel können dann verschiedene Daten wie zum Beispiel Wetterdaten zugeordnet werden[58].

InfluxDB

InfluxDB ist ein Open-source-Datenbankmanagementsystem für zeitreihenbasierte Datenbanken und ist geschrieben in der Programmiersprache GO. Sie wird von der Firma Influx-Data entwickelt und vertrieben.

Die Datenstruktur ist ähnlich einer SQL-Datenbank: Die Datenbank kann als eine Art Tabelle betrachtet werden. Jede Reihe enthält einen Zeitstempel als Schlüsselwert, „tags“ bzw. Metadaten und einen oder auch mehrere „fields“ bzw. die eigentlichen Daten, welche analysiert werden können. Ein weitere Aspekt der Datenstruktur ist die „Retention Policy“. Durch diese können Regeln festgelegt werden, wie lange Daten in der Datenbank existieren sollen bzw. wann diese komprimiert werden sollen.

Als Abfragesprachen bietet InfluxDB zwei verschiedene Sprachen an: eine SQL-ähnliche Kommandosprache InfluxQL und seit InfluxDB 2.0 auch eine eigene funktionale Sprache Flux, die mehr Möglichkeiten in der Datenanalyse bietet.

InfluxDB ist untergliedert in mehrere Teilbereiche, dem sogenannten TICK-Stack[58][59]:

- **Telegraf:** Ein Agent, welcher Metriken sammelt und der Influx-Datenbank sendet
- **InfluxDB:** Die eigentliche Datenbank, welche die Daten speichert und verwaltet
- **Chronograf:** Eine Schnittstelle für die Administration vom TICK-Stack, über die man beispielsweise über eine graphische Oberfläche Daten schreiben oder visualisieren kann
- **Kapacitor:** Software, über die man Daten verarbeiten kann

Als weitere mögliche Alternativen sind z.B. Graphite[60], Prometheus[61] oder TimescaleDB[62] zu nennen. Da bereits am IFAM InfluxDB in verschiedenen Projekten verwendet wird und ein eigener InfluxDB-Server existiert, soll die Implementierung mit diesem Datenbankmanagementsystem erfolgen.

3.7.6 Datenvisualisierung

Chronograf

Eine Möglichkeit, Daten zu visualisieren, bietet InfluxDB von Haus aus mit Chronograf. Chronograf ist ein webbasiertes Werkzeug, mit dem sich Dashboards programmieren lassen[59]. Es bietet jedoch wenig Möglichkeiten für eine gezielte Nutzersteuerung. Durch den eigenen InfluxDB-Server ist Chronograf bereits installiert und bietet so eine gute Möglichkeit für gezielte Tests.

Node-Red UI

Node-Red UI ist eine Erweiterung von Node-Red und ist die offizielle graphische Schnittstelle von Node-Red[53]. Daher ist das Integrieren von verschiedenen Visualisierungsmöglichkeiten einfach möglich und wird in dieser Arbeit für den Aufbau des Dashboards verwendet. Jedoch ist die Datenverarbeitung von Millionen von Datenpunkten in JavaScript nicht sehr effizient. Die verschiedenen Komponenten zur Visualisierung werden nicht alle direkt von einer Firma betrieben, sondern teils auch von Privatpersonen. Diese sind nicht alle ausgereift bzw. bieten teils nur begrenzte Individualisierungsmöglichkeiten.

Grafana

Eine weitere Möglichkeit ist Grafana, welche ebenfalls webbasiert Influx-Daten visualisieren kann. Grafana ist stärker auf die Visualisierung von großen Datenmengen spezialisiert und kann diese effizient umsetzen[63]. Diese bietet auch einige Funktionen für den Nutzer an, die Daten nach eigenen Bedürfnissen anzeigen zu lassen, jedoch deutlich weniger als in Node-Red. Die in Grafana erstellten Graphen lassen sich in Node-Red einbinden.

Durch die verschiedenen Vor- und Nachteile der einzelnen Visualisierungsmöglichkeiten werden in dieser Arbeit je nach Anwendung verschiedene Softwarepakete verwendet.

4 Umsetzung

Im Folgenden wird die Umsetzung beschrieben. Zunächst wird die Architektursicht beschrieben sowie die technischen Abläufe innerhalb des Portals, anschließend die Anwendersicht und Anwendungsfälle, welche anschließend inklusive von Randfällen getestet wurden.

4.1 Influx-Datenbank

Der Influx-Datenbank-Server wird bereits vom Fraunhofer IFAM betrieben und wird daher in dieser Arbeit nicht näher beschrieben. Über die Weboberfläche des Servers lässt sich die Datenbank einsehen und manipulieren. So kann man beispielsweise ein neues „Bucket“ erstellen, welches eine Tabelle in einer Datenbank darstellt. Hierfür wurde ein „Bucket“ „climate“ erstellt, welche alle benötigten Klimadaten rund um Helgoland enthält.

4.2 HELIOS

Die Steuerung und Visualisierung des HELIOS-Portals wurde mittels Node-Red aufgebaut. Node-Red läuft über eine virtuelle Maschine am IFAM auf einem Debian-Betriebssystem. Node-Red wurde über ein Installationsskript für Debian-basierte Systeme von der offiziellen Webseite¹ installiert. Über dieses Installationsskript lassen sich auch in Zukunft Updates aufspielen.

Das HELIOS-Portal enthält verschiedene Reiter, die nach Missionstyp und deren zeitlichen Abfolge strukturiert sind. Für jeden Reiter wurde ein eigener Programmfluss erstellt. Hinzu kommen drei weitere Programmflüsse, welche für den Datentransport zwischen den verschiedenen Schnittstellen zuständig sind (Abbildung 25):



Abbildung 25: Datenflussübersicht

4.2.1 Externe Daten

Über den Flow externe Daten werden externe Datenbanken heruntergeladen und in die Influx-Datenbank geschrieben. Dazu zählen:

¹<https://nodered.org/docs/getting-started/raspberrypi>

- Historische Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD),
- Historische Daten des Bundesamt für Schifffahrt und Hydraulik (BSH) und
- Historische Daten des Helmholtz-Zentrums Potsdam.

Die einzelnen Anbieter verwenden dabei alle unterschiedliche Dateiformate (csv, netCDF, txt, json) sowie unterschiedlich formatierte Zeitstempel (beispielsweise zusammen (20200101010000 für den 1.01.2020 um 1 Uhr, oder schreiben die einzelnen Teile auseinander in verschiedene Spalten: 2020 01 01 01 01 00 00). Dies erschwerte das Erstellen einer allgemeinen Schnittstelle für alle eingehenden (auch zukünftigen) Daten. Daher werden alle Anbieter getrennt voneinander behandelt.

Der deutsche Wetterdienst hat seine Wetterdaten in verschiedene Pakete unterteilt, welche verschiedene Sensordaten enthalten. Mittels eines http-Requests werden die jeweiligen Daten angefragt. Beim DWD (Abbildung 26) sind die historischen Daten in ZIP-Dateien komprimiert, die zunächst dekomprimiert werden. Dieser Ordner enthält verschiedene Metadaten (Beispielsweise detaillierte Beschreibung der Daten) sowie die historischen Werte, die für diesen Vorgang erforderlich sind. Diese Datei mit den historischen Werten (csv-Format) wird ausgelesen und auf die gewünschten Parameter und Daten gefiltert. Anschließend werden die Daten für die Influx-Datenbank konvertiert, sodass diese die Daten einlesen kann. Danach werden die Daten in Pakete von einer Größe von 10.000 Datenpunkten verpackt, um die Influx-Datenbank nicht zu überlasten.

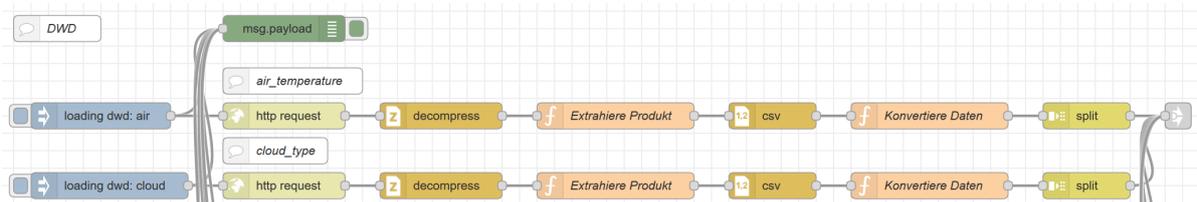


Abbildung 26: Externe Daten

Dabei enthält ein Datenpunkt die Datenquelle (zum Beispiel DWD) als „measurement“ in InfluxDB, den eigentlichen Messpunkt (TT_TU ist dabei beispielsweise die Bezeichnung des DWD für Temperaturwerte), den Namen und die Einheit des Datenpunktes in Form von Tags sowie einen Zeitstempel. Diese Daten werden dann an den Influx-Flow weitergereicht, der die Übertragung der Messdaten an den InfluxDB-Server übernimmt.

- measurement: „dwd“
- TT_TU: 5.2

- tags: long_name: „Temperatur“, unit: „°C“
- timestamp: 1646296864

Das Bundesamt für Schifffahrt und Hydraulik (BSH) bietet über verschiedene Wasser- und Wellendaten an. Für historische Werte sind diese im netCDF-Format hinterlegt. Dies ist ein Format, welches verschiedene Daten mehrdimensional verknüpfen kann. Zum Auslesen dieser Dateien wurde ein Python-Skript geschrieben, welches die gewünschten Parameter mittels der Bibliothek „Pandas“ extrahiert. Diese werden in eine csv-Datei geschrieben, welche dann wieder von Node-Red eingelesen wird und die Messwerte für die Influx-Datenbank konvertiert und wieder in entsprechende Datenpakete verpackt.

Für den k_p-Wert des Helmholtz-Zentrums Potsdam sind die Daten in der Textdatei ähnlich einer csv-Datei gespeichert. Diese kann ebenfalls über einen http-Request abgefragt werden. Anschließend werden die Daten für die Influx-Datenbank in dem gleichen Format wie oben beschrieben konvertiert und in Datenpakete der Größe 10.000 verpackt.

4.2.2 Davis

Über den Flow Davis werden die Daten der Wetterstation verarbeitet. Hier können historische Wetterdaten sowie aktuelle Daten von Davis eingelesen werden. Die Daten werden dabei als Backup auf einem Computer auf Helgoland in einem Textformat (ähnlich wie csv) gespeichert. Diese können auch auf den Server kopiert und eingelesen werden. Diese werden dann wie bei den externen Daten für die Influx-Datenbank konvertiert und in Datenpakete verpackt.

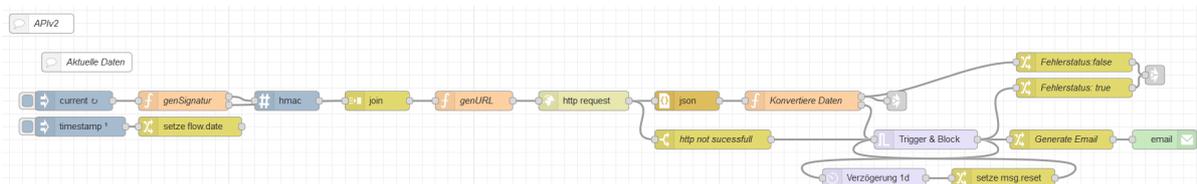


Abbildung 27: APIv2

Aktuelle Wetterdaten werden von Helgoland an Davis weitergeleitet. Über die API-V2 können aktuelle Wetterdaten abgerufen werden. Mittels des API-Schlüssels und des Geheimnis-Schlüssels können Daten von der Davis-Webseite abgefragt werden. Mittels des Geheimnis-Schlüssels und der Identifikationsnummer der Wetterstation auf Helgoland wird ein Hash über das HMAC SHA-256-Verfahren erstellt. Mit dieser erstellten Signatur, dem API-Schlüssel und dem Zeitstempel zum Anfragezeitpunkt können die Daten angefragt werden. Aus dieser Antwort können dann in Node-Red wieder die gewünschten Parameter extrahiert und für die

Influx-Datenbank konvertiert werden (Abbildung 27). Kann die weatherlink-Cloud nicht erfolgreich angefragt werden, so wird eine E-Mail mit einer entsprechenden Information versendet.

4.2.3 Influx

Über den Flow Influx werden alle eingehenden Daten an die Influx-Datenbank übergeben (Abbildung 29). Hierbei wurde eine Warteschlange implementiert, die nur ein Datenpaket pro Intervall zulässt, um ein mögliches Überladen der Datenbank zu vermeiden. Außerdem wird der Sendeprozess an die Datenbank auf mögliche Fehler überprüft: Sofern in einem gewissen Zeitraum Fehler auftreten (mittels einem sogenannten „Watchdog“), wird das nicht gesendete Datenpaket erneut in die Warteschlange gehängt.

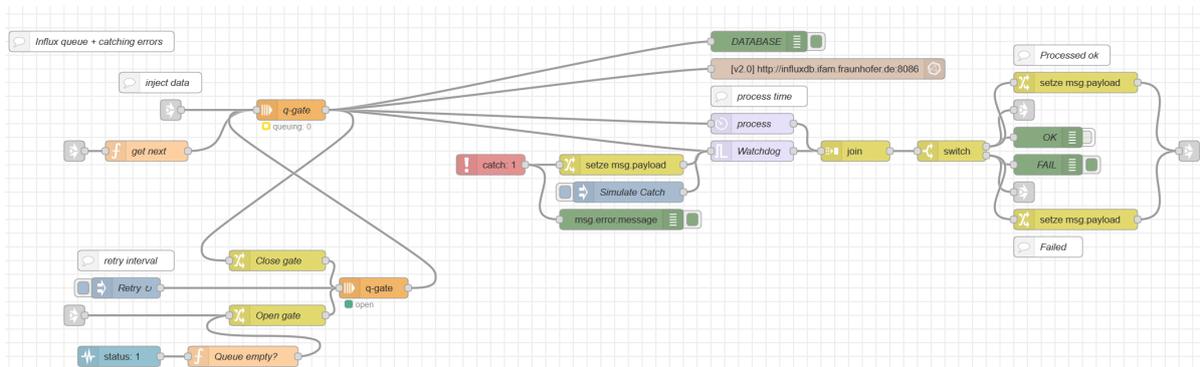


Abbildung 28: InfluxDB-Ansteuerung

4.2.4 Dashboard Home

Über diesen Flow wird das Startfenster des Portals angesteuert. Dies enthält verschiedene Komponenten:

- Status der Dienste: Hier wird mittels einer Lampe angezeigt, ob alle externen Dienste erfolgreich angefragt werden konnten. Sofern das letzte Paket für die Influx-Datenbank nicht erfolgreich versendet werden konnte, erscheint die entsprechende Lampe rot. Ebenso wird der Status der letzten Anfrage an die Davis-Wetterstation oder den Airstquitter dargestellt.
- Aktuelle Wetterdaten der Wetterstation: In diesem Abschnitt werden aktuelle Wetterdaten von der Davis-Wetterstation auf Helgoland angezeigt. Zu den Daten zählen:
 - die Temperatur,

- die Windgeschwindigkeit, die maximale Windgeschwindigkeit (um eine Aussage über Böen treffen zu können) sowie die Windrichtung
- der Luftdruck sowie eine Tendenz, welche die Differenz der letzten drei Stunden ist,
- die Luftfeuchtigkeit,
- die Niederschlagsmenge sowie
- die Zeit, an denen die Daten in der weatherlink-Cloud aktualisiert wurden (dies ist nicht die Zeit, zu der die Daten im Browser aktualisiert wurden).

Die Wetterdaten werden in der weatherlink-Cloud alle 15 min aktualisiert. Für diesen Bereich werden daher auch 15 min-Durchschnittswerte dargestellt. Die Daten lassen sich durch Aktualisieren der Webseite im Browser neu beziehen.

- zum Vergleich der Wetterdaten aktuelle öffentliche Daten von [openweathermap\[64\]](#),
- Wellendaten von Windfinder, da noch keine eigenen Wasserdaten über die Tonne existieren,
- eine Webcam für einen ersten Eindruck der örtlichen Bedingungen und
- ein Gezeitenkalender vom BSH für die nächsten Tage. Dieser enthält auch die entsprechende Mondphase.

4.2.5 Digimash

Über diesen Datenfluss werden alle Anwendungen zu den Auslagerungsständen verwaltet. Hier lassen sich alle Rahmen- und Probandaten auslesen und verwalten, sowie Planungsaufgaben und angehängte Dateien. Zusätzlich lassen sich Wetterdaten zu der ausgewählten Probe anzeigen.

Dazu wird über einen Knopf „Datenbank laden“ die Datenbank von der Fraunhofer Owncloud heruntergeladen und die SQLite-Datenbank geöffnet. Mittels eines Dropdown-Menüs können ein Rahmen und alle am gewählten Rahmen angehängte Proben ausgewählt werden. Darunter werden dann die Rahmen- und Probandaten angezeigt. Diese können in einem Formular bearbeitet werden. Außerdem können neue Rahmen / Proben ebenfalls über dieses Formular erstellt werden und auch gelöscht werden. Darunter werden angelegte Planungsaufgaben angezeigt. Im nächsten Bereich werden Änderungen der Datenbank und angehängte Dateien in einer Tabelle dargestellt. Dateien können auch über den entsprechenden Link in der Tabelle heruntergeladen werden.

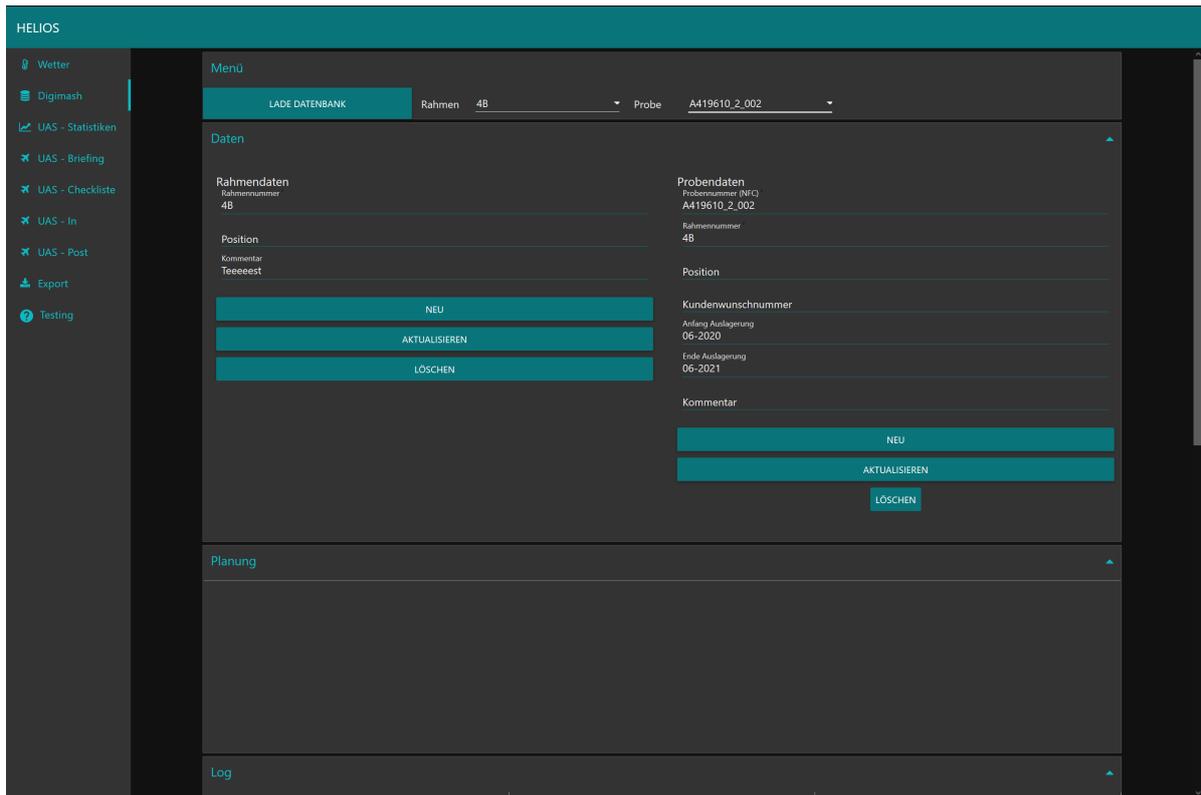


Abbildung 29: Digimash

4.2.6 UAS-Statistiken

Über diesen Flow werden Wetterdaten des DWD und des Helmholtz-Zentrums Potsdam für Drohnenflüge ausgewertet (Abbildung 31). Dazu wird die umfangreichere DWD-Datenbank im Gegensatz zur Datenbank der eigenen Wetterstation verwendet, da diese noch nicht so lange im Einsatz ist und entsprechend weniger Daten im Rahmen dieser Arbeit vorliegen. Zunächst lassen sich die Parameter und Anforderungen wählen, die die Drohne erfüllen soll. Anschließend werden die Wetterdaten ausgewertet, ob und wie lange eine Drohne mit den gewählten Anforderungen einsetzbar wäre. Die Anforderungen und Modelle dazu werden im Unterabschnitt 2.3 erläutert. Zu den einstellbaren Parametern zählen:

- Das Zeitintervall, in dem Wetterdaten ausgewertet werden sollen,
- die maximale Windgeschwindigkeit,
- die maximale Flughöhe,
- die minimale und maximale Temperatur

- der maximale Niederschlag,
- der k_p -Index und
- die minimale Sichtweite

Anschließend lässt sich die Auswertung über einen entsprechenden Knopf generieren. Aus Gründen der Performanz des Systems werden alle Diagramme nach dem Verlassen des Reiters gelöscht und lassen sich auch über einen Knopf löschen. Außerdem sind nur positive Zeitintervalle (mindestens ein Tag) und maximal 200 Tage möglich. Da im Rahmen dieser Arbeit mit stündlichen Werten gerechnet wird, kostet ein großes Zeitintervall viele Ressourcen des Servers. Darunter befindet sich die Zusammenfassung der Auswertung. Dazu zählt der gesamte Zeitraum und im Vergleich dazu die Flugzeit, in der die Drohne technisch Fliegen könnte. Anschließend wird als weiterer Faktor das Tageslicht genommen, um eine Flugzeit bei Tageslicht zu errechnen. Diese Zeitspanne umfasst die Zeit von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang zuzüglich einer weiteren Stunde. In der Luftfahrt beginnt die Nacht mit dem Ende der „bürgerlichen Dämmerung“ (civil twilight) und endet mit der morgendlichen „bürgerlichen Dämmerung“. Die abendliche bürgerliche Dämmerung endet, wenn das Zentrum der Sonne sich 6° unter dem Horizont befindet und der Morgen beginnt, wenn die Sonne sich 6° unter dem Horizont befindet[46]. In den Breitengraden von Helgoland macht dies ungefähr 30 min aus pro Dämmerung.

Für die Auswertung der einzelnen Wetterparameter werden dabei stündliche Mittelwerte verwendet; nur für den k_p -Index werden Durchschnittswerte von je drei Stunden verwendet, da das Helmholtz-Zentrum Potsdam nur Datensätze für jede dritte Stunde bereitstellt.

4 UMSETZUNG

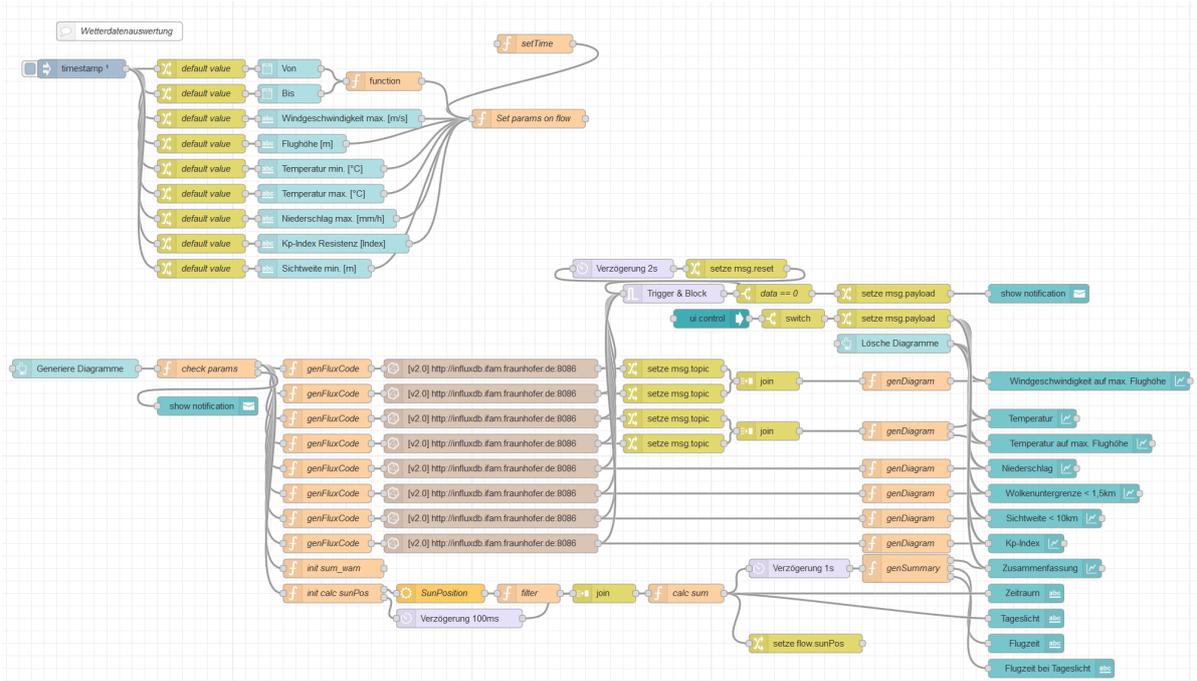


Abbildung 30: Statistik-Datenfluss



Abbildung 31: Statistik-Fenster

Darunter werden die Diagramme generiert. Während dieser Arbeit konnten mittels Node-Red keine Statusdiagramme erstellt werden wie im Prototyp dargestellt. Stattdessen wurden Liniendiagramme verwendet, die eine blaue Farbe nutzen, wenn die Werte den Anforderungen der Drohne genügen, und rot, wenn die Werte kritisch sind.

Das erste Diagramm ist eine Zusammenfassung aller ausgewerteten Wetterdaten. Ist die Kurve auf dem Wert eins, so kann die Drohne bei den Bedingungen fliegen, auf null wird es kritisch. Darunter befinden sich alle Diagramme, welche diese Auswertung zu den einzelnen Parametern aufschlüsseln:

- Windgeschwindigkeit auf maximaler Flughöhe: Ein wichtiger Aspekt bei Flügen ist der Wind. Ist dieser zu stark, kann die Drohne sich nicht zuverlässig stabilisieren. Hierfür wurden zwei Graphen in einem verpackt: Es wurde der durchschnittliche Wind und für eine Aussage über böigen Wind auch der maximale Wind aufgetragen. Der maximale Wind verwendet als zusätzliche Farben orange für kritische und hellblau für unkritische Werte. Diese Werte wurden dabei auf die maximale Flughöhe hochgerechnet, da dort der Wind in der Regel stärker als in Bodennähe ist.
- Temperatur: Ein weiterer Aspekt bei Drohnenflügen ist die Temperatur. Bei zu hoher

oder zu niedriger Temperatur kann es zu Versagen von Elektronikbauteilen kommen. Bei niedrigen Temperaturen und einer geringen Differenz von Temperatur und Taupunkt kann es ebenfalls zu Vereisung kommen. Dafür wurde zusätzlich eine weiße Kurve eingezeichnet, welche den Wert 20 bei möglicher Vereisung annimmt und null, wenn Vereisung unwahrscheinlich ist.

- Temperatur auf maximaler Flughöhe: Die Temperatur verringert sich, je nachdem in welcher Höhe diese gemessen wird. Für den Graphen auf maximaler Flughöhe wurde dieses Modell angewandt und die Temperatur entsprechend verrechnet.
- Niederschlag: Ein weiterer Parameter ist der Niederschlag. Bei Starkregen kann sich eine Drohne nicht zuverlässig stabilisieren.
- Wolkenuntergrenze: Die Wolkenuntergrenze ist ein weiterer wichtiger Parameter. Ist die Wolkenuntergrenze unter der maximalen Flughöhe, so kann die Sichtbarkeit der Drohne für den Piloten nicht mehr gewährleistet werden. Dieser Graph wurde auf eine Höhe von 1.500 Meter begrenzt, da laut den standardisierten europäischen Regeln für die Luftfahrt (SERA) der europäischen Kommission festgelegt wurde, dass eine Wolke von „betrieblicher Signifikanz“ (cloud of operational significance) ist, wenn diese unter 1500 m beziehungsweise 5000 ft ist[46].
- Sichtweite: Die Sichtweite schließt an den obigen Parameter an, eine gute Sicht soll dem Piloten einen sicheren Flug gewährleisten.
- Kp-Index: Ist dieser Wert zu hoch, kann sich die Drohne nicht mehr zuverlässig orientieren.

Ein weiterer Aspekt für die Statistiken ist eine Heatmap für den Flugverkehr abhängig von verschiedenen Höhen. Dafür wurde ein Python-Skript geschrieben, welches die Karte in verschiedene Kästchen unterteilt. Dieses Skript zählt pro Kästchen über alle aufgenommenen Flugdaten, wie oft Flugobjekte in den einzelnen Kästchen aufgezeichnet werden. Zum Schluss wird diese Auswertung als csv-Datei gespeichert. Dabei wird nach Höhe unterschieden. Es werden insgesamt vier Auswertungen gemacht:

- einmal für alle Flugobjekte,
- eine Auswertung für alle Flugobjekte in der Höhe von 0 bis 2.000 ft
- eine Datei für alle Flugobjekte in der Höhe von 2.000 bis 10.000 ft
- und eine Datei für alle Flugobjekte in der Höhe von 10.000 bis 60.000 ft.

Node-Red liest diese Dateien aus und zeichnet diese Auswertungen als Heatmap auf eine Karte. Die Karte wurde mit Hilfe von „Leaflet“ implementiert. Zum Auswählen der einzelnen Auswertungen in Abhängigkeit der Flughöhe wurden am rechten Rand Knöpfe für die einzelnen Auswertungen hinzugefügt. Zusätzlich wird über der Karte angezeigt, welche Höhe gerade ausgewählt ist.

4.2.7 UAS-Briefing

Startet eine UAS-Mission, beginnt diese mit einem Briefing. Dazu wurden verschiedene Quellen zur Beurteilung der Wetter- und Flugsituation gesammelt (Abbildung 32). Diese wurden mittels eines „iframes“ in die Webseite eingebunden, wenn es die zueinbettende Webseite erlaubt. Zu diesen Quellen zählen:

- windy.com[37]: Mittels dieser Webseite lässt sich ein guter Überblick über die Gesamtwetterlage über verschiedene Wetterparameter verschaffen. Außerdem bietet diese Seite Wettervorhersagen über verschiedene Wettermodelle an. Windy bietet eine eigene API an, diese ist jedoch kostenpflichtig und in Absprache mit dem IFAM wurde zunächst eine abgespeckte kostenfreie Demoversion eingebettet. Die Webseite lässt sich jedoch über einen Link im Browser öffnen. Je nach Bedarf können dann Account-Daten eingegeben werden, wenn genauere Werte benötigt werden.
- METAR und TAF[38]: Dies ist eine Webseite, welche eine standardisierte Meldung in Kurzform über die Wetterbeobachtung von einzelnen Flugplätzen wiedergibt. In diesem Fall wird der Flughafen Helgoland Düne (mit der ICAO-Kennung: EDXH) verwendet. Die Webseite versucht außerdem diese Nachricht in Kurzform zu visualisieren.
- Swiss Droneweather[48]: Diese Webseite visualisiert Temperaturen, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Höhe. Werden bei der Mission höhere Flughöhen erreicht, kommt diesen Daten eine besondere Bedeutung zu, da diese sich deutlich von den Bedingungen in Bodennähe unterscheiden können.
- BSH-Seegang[40]: Das BSH stellt mit dem DWD eine Seegangsvorhersage bereit, welche für die Missionen bei niedrigen Flughöhen ebenfalls relevant ist.
- DFS-NOTAMs[39]: Die deutsche Flugsicherung stellt über NOTAMs für den Flugverkehr relevante Anordnungen und Informationen bereit. Über diese Webseite können diese unter anderem für die Mission um Helgoland abgerufen werden.
- DWD Analysekarte Europa[36]: Der DWD unterbindet das Einbetten von Webseiten, daher wurde hierfür ein Link erstellt, welche die Webseite in einem neuen Tab öffnet.

Über diese Webseite lassen sich ebenfalls Informationen über die Großwetterlage über Europa darstellen.

- DWD Seewetterbericht[47]: Der Seewetterbericht ist ein Wetterbericht für die deutsche See, welcher ebenfalls relevant für Missionen vor der Helgoländer Insel ist.
- UAV Forecast[49]: Diese Webseite visualisiert aktuelle Wetterinformationen und -vorhersagen speziell für Drohnenflüge. Dies beinhaltet ähnliche Parameter wie im Statistiken-Fenster: Unter anderem sind dort Wind, Temperatur, Niederschlag, Sichtweite, GPS-Satelliten und der Kp-Wert aufgeführt.

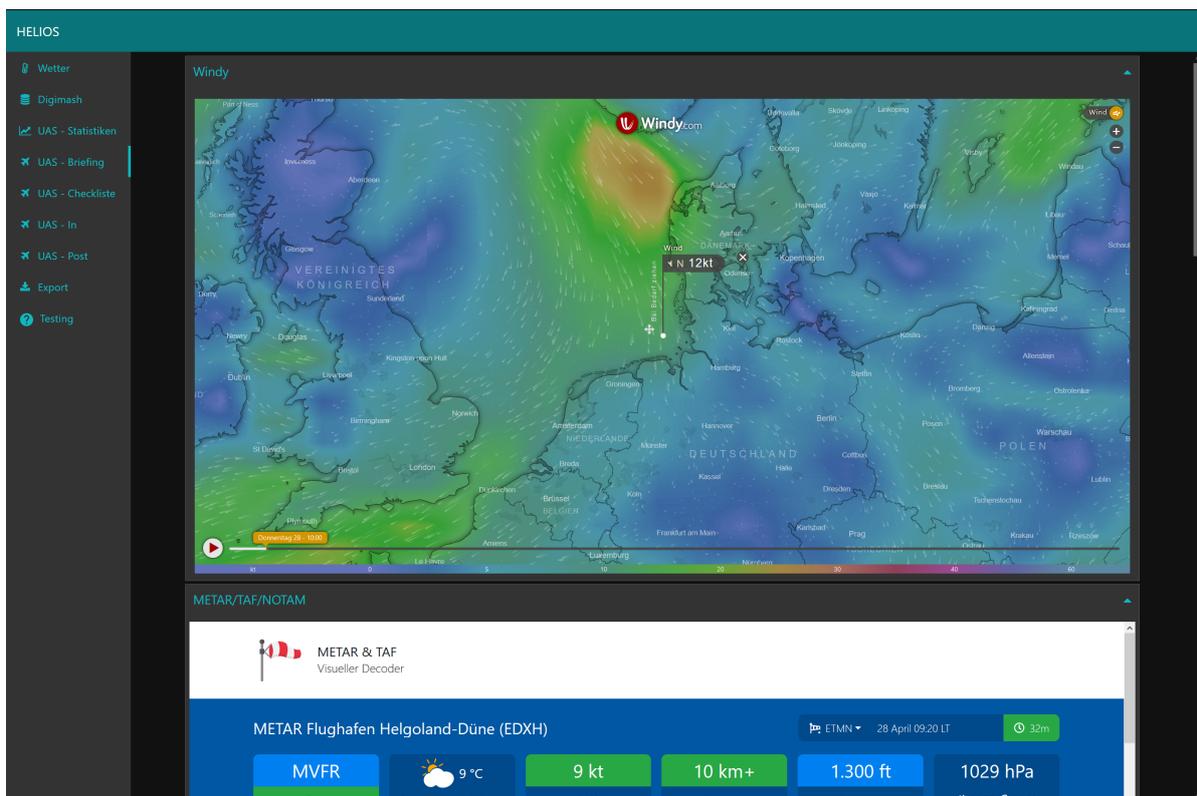


Abbildung 32: Briefing-Fenster

4.2.8 UAS-Checkliste

Die Checkliste umfasst Aufgaben und Telefonnummern, die für die Missionsvorbereitung wichtig sind (Abbildung 33). Dies fängt bei einem Pre-Flight-Check an, wozu beispielsweise das Wetterbriefing gehört. Anschließend werden einzelne Aufgaben genannt, wo die verschiedenen Geräte wie Kommunikationsgeräte auf Funktion geprüft werden. Dann muss die

Mission bei verschiedenen Kontrollstellen des Luftraums angemeldet werden. Dazu sind die verschiedenen Telefonnummern der Stellen ebenfalls aufgeführt. Diese Checkliste lässt sich in Kategorien unterteilen. Dazu wurden Überschriften implementiert, denen dann verschiedene Aufgaben zugeordnet werden können. Diese Aufgaben lassen sich jeweils abhaken. Zum Schluss gibt es ein Textfeld, in dem ein Name eingetragen werden kann und ein Knopf zum Bestätigen. Wird die Checkliste bestätigt, werden der Name und das Datum in eine csv-Datei zum Nachverfolgen geschrieben. Unter der Checkliste gibt es einen Bereich mit der Historie, dort werden Name und Datum von vergangenen Checklistendurchführungen gezeigt.

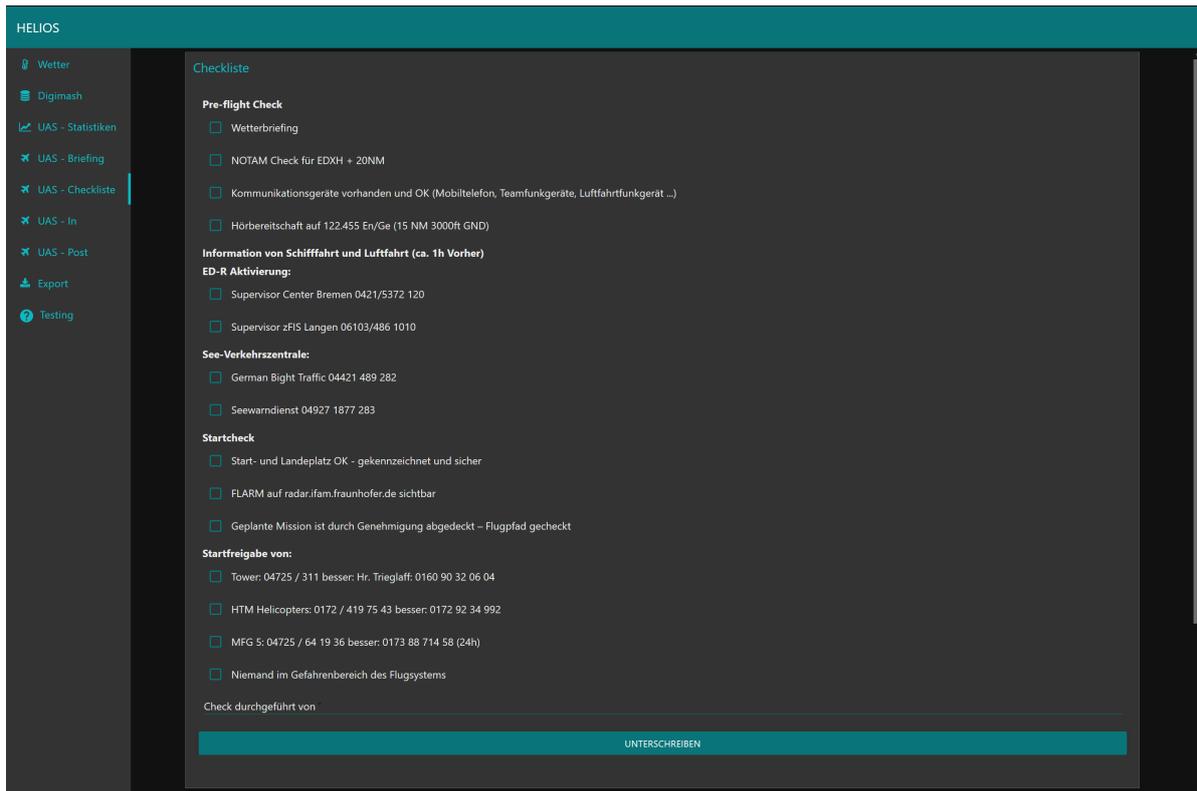


Abbildung 33: Checkliste-Fenster

4.2.9 UAS-In

Für die eigentliche Mission wurde eine Karte von Helgoland implementiert, in die alle relevanten Informationen eingetragen wurden, die nicht die Drohne direkt betreffen, da diese in der Regel über eine eigene Software angesteuert wird (Abbildung 34). Die Karte wurde ebenfalls mit Hilfe von „Leaflet“ wie in UAS-Statistiken implementiert (Abbildung 35). Hierbei wurde erneut die openstreetmap[51] als Basiskarte gewählt. Durch verschiedene Ebenen lassen sich

die Karteninformationen erweitern:

- `openseamap[65]`: Für Seekarteninformationen wurden als eine Ebene die Daten von `openseamap` hinzugefügt, welche beispielsweise Bojen, Schiffsrouten und Sperrgebiete enthalten.
- `openaip[66]`: Für Fluginformationen wurde eine Ebene von `openaip` hinzugefügt. Diese enthält beispielsweise Flugkorridore.
- `RainViewer[67]`: Für eine Niederschlagsradarkarte wurde eine Ebene von `RainViewer` eingebunden. Diese Karte enthält Niederschlagsinformationen und besondere Wetterinformationen wie zum Beispiel Gewitter.
- `ifam poi`: Als „Point of interest“ des maritimen Testzentrums Helgoland wurde das Testfeld eingezeichnet.
- `ADS-B`: Die aktuellen Daten des Flugverkehrs lassen sich über den AirSquitter ADS-B / FLARM-Empfängers abrufen. Die Position jedes Flugzeugs um Helgoland wird mit einem entsprechenden Symbol eingezeichnet. Diese werden nach den in der Anforderungsanalyse festgelegten Kriterien gefiltert. Zur Beurteilung von kritischen Flugobjekten wird die Position und die Geschwindigkeit des Flugobjekts genommen. Ist die Distanz zwischen Flugobjekt und Helgoland kleiner als das Flugobjekt in 10 min bei aktueller Geschwindigkeit zurücklegen kann, wird das Flugobjekt rot markiert. Hinzu kommt ein Sichtkegel: Dieser Kegel wird für zwei verschiedene Entfernungen eingezeichnet, die das Flugzeug bei aktueller Geschwindigkeit in 5 und in 10 min erreichen könnte. Dieser Kegel ist 60° groß und zeigt in die aktuelle Flugrichtung.
- `drawing`: Diese Ebene ist für Markierungen reserviert. Sie bietet verschiedene Werkzeuge um Markierungen auf der Karte einzuzeichnen.

Die Karte enthält verschiedene Menüs und Einblendungen:

- Oben links kann man auf der Karte zoomen sowie über ein Lineal-Werkzeug Entfernungen auf der Karte messen.
- Unten links werden die Koordinaten der Maus angezeigt.
- Oben rechts ist ein Menü, über die nach verschiedenen Orten gesucht werden kann.
- Darunter kann man zwischen den verschiedenen Ebenen wechseln und einzelne ein- und ausschalten.
- Unten rechts werden die Quellen der ausgewählten Ebenen angezeigt.

4 UMSETZUNG

Eine typische Maussteuerung wurde ebenfalls implementiert. So lässt sich die Karte mit der Maus ziehen und mit dem Mausekranz zoomen. Mit der rechten Maustaste lassen sich Markierungen erstellen. Wurde ein Flugobjekt ausgewählt, so werden detaillierte Informationen zu dem Flugobjekt dargestellt. Dazu gehören: Die Kennung, die Position, die Flughöhe und die Geschwindigkeit.

Über der Karte lässt sich die Registrationsnummer der Drohne der Mission eintragen. Diese wird dann in der Karte mit einem eigenen Symbol in der Farbe rot dargestellt. Unter der Karte befindet sich ein Bereich, in dem kritische Flugzeuge (die zuvor rot markiert wurden) noch einmal mit Registrationsnummer, Position, Höhe und Geschwindigkeit aufgelistet werden. Daneben ist ein Fenster von Grafana, in dem Wetterinformationen der letzten fünf Stunden dargestellt sind. So lassen sich zum Beispiel anhand von Luftdruckänderungen Aussagen über Wetterveränderungen treffen. Zum Schluss wurde eine Legende eingefügt, mit welcher Farbe und welchem Symbol die einzelnen Flugobjekte angezeigt werden.

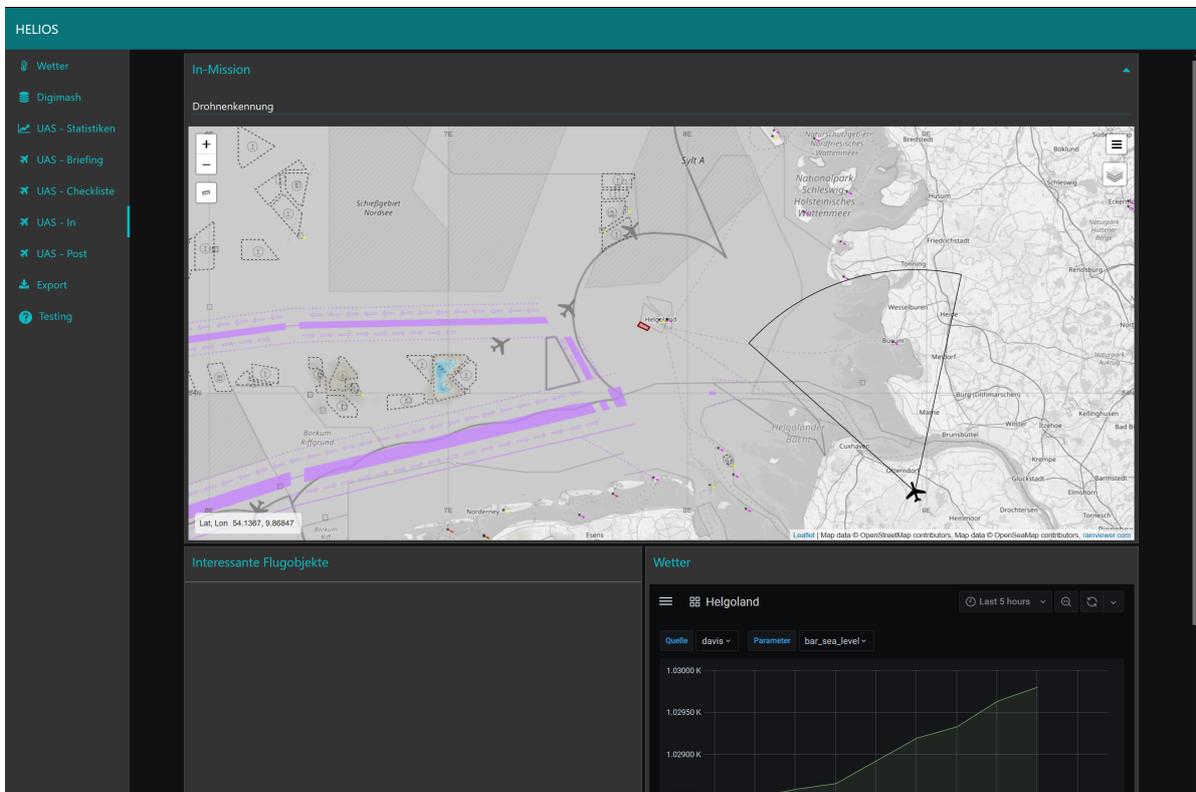


Abbildung 34: In-Mission-Fenster

Umgesetzt wurde dies mit einem Knoten, welches die Leaflet-Bibliothek in Node-Red einbindet. Die Karte wurde auf einer eigenen Seite generiert, welche anschließend mittels eines „iframes“ in das Dashboard eingebunden wird. Außerdem erkennt sie, ob sich zum momen-

tan Zeitpunkt ein Nutzer auf dem entsprechenden Reiter im HELIOS-Portal befindet. Wenn ein Nutzer den Reiter öffnet, wird die Karte mit den einzelnen Ebenen generiert. Außerdem werden alle fünf Sekunden http-Requests an den AirSquitter-Computer gesendet. Dieser antwortet im JSON-Format mit den aktuellen Flugobjekten und Detailinformationen zu diesen. Die Informationen werden anschließend nach den zuvor genannten Kriterien gefiltert und als Markierung auf der FLARM-Ebene in die Karte eingebunden.

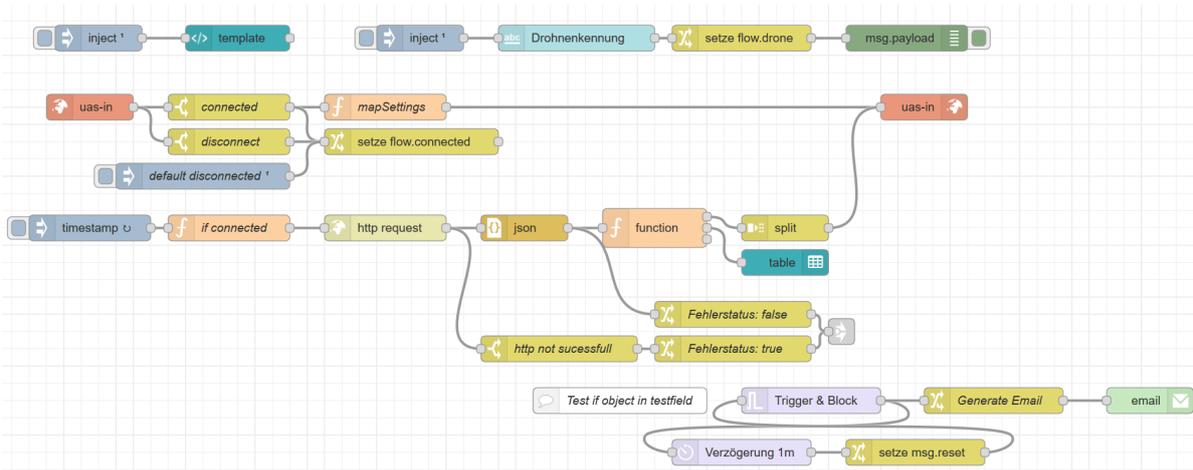


Abbildung 35: In-Mission-Datenfluss

Für die anderen Ebenen unterstützt Leaflet verschiedene Systeme. Ein bei Kartenbibliotheken verbreitetes „Tilemap“-System fügt einzelne kleine Bilder je nach Position und Detailgrad in die Karte ein. Diese lassen sich über Server der einzelnen Anbieter abrufen, sofern diese ein solches System unterstützen. So wurden auch die Ebenen von beispielsweise openseamap eingebunden.

4.2.10 UAS-Post

Für die Missionsnachbesprechung (UAS-Post) kann der Drohnenflug als Pfad auf einer Karte visualisiert werden (Abbildung 36). Dazu wird oben in einem Textfeld die Kennung der Drohne eingegeben sowie das Datum, an dem die Drohne geflogen ist. Mittels eines http-Requests wird eine Anfrage mit dem Datum an den AirSquitter-Computer auf Helgoland gestellt, welcher eine csv-Datei mit allen aufgenommenen Flugdaten an dem jeweiligen Tag zurückgibt. Über ein Python-Skript wird diese Datei auf die Drohnenkennung gefiltert. Alle Positionen, an denen die Drohne vom System aufgenommen wurde, werden der Karte übergeben, welche aus diesen einen roten Pfad generiert.

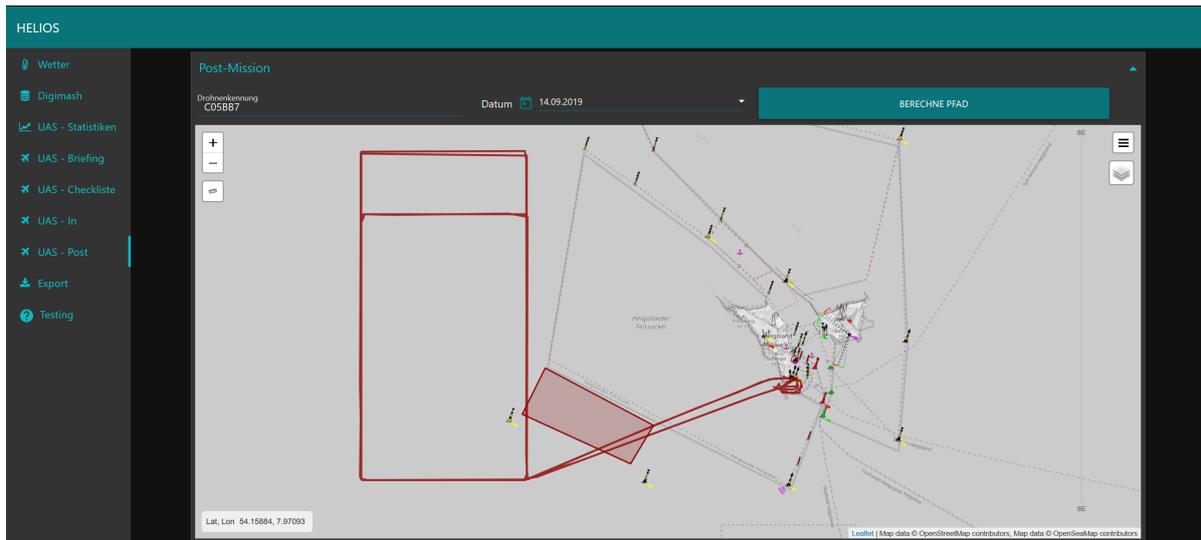


Abbildung 36: Post-Mission-Fenster

4.2.11 Export

In diesem Fenster werden die verschiedenen Daten, welche das HELIOS-System verwendet, zum Herunterladen angeboten (Abbildung 37). Eine Datenquelle sind die ADS-B / FLARM-Flugdaten vom AirSquitter. Mit einem Datum können alle aufgezeichneten Flugdaten als csv-Datei heruntergeladen werden. Diese beinhaltet folgende Daten:

- **tstamp:** ist der Zeitstempel, an dem der Datenpunkt aufgezeichnet wurde (Jahr, Monat, Tag, Stunde, Minute, Sekunde),
- **uri:** Der Unix-Zeitstempel wurde ursprünglich für das Betriebssystem Unix entwickelt. Die Unix-Zeit zählt die Sekunden seit dem Donnerstag, dem 1. Januar 1970 00:00 Uhr UTC. Die Umschaltung jeder Sekunde zur nächsten ist dabei synchron zur UTC. Schaltsekunden werden ignoriert; diese haben den gleichen Zeitstempel wie die vorige Sekunde. Dieser Zeitstempel ist in der Informatik von besonderer Bedeutung, er wird häufig in diesem Format definiert. Auch in diesem Fall wird der Zeitstempel im Unix-Format aufgezeichnet, an dem die Daten des Flugobjekts empfangen wurden.
- **reg:** ist die Kennung des Flugobjekts (registration).
- **src:** In diesem Feld wird die Quelle des Datenpunktes genannt. Dazu zählen ADS-B-, MLAT- und FLARM-Daten.
- **alt:** bezeichnet die Flughöhe (altitude).

- spd: bezeichnet die Geschwindigkeit des Flugobjekts (speed).

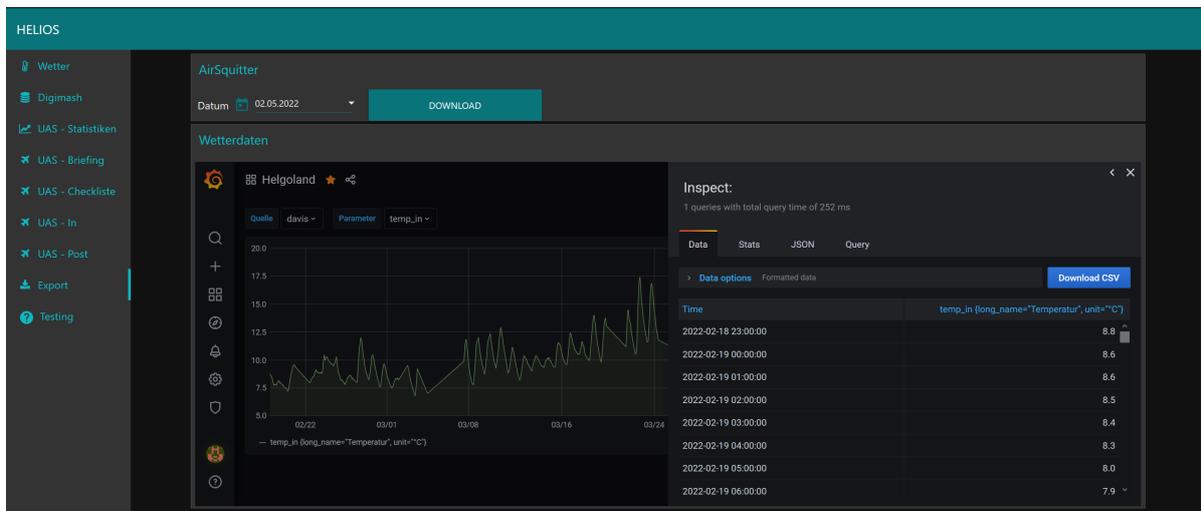


Abbildung 37: Export-Fenster

Über Grafana können auch Daten aus der Influx-Datenbank exportiert werden. Dazu kann ein Zeitintervall oben rechts eingegeben oder per Maus gezogen werden. Außerdem können Parameter spezifiziert werden, die exportiert werden sollen. Diese Parameter sind der Quelle untergeordnet: Unter DWD können beispielsweise Daten vom deutschen Wetterdienst aus der Influx-Datenbank ausgewählt werden. Mittels eines Klicks auf die Menüzeile des Graphen können unter „inspect“ die einzelnen Datenpunkte eingesehen werden. Diese stehen auch als Download im csv-Format zur Verfügung.

5 Evaluation

Nach der Implementierung der Software soll das Projekt auf seine Gebrauchstauglichkeit geprüft werden. Das Ziel ist es einerseits, die am Prototypen getroffenen Designentscheidungen zu evaluieren, und andererseits zu messen, wie gut die Programmrealisierung dem anfänglichen Ziel einer gebrauchstauglichen Software entspricht. Hierfür wurde ein Fragebogen anhand von SUS erstellt.

5.1 Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit

Um die Gebrauchstauglichkeit zu messen wurde SUS als Basis verwendet, da es einen gebräuchlichen standardisierten Fragebogen für solche Aufgaben enthält. Dieser wurde in der deutschen Sprache verfasst, da alle Testpersonen deutsch als Muttersprache sprechen. Des Weiteren wurde der Fragebogen um ein Feld „weitere Bemerkungen“ ergänzt. Ein solches freies Textfeld ermöglicht es, Ideen für Optimierungen oder Einstellungen zum Produkt besser zu vermitteln. Dieser Fragebogen wurde im Anhang A.1 angefügt.

5.2 Testpersonen

Für die finale Evaluation wurden drei Personen ausgewählt, die in die typische Altersgruppe und verschiedene Erfahrungen mit dem aktuellen Projekt aufweisen. Alle befragten Personen arbeiten aktiv an Projekten des maritimen Testzentrums, da die potentiellen Nutzer alle Fachleute in ihren jeweiligen Projekten sind.

5.3 Ergebnis

Zur Bewertung von SUS-Fragebögen werden die beantworteten Fragen in ein Punktesystem umgewandelt. Jede Antwort gibt dabei zwischen eins und vier Punkten. Diese werden aufeinander addiert und mit 2,5 multipliziert, sodass sich ein Ergebnis zwischen 0-100 Punkten ergibt. 100 Punkte wären dabei eine „perfekte“ Gebrauchstauglichkeit. Durch die Standardisierung des Fragebogens und des Punktwertes lässt sich die Gebrauchstauglichkeit mit anderen Systemen vergleichen. Im Allgemeinen steht ein Wert von über 68 Punkten für eine gute Gebrauchstauglichkeit[68]. In der Industrie wird auch der Grenzwert von 80 verwendet[69]. Die implementierte Software erzielte einen SUS-Punktwert von 91,3 und wurde somit als „sehr gut“ bewertet.

Alle befragten Personen können sich gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen und empfinden die Nutzung des Systems als einfach bzw. sie sei schnell zu erlernen. Außerdem

sei das System nicht unnötig komplex. Jedoch gab es Punktabzüge bei allen befragten Personen bei der vierten Frage: „Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen“. Dies zeigt den komplexen fachlichen Bezug des Systems. Alle befragten Personen arbeiten in den jeweiligen Projekten des maritimen Testzentrums und durch die Vorerfahrung und mit einer kleinen Einarbeitung lässt sich das System gut bedienen. Auch ist die Menüführung gut verständlich, da diese nach Projekten und nach den zeitlichen Abfolgen gegliedert ist.

Besonders hervorgehoben wurde in den Antworten die integrierte Karte mit den verschiedenen Ebenen inklusive von ADS-B und zukünftig auch AIS. Dadurch lassen sich die verschiedenen Einflussfaktoren auf einen Blick erkennen. Dies sei während der Mission für einen zukünftigen Leitstand in jeder Hinsicht sinnvoll. Auch stellen die aktuellen sowie historischen Wetterdaten ein großes Hilfsmittel bei der Missionsplanung dar.

Einige Optimierungspotentiale haben sich jedoch auch ergeben. Die statistische Auswertung von UAS-Anforderungen ließen im Rahmen der Masterarbeit nur die Umsetzung mittels Liniendiagrammen zu. Durch ein Status-Diagramm würde sich schneller und besser erkennen lassen, ob ein UAS-System auf die Anforderungen auf Helgoland ausgelegt wäre. Auch wäre eine effiziente Auswertung über größere Zeiträume (von mehreren Jahren) wünschenswert. Das HELIOS-System ist ein guter Startpunkt für die Missionsbegleitung des maritimen Testzentrums, welches sich in der Praxis bewähren muss. Viele Anforderungen haben sich aus der Auswertung einzelner Missionen ergeben und wurden nicht in der Praxis während einer realen Mission getestet. Simulierte Missionen stellen keine reale Umgebung mit ihren besonderen Anforderungen dar. Auch sollen in Zukunft noch einige weitere Schnittstellen wie AIS-Daten oder Wasserdaten einer Tonne hinzugefügt werden, wenn diese vorhanden sind.

Insgesamt ist die Resonanz auf das HELIOS-System sehr positiv, welches sich auch in der Auswertung des SUS widerspiegelt. Dennoch wurden einzelne Optimierungspotentiale erkannt. Somit erfüllt das HELIOS-Projekt das zuvor gesetzte Ziel, das Versuchspersonal bei seiner Arbeit im Testzentrum benutzerfreundlich zu unterstützen und zu entlasten.

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein System entwickelt, um das Versuchspersonal bei seiner Arbeit am maritimen Testzentrum Helgoland bestmöglich zu unterstützen und zu entlasten. Umgesetzt wurde dieses System mit Hilfe von UCD-Methoden. Die Missionsbegleitung am Testzentrum umfasst verschiedene Projekte, wobei der Fokus hauptsächlich auf UAS-Projekte gelegt wurde.

Dazu wurden zunächst die einzelnen Projekte auf ihre Arbeitsabläufe analysiert. Die Probendokumentation an den Korrosionsprüfständen wird derzeit weitestgehend manuell durchgeführt. Ein digitales System befindet sich in einer Testphase. Auch werden die Proben ohne dazugehörige Wetterdaten erfasst, was Rückschlüsse auf die Veränderungen der Probe erlauben würde. Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit der mobilen Robotik sowohl über (UAS) als auch unter Wasser (AUV). Dort werden Missionen der Kunden vom Testzentrum begleitet. Dies schließt verschiedene Phasen ein: Zunächst wird ein Missionsbriefing durchgeführt, in dem vor allem die Wettersituation analysiert sowie die Mission geplant wird. Anschließend wird die Mission vorbereitet und durchgeführt, wobei die Mission genau überwacht wird. Danach wird die Mission evaluiert. Ausgehend von der Ausgangslage wurden potentielle Nutzergruppen festgelegt und Optimierungspotentiale analysiert. Aus der Analyse der Ausgangslage und Interviews mit Mitarbeitenden ergab sich eine Anforderungsliste. Dies umfasst unter anderem eine Analyse der einzelnen Schnittstellen: Wetter-, Wasser- und andere Umgebungsdaten wie ADS-B- und AIS-daten sollen alle in einem System zusammengefasst werden. Diese Daten werden aus Sensoren und Empfängern des IFAMs sowie externen Quellen beispielsweise des Deutschen Wetterdienstes gewonnen. Für die einzelnen Projekte wurden auch Anforderungen entwickelt, wie die Missionen mit Hilfe der aus den diversen Schnittstellen gewonnenen Daten optimal begleitet und unterstützt werden können. Diese Aufgaben wurden anschließend in einem ersten Papierprototypen umgesetzt, um ebenfalls die Gebrauchstauglichkeit zu sicherzustellen. Anschließend wurde dieses System mittels Node-Red und einer Influx-Datenbank sowie anderen Programmen für die jeweiligen Schnittstellen umgesetzt.

Das System wurde in einer Umfrage für die Gebrauchstauglichkeit mittels des SUS-Punktesystems bewertet und bekam 91,3 von 100 möglichen Punkten. Nach dieser Bewertung ist HELIOS sehr benutzerfreundlich. Die Bedienung des Systems ist nach der Umfrage einfach bzw. schnell zu erlernen. Es ist danach auch nicht unnötig komplex. Jedoch würden die Nutzer nach der Umfrage teilweise technischen Support bei der Verwendung des Systems benötigen. Dies zeigt den komplexen fachlichen Bezug des Systems. Die Nutzer sind in der Regel auf ihre jeweiligen Projekte spezialisiert und bringen entsprechende Vorerfahrungen

mit, die für die Nutzung von HELIOS nötig sind. Die Menüführung ist gut verständlich, da diese nach Projekten und den zeitlichen Abfolgen der Missionen gegliedert ist. Besonders positiv wurde die integrierte Karte mit ihren verschiedenen Ebenen wie eine Wetter- und ADS-B-Ebene bewertet. Dadurch lassen sich die verschiedenen Faktoren auf einen Blick erkennen. Auch stellen die aktuellen sowie historischen Wetterdaten ein großes Hilfsmittel bei der Missionsplanung dar.

Optimierungspotentiale liegen unter anderem in der statistischen Auswertung von UAS-Anforderungen. Diese ließen sich im Rahmen der Masterarbeit nur mit Liniendiagrammen umsetzen, jedoch wären Statusdiagramme wie im Prototyp klarer zu lesen. Außerdem wäre eine Auswertung über größere Zeiträume (von mehreren Jahren) wünschenswert. Die Performanz des Systems ließ jedoch nur eine sinnvolle Auswertung von bis zu einem halben Jahr zu. Auch sind noch einige Schnittstellen in Planung. So möchte das Fraunhofer IFAM einen AIS-Empfänger sowie eine Tonne mit Wassersensoren installieren, dessen Daten ebenfalls in das System zukünftig einfließen sollen. Auch soll eine Schnittstelle für die Erfassung von fremden Drohnen geschaffen werden. Hierzu laufen Gespräche mit Dronefence[70] und DJI[71].

Das HELIOS-System ist ein guter Grundstein für die Missionsbegleitung des maritimen Testzentrums. In der folgenden Testphase wird es unter realen Bedingungen getestet und erweitert werden.

Quellenverzeichnis

- [1] R. Neugebauer. *Digitalisierung: Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. Springer Vieweg, 2018.
- [2] S. Luber und N. Litzel. *Was ist Digitalisierung?* 2017. URL: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-digitalisierung-a-626489/> (besucht am 12.05.2022).
- [3] S. Reinheimer. *Industrie 4.0: Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele*. Springer Vieweg, 2017.
- [4] *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme*. Standard DIN EN ISO 9241-210:2019. Berlin, DE: DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg), 2020.
- [5] B. Shneiderman und C. Plaisant und M. Cohen und S. Jacobs und N. Elmqvist. *Designing the User Interface - strategies for effective human-computer interaction*. 6. Aufl. Pearson, 2018.
- [6] A. Cooper und R. Reimann und D. Cronin. *About Face 3: The Essentials of Interaction Design*. 3. Aufl. Wiley, 2007.
- [7] F. E. Ritter und G. D. Baxter und E. F. Churchill. *Foundations for Designing User-Centered Systems: What Systems Designers Need to Know about People*. Springer-Verlag London, 2014.
- [8] M. Richter und M. Flückiger. *Usability Engineering kompakt*. 3. Aufl. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2013.
- [9] K. McElroy. *Prototyping for Designers*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2017.
- [10] J. Nielsen. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, 1993.

- [11] G. A. Miller. *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information*. The Psychological Review, Nr. 63, 1956.
- [12] *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Standard DIN EN ISO 9241-10:1996. Berlin, DE: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 1996.
- [13] J. Sauro und J. R. Lewis. *Quantifying the User Experience*. 2. Aufl. Elsevier Inc., 2016.
- [14] J. P. Chin und V. A. Diel und K. L. Norman. *Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface*. in CHI '88: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Association for Computing Machinery, 1988.
- [15] M. Corbett J. Kirakowski. *SUMI: the Software Usability Measurement Inventory*. British journal of educational technology, 1993.
- [16] J. R. Lewis. *Psychometric evaluation of a post-study system usability questionnaire: The PSSUQ*. International Business Machines Corp., 1993.
- [17] J. Brooke. *SUS: A quick and dirty usability scale*. Taylor und Francis, 1996.
- [18] C. R. Spitzer und U. Ferrell und T. Ferrell. *Digital Avionics Handbook*. 3. Aufl. CRC Press, 2015.
- [19] C. D. Berwerger und L. Schuler. *Simulation zur Verbesserung des FLARM-Funkprotokolls*. xirrus GmbH, 2008.
- [20] L. Schuler. *Die Wirksamkeit von Warnsystemen durch Simulation erhöhen*. in Forum für Wissen, 2007.
- [21] Y. Li und J. Zhang und Q. Wu. *Adaptive Sliding Mode Neural Network Control for Nonlinear Systems*. Academic Press, 2019.

- [22] Lm. *Was ist eigentlich MLAT - Multilateration?* URL: <https://www.atcnea.at/index.php/themen/26-was-ist-eigentlich-mlat-multilateration> (besucht am 12.05.2022).
- [23] Y. Fischer. *Wissensbasierte probabilistische Modellierung für die Situationsanalyse am Beispiel der maritimen Überwachung*. in *Karlsruher Schriften zur Anthropomatik*. Band 23. KIT Scientific Publishing, 2015.
- [24] T. Lundby und M. P. Christiansen und K. Jensen. *Towards a Weather Analysis Software Framework to Improve UAS Operational Safety*. Atlanta, USA, 2019.
- [25] *Aviation weather (advisory circular ac 00-6b)*. Techn. Ber. Washington, USA: U.S. Department of Transportation, 2016.
- [26] N. Air Sports Net. *Dew point spread and humidity*. 2018. URL: <http://www.usairnet.com/lc/help/?q=dps> (besucht am 12.05.2022).
- [27] T. A. Horne. *Dew Point Review: The inside story behind saturated air and fog formation*. Aircraft Owners und Pilots Association, 2016.
- [28] C. Reinboth. *Wie berechnet man die Windgeschwindigkeit auf Höhe der Rortornabe eines Windrads?* ScienceBlogs. 2009. URL: <https://scienceblogs.de/frischer-wind/2009/10/12/wie-berechnet-man-die-hohenabhangige-windgeschwindigkeit/> (besucht am 12.05.2022).
- [29] M. Kleemann und M. Meliß. *Regenerative Energiequellen*. Springer-Verlag, 1993.
- [30] *Normatmosphäre*. Standard DIN ISO 2533:1975. Berlin, DE: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2020.
- [31] J. Jacobs. *What Is the Kp Index and Why Does It Matter to Drone Pilots?* Drone Academy. 2019. URL: <https://www.droneacademy.com/what-is-kp-index/> (besucht am 12.05.2022).

- [32] J. Matzka und O. Bronkalla und K. Tornow und K. Elger und C. Kirsten. *Geomagnetic Kp index*. German research centre for geosciences Helmholtz-Centre Potsdam, 2021.
- [33] O. Specht. "Entwicklung einer Applikation zur digitalen Dokumentation von Proben in Offshore Auslagerungsständen". Bachelorarbeit. Universität Bremen, 2019.
- [34] *Forschungsprojekt X-Wakes: Wie verändern Windparks auf See den Wind?* Deutsches Klimaportal. 2019. URL: https://www.deutschesklimaportal.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/DWD/2019/DWD_IWES_X_Wakes_191105.html (besucht am 12.05.2022).
- [35] Niedersachsen Aviation. *Drohnenflüge über der Nordsee*. Flybots. 2021. URL: <https://www.flybots.info/magazin/drohnenfluege-ueber-der-nordsee> (besucht am 12.05.2022).
- [36] *Analyse- und Prognosekarten Europa*. Deutscher Wetterdienst. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/hobbymet_wk_europa/hobbyeuropakarten.html (besucht am 12.05.2022).
- [37] *Windy Karte*. Windy. URL: <https://www.windy.com/> (besucht am 12.05.2022).
- [38] *Metar und TAF*. Studio Eveline. URL: <https://metar- taf .com/de/EDHR> (besucht am 12.05.2022).
- [39] *NOTAM*. Deutsche Flugsicherung. URL: <https://secais.dfs.de/pilotservice/home.jsp> (besucht am 12.05.2022).
- [40] *Seegangsvorhersage des Deutschen Wetterdienstes*. Bundesamt für Schifffahrt und Hydraulik. URL: <https://www2.bsh.de/aktdat/Seegang/vorhersage/wiwe.htm> (besucht am 12.05.2022).
- [41] *MarineTraffic Karte*. MarineTraffic. URL: <https://www.marinetraffic.com/> (besucht am 12.05.2022).

- [42] *VesselFinder Karte*. VesselFinder. URL: <https://www.vesselfinder.com/> (besucht am 12.05.2022).
- [43] *Open Data: Stündliche Klimadaten*. Deutscher Wetterdienst. URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/ (besucht am 12.05.2022).
- [44] *EMODnet Karte*. European Marine Observation und Data Network. URL: <https://map.emodnet-physics.eu/> (besucht am 12.05.2022).
- [45] *Kp Index: GFZ*. German Research Centre For Geosciences. URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/> (besucht am 12.05.2022).
- [46] *Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air (SERA)*. Techn. Ber. Implementing Regulation (EU) No 1035/2011 and Regulations (EC) No 1265/2007, (EC) No 1794/2006, (EC) No 730/2006, (EC) No 1033/2006 and (EU) No 255/2010. Brüssel: Europäische Kommission, 2012.
- [47] *Seewetterbericht Nord- und Ostsee*. Deutscher Wetterdienst. URL: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/seewetternordostsee/seewetternordostsee.html> (besucht am 12.05.2022).
- [48] *Meteomatics Droneweather*. Schweizer Unternehmensverband für umweltmeteorologische Messungen und Daten. URL: <https://www.wetter.swiss/flightweather/> (besucht am 12.05.2022).
- [49] *UAV Forecast*. UAV Forecast. URL: <https://www.uavforecast.com/> (besucht am 12.05.2022).
- [50] *Nummernplan Rufzeichen für Luftfunkstellen im zivilen mobilen Flugfunk*. Techn. Ber. In Vfg. 3/2022, Amtsblatt der Bundesnetzagentur 01/2022 vom 12.01.2022. Bonn: Bundesnetzagentur, 2022.

- [51] *OpenStreetMap Karte*. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (besucht am 12.05.2022).
- [52] V. Agafonkin und contributors. *Leaflet*. URL: <https://leafletjs.com/> (besucht am 12.05.2022).
- [53] *Node-Red*. OpenJS Foundation und Contributors. URL: <https://nodered.org> (besucht am 12.05.2022).
- [54] P. Krill. *PayPal and Netflix cozy up to Node.js*. Infoworld. 2014. URL: <https://www.infoworld.com/article/2610110/paypal-and-netflix-cozy-up-to-node-js.html> (besucht am 12.05.2022).
- [55] *ThingsBoard - Open-source IoT Platform*. ThingsBoard, Inc. URL: <https://thingsboard.io/> (besucht am 12.05.2022).
- [56] *Google Cloud IoT solutions*. Google. URL: <https://cloud.google.com/solutions/iot/> (besucht am 12.05.2022).
- [57] F. Geisler. *Datenbanken: Grundlagen und Design*. 5. Aufl. mitp Professional, 2014.
- [58] G. Aasen. *Introduction to InfluxData's InfluxDB and TICK Stack*. Infoworld. 2017. URL: <https://www.influxdata.com/blog/introduction-to-influxdatas-influxdb-and-tick-stack/> (besucht am 12.05.2022).
- [59] *InfluxData*. InfluxData Ink. URL: <https://www.influxdata.com/> (besucht am 12.05.2022).
- [60] C. Davis. *Graphite-Web*. URL: <https://github.com/graphite-project/graphite-web> (besucht am 12.05.2022).
- [61] *Prometheus - from metrics to insight*. Prometheus Authors. URL: <https://prometheus.io/> (besucht am 12.05.2022).

- [62] *TimescaleDB*. Timescale, Inc. URL: <https://www.timescale.com/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [63] *Grafana*. GrafanaLabs. URL: <https://grafana.com/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [64] *OpenWeather Wettervorhersage*. OpenWeather. URL: <https://openweathermap.org/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [65] *OpenSeaMap - die freie Seekarte*. OpenStreetMap. URL: <http://openseamap.org/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [66] *openaip - Free Worldwide Aviation Database*. openaip. URL: <https://www.openaip.net/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [67] *RainViewer*. RainViewer. URL: <https://www.rainviewer.com/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [68] R. Malaka. *Mensch-Technik-Interaktion*. Vorlesung. Universität Bremen, 2019.
- [69] J. R. Lewis. *The System Usability Scale: Past, Present, and Future*. Bd. International Journal of Human–Computer Interaction. 2018.
- [70] *Dronefence*. Dronefence. URL: <http://dronedefence.com/> (besucht am 12. 05. 2022).
- [71] *DJI Aeroscope*. DJI. URL: <https://www.dji.com/de/aeroscope> (besucht am 12. 05. 2022).

A Anhang

A.1 Fragebogen zur Gebrauchstauglichkeit von HELIOS

1. Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

2. Ich empfinde das System als unnötig komplex.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

3. Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

4. Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

5. Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

6. Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

8. Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

9. Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

10. Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mir dem System arbeiten konnte.

ich stimme nicht zu ○ ○ ○ ○ ○ ich stimme zu

11. Weitere Bemerkungen: