

# STUDIE | BIGS

**RescueFly – Einsatz von dezentral stationierten Drohnen („Unmanned Aircraft Systems“, UAS) zur Unterstützung bei der Wasserrettung in schwer zugänglichen und weitflächigen Gebieten**

**BIGS**  
BRANDENBURGISCHES INSTITUT  
für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT



**Projektergebnisse und -erkenntnisse  
sowie Betrachtung des Einsatzpotentials von  
UAS bei der Wasserrettung**

**von Beesten, Braßel, Breuß, Fricke, Hardt, Heller, Kern, Khan Mohammadi,  
Lindner, Pfister, Schneiderei, Stuchtey, Yarahmadi, Zeh, Zell, Zügel**

**März 2024**

## IMPRESSUM

Die Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit (BIGS) gGmbH ist ein unabhängiges, überparteiliches und nicht-gewinnorientiertes wissenschaftliches Institut, das zu gesellschaftswissenschaftlichen Fragen ziviler Sicherheit forscht.

Das Institut publiziert seine Forschungsergebnisse und vermittelt diese in Veranstaltungen an eine interessierte Öffentlichkeit. Das BIGS entstand im Frühjahr 2010 in Potsdam unter der Beteiligung der Universität Potsdam und ihrer UP Transfer GmbH sowie weiterer Unternehmen.

### **BIGS Studie Nr. 11, März 2024**

#### **Autoren der Studie:**

von Beesten, Joachim; Braßel, Hannes; Breuß, Michael; Fricke, Hartmut; Hardt, Wolfram; Heller, Ariane; Kern, Esther; Khan Mohammadi, Mohsen; Lindner, Martin; Pfister, Emily; Schneiderei, Toni; Stuchtey, Tim; Yarahmadi, Ashkan Mansouri; Zeh, Thomas; Zell, Sascha; Zügel, Thomas

#### **Titel der Studie:**

RescueFly – Einsatz von dezentral stationierten Drohnen („Unmanned Aircraft Systems“, UAS) zur Unterstützung bei der Wasserrettung in schwer zugänglichen und weitflächigen Gebieten

#### **Herausgeber:**

Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH  
Dr. Tim H. Stuchtey (V.i.S.d.P.)

#### **Titelbild & alle weiteren Bilder:**

Michael Helbig/vor-ort-foto.de

# BIGS

BRANDENBURGISCHES INSTITUT  
für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT

Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH

Geschäftsführender Direktor:

Dr. Tim H. Stuchtey

Dianastraße 46  
14482 Potsdam

Telefon: +49-331-704406-0

Telefax: +49-331-704406-19

E-Mail: [info@big-potsdam.org](mailto:info@big-potsdam.org)

[www.big-potsdam.org](http://www.big-potsdam.org)

Das Verbundprojekt RescueFly hat sich zum Ziel gesetzt, mithilfe von dezentral stationierten, autonomen Drohnen auch an unbewachten Gewässern, insbesondere in schwer zugänglichen und großflächigen Einsatzräumen, schnelle und effektive Hilfe bei Notfällen zu ermöglichen. Getestet wird das Potenzial dieser Drohnen-Technologie zur Wasserrettung zunächst im Lausitzer Seenland. Das Projektteam besteht aus einem interdisziplinären Team von Wissenschaftlern und Unternehmen unter der Koordination der Björn Steiger Stiftung. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) von Januar 2022 bis März 2024 gefördert.

#### **Gefördert durch:**



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr



Copyright 2024 © Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH. Alle Rechte vorbehalten. Die Reproduktion, Speicherung oder Übertragung (online oder offline) des Inhalts der vorliegenden Publikation ist nur im Rahmen des privaten Gebrauchs gestattet. Kontaktieren Sie uns bitte, bevor Sie die Inhalte darüber hinaus verwenden.

Weitere Informationen über die Veröffentlichungen des BIGS befinden sich auf der Webseite des Instituts: [www.big-potsdam.org](http://www.big-potsdam.org).

# Studie | BIGS

## RescueFly –

**Einsatz von dezentral stationierten Drohnen  
(„Unmanned Aircraft Systems“, UAS) zur Unterstützung  
bei der Wasserrettung in schwer zugänglichen  
und weitflächigen Gebieten**

**von Beesten, Joachim; Braßel, Hannes; Breuß, Michael;  
Fricke, Hartmut; Hardt, Wolfram; Heller, Ariane; Kern, Esther;  
Khan Mohammadi, Mohsen; Lindner, Martin; Pfister, Emily;  
Schneiderei, Toni; Stuchtey, Tim; Yarahmadi, Ashkan Mansouri;  
Zeh, Thomas; Zell, Sascha; Zügel, Thomas**



# BIGS

BRANDENBURGISCHES INSTITUT  
für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT

## INHALTSVERZEICHNIS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Executive Summary   | 7  |
| 2     | Einleitung  | 8  |
| 2.1   | Problemdefinition und Bedarfsanalyse                        | 8  |
| 2.1.1 | Anstieg von tödlichen Wasserunfällen                        | 8  |
| 2.1.2 | Bedarf von Rettungskräften bei der Wasserrettung            | 10 |
| 2.2   | Aktueller Stand der technischen Entwicklung & Nutzung       | 10 |
| 2.2.1 | Bisherige Drohnennutzung im BOS-Bereich                     | 11 |
| 3     | Technische Anforderungen und Machbarkeit – RescueFly System | 13 |
| 3.1   | Drohne  | 13 |
| 3.2   | Drohnenhangar   | 17 |
| 3.3   | Flugroutenoptimierung                                       | 23 |
| 3.4   | Bestimmung optimaler Hangar-Standorte                       | 26 |
| 3.5   | Digitaler Zwilling  | 32 |
| 3.6   | Infrastruktur   | 35 |
| 3.7   | Bildererkennung   | 38 |
| 4     | Betriebsanforderungen                                       | 41 |
| 4.1   | Vorhaltung und Betrieb                                      | 41 |
| 4.2   | Infrastruktur   | 41 |
| 5     | Rechtliche Machbarkeit                                      | 43 |
| 6     | Wirtschaftlichkeit  | 44 |
| 6.1   | Annahmen und Einflussfaktoren                               | 44 |
| 6.2   | Drohne und Drohnenhangar                                    | 44 |
| 6.3   | Infrastruktur   | 45 |
| 6.4   | Drohnenleitstelle   | 45 |
| 6.5   | Gesamtkostenbetrachtung                                     | 47 |
| 6.5.1 | Mikrosicht (Projektgebiet)                                  | 47 |
| 6.5.2 | Makrosicht (Bundesland bzw. Seenlandschaft)                 | 47 |
| 6.5.3 | Zusatznutzenbetrachtung                                     | 49 |
| 7     | Politische und gesellschaftliche Akzeptanz                  | 51 |
| 7.1   | Wirkungen auf den Tourismus                                 | 51 |
| 7.2   | Wirkungen auf den Strukturwandel                            | 51 |
| 7.3   | Wirkungen auf die Umwelt                                    | 52 |
| 7.4   | Öffentliche Wahrnehmung                                     | 53 |
| 8     | Handlungsempfehlungen                                       | 54 |
| 8.1   | Empfehlungen an die Träger des Rettungswesens               | 54 |
| 8.2   | Empfehlungen an den Regulierer                              | 56 |
| 9     | Literaturverzeichnis  | 57 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 10   | Autorenverzeichnis   | 58 |
| 11   | Abbildungs- und Tabellenverzeichnis                        | 59 |
| 12   | Verbundpartner des RescueFly-Projekts                      | 60 |
| 12.1 | Björn Steiger Stiftung                                     | 60 |
| 12.2 | Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit | 60 |
| 12.3 | BTU Cottbus-Senftenberg                                    | 61 |
| 12.4 | Droniq GmbH  | 61 |
| 12.5 | MINTMASTERS GmbH   | 62 |
| 12.6 | Technische Universität Chemnitz                            | 62 |
| 12.7 | Technische Universität Dresden                             | 63 |

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|        |   |
|--------|---|
| AAO    | Alarm- und Ausrückeordnung                          |
| ABM    | Agentenbasierte Modellierung                        |
| ADS-B  | Automatic Dependent Surveillance-Broadcast          |
| ArUco  | Augmented Reality University of Cordoba             |
| BOS    | Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben |
| BVLOS  | Beyond Visual Line of Sight                         |
| CNN    | Convolutional Neural Network                        |
| ConOps | Concept of Operations                               |
| CV     | Contingency Volumen                                 |
| DCM    | Direction Cosine Matrix                             |
| DES    | Discrete-Event-Simulation                           |
| DFS    | Deutsche Flugsicherung                              |
| dipul  | Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt             |
| DSGVO  | Datenschutz-Grundverordnung                         |
| DVO    | Durchführungsverordnung                             |
| DWD    | Deutscher Wetterdienst                              |
| DLRG   | Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft               |
| EASA   | Europäische Agentur für Flugsicherheit              |
| EKF    | Extended Kalman Filter                              |
| FG     | Flight Geography                                    |

|             |  |
|-------------|--|
| FGS         | Fixed Ground Station   |
| GeoZG       | Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten                     |
| GIS         | Geoinformationssysteme   |
| GPS         | Global Positioning System  |
| GRB         | Ground Risk Buffer   |
| HOD         | Hook-on-Device   |
| HTTPS       | Hypertext Transfer Protocol Secure                               |
| ICON        | Icosahedral Non-hydrostatic                                      |
| INSPIRE     | Infrastructure for Spatial Information in the European Community |
| KI          | Künstliche Intelligenz   |
| LBA         | Luftfahrt-Bundesamt  |
| LF          | Landefläche  |
| LP          | Landeplattform   |
| LTE         | Long Term Evolution  |
| LSMT        | Long short-term memory   |
| LuftVG      | Luftverkehrsgesetz   |
| LuftVO      | Luftverkehrs-Ordnung   |
| IRLS        | Integrierte Regionalleitstelle                                   |
| MAVLink     | Micro Air Vehicle Link   |
| MILP        | Mixed-Integer Linear Programming                                 |
| MoC         | Means of Compliance  |
| NRT         | Notruftelefon  |
| OGS         | Omnidirectional Ground Station                                   |
| OSM         | OpenStreetMap  |
| PDRA        | Predefined Risk Assessment                                       |
| PE          | Polyethylen  |
| PIC         | Pilot in Command / Rettungsfernpilot                             |
| S&R-Mission | Search & Rescue / Vermisstensuche, Such- und Rettungsmission     |
| SHA         | Secure Hash Algorithm  |
| SSL         | Secure Sockets Layer   |
| STS         | Standardszenarios  |
| UTM         | UAS Traffic Mangement  |
| UAS         | Unmanned Aircraft Systems / Unbemanntes Luftfahrtsystem          |
| UAV         | Unmanned Aerial Vehicle / Unbemanntes Luftfahrzeug               |
| WMS         | Web Map Services   |

# 1 EXECUTIVE SUMMARY

Das Projekt RescueFly hat sich zum Ziel gesetzt, einen wichtigen technischen und gesellschaftspolitischen Beitrag bei der Entwicklung einer modernen und schnellen Notfallrettung in Deutschland zu leisten. Der Einsatz dezentral stationierter und hoch automatisierter Drohnen (UAS – Unmanned Aircraft System bzw. Unbemanntes Luftfahrtsystem) soll an Binnengewässern, insbesondere über schwer zugänglichen und großflächigen Wasserflächen, eine schnelle und effektive Hilfe bei Notfällen ermöglichen. Die Vorteile von UAS zur Wasserrettung wurden untersucht und getestet.

Wasserrettungen stellen Leitstellen und Rettungskräfte vor immense Herausforderungen aufgrund des großen Einsatzradius, einem zunehmenden Einsatzaufkommen, einer ungenauen/zeitraubenden Verortung der hilfebedürftigen Person, einem suboptimalen Uferzugang sowie vielfacher Fehlalarme. In dieser Studie wird das RescueFly System mit allen seinen Komponenten vorgestellt. Zudem betrachtet es Einsatzkonzepte unter technischen, flugbetrieblichen, infrastrukturellen, rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten.

RescueFly kommt zum Ergebnis, dass der entwickelte Demonstrator eine wichtige Unterstützung für Einsatzkräfte darstellen kann. Das UAS ist mit einer Spezialekamera ausgestattet. Dies bedeutet eine potenzielle Zeitersparnis bei Lokalisation der hilfsbedürftigen Person durch die hochaufgelösten Videoaufnahmen aus der Vogelperspektive und automatisierter Bilderkennung mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI). Außerdem können durch eine automatisierte Datenübertragung Lagebilder live an die Leitstelle übertragen werden. Mitgeführte Rettungsmittel, welche ortspräzise abgeworfen werden, können die Zeit bis zum Eintreffen der Rettungskräfte entscheidend verlängern. Bei einer entsprechenden Skalierung (z. B. im Bereich der Produktion) sowie bei Ausnutzung möglicher Synergieeffekte kann die Flugminute für einen UAS-Einsatz erheblich günstiger als ein Helikoptereinsatz sein. Die Wirtschaftlichkeit des hier beschriebenen Systems ist dann gegeben, sofern weitere BOS-Anwendungsfälle in die Kalkulation einbezogen werden.

Allerdings stehen dem Einsatz von UAS zur Wasserrettung in Deutschland einige Hürden im Weg:

Um UAS effizient in die Rettungskette zu integrieren, braucht es Standardszenarien (STS) für behördliche UAS-Einsätze, spezifiziert für eine automatisierte Wasserrettung, um den Aufwand für einzelne Rettungsleitstellen zu reduzieren. Hierzu müssen Voraussetzungen, Bedingungen und Verfahren zur Sicherstellung eines sicheren Flugbetriebs definiert werden.

UAS müssen sinnvoll in den Luftraum integriert werden und für andere Teilnehmende der bemannten wie unbemannten Luftfahrt sichtbar sein, um das Kollisionsrisiko zu reduzieren.

Der Hinflug zum Einsatzort sollte im Sinne eines privilegierten Betriebs auf direktem Weg aufgrund der Zeitkritikalität möglich sein.

Bei der Standortwahl für den Drohnenhangar sollten geeignete Methoden zur Optimierung des Standortes und des Flugweges zum Einsatz kommen, um das Risiko für Dritte zu reduzieren und ein größtmögliches Gebiet mit einem System abzudecken.

Durch die Einrichtung von einheitlichen Infrastrukturen (sog. Drohnenleitstellen), können BOS-Einsätze von UAS zentral koordiniert und kooperativ von unterschiedlichen Landkreisen in Anspruch genommen werden. Hieraus erfolgt eine einheitliche und standardisierte Herangehensweise, die die Ausnutzung von Skaleneffekten erlaubt.

Um die Vorteile im Bereich der Automatisierung noch effektiver zu nutzen, braucht es eine bessere Datenlage. So sollten historische Einsatzdaten durch eine automatisierte, einheitliche Datenerfassung von Real-Einsätzen der Wasserrettung durch BOS-Kräfte erfasst werden, um so u. a. ein besseres Bild über mögliche Unfallorte zu bekommen. Auch wäre eine Integration von weiteren Luftverkehrsdaten speziell für BOS-Einsätze sinnvoll, wie auch die Erweiterung der Datenbank der Digitalen Plattform Unbemannte Luftfahrt (dipul), um potenziell belebte Gebiete (Menschenansammlungen, z. B. Strand, Veranstaltungsgelände) und Hindernisse.

## 2 EINLEITUNG

Das Projekt RescueFly hat sich zum Ziel gesetzt, einen wichtigen technischen und gesellschaftspolitischen Beitrag bei der Entwicklung einer modernen und schnellen Notfallrettung in Deutschland zu leisten. Der Einsatz dezentral stationierter und hoch automatisierter Drohnen (UAS – Unmanned Aircraft System bzw. Unbemanntes Luftfahrtsystem) soll an Binnengewässern, insbesondere über schwer zugänglichen und großflächigen Wasserflächen, eine schnelle und effektive Hilfe bei Notfällen ermöglichen. Die Vorteile von UAS zur Wasserrettung wurden untersucht und getestet.

Unbewachte Gewässer sollen zukünftig bereits vor dem Eintreffen von Rettungskräften automatisiert und zügig nach Unfallopfern abgesehen werden. Die Daten sollen in Echtzeit an die Einsatzleitstelle/-leiter übermittelt werden, die dadurch Rettungskräfte schnell und gezielt zur hilfsbedürftigen Person navigieren kann. Damit soll für hilfsbedürftige Personen die Zeit bis zur ersten Hilfeleistung verkürzt werden. Auch kann die Überlebenschance durch den ortspräzisen Abwurf von Hilfsmitteln, wie selbstauslösende Schwimmkörper bis zum Eintreffen der Rettungskräfte entscheidend vergrößert werden. Dazu wurden im RescueFly Vorhaben spezielle, mit Kameras ausgerüstete Rettungs-UAS zur Unterstützung bei der Wasserrettung entwickelt und eingesetzt.

Getestet wurde das Potenzial der UAS-Technologie zur Wasserrettung zunächst im Lausitzer Seeland, speziell an den im Land Brandenburg und

Freistaat Sachsen liegenden Seen Geierswalder und Partwitzer See im Projektzeitraum von Januar 2022 bis Ende März 2024.

Die Weiterentwicklung von bestehenden Strukturen im Rettungsdienst bildet die Basis für eine kontinuierliche Verbesserung der Notfallversorgung in Deutschland. Die vorliegende Studie stellt das entwickelte RescueFly System mit allen Komponenten vor. Zudem betrachtet sie aus einer betriebswirtschaftlichen Perspektive Einsatzkonzepte unter technischen, flugbetrieblichen, infrastrukturellen, rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten. Verschiedene Konzepte finden bereits Anwendung, allerdings sind vollständig ausgereifte Anwendungsbereiche selten, bzw. bisher nicht vorhanden.

Im Rahmen der 27-monatigen Projektdauer war eine Fokussierung auf die Bearbeitung der relevanten Fragestellungen zur technischen, prozessualen und juristischen Machbarkeit notwendig. Diese konnten in großen Teilen untersucht und mögliche Lösungen umgesetzt werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Komponenten des RescueFly Projektes in einer Losgröße 1-2 – teilweise in Manufaktur – angefertigt wurden, stößt der Report bei der langfristigen Betrachtung der wirtschaftlichen Machbarkeit an seine Grenzen. Nichtsdestotrotz geben die Ergebnisse des Projektes eine erste Einschätzung für die Bedarfsträger hinsichtlich der umfassenden Einsatzfähigkeit des RescueFly Systems.

### 2.1 Problemdefinition und Bedarfsanalyse

Wie die Statistik der DLRG zeigt, geschehen die meisten Ertrinkungstode in Binnengewässern (ca. 90 % im Jahr 2023. Dieser Wert ist vergleichbar mit anderen Jahren). Gerade schwer zugängliche und großflächige Wasserflächen stellen dabei eine Herausforderung für die Wasserrettung heraus.

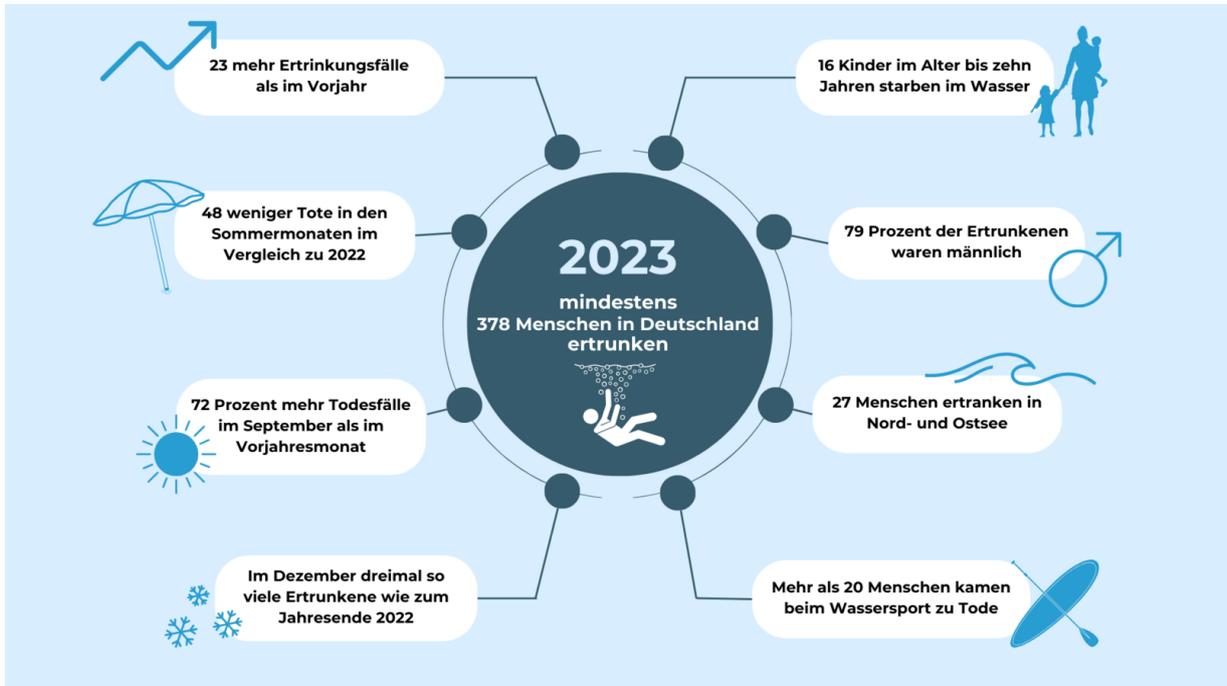
#### 2.1.1 Anstieg von tödlichen Wasserunfällen

Nach Angaben des DLRG sind in Deutschland im Jahr 2023 mindestens 378 Menschen ertrunken.

Dies bedeutet ein Anstieg von 6 %. Damit stiegen im zweiten Jahr in Folge die Todesfälle. 2022 ertranken 355 Menschen, 2021 lag die Zahl noch bei unter 300 Personen.<sup>1</sup> Rund 90 % der tödlichen Unfälle im Jahr 2023 ereigneten sich in Binnengewässern (siehe Abbildung 2: Todesfälle nach Gewässerarten). Bei den Gewässerarten zeigt sich, dass es eine signifikante Häufung von Unfällen auf Seen und an Flüssen gibt. So starben in Seen allein 138 Personen (2022: 147) und weitere 135 (2022: 105) Personen ertranken in Flüssen.

1. DLRG (2024): DLRG Statistik 2023: Mindestens 378 Menschen in Deutschland ertrunken, <https://www.dlrg.de/informieren/die-dlrg/presse/statistik-ertrinken/2023/presseinfo/>.

Abbildung 1: Infografik Todesfälle durch Ertrinken

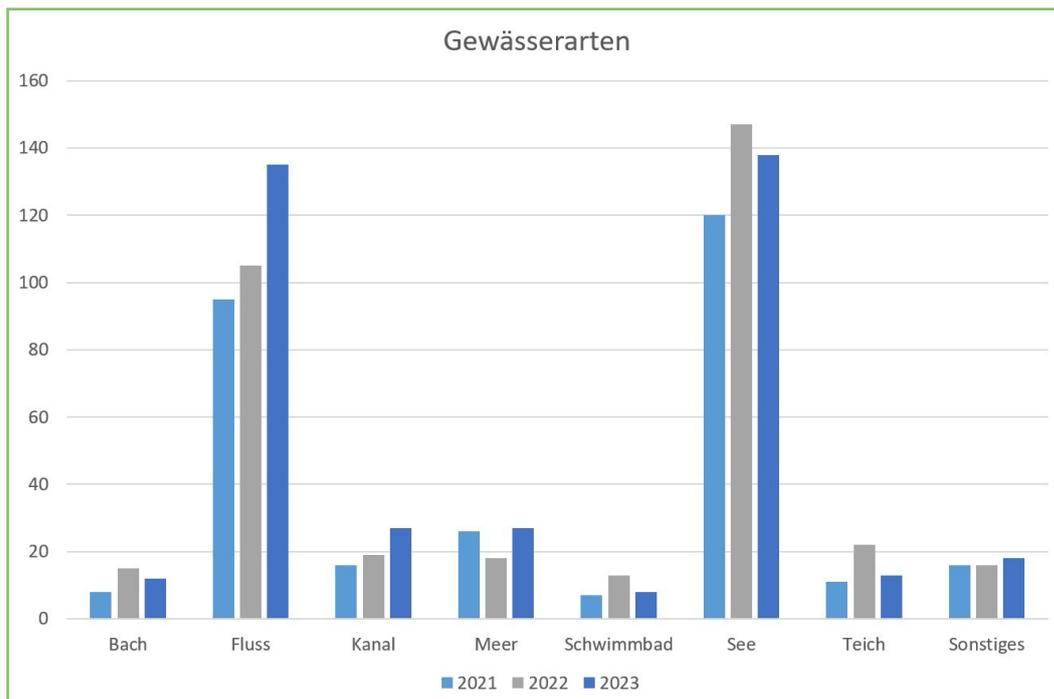


Quelle: DLRG.

Im Gegensatz zu früheren Jahren verzeichnete die DLRG in der Badesaison von Mai bis Ende August im Jahr 2023 weniger Todesfälle als noch 2022. Doch aufgrund des warmen Septembers und ver-

hältnismäßig vielen Todesfällen in den letzten drei Monaten des Jahres ertranken am Ende des Jahres mehr Menschen als noch 2022.<sup>2</sup>

Abbildung 2: Todesfälle nach Gewässerarten



2. DRLG (2024).

Quelle: Eigene Darstellung.

Ein neu hinzukommendes Problem sind Unfälle mit Wassersportgeräten, insbesondere Stand-Up-Paddle-Boards. Generell wird oft die eigene Leistung überschätzt oder unvorsichtig gehandelt. Zwar sank im letzten Jahr die Anzahl der Todesfälle von Kindern im Alter von null bis zehn Jahren (16 gegenüber 20 im Jahr 2022),<sup>3</sup> aber beunruhigend in diesem Kontext ist, dass die Zahl der Grundschul Kinder, die nicht schwimmen können, seit 2017 von zehn auf 20 % gestiegen ist.<sup>4</sup> Der gestiegene Anteil von Nichtschwimmern unter Kindern könnte in Zukunft zu einem weiteren Anstieg der Todesfälle durch Ertrinken führen.

### 2.1.2 Bedarf von Rettungskräften bei der Wasserrettung

Die im o. g. Abschnitt dargestellte Entwicklung der Unglücksfälle, die Tatsache von Personal mangel bei den ehrenamtlichen Organisationen, wie Wasserwacht oder DLRG, gepaart mit vielen unbewachten Strandabschnitten und Seen, die genutzt werden, stellen Leitstellen und Rettungskräfte vor immense Herausforderungen. Die bereits im Regelbetrieb mit Überforderung kämpfenden Organisationen werden bei der Wasserrettung vor zusätzliche Aufgaben gestellt: großer Einsatzradius, zunehmendes Einsatz auf kommen, ungenaue/zeitraubende Verortung der hilfebedürftigen Person, suboptimaler Uferzugang sowie Fehlalarme. Diese Aspekte wirken einer gebotenen Minimierung der Rettungsfrist entgegen, so dass vergleichbar mit Ersthelfern bei Notfällen an Land das UAS einige notwendige Aufgaben übernehmen kann und als Ergänzung zum regulären Prozess Mehrwerte generiert.

Aus Sicht der an der Wasserrettung derzeit gemäß der jeweils geltenden Alarm- und Ausrückverordnung beteiligten Akteure bieten sich objektive und augenscheinliche Anknüpfungspunkte und Vorteile: Die zuständigen Leitstellen werden bei der Alarmierung über Notruftelefone (NRT) unmittelbar über das korrekte Einsatzgebiet informiert und bleiben auch die verantwortliche Institution für die Alarmierung des 'Rettungsmittels Drohne'. Ein Live-Videostream des eingesetzten UAS in die Leitstelle kann bei Bedarf dabei unterstützen, ein Lagebild zu erstellen, auf dessen Basis weitere Kräfte alarmiert oder zurückbeordert werden können. Im Laufe des Projektes wurde von den Verantwortlichen der eingebundenen Integrierten Regionalleitstellen (IRLS) Lausitz (Cottbus) und Ost Sachsen (Hoyerswerda, SN) deutlich artikuliert, dass die Aufgaben einer Drohnenleitstelle bzw. von Rettungsfern piloten bzw. Pilots in Command (PIC) nicht durch die existierenden Notrufleitstellen erbracht werden können. Hierzu sind im Rahmen der juristischen Vorgaben die Abstimmung und Implementierung von Alternativen notwendig, z. B. die Einrichtung einer BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben)-Drohnenleitstelle. Auch wurde klar, dass der in RescueFly behandelte Anwendungsfall nur einer von vielen möglichen im BOS-Umfeld ist und es wünschenswert ist, dass zukünftig eingesetzte UAS durch Standardisierung und modularen Aufbau grundsätzlich für mehrere Anwendungsfälle wie z. B. Waldbranddetektion, Hochwasser-/Starkregenereignisse, Notfalllogistik zur Verfügung stehen.

## 2.2 Aktueller Stand der technischen Entwicklung & Nutzung

### Aktueller Stand der technischen Entwicklung

Die Verteilung von Drohnensystemen in Deutschland in den BOS-Organisationen ist aufgrund unterschiedlicher Verantwortlichkeiten auf Landes- bzw. kommunaler Ebene sehr heterogen. Berufsfeuerwehren, Rettungsdienstgesellschaften, Freiwillige Feuerwehr, Landespolizei, Sonder einsatzkräfte, spezielle Drohnenstaffeln haben über die letzten Jahre ohne Rücksicht auf Kompatibilität oder Standardisierung professionelle und semiprofessionelle UAS angeschafft. Es gibt

keine einheitliche Strategie bei Ausbildung, Beschaffung, datenschutzrelevanten Überlegungen oder Unabhängigkeit von außereuropäischen Herstellern beim Einsatz in sicherheitskritischen Bereichen.

Durch die Erstellung von Richtlinien wurde begonnen, Anfälligkeiten beim Einsatz von UAS entgegenzuwirken, indem spezielle Staffeln gebildet und standardisiert ausgerüstet wurden. Zu oft hängt allerdings die Einsatzbereitschaft der Einheit noch an den BOS-Mitarbeitern (inkl. Freiwilligen).

3. Vgl. DLRG (2024).

4. DLRG (2022): Schwimmfähigkeit der Bevölkerung 2022, <https://www.dlrg.de/informieren/die-dlrg/presse/schwimmfaehigkeit/>.

liger Feuerwehr), die, motiviert aus der privaten Nutzung von UAS und der dort erlangten Berechtigung, als PIC agieren. Sowohl beim Personal als auch beim Equipment sind Standardisierung der Ausbildung und des fliegenden Gerätes sowie eine Qualitätssicherung für eine durchgängige Einsatzbereitschaft geboten.

Immer noch führt die geringe Anzahl von Drohnenteams auf Landkreis- oder Bundeslandebene zu dem Effekt, dass die Kräfte zwar zeitnah angefordert werden, dann aber über größere Strecken (und Zeiträume) erst zum Einsatzort fahren müssen. Dies führt zu einem wesentlichen zeitlichen Verzug zwischen Alarmierung und Einsatz. Bei Großschadenslagen oder z. B. großflächigen Einsatzgebieten wie Hochwasser kann die fehlende Standardisierung dazu führen, dass Elemente des Systems nicht miteinander kompatibel sind, was bei Defekten von einzelnen Modulen und standardisiertem Datenaustausch ein Hindernis darstellt.

Im Hinblick auf Beyond Visual Line of Sight-Szenarien (BVLOS, außerhalb der Sichtweite) dominiert im BOS-Umfeld eine Vielzahl von einzelnen Pilotprojekten, die sehr individuelle Anforderungen abbilden und häufig nicht skalierbar sind, bzw. nach Projektende nicht in den Betrieb überführt werden. Charakteristisch ist zudem, dass es kaum Projekte gibt, bei denen ein Gesamtsystem bestehend aus UAV und Hangar zum Einsatz kommt. Zudem sind die Strecken, die mit der UAV BVLOS geflogen werden, oftmals bereits bekannte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen und keine Punkt-zu-Zielgebiet Einsätze. Einsätze im Rahmen von Sichtverbindungen sind breit gefächert.

Das hier diskutierte RescueFly System/Projekt unterscheidet sich genau bei diesen beiden Punkten wesentlich von existierenden Projekten.

### **Abgrenzung zu anderen Bereichen (ohne BOS-Bezug)**

Außerhalb des BOS-Bereiches sind die kommerziellen Einsatzszenarien von UAS im Rahmen von Projekten und kommerziellen Lösungen mannigfaltig. Anwendungsfälle umfassen hier Perimeterschutz, Inspektionen von Infrastruktur und Bauwerken/Gebäuden/Maschinen, Fortschrittsüberwachung in der Baubranche und im Tagebau, Vegetationsüberwachung sowie Logistik. Durch den Einsatz unterschiedlicher Sensorik und Bild-

gebungs- bzw. -bearbeitungsverfahren sind die Einsatzmöglichkeiten kaum begrenzt. Aufgrund der existierenden Regulierung beschränken sich die Einsatzszenarien nahezu ausschließlich auf Privatgelände und nur in Ausnahmefällen werden auch öffentliche Gebiete überflogen. Bisher hat sich seitens eines Plattform- und Ökosystemansatzes noch kein Anbieter im Markt nachhaltig positionieren können. Es herrschen, wie im BOS-Umfeld, Insellösungen vor. Nichteuropäische Anbieter dominieren den Hardwaremarkt.

### **2.2.1 Bisherige Drohnennutzung im BOS-Bereich**

UAS sind schon heute zahlreich im BOS-Bereich im Einsatz. Dabei gibt es zahlreiche Szenarien, bei denen UAS einen wertvollen Beitrag zur Unterstützung der BOS-Kräfte spielen können, sofern sie sinnvoll in die Rettungskette und die Arbeitsabläufe integriert werden. Detaillierte repräsentative Studien zur aktuellen Nutzung von UAS gibt es nicht, aber eine Umfrage von Droniq und dem Behördenspiegel aus dem Jahr 2022 zeigt Tendenzen auf. Deutschlandweit haben sich insgesamt 197 BOS-Kräfte beteiligt.<sup>5</sup>

In der Umfrage gaben 150 (76 %) der befragten Einsatzkräfte an, UAS bei ihren Einsätzen mitzuführen. Ein Großteil der BOS-Kräfte (80 %) nutzt dabei UAV, die nur bis 5 kg schwer sind. Mehr als die Hälfte (55 %) davon setzt UAS bei ihren Einsätzen regelmäßig ein. Am häufigsten werden UAS zur Vermisstensuche bzw. Search & Rescue (S&R) sowie zur Aufklärung und Erkundung eingesetzt (jeweils 38 %). Eine Mehrheit von 74 % nutzen UAS dabei schon mindestens ein Jahr oder länger. Dabei haben knapp zwei Drittel der Befragten (63 %) für ihre Einsätze ein Einsatzszenario sowie ein Betriebskonzept. Fast alle Befragten (98 %) geben zudem an, für ihre Einsätze geschult bzw. zertifiziert zu sein.

Schnelligkeit ist einer der wichtigen Vorteile (37 %), den die befragten BOS-Kräfte in Bezug auf die UAS-Nutzung angaben. 40 % der Befragten gehen davon aus, dass Arbeitsabläufe mit dem UAS doppelt so schnell wie bisher ausgeführt werden können; 20 % gehen sogar von einer Verdreifachung der Zeitersparnis aus. Als weiterer wichtiger Vorteil wird die Erweiterung des Einsatzbereichs um neue Aktivitäten angesehen.

5. Droniq (2022): Drohnennutzung im BOS-Segment – Ergebnisse der BOS-Umfrage 2022 von Droniq und dem Behördenspiegel.

Aktuell werden die UAV noch vorwiegend innerhalb der Sichtweite des Piloten geflogen. Lediglich 19 % der BOS fliegen mit dem UAV verstärkt BVLOS. Entsprechend wenig genutzt wird das Potenzial von UAS zur Unterstützung auch über größere Entfernungen. Eine Herausforderung ist hier vor allem auch die Koordination mit der (bemannten) Luftfahrt. Eine immer wichtigere Rolle spielt daher auch die Sichtbarkeit des UAV für alle Beteiligten des Luftverkehrs.

Ein Blick auf die finanziellen Möglichkeiten der BOS, die UAS einzusetzen, zeigt, dass die Investitionsmöglichkeiten teilweise begrenzt sind: Mehr als ein Drittel der befragten BOS (35 %), die derzeit UAS einsetzen bzw. mitführen, verfügen lediglich über ein jährliches Investitionsbudget von bis zu 50.000 €. Dementsprechend können auch nur geringe Ressourcen für den UAS-Einsatz bereitgestellt werden: 45 % der BOS geben an, bis zu 5.000 € pro Jahr für den UAS-Einsatz zu verwenden, bzw. einzuplanen.

Neben dem Einsatz von UAS in der Alltagspraxis, gibt es zahlreiche weitere Forschungsprojekte, die wie RescueFly untersuchen, bzw. untersucht haben, inwiefern UAS in die Rettungskette sowie Arbeit von BOS-Kräften integriert werden kön-

nen, um so die Einsatzkräfte bei ihren Aufgaben effizient und sinnvoll zu unterstützen. Beispielhaft lässt sich hier u. a. das von 2021 bis 2023 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt LARUS-PRO mit dem Einsatz einer Starrflüglerdrohne zur Lageunterstützung bei der Seenotrettung, der Vermisstensuche an Land oder der Lageerkundung bei Waldbränden nennen.<sup>6</sup> Ein weiteres Projekt ist MEDinTime, welches den Einsatz von automatisiert betriebener UAS zur Versorgung regionaler Kliniken mit Medikamenten getestet hat. Das Projekt wurde von 2020 bis Ende 2022 vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert.<sup>7</sup> Das europäische Forschungsprojekt CURSOR testet erfolgreich das Zusammenspiel von UAS, miniaturisierter Roboterausrüstung und hochentwickelten Sensoren, um Rettungskräften die Suche nach verschütteten Personen zu erleichtern.<sup>8</sup>

Auch der Verband Unbemannte Luftfahrt zeigt in seiner Studie zum deutschen Drohnen-, Flugtaxi- sowie Drohnendetektions- und -abwehrmarkt von 2023 ein hohes Potenzial für den Einsatz von UAS für BOS-Kräfte. Aktuell befindet sich eine Mehrheit der UAS in Privatbesitz, doch der Markt scheint gesättigt zu sein. Gleichzeitig steigt die Anzahl der kommerziell betriebenen UAS.<sup>9</sup>



6. Mehr zum Projekt: <https://larus-pro.de/>.

7. Mehr zum Projekt: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/UAV-Projekte/medintime.html>.

8. Mehr zum Projekt: <https://www.cursor-project.eu/>.

9. Verband Unbemannte Luftfahrt (2023): Studie zum deutschen Drohnen-, Flugtaxi- sowie Drohnendetektions- und -abwehrmarkt, [https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/09/VUL-Marktstudie\\_2023\\_DE\\_f\\_.pdf](https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/09/VUL-Marktstudie_2023_DE_f_.pdf).

# 3 TECHNISCHE ANFORDERUNGEN UND MACHBARKEIT – RESCUEFLY SYSTEM

## 3.1 Drohne

Dieser Abschnitt präsentiert die wesentlichen Erkenntnisse aus der Entwicklung und Erprobung eines prototypischen, unbemannten Luftfahrzeugsystems (UAS), das dezidiert für den Einsatz in behördlich koordinierten Rettungsoperationen konzipiert wurde. Das UAS ist eine Entwicklungsleistung der Firma Mintmasters, die durch den Zusammenschluss von Kompetenzträgern der führenden Unternehmen im Bereich der unbemannten Luftfahrt in Deutschland hervorgegangen ist, einschließlich Zen-Drones, Vectorbirds, THOLEG und Exabotics. Die Konzeption des Unbemannten Aerial Vehicle bzw. Unbemannten Luftfahrzeug (UAV)-Systems ist präzise auf die spezifischen Anforderungen der Mission abgestimmt:

- 1. Erweiterte Systemzuverlässigkeit:** Die Sicherheit des UAS ist entscheidend für den Projekterfolg, besonders da zeitkritische Rettungsmissionen den Einsatz in speziell regulierten geografischen Gebieten gemäß § 21h Absatz 3 der Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) und über Bereichen mit unbeteiligten Personen, wie Strandabschnitten, erfordern.
- 2. Fluggeschwindigkeit und -dauer:** Die Notwendigkeit einer hohen Fluggeschwindigkeit ergibt sich aus der zeitkritischen Natur von Rettungsmissionen, die eine schnelle Präsenz am Einsatzort erfordern. Eine ausreichende Flugdauer ist zudem unerlässlich, um großflächige Suchgebiete effektiv abdecken zu können.
- 3. Payload und Abwurfmechanismus:** Die Integration hochauflösender Sensorik, die eine automatisierte Erkennung hilfsbedürftiger Personen ermöglicht, sowie eine hinreichende Kapazität für den Transport von Rettungsmitteln, stellen kritische Systemkomponenten dar.
- 4. Datenschutz und Privatsphäre:** Die strikte Einhaltung von Datenschutz und Privatsphäre ist obligatorisch, um die Konformität mit der Datenschutz-Grundverordnung (DSG-

VO), Verordnung (EU) 2016/679, zu gewährleisten und personenbezogene Daten gemäß nationalen sowie europäischen Vorgaben zu schützen.

- 5. Offene Systemarchitektur:** Eine offene Systemarchitektur ist fundamental, um Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an spezifische Steuerungsanforderungen, besonders bei automatisierten Funktionen im Zusammenhang mit Bildverarbeitungsalgorithmen, zu ermöglichen. Sie erleichtert die Erweiterung und Modifikation des Systems für zusätzliche Einsatzszenarien und sichert dessen langfristige Anwendbarkeit.
- 6. Hohe Verfügbarkeit:** Erfordert ein leistungsfähiges Akkusystem mit hoher Verfügbarkeit, wobei das Gesamtsystem unter allen erwarteten Umweltbedingungen, einschließlich diverser Temperaturbereiche und Windgeschwindigkeiten, zuverlässig funktionieren muss.

Bei der Entwicklung des UAS wurde ein besonderer Wert auf die strikte Einhaltung der regulatorischen Vorgaben gelegt, u. a. EU-Verordnungen 2019/947 und 2019/945 sowie der EU-Luftfahrt-Grundverordnung (Verordnung (EU) 2018/1139). Diese rechtlichen Rahmenbedingungen bildeten die Grundlage für die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Prototyps. Darüber hinaus wurde die Entwicklung gezielt an den Anforderungen ausgewählter Predefined Risk Assessment (PDRA)-Szenarien der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) ausgerichtet, wie bspw. PDRA-05 oder PDRA G02. Diese Orientierung ermöglichte es, spezifische konstruktive und operationelle Anforderungen für den Umgang mit Operationen erhöhten Risikos zu adressieren.

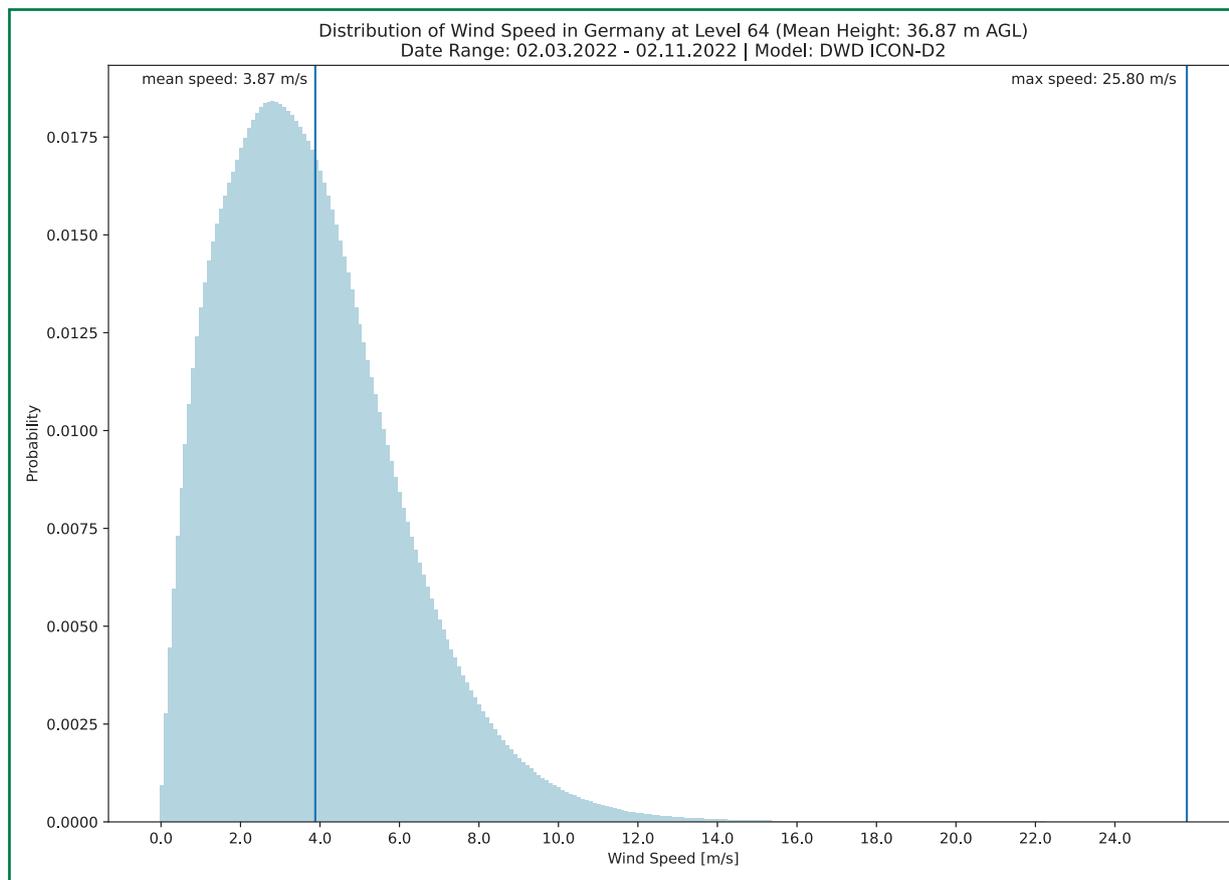
Der Prototyp wurde in einem Probeflugbetrieb auf seine praktische Umsetzbarkeit und Leistungsfähigkeit hin untersucht, was die Basis für die anschließende Zertifizierung darstellt – ein kritischer Schritt zur Gewährleistung der vollständigen Einsatzfähigkeit des UAS in behördlich

koordinierten Rettungseinsätzen. Details zu den Kosten und weiterführenden Informationen zur Zertifizierung werden in 6.2 dargelegt.

Das entwickelte System, ein Hexacopter ausgestattet mit sechs Rotoren und Motoren, weist eine Masse von 5 kg und einen Durchmesser von 97cm auf. Eine maximale Fluggeschwindigkeit von bis zu 85 km/h ermöglicht kurze Anflugzeiten vom Hangar zum Einsatzort. Durch die redundante Auslegung der Rotoren wird sichergestellt, dass ein Ausfall eines einzelnen Rotors das System nicht in einen sicherheitskritischen Zustand versetzt. In einem solchen Fall kann das System Fluggeschwindigkeiten bis zu 65 km/h beibehalten. Verfahren für den Ausfall kritischer Systemkomponenten sind im erarbeiteten Concept of Operations (ConOps) detailliert beschrieben.

Das UAS ist durch eine flache Bauweise und einen großen Abstand zwischen den Rotoren gekennzeichnet. Der Schwerpunkt des Systems und die Rotorachsen liegen auf nahezu derselben Ebene. Diese systemtechnische Auslegung ermöglicht es dem UAS, effizient und sicher unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zu operieren und eine hohe Windstabilität bis zu einer Windstärke von 6 bft (10,83-13,61 m/s) zu gewährleisten. Die Analyse der Windgeschwindigkeiten im Testzeitraum von März bis November 2022 in relevanten Flughöhen, dargestellt in Abbildung 3, verdeutlicht, dass das entwickelte UAS nahezu kontinuierlich eingesetzt werden kann, mit Ausnahme einzelner, besonders stürmischer Tage.

Abbildung 3: Verteilung der Windgeschwindigkeiten in Deutschland auf Level 64 (mittlere Höhe: 36,87 m über Grund) im Zeitraum vom 02.03.2022 bis zum 02.11.2022 basierend auf dem Modell DWD ICON-D2.



Quelle: TUD.

Das System ist konzipiert, um bis zu zwei Rettungsmittel (Restubes) oder vergleichbare Nutzlasten mit einem Gewicht von bis zu 1 kg Tabelle 11 des Abschnitts 6.5.3.

Die integrierte Kamera liefert Aufnahmen in einer Auflösung von 4000 x 3000 Pixeln, wodurch es möglich wird, präzise visuelle Daten aus der Luft zu sammeln. Um Reflexionen auf der Wasseroberfläche zu minimieren, ist die Kamera zusätzlich mit einem Polarisationsfilter ausgestattet. Die visuellen Daten dienen als Input für die Bildverarbeitungsalgorithmen in Kapitel 3.7 sowie für die Missionsüberwachung durch den geschulten Rettungsfernpielen. Darüber hinaus bietet das System die Flexibilität, den Anstellwinkel der Kamera anzupassen, was eine bedarfsorientierte Steuerung durch den Rettungsfernpielen ermöglicht, um optimale Aufnahmewinkel und Sichtverhältnisse je nach Einsatzanforderung sicherzustellen.

Die Energieversorgung des UAV-Systems zielt auf eine optimale Balance zwischen Leistungsfähigkeit und Effizienz ab, unter Einsatz eines redundant konzipierten, leistungsstarken Akkumulators. Dieser ist exakt auf den vorgesehenen Einsatzradius sowie die prognostizierte Größe des Suchgebiets abgestimmt, siehe Abschnitt 3.4, um das Bodenrisiko durch übermäßige Masse des Systems zu minimieren. Der Akkumulator besteht aus Lithium-Ionen-Zellen mit einer maximalen Stromstärke von 45 A. Gegenüber Lithium-Polymer-Zellen zeichnen sich diese durch eine höhere Wartungsfreundlichkeit und geringere Pflegebedürftigkeit aus, mit dem Vorteil, dass eine dauerhafte Entladung zur Erhaltung der Lagerspannung fast vollständig entfällt. Dies fördert die kontinuierliche Einsatzbereitschaft des Systems. Darüber hinaus ermöglichen Lithium-Ionen-Zellen den Betrieb weit unter dem Gefrierpunkt. Bei -15 °C verringert sich die nutzbare Kapazität um etwa 25 %, sodass ein ganzjähriger Einsatz für weitere Einsatzszenarien ermöglicht wird. Im Hangar wird das System permanent mit Energie versorgt, wobei der Flight-Controller stets in Bereitschaft ist. Zur Maximierung der Zuverlässigkeit und Minimierung externer Störungen erfolgt alle vier Stunden ein automatischer Neustart des Flight-Controllers, was eine temporäre Nichtverfügbarkeit von etwa 40 s zur Folge hat. Die Ladung des Systems erfolgt über

eine Kontaktfläche im Drohnenhangar. Nach der Etablierung einer Verbindung schaltet das System mit einer Verzögerung von 20 s selbstständig in den Lademodus. Der Akkumulator wird mit bis zu 21 A geladen und anschließend in den Erhaltungsmodus versetzt, wobei innerhalb von etwa 30 min eine Kapazität von 90 % erreicht wird. Bei einer Inaktivitätsdauer des UAVs von über einer Woche initiiert das System automatisch einen Wartungszyklus für den Akkumulator. Dabei wird der Akku nachts um circa 20 % entladen und anschließend wieder vollständig aufgeladen, um die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit des Systems zu maximieren.

Die Software des UAV-Systems basiert auf ArduPilot, ein vielseitiges Open-Source-Autopilot-System. Ein zentrales Merkmal von ArduPilot ist die Fähigkeit, automatisierte Funktionen zu entwickeln, die direkten Zugriff auf die Steuerung haben – eine Flexibilität, die viele Consumer-Drohnenhersteller mit ihren geschlossenen Systemen nicht bieten. Auf dieser Basis lassen sich fortgeschrittene Algorithmen für die automatisierte Flugplanung implementieren, wie in Kapitel 3.3 dargelegt, sowie komplexe Steuerbefehle auf Basis von Bildverarbeitungsalgorithmen, beschrieben in Kapitel 3.7, entwickeln. Darüber hinaus unterstützt es eine effiziente Kommunikation mit dem Drohnenhangar, thematisiert in Kapitel 3.2. Die Open-Source-Basis ermöglicht zudem eine Überprüfung des Codes, was die Einhaltung von Sicherheitsstandards gewährleistet. ArduPilot wird weltweit in über 1.000.000 Fahrzeugen und Luftfahrtsystemen eingesetzt<sup>10</sup> und bietet durch seine fortgeschrittenen Analyse- und Simulationstools eine bewährte und vertrauenswürdige Lösung für die Steuerung autonomer Systeme.

Der Prototyp ist mit einer umfangreichen Flugsensorik ausgestattet, einschließlich GPS, einer Steuerungsverarbeitungseinheit sowie redundant ausgelegten Beschleunigungs- und Drehratensensoren, Barometern und Magnetometern. Zur Gewährleistung der Präzision und Zuverlässigkeit der Flugdaten führt das System Plausibilitätsprüfungen durch und fusioniert die Daten der Sensoren. Der Extended Kalman Filter (EKF) wird eingesetzt, um Position, Geschwindigkeit und Winkelorientierung des UAVs basierend auf Daten von Kreiselkompassen, Beschleunigungsmessern, Kompass, GPS, Luftgeschwindigkeitsmes-

10. Vgl. Ardupilot (o. J.): <https://ardupilot.org/>.

sen und barometrischem Druck zu schätzen. Der Vorteil des EKF gegenüber einfacheren Filteralgorithmen, wie dem komplementären Filter oder der Direction Cosine Matrix (DCM), liegt in der verbesserten Fähigkeit, fehlerhafte Messungen durch die Fusion aller verfügbaren Daten zu verwerfen. Dies erhöht die Fehlertoleranz des UAS gegenüber Störungen, die nur einen einzelnen Sensor betreffen, und ermöglicht den Wechsel des Input-Signals, wenn der primäre Sensor von Störungen oder Ausfällen betroffen ist.

Die Software des UAS ermöglicht die Definition spezifischer Reaktionsszenarien auf Sensorfehler, wie Positionshalten, Rückkehr zum Startpunkt (Return to Launch), Landung oder Missionsabbruch. Es ist ebenfalls möglich, komplexere Flugszenarien, wie den Flug entlang eines vorgegebenen Pfades, zu implementieren. Eine Auswahl definierter Reaktionsszenarien wird im Conops festgelegt. Im Rahmen des Projekts wurden Methoden entwickelt, um auf Basis von OpenStreetMap (OSM) automatisiert Notlandeplätze entlang der Flugtrajektorie zu identifizieren. Die Entwicklung erweiterter Reaktionsszenarien auf dieser Basis ist ein Thema zukünftiger Forschung.

Das Kommunikationssystem des UAS nutzt mehrere redundante Funksignale, insbesondere für die Steuerung, um einen sicheren Weiterflug und eine lückenlose Kontrolle des UAS zu gewährleisten, selbst wenn eine oder mehrere Steuerungssignale, bspw. durch Interferenzen, gestört werden. Hierbei kommen Frequenzen von 433 MHz, 868 MHz und 2,4 GHz zum Einsatz. Zusätzlich wird eine 5 GHz WLAN-Verbindung mit kürzerer Reichweite für spezifische Anwendungen verwendet. Die Übertragung der Signale des UAV-Systems erfolgt unter Einsatz fortschrittlicher Verschlüsselungstechniken, um höchste Sicherheitsstandards zu gewährleisten und die Kommunikation gegen unbefugten Zugriff und Manipulation zu schützen.

Das MAVLink-Server-System garantiert die Echtzeit-Verteilung essenzieller Telemetriedaten an alle Komponenten des RescueFly-Systems. Jede Störung einer Übertragungsfrequenz wird dokumentiert, während die Daten aus redundanten Datenströmen weiterhin an die erforderlichen Systeme verteilt werden. Durch regelmäßige, automatisierte Datenauswertungen können Gebie-

te mit häufigen Ausfällen einzelner Frequenzen identifiziert und notwendige Anpassungen der Übertragungstechnik vorgenommen werden, um solche Ausfälle künftig zu reduzieren. Störungen oder Manipulationen einer einzelnen Frequenz beeinträchtigen den Flugverlauf nicht.

Bei Bedarf eines manuellen Eingriffs durch einen PIC schaltet das UAS sofort aus dem automatisierten Modus um und begrenzt die Maximalgeschwindigkeit auf etwa 65 km/h. Die Reduzierung der Fluggeschwindigkeit ermöglicht eine sichere Steuerung des UAS durch den PIC. Das System lässt sich zu jeder Zeit wieder in den automatisierten Flugmodus versetzen.

Der Prototyp wurde entwickelt, um die Machbarkeit eines spezialisierten UAS für Rettungsmissionen zu demonstrieren. Am 06. Oktober 2023 konnte das System erfolgreich getestet werden, wobei der gesamte Missionsablauf wie vorgesehen abgewickelt wurde. Das System erfüllte sämtliche an den Prototypen gestellten Anforderungen, was die technische Umsetzbarkeit und Effektivität des Konzepts unter Beweis stellte.

Die Entwicklung und erfolgreiche Erprobung des Prototyps haben bedeutende Erkenntnisse geliefert, die sowohl die spezifischen Anforderungen an UAS für Rettungsmissionen hervorheben als auch die Grenzen der Mehrheit kommerzieller Consumer-UAS-Anbieter aufzeigen. Diese Einsichten betonen entscheidend die Notwendigkeit eines hochspezialisierten Systems, wie es Mintmasters entwickelt hat, um den einzigartigen Herausforderungen solcher Einsätze gerecht zu werden.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen dieses Projektes ergeben sich mehrere zukünftige Aufgaben, die essenziell für die Weiterentwicklung und Optimierung des UAS sind, u. a.:

- **Zuverlässigkeitsbewertung des Systems:** Eine umfassende Analyse der Zuverlässigkeit des UAS, gefolgt von einer Sicherheitsbewertung der Mission, ist erforderlich, um potenzielle Risiken zu identifizieren und zu minimieren. Dieser iterative Prozess kann Anpassungen des Systems erforderlich machen, um die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen.

- **Langzeittests und Flugversuche:** Zur weiteren Validierung der Systemleistung und -sicherheit sind ausgedehnte Testreihen und Flugexperimente unter verschiedenen Bedingungen und Szenarien geplant.
- **Implementierung zusätzlicher Sicherheitssysteme:** Die Implementierung zusätzlicher Sicherheitssysteme ist ein wesentlicher Bestandteil der kontinuierlichen Verbesserung des UAV-Systems. Basierend auf den Ergebnissen der durchgeführten Tests und

Bewertungen sollte die Integration weiterer Sicherheitsfeatures erwogen werden. Hierzu zählen bspw. ein Fallschirmsystem sowie akustische und/oder optische Warnsignale, um das Risiko im Falle eines kritischen Fehlers zu minimieren und das Bewusstsein Dritter für die laufende Mission zu erhöhen. Wesentlich ist auch die Definition komplexer Notverfahren, wie automatische, sichere Außen- und Notlandeverfahren bei Kommunikationsausfall, um die Sicherheit zu erhöhen und Risiken für Unbeteiligte zu minimieren.

### 3.2 Drohnenhangar

Ein dezentral einsetzbarer, intelligenter Drohnenhangar mit integrierter Vorflugkontrolle ist die Basis für die aktive Integration von UAV in die Infrastruktur der Notfallrettung. Die Vorflugkontrolle basiert auf optischen Sensoren, die in den Drohnenhangar integriert sind. Die Auswertung der Sensordaten erfolgt durch Deeplearning-Algorithmen, also spezialisierten Verfahren der KI. Diese Funktionen bilden die Intelligenz des Drohnenhangars und können leicht an neue Gegebenheiten oder Anforderungen angepasst werden. Der Drohnenhangar besteht aus einem Basisgehäuse mit einem zweigeteilten Dach und integrierter Mechanik einer Landeplattform mit Repositionierungsvorrichtung. Das Dach kann über die Ansteuerung geöffnet werden. Als mechanische Basis wurde im Projekt RescueFly das Drohnen Rack „dRack“ der Firma DELTA-Fluid Industrietechnik GmbH eingesetzt. Weiterhin wurden Rechentechnik, Softwareserver sowie Sensorik integriert. Ausfälle von Sensorik oder Rechentechnik werden detektiert, führen sie zu einer Einschränkung der Flugbereitschaft oder Einsatzbereitschaft des Drohnenhangars, wird dies der Leitstelle mitgeteilt und ein Wartungsprozess angestoßen.

Der Drohnenhangar kann dezentral aufgestellt werden, d. h. Vorteile, die sich aus einer Aufstellung in der Nähe des Einsatzortes ergeben, können genutzt werden. Dies sind insbesondere die Verkürzung der Anflugzeit zum Einsatzort, die Verlängerung der Missionsflugzeiten sowie die Verkürzung der Rückflugzeiten. Der Betrieb des Drohnenhangars ist ohne manuelle Eingriffe konzipiert. Die Einsatzbereitschaft des Hangars wird

durch die Auswertung der integrierten Sensoren ermittelt und der Leitstelle mitgeteilt. So kann sichergestellt werden, dass ein Einsatz nur bei Bereitschaft von Hangar und UAV erfolgt.

Im Rahmen des RescueFly Projekts wurde zunächst eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Die Realisierung des Drohnenhangars auf Grundlage der Anforderungsanalyse berücksichtigt die folgenden Faktoren:

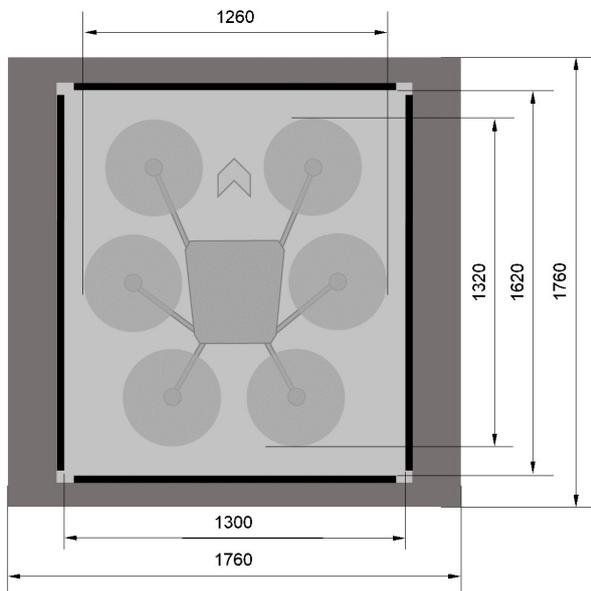
**Standort:** Der Standort ist in der Nähe des Zielgebietes vorzusehen, um kurze Wege zum Einsatzort zu gewährleisten. Im Rahmen des RescueFly Projekts wird von befestigtem Untergrund und der Verfügbarkeit eines Stromanschlusses ausgegangen. Zu berücksichtigende Parameter sind Ausrichtung, Zugänglichkeit, insbesondere aus der Luft und Abschirmung gegen Vandalismus und unbefugte Eingriffe.

**Drohne:** Gewicht und Abmessungen des für den Einsatz vorgesehenen UAV sind für die Konzeption des Drohnenhangars zu berücksichtigen. Die Konzeption des Drohnenhangars sieht einen Multikopter mit einer maximalen Spannweite von 130 cm, einer maximalen Höhe von 39 cm und einem maximalen Gewicht von 6 kg vor. Positionierung der Sensorik und Auswertungsalgorithmen sind an das zum Einsatz kommende UAV anzupassen. Weiterhin ist die Navigationsfähigkeit von Wichtigkeit, insbesondere die Landegenauigkeit. Durch optische Markierungen wie z.B. einen ArUco auf der Landefläche wird die Landegenauigkeit der Drohne unterstützt.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

Abbildung 4: Bestimmung der Größe der Landeplattform.



Alle Angaben sind circa Angaben in Millimetern.

Die Angaben von Landeplattform und Landebereich beziehen sich auf die Innenmaße.

Quelle: TUC.

Im RescueFly Projekt wird ein UAV mit sechs Rotoren eingesetzt, das eine  $Breite_{UAS} \approx 1260 \text{ mm}$  und  $Tiefe_{UAS} \approx 1320 \text{ mm}$ , sowie eine Landegenauigkeit von 15 cm hat. Die Drohne sollte unter Berücksichtigung der Landegenauigkeit in der Landefläche  $LF := \{Breite_{LF}, Tiefe_{LF}\} \approx \{1300 \text{ mm}, 1620 \text{ mm}\}$  landen. Zu dieser Fläche kommt der Bereich hinzu, an dem die Repositionierungsvorrichtung platziert ist. Somit ergibt sich eine quadratische Landeplattform mit den Abmessungen  $LP := \{Breite_{LP}, Tiefe_{LP}\} \approx \{1760 \text{ mm}, 1760 \text{ mm}\}$ . Abbildung 4 zeigt schematisch die Bestimmung der Größe der Landeplattform und Landefläche, ausgehend von der Landegenauigkeit der Drohne.

- Repositionierung der Drohne:** Nach erfolgter Landung ist das UAV in die Ladeposition zu bringen. Es wird davon ausgegangen, dass eine zweidimensionale Verschiebung des UAV ausreicht. Eine Drehung des UAV wird vermieden durch Ausrichtung des UAV bei der Landung. Das Repositionierungssystem wird nach erfolgter Landung aktiviert und verschiebt das UAV in X-Richtung und in Y-Richtung in eine zentrale Position.
- Öffnung und Schließung des Drohnenhangars:** Die Öffnung und Schließung des Drohnenhangars werden durch eine Signalleuchte und ein akustisches Signal angezeigt. Dies dient der Warnung von Unbeteiligten, die sich in der Nähe aufhalten könnten. Die Öffnung des Dohnenhangars erfolgt durch seitliches Kippen der beiden Dachhälften. Da der Hangar stets vollständig geöffnet werden muss, um Hindersfreiheit zu erreichen, werden beide Dachhälften synchron angesteuert. Es wurde ein Öffnungswinkel von ca. 147 Grad aufgrund der Anforderungsanalyse berechnet und für die untersuchte Konfiguration festgelegt. Somit wird die Rotorfreiheit in allen Richtungen gewährleistet und für die gesamte Landeplattform ist eine Kollision der Rotoren mit den geöffneten Dachhälften ausgeschlossen. Die Öffnungsgeschwindigkeit wird durch die mechanischen Parameter des Drohnenhangars bestimmt. Im Rahmen des RescueFly Projekts wurde eine Öffnungszeit von 5 Sekunden festgelegt. Diese Öffnungszeit stellt keine negative Beeinflussung des kritischen Prozessablaufs in der Notfallrettung dar.
- Automatisierung:** Der intelligente Drohnenhangar ist als autarkes System konzipiert, um 24/7 Einsatzfähigkeit ohne Eingriff eines Menschen zu ermöglichen. Alle Funktionsabläufe sind automatisiert und werden durch die Serversoftware des Drohnenhangars gesteuert. Die Serversoftware stellt ein MAVLink Interface zur Verfügung, über das ein zentrales Alarmierungssignal den Drohnenhangar aktiviert. Über dieses Interface ist eine Integration des Drohnenhangars in die standardisierte Notfallrettung

möglich. Hierzu ist der Datenaustausch mit der Leitstelle zu implementieren. Datensicherheit wird beim Softwareserver durch die Verwendung von Verschlüsselung der Datenpakete durch SSL mit HTTPS erreicht. Zusätzlich bietet MAVLink ein „Signing feature“. Damit können MAVLink-Nachrichten anhand eines geheimen Signaturschlüssels erweitert werden, der bspw. durch den SHA-256-Verschlüsselungsalgorithmus generiert werden kann, um Nachrichtensignaturen zu erstellen, die von anderen Inhabern des Schlüssels überprüft werden können. Weiterhin werden Statuswerte des Drohnenhangars, z. B. der aktuelle Missionsstatus und Steuersignale sowie Anweisungen der Leitstelle zum Öffnen des Drohnenhangars über dieses Interface ausgetauscht. Der automatisierte Ablauf sieht die Öffnung des Drohnenhangars, den Start des UAV und Schließung des Drohnenhangars vor. Ein symmetrisches Prozedere ist für die Landung der Drohne implementiert. Repositionierung des UAV und elektrische Ladung des UAV erfolgt nach Abschluss des Missionsfluges und Landung des UAV.

- **Sensorik:** Die Erfassung von Statusinformation und Umweltinformation wird durch eine umfangreiche Sensorik sichergestellt. Dies betrifft den Status des Drohnenhangars und die Bestimmung der Voraussetzungen für die Missionsdurchführung. Hierzu werden lokale Wetterdaten gemessen und ausgewertet. Dadurch können kurzfristige Wetteränderungen, insbesondere Veränderungen der Windverhältnisse erkannt und ausgewertet werden. Weiterhin werden online bereitgestellte Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) berücksichtigt. Die globalen Wetterdaten dienen als redundante Datenquelle und werden mit den lokalen Wetterdaten abgeglichen. Weiterhin wird durch integrierte Sensorik der Status des Drohnenhangars bestimmt. Zusätzlich kann der Batteriestatus abgefragt werden.
- **Materialanforderungen:** Der Drohnenhangar ist aus einem Material herzustellen, das keine elektromagnetischen Störungen verursacht, wetter- und temperaturbeständig ist und vor Vandalismus schützt. Für das

Drohnen Rack „dRack“ der Firma DELTA-Fluid Industrietechnik GmbH kommt ein PE100 Polyethylen Material zum Einsatz. Dieses verursacht keine elektromagnetischen Störungen, verfügt über eine hohe mechanische Festigkeit sowie Wetterbeständigkeit und kann in der notwendigen Größe hergestellt und betrieben werden. Das Material und die Konstruktion des Drohnenhangars bieten darüber hinaus einen hohen Schutz gegen Vandalismus und Diebstahl.

- **Ladevorrichtung:** Eine eigens für den Drohnenhangar konzipierte Ladevorrichtung wird in die Landeplattform integriert. Dazu werden zwei Ladekontaktflächen von 75x50 mm in die Landeplattform eingelassen und an ein gesteuertes Ladegerät angeschlossen. Diese ermöglicht eine Ladung bei 25 V ( $\pm 0,1$  V) mit 16 A. Die Ladedauer variiert je nach Kapazität der in dem UAV eingesetzten Akkus. Der aktuelle Ladezustand wird durch das UAV erfasst.
- **Flugtauglichkeitsprüfung:** Für den autonomen Betrieb des UAV im Rahmen eines geschlossenen Rettungssystems ist es wichtig, dass nach erfolgter Mission das UAV auf Flugtauglichkeit überprüft wird. Dazu können Statusinformationen, z. B. Akkuladestand des UAV über die MAVLink Schnittstelle ausgelesen und ausgewertet werden. Weiterhin wird eine optische Sichtkontrolle automatisch durchgeführt. Hierzu wurde ein dediziertes Kamerasystem mit Ringleuchten konzipiert, sodass alle Rotoren im geschlossenen Drohnenhangar nach Abschluss der Flugmission inspiziert werden können. Die Kamerabilder werden durch einen eigens trainierten KI-Algorithmus ausgewertet. Es ist somit möglich, Rotorbeschädigungen zu erkennen und zu melden. Aktuell wird das UAV auf Rotorbruch, Rotorverlust und Rotorausfransungen hin untersucht. Die Erkennungsgenauigkeit liegt bei 80%.<sup>12</sup> Bei Beschädigungen wird der Mangel automatisiert an die Leitstelle gemeldet, sodass eine Reparatur ausgelöst werden kann. Weitere Inspektionsfunktionen, z. B. mechanische Schäden an dem Drohnengestell können auf Basis dieser Sensorik entwickelt werden.

12. Harras, M. S.; Saleh, S.; Battseren, B.; Hardt, W. (2023): Vision-based Propeller Damage Inspection Using Machine Learning, Embedded Selforganising Systems 10(7), Special Issue - Proceedings of ISCSET 2023, <https://doi.org/10.14464/ess.v10i7.604>.

Abbildung 5: Teilweise geöffneter Drohnenhangar, Flugtauglichkeitssensorik im gelb markierten Bereich.



Quelle: TUC.

Die Funktionalität des dezentralen, intelligenten Drohnenhangars wurde umfangreich getestet. Dazu wurden die mechanischen Funktionen wie Öffnen, Schließen und Repositionierung erfolgreich nachgewiesen. Weiterhin konnte die Flugtauglichkeitsprüfung erprobt werden. Status des UAV und der Rotoren werden verlässlich ermittelt und ausgewertet. Es ist festzuhalten, dass eine enge Abstimmung zwischen der Sensorik des Drohnenhangars und des verwendeten UAV sicherzustellen ist. Die Integration des Drohnen-

hangars in den Prozess der Notfallrettung basiert auf dem MAVLink-Protokoll., dieses ist vollumfänglich einzuhalten. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der dezentrale, intelligente Drohnenhangar die Anforderungen, die sich aus dem Anwendungsfall von RescueFly ergeben, vollumfänglich erfüllt, ein automatisierter Rettungsablauf realisiert werden konnte und eine umfangreiche Sensorauswertung mit Vorflugkontrolle die Einsatzbereitschaft von Drohnenhangar und UAV sichert.

Die Untersuchung zeigt, dass das Konzept dezentral stationierte UAVs durch die Einführung von Drohnenhangars realisierbar ist, was sowohl die Bereitstellungszeit des Rettungsmittels verkürzt als auch das Missionsrisiko durch strategische Hangar Standorte (siehe Kapitel 3.4) reduziert, indem es den Überflug von unbeteiligten Personen minimiert.

Der beabsichtigte Flugbetrieb zur Wasserrettung führt zu einem Betrieb unter SAIL II (specific assurance and integrity level), woraus sich bestimmte zu erfüllende Sicherheitsziele (sog. Operational Safety Objectives) ergeben, die an den UAS-Hersteller adressiert sind. Vor- und Nachflugkontrollen, zentral für die Missionssicherheit, müssen von der Fernsteuerungscrew durchgeführt werden, die gemäß der Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 die Konformität mit dem genehmigten Betriebsbuch gewährleistet. Diese Inspektionen sind ausschließlich von Personen durchzuführen, die durch spezifische Schulungen für diese Aufgaben qualifiziert sind und eine Checkliste für die Vorfluginspektion verwenden. Fernpiloten, die UAS in der ‚spezifischen‘ Kategorie steuern, müssen den in der Betriebsgenehmigung durch die zuständige Behörde definierten Kompetenzanforderungen genügen. Darüber hinaus sind gemäß EASA Verfahren zur Verhinderung struktureller Ausfälle aufgrund vorhersehbarer Festigkeitsminderungen erforderlich (SC Light-UAS Medium Risk 01, 17 December 2020).

Das präsentierte Konzept impliziert die Notwendigkeit einer Automatisierung dieser Vor- und Nachflugkontrollen. Bisher existieren jedoch keine spezifischen regulatorischen Rahmenbedingungen für eine solche Automatisierung. Innerhalb des Projektes konnte ein Teil der Vorflugkontrollen erfolgreich automatisiert werden, was durch die Erkennungsgenauigkeit für exemplarische Fehler und die standortspezifische Auswertung von Umwelt- und Wetterbedingungen belegt wird. Für eine umfassende Automatisierung der Vorflugkontrollen bedarf es der Entwicklung weiterer Funktionen, bspw. der Überprüfung der Sensorik auf Verschmutzung.

Ein zentrales To-Do für die weitere Implementierung ist die Durchführung einer funktionalen Gefahrenanalyse sowie die Bewertung von Design und Installation, um zu demonstrieren, dass Risiken minimiert sind. Dies soll den Nachweis

erbringen, dass die automatisierte Vorflugkontrolle als hinreichend sicher bewertet werden kann. JARUS Methodology for Evaluation of Automation for UAS Operations vom 21. April 2023 bieten wesentliche Anweisungen zur Bewertung der Auswirkungen von Systemautomatisierung und Verantwortlichkeiten im UAS-Betrieb. Sie sind grundlegend für die Risikobewertung, die klare Zuweisung von Verantwortlichkeiten und die Sicherstellung, dass die Automatisierung die Betriebs- und Sicherheitsstandards nicht beeinträchtigt. Diese Richtlinien unterstützen den Nachweis, dass automatisierte Vorflugkontrollen als sicher eingestuft werden können, was für deren regulatorische Genehmigung von Bedeutung ist.

Für die Implementierung dezentral stationierter UAV ist die „Vertiports Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category“ (PTS-VPT-DSN, März 2022) ebenfalls von Bedeutung. Diese Spezifikationen legen die Designanforderungen für Vertiports fest und betonen die Notwendigkeit ihrer Einhaltung zum Schutz Unbeteiligter. Darüber hinaus wird die Bereitstellung eines Notlandeplatzes für den Fall technischer Probleme des Hangars empfohlen. Zur Umsetzung gehört auch die Berechnung einer „contingency area“ und eines „ground risk buffer“ gemäß der SORA (EU), um die Sicherheit im Betrieb zu gewährleisten.

Die Untersuchung demonstriert erfolgreich die Machbarkeit und Vorteile des dezentralen Drohnen-Einsatzes für die Wasserrettung. Es identifiziert jedoch auch wesentliche Herausforderungen und Regelungslücken, insbesondere im Bereich des Vertiport-Designs und der Automatisierung von Vorflugkontrollen. Eine ableitende Forderung an den Gesetzgeber ist daher die Definition spezifischer Vorschriften für die Automatisierung von Vorflugkontrollen, die essenziell für die Implementierung eines dezentralen Rettungskonzepts sowie vergleichbarer Anwendungsszenarien sind.

### 3.3 Flugroutenoptimierung

Das RescueFly-Einsatzkonzept sieht vor, die BOS-Einsätze am Geierswalder See und am Partwitzer See durch den Einsatz von automatisierten UAV ausgehend der dezentralen Hangars zu unterstützen. Es handelt sich bei dem avisierten Einsatzprofil um den Einsatz eines automatisierten UAV der Specific Category im Bereich BVLOS. Zu diesem Zweck werden die kürzesten einschränkungsfreien Flugrouten zum Suchgebiet (Segment 1), optimierte Suchmuster innerhalb des Suchgebietes (Segment 2) sowie zurück zum Hangar bestimmt (Segment 3).

Das Suchgebiet wird vom PIC auf der Grundlage der Missionsspezifikationen festgelegt und muss ausreichend groß sein, um die Wahrscheinlichkeit des Auffindens einer hilfsbedürftigen Person zu maximieren. Dies erfolgt zum Zweck der Schnelligkeit im Notfall durch Auswahl eines vordefinierten Suchareales, bspw. bestimmte Strandabschnitte, und entsprechend vorab berechneten Suchmustern je Areal. Liegt ein Notfall außerhalb dieser Suchareale vor, erfolgt eine Live-Berechnung des Flugpfades für ein Suchgebiet, welches durch die Disponierung/Leitstelle mit einer Karte durch ein Polygon oder einen Kreis mit beliebigem Radius markiert wird.

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine prototypische Benutzeroberfläche entwickelt, die in Abbildung 6 visualisiert wird. Diese Oberfläche zeigt eine Kartenansicht des Einsatzgebietes, auf der sowohl die Positionen der Hangars als auch geographische Gebiete und Bereiche mit einem

erhöhten Bodenrisiko durch unterschiedliche Grauschattierungen dargestellt werden. Ein blau gefärbtes Polygon kennzeichnet das speziell für die Suchaktion ausgewählte Gebiet. Nach der Festlegung des Suchgebietes erfolgt eine vollautomatische Ausführung der nachgelagerten Prozesse. Dazu gehören die Beschränkung des Suchbereichs auf Wasserflächen, die Berechnung des Anflugweges, die Realisierung der Suchmission sowie der sichere Rückflug.

Für die algorithmische Umsetzung der Flugroutenoptimierung wurden mehrere mathematische Ansätze gewählt und umgesetzt. Dazu erfolgte die Unterscheidung zweier Einsatzszenarien: Das erste Szenario, bei dem ein ausgewähltes Suchgebiet ohne weitere Vorinformationen bis zum Auffinden der hilfsbedürftigen Person abgesucht wird und ein weiteres Szenario, in welchem im Vorhinein neben dem Suchgebiet auch Standorte möglicher Personen im Wasser oder zumindest ein potenzieller wahrscheinlichster Aufenthaltsort der hilfsbedürftigen Person bekannt ist. Aus Basis dieser Vorinformationen können einzelne Schwimmer oder Gebiete mit hoher Erfolgswahrscheinlichkeit des schnellen Auffindens der hilfsbedürftigen Person gezielt angesteuert werden.

Das erste Verfahren wird im Folgenden näher beschrieben und ist in Abbildung 6 exemplarisch dargestellt, das zweite Verfahren wird in Abschnitt 3.5 (vgl. auch Abbildung 11) thematisiert.

Abbildung 6: Prototypische Benutzeroberfläche für die Flugplanung für das Seengebiet (links) und im Nahbereich/ Suchgebiet (rechts)



Quelle: TUD.

Die Berechnung der einzelnen Flugsegmente und die Übertragung der Wegpunkte zum UAS erfolgten automatisiert. Sind mehrere Hangars vorhanden, erfolgt die Allokation des UAV anhand des kürzesten Flugweges der einsatz-

bereiten Systeme aus, bzw. parallele Suche in überschneidungsfreien Suchgebieten. Die Abbildung 7 zeigt die vollständige Flugroutenplanung für den Demonstrationsflug RescueFly vom 06. Oktober 2023.

Abbildung 7: Flugplan Demonstratorflug RescueFly mit einer Anflug- und Suchhöhe von 30 m.



Quelle: TUD, Google Maps Data, GeoBasis-DE/BKG (©2009).

BOS-Einsätze sind vom Anwendungsbereich der Verordnung (EU) 2018/1139 ausgenommen, sodass die zuständige nationale Behörde für die Regelung von SAR-Einsätzen verantwortlich ist. Gemäß § 21k Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) dürfen im Sinne der Notwendigkeit der BOS-Einsätze die durch die Durchführungsverordnung (DVO) (EU) 2019/947 und § 21h LuftVO definierten geografischen Zonen für UAV durchfliegen werden. Diese Freistellung der BOS führt dennoch zu einer gesteigerten Sorgfaltspflicht, die eine umfassende Risikobewertung und das Engagement für einen sicheren Flugbetrieb impliziert. So erhöhen ausgewiesene Strände, Erholungsgebiete, Hotel- und Campinganlagen, Wiesen und andere Einrichtungen, in denen sich Menschen in der Nähe von Seen aufhalten, wie z. B. Grillplätze, Bootsanlegestellen und Bootsverleihe, ein Risiko für Unfälle mit Unbeteiligten.

Dieses Bodenrisiko soll bei der Planung des BOS-Einsatzes grundlegend Berücksichtigung finden und als Nebenbedingung gemäß den nationalen und europäischen Vorschriften sowie externer Risikofaktoren, wie Gebiete mit potenziellen Menschenansammlungen, idealerweise in die Gestalt des Flugpfades einfließen („low risk“). Die abschließende operative Entscheidung, ob im Flug geografische UAS-Zonen oder Gebiete erhöhten Risikos durchfliegen werden, erfolgt in Abhängigkeit von der Dringlichkeit der Mission, der Größe der exponierten betroffenen Menschenmenge sowie einer Güterabwägung aus induziertem Risiko und Zeitgewinn für die Rettungsmission durch die Disponierung/Leitstelle. Der dafür ausgebildete RettungsfernpiLOT muss das durch die Missionsparameter bedingte Risiko sorgfältig gegenüber den Erfolgchancen der Rettungsoperation abwägen.

Sofern es die Mission erlaubt, wird eine Mindestflughöhe von acht Metern eingehalten, die die Gefährdung von Menschen, Tieren und Verkehrsmitteln minimiert. Die Mindestflughöhe wird nur für Start, Landung, im Rahmen von contingency/emergency Prozeduren und für die Such- und Rettungsmission, sofern nötig, unterschritten.

Für die Mission werden die Flight Geography (FG), das Contingency Volumen (CV) sowie Ground Risk Buffer (GRB) entsprechend der DVO (EU) 2019/947 und gemäß dem Leitfaden zur Dimensionierung des Luftfahrtbundesamtes (LBA), Stand Revision 1.5 vom 15.02.2023, bestimmt und bei der Flugplanung berücksichtigt. Es herrscht eine ständige Funkverbindung zwischen PIC und UAS (Telemetrie des UAS, Kommandos des PIC, Video bei Bedarf). Es wird durch den PIC sowie technische Maßnahmen verhindert, dass das UAS das CV verlässt. Entsprechende Flugverfahren für jene Schutzbereiche sind im ConOps RescueFly vermerkt, algorithmische Vorgehensweisen sind in wissenschaftlichen Veröffentlichungen dargestellt.<sup>13</sup>

Segment 1 sieht einen beschränkungsfreien Flug vom Hangar zum definierten Suchgebiet vor. Dies erfolgt in RescueFly durch einen Kürzesten-Wege-Algorithmus (A Stern) auf diskretisiertem Suchgraphen beliebiger lateraler Auflösung. Obwohl die Dringlichkeit des BOS-Einsatzes die Querung luftfahrtrelevanter geografischer Zonen für UAV gemäß DVO (EU) 2019/947 und § 21h LuftVO, erlaubt, werden diese im Flugplan ggf. mit zusätzlicher Vermeidung potenziell belebter Gebiete (z. B. Strand) berücksichtigt. Ein Alternativflugplan mit Querung jener Gebiete wird der Leitstelle zur operativen Entscheidung mit möglicher Flugzeitverkürzung bereitgestellt. Die abschließende Wahl der Flugroute obliegt dem geschulten PIC.

Segment 2 umfasst die Suchmission, wofür das Suchgebiet eingangs durch die Leitstelle definiert wurde. Hierfür wird ein geeignetes Suchmuster berechnet, um die gegebene Fläche möglichst effizient überfliegen und durchsuchen zu können. Um die Gefährdung von Personen an Land zu minimieren, wird das Suchgebiet algorithmisch auf Wasserflächen beschränkt. Dies geschieht unter Verwendung der Geoinformationssysteme (GIS)

der Länder und bezieht sich insbesondere auf Bereiche nahe Uferlinien oder über geringe Wassertiefe, an denen sich Menschen vermehrt aufhalten. In der Bundesrepublik Deutschland sind die einzelnen Bundesländer aufgrund der INSPIRE-Richtlinie (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) der Europäischen Union sowie den korrespondierenden nationalen Durchführungsbestimmungen und dem Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) verpflichtet, Geodaten der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Demzufolge ist eine Skalierung des Projekts auf gesamtdeutscher Ebene unter Anpassung der Datengrundlagen realisierbar. Im spezifischen Kontext dieses Vorhabens wird auf die Geodaten der Bundesländer Brandenburg und Sachsen zurückgegriffen. Diese Länder stellen georeferenzierte Daten ihrer Seeflächen bereit, die in einem maschinenlesbaren Format verfügbar sind und somit eine exakte sowie effektive Nutzung im Rahmen der vorgesehenen Suchmission zulassen. Der Zugang zu diesen Daten wird durch Web Map Services (WMS) ermöglicht, die einen standardisierten Abruf geografischer Informationen gestatten. Die Integration und Verarbeitung jener Daten erfolgt durch das Verschneiden des ausgewählten Suchgebiets mit den zuvor identifizierten Wasserflächen, basierend auf einem diskretisierten Raster. Diese Prozedur erlaubt eine präzise und detaillierte Demarkation des Suchareals. Durch derart methodische Verfahrensweisen wird sichergestellt, dass das Suchgebiet optimal auf Wasserflächen ausgerichtet wird, was die Sicherheit von unbeteiligten Personen auf dem Land durch eine gezielte Konzentration auf relevante Areale signifikant erhöht.

Mit Eintreffen des UAV am Suchgebiet nimmt dieses automatisch die systematische Suche auf. Während der Suchmission wird das überflogene Gebiet kartiert. Videodaten werden hierzu an die Bodenstation gestreamt und ein Algorithmus dient zur automatischen Erkennung von Schwimmern. Hierzu analysieren Bildverarbeitungsalgorithmen die von den Sensoren erfassten Bilder in Echtzeit, um nach Anzeichen von hilfsbedürftigen Personen zu suchen, wie bspw. Bewegungen im Wasser (vgl. Abschnitt 3.7). Wenn die hilfsbedürftigen Personen erkannt werden, löst das System einen Alarm aus, wirft mit Freigabe des PIC eine Schwimmhilfe ab und markiert die Position der

13. Vgl. Braßel, H.; Zeh, T.; Fricke, H.; Eltner, A. (2023): Optimal UAV Hangar Locations for Emergency Services Considering Restricted Areas, Drones 2023(7), 203, <https://doi.org/10.3390/drones7030203>; Braßel, H.; Zeh, T.; Fricke, H. (2022): Fast and Robust Optimization of Unmanned Aerial Vehicle Locations considering Restricted Areas, DLRK, Dresden, Germany

erkannten Personen auf einer Karte. Sofern sich die Akkuladung dem Point-of-Return (kritischen Punkt zur Rückkehr) annähert, an dem unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlags die restriktionsfreie Rückkehr zum Drohnenhangar nicht mehr möglich wäre, wird der PIC darüber informiert. In diesem Fall kann er entscheiden, das UAV umgehend sicher zurückkehren zu lassen. Alternativ kann der PIC sich für eine manuelle Außenlandung, z. B. am personenleeren Strand, entscheiden, um möglichst lange bis zum Eintreffen der Einsatzkräfte über der hilfsbedürftigen Person verweilen zu können.

Nach Vollendung der Rettungsmission ist der Rückflug des UAV zum Hangarstandort vorgesehen (Segment 3), es sei denn, operationelle oder technische Gegebenheiten, wie ein unzureichender Akkuladezustand, erfordern eine Umleitung zum nächsten geeigneten Außenlandeplatz. Für die Berechnung des Flugpfades gelten grundlegend die Methoden und Bedingungen gemäß Segment 1. Da der Rückflug jedoch keine zeitkritische Komponente der Mission darstellt, gibt es keine naheliegenden Gründe von den zivilgewerblichen Regelungen abzuweichen. Insofern wird der Rückflug unter Beachtung aller geographischer Gebiete durchgeführt.

Außenlandeplätze ermöglichen eine Sicherheitslandung bei Abweichungen der normal procedure und sind Standorte, die als alternative Landeplätze dienen. Konkret sind diese für eine operativ entschiedene Verlängerung der Mission vorgesehen, falls bspw. die Person bislang nicht gefunden

wurde und die Mission aufgrund des verfügbaren Akkuladezustandes für Flugsegment 3 (Rückflug) abgebrochen werden müsste. Diese Außenlandeplätze entsprechen damit Notlandeplätzen mit höherer Anforderung an die Sicherheit sowie des zerstörungs-/verlustfreien Landens (bspw. nicht auf Wasserflächen). Außenlandeplätze werden ebenfalls über OSM-Tags identifiziert und vorab für die jeweilige Mission mit auf das UAV übertragen. Das UAV kann ausgehend von der eigenen Position den jeweils nächsten Außenlandeplatz ansteuern. Eine Außenlandung wird auf den vorgesehenen Außenlandeplätzen manuell durch den Fernpiloten durchgeführt. In gängigen Drohnensteuerungssystemen lassen sich dafür bereits Alternativlandeplätze entlang der Route definieren und per MAVLINK als Steuerungsbefehl aktivieren.

Trotz der Vorteile, die OSM und ähnliche Quellen für die risikominimierte Flugplanung bieten, ist anzumerken, dass OSM keine qualifizierte Quelle für sicherheitsrelevante Berechnungen darstellt. Im Laufe des Projekts wurden zudem spezifische Geoinformationen identifiziert, die für eine präzise Berechnung notwendig wären, jedoch derzeit nicht aus öffentlichen Quellen bezogen werden können. Daher bedarf es geprüfter und zuverlässiger Informationen auf nationaler Ebene, die in gepflegten Datenbanken verfügbar sind. Dies ist nicht nur für das vorliegende Anwendungsszenario von Bedeutung, sondern für alle kommerziellen Anwendungen, die den Einsatz dezentraler UAS beinhalten.

### 3.4 Bestimmung optimaler Hangar-Standorte

Die Integration von UAS in die Infrastruktur der Notfallrettung stellt eine bedeutsame technologische Weiterentwicklung dar, welche die Reaktionszeiten bei Notfällen signifikant reduzieren soll. Insbesondere in der hochgradig zeitkritischen Wasserrettung kann der Einsatz von dezentral stationierten, hochautomatisierten UAS lebensrettend sein. Um jedoch die volle Wirksamkeit dieser Technologie zu entfalten, ist eine sorgfältige Standortoptimierung der Drohnenhangars unerlässlich.

Obwohl BOS-Einsätze grundsätzlich nicht an die geografischen Gebiete der DVO (EU) 2019/947 gebunden sind, ergibt sich aus einer verantwor-

tungsbewussten Anwendung die Notwendigkeit, das Risiko für unbeteiligte Dritte (externes Risiko) zu minimieren. Eine strategische Standortoptimierung zielt daher darauf ab, restriktionsfreie und risikominimale Flugtrajektorien zu Unfallschwerpunkten zu gewährleisten. Durch die Auswahl optimaler Standorte für Drohnenhangars kann so nicht nur die Zeit bis zum Erreichen des Einsatzortes minimiert, sondern auch das externe Risiko durch strategisch geplante Flugrouten signifikant reduziert werden.

Diese Sektion widmet sich der detaillierten Betrachtung der Faktoren, die für eine optimale Standortwahl von Drohnenhangars entscheidend

sind. Dabei werden sowohl technische Aspekte, wie die Reichweite und Batteriekapazität eines UAV, als auch operationelle, gesellschaftliche und politische Faktoren, wie die Minimierung von Risiken für unbeteiligte Dritte und die Einhaltung rechtlicher Rahmenbedingungen, berücksichtigt. Die Standortoptimierung ist somit ein kritischer Schritt, um die Effektivität und Sicherheit von UAS-gestützten Rettungsmissionen zu maximieren.

Die primäre Zielfunktion für die Standortoptimierung des Drohnenhangars im Rahmen des RescueFly Projekts ist die schnellste Einsetzbarkeit des Einsatzgebietes, um eine erfolgreiche Rettungsmission zu gewährleisten, während gleichzeitig risikominimale Flugrouten gewährleistet werden sollen. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Algorithmen und Vorgehensweisen ist in dem zugehörigen Fachjournal veröffentlicht, welches online frei verfügbar ist.

Ein wesentliches Charakteristikum des beschriebenen Anwendungsfalls ist dabei, dass kein fester Zielort vorliegt. Jede Geo-Koordinate innerhalb der Reichweite der UAS kann ein potenzieller Einsatzort sein, wobei sich RescueFly auf Wasserflächen konzentriert. Obwohl ein Unfall grundsätzlich auf der gesamten Wasserfläche auftreten kann, variiert die Auftrittswahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses. So existieren Orte mit potenziell höherem intrinsischen Risiko für Vorfälle oder Unfälle, demgegenüber stehen Gebiete in denen Unfälle unwahrscheinlich sind, z. B. auf Grund ihrer schlechten Erreichbarkeit. Gleichzeitig variiert die Wahrscheinlichkeit der Beobachtung und Meldung des Vorfalls durch Dritte ebenfalls abhängig vom Unfallort.

Die Standort-Wahl eines Drohnenhangars soll nach Möglichkeit auf Grundlage frei verfügbarer Daten, sog. open-source Geo-Daten, erfolgen, da dies die einfache Übertragbarkeit auf andere Einsatzgebiete erleichtert und die Standortwahl

transparent gestaltet. Daher wurde zur Identifizierung von Risikogebieten auf Daten von OSM zurückgegriffen. Die Features in Tabelle 1 beschreiben Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls auf Wasserflächen erhöhen. Eine fundamentale Annahme ist hierbei, dass die Unfallwahrscheinlichkeit mit der zunehmenden Anzahl an Badegästen und Personen in Wassernähe steigt. Dementsprechend wurden hierbei verschiedene Features betrachtet, welche Aktivitäten am Wasser fördern, wie Strände oder Bootsanlagen. Es ist zu beachten, dass Badeunfälle auch außerhalb dieser Risikogebiete auftreten können, jedoch ist 1) die Wahrscheinlichkeit für die Beobachtung und Alarmierung dieser Vorfälle geringer und 2) sollen die UAS-Standorte so optimiert werden, dass eine möglichst große Anzahl an Badenden durch das Sicherheitssystem abgedeckt wird. Dies bedeutet nicht, dass andere Positionen auf dem See nicht bedient werden können, sondern dass die Flugzeit zu diesen Flächen möglicherweise länger ausfällt.

Unter der Annahme, dass sich der überwiegende Anteil der Badenden innerhalb einer bestimmten Entfernung zum Ufer befindet, werden die resultierenden Map-Feature-Knoten und -Flächen mit einem Radius von 150 m extrudiert und anschließend mit den Wasserflächen der untersuchten Seen geschnitten. Für diese Analyse wurden Kartenmaterial des Geoportals Brandenburg verwendet, um die exakten Küstenlinien der Seen zu bestimmen. Der definierte Radius von 150 m basiert auf der ortsspezifischen Positionierung der Bojen, die den zulässigen Schwimmbereich vom Ufer aus definieren. Dieser Radius wird um einen Sicherheitspuffer erweitert, um eventuelle Positionsungenauigkeiten der Geo-Features auszugleichen. Dieser Radius wurde individuell für die untersuchten Einsatzorte festgelegt, daher kann eine Anpassung an unterschiedliche geografische Bedingungen und Einsatzszenarien erforderlich sein.

14. Vgl. Braßel (et. al.) (2023).

Tabelle 1: OSM-Features für Risikogebiete

| Key       | Value(s)  |
|-----------|---|
| amenity   | boat_rental, boat_sharing, ferry_terminal, public_bath, parking, parking_space, lounge      |
| building  | beach_hut   |
| emergency | lifeguard, life_ring, phone   |
| landuse   | grass   |
| leisure   | marina, slipway, swimming_area, swimming_pool, water_park, beach_resort, park, picnic_table |
| lifeguard | tower   |
| man_made  | pier  |
| natural   | beach, shingle, shoal, sand   |
| sport     | sailing, swimming, surfing, wakeboarding, water_polo, water_ski                             |
| tourism   | camp_site, caravan_site   |

Auf diese Art wurden Unfallschwerpunkte festgelegt, zu denen die Flugzeit durch die strategische Positionierung des Drohnenhangars minimiert werden soll. Im zweiten Schritt der Standortbestimmung werden potenzielle Aufstellorte für die Hangars basierend auf Geo-Features definiert. Dies geschieht durch die Festlegung von positiven und negativen Standortfaktoren. Mathematisch ausgedrückt muss ein potenzieller Aufstellort eine Teilmenge der positiven Faktoren sein und darf gleichzeitig nicht Teilmenge der negativen Faktoren sein.

Tabelle 2 illustriert die definierten OSM-Features, die als positive Standortfaktoren für die Hangars identifiziert wurden. Hierbei wird vor allem beachtet, dass es sich um eine vegetationsfreie oder -arme Fläche handelt, die noch dazu nicht als Ackerland genutzt wird oder besiedelt ist. Es ist zu beachten, dass diese Auflistung nicht abschließend ist, sondern an die spezifischen Anforderungen des verwendeten Hangars und der jeweiligen geografischen Gegebenheiten angepasst werden kann. Die Kriterien für positive Standortfaktoren könnten bspw. Zugänglichkeit, Nähe zu Stromversorgung und Kommunikationsinfrastruktur, sowie Sicherheit und Schutz vor Umwelteinflüssen umfassen.

Tabelle 2: OSM-Features der positiven Standortfaktoren

| Key     | Value(s)                       |
|---------|--------------------------------|
| landuse | grass, greenfield              |
| natural | grassland, heath, scrub, scree |

15. Siehe Land Brandenburg (o. J.): Geoportal Brandenburg, <https://geoportal.brandenburg.de/de/cms/portal/start>.

Negative Faktoren könnten dagegen die Nähe zu bewohnten Gebieten oder zu Gebieten mit hohem Vogelaufkommen einschließen, um das Risiko

von Kollisionen und Störungen zu minimieren. Tabelle 3 zeigt die gewählten OSM-Features zur Definition von negativen Standortfaktoren.

Tabelle 3: OSM-Features für negative Standortfaktoren

| Key      | Value(s)                           |
|----------|------------------------------------|
| boundary | forest, forest_compartment, hazard |
| landuse  | forest                             |
| natural  | tree, tree_row, wood, wetland      |

Die sorgfältige Abwägung dieser Faktoren gewährleistet, dass die ausgewählten Standorte nicht nur eine optimale Abdeckung der identifizierten Unfallschwerpunkte bieten, sondern auch operationell praktikabel und sicher für UAS-Operationen sind. Die Flexibilität in der Definition der Standortfaktoren ermöglicht zudem eine Anpassung an unterschiedliche Einsatzszenarien und geografische Bedingungen. So können bspw. je nach Einsatzgebiet und -zweck weitere OSM-Features flexibel hinzugefügt oder bestehende entfernt werden.

Ergänzend zu den bereits definierten positiven und negativen Standortfaktoren sind weitere spezifische Kriterien für die Auswahl potenzieller Standorte für Drohnenhangars zu berücksichtigen:

**1. Ausschluss geografischer UAS-Gebiete:** Hangars dürfen nicht in geografischen UAS-Gebieten erbaut werden, die als restriktiv eingestuft sind. Zur Identifizierung dieser Flächengebiete wird die dipul-Datenbank herangezogen. Diese Nebenbedingung ist essenziell, um das durch die UAS induzierte Risiko zu minimieren.

**2. Verbot der Errichtung auf Wasserflächen:**

Der Standort für den Hangar darf nicht auf Wasserflächen erstellt werden. Für die Identifizierung solcher Gebiete wird erneut das Geoportal Brandenburg verwendet. Dieses Kriterium könnte für andere Drohnenhangar-Systeme möglicherweise nicht gelten.

**3. Zugänglichkeit über öffentliche Straßen:**

Ein entscheidender Faktor bei der Auswahl der Standorte für Drohnenhangars ist die Gewährleistung einer schnellen Reaktion auf mögliche Fehler, Wartungsarbeiten und die Aufstellung der UAS. Hierfür ist es unerlässlich, dass der Hangar über eine öffentlich zugängliche Straße erreichbar ist. Zur Sicherstellung dieser Zugänglichkeit wurden die OSM-Features in Tabelle 4 definiert, welche die Erreichbarkeit des Standorts über öffentliche Verkehrswege garantieren. Diese Features wurden mittels eines definierten Radius extrudiert. Der ausgewählte Standort für den Hangar muss eine Teilmenge dieser extrudierten Flächen sein.

Tabelle 4: OSM-Features für Straßenzugang des Hangars

| Key       | Value(s)  |
|-----------|---|
| highway   | motorway, trunk, primary, secondary, tertiary, unclassified, residential, motorway_link, trunk_link, primary_link, secondary_link, living_street, service, pedestrian, track, bus_guideway, escape, raceway, road, busway, cycleway |
| tracktype | grade1, grade2, grade3  |

16. Siehe Bundesministerium für Digitales und Verkehr (o. J.): Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt, <https://maptool-dipul.dfs.de/>.

In der abschließenden Phase der Datenakquise zur Standortoptimierung für Drohnenhangars für RescueFly wird besonderer Wert auf eine ganzheitliche Betrachtung aller relevanten Faktoren gelegt. Hierbei ist zunächst die Durchführung von Vor-Ort-Begehungen entscheidend, um zusätzliche belebte Gebiete mit hohem intrinsischen Risiko, wie bspw. inoffizielle Strände, zu identifizieren. Diese Orte sind oft nicht in vorhandenen Geo-Datenbanken erfasst, spielen aber eine wichtige Rolle in der Flugplanung zur weiteren Minimierung des externen Risikos. Daher ist eine Begehung und ggf. Erweiterung der Datenbasis vor der Standortoptimierung empfehlenswert.

Neben den bereits identifizierten Geo-Features sind die Erfassung und Integration weiterer Informationen wünschenswert, welche jedoch nicht als Open-Source-Daten vorliegen. Ein entscheidender Aspekt ist hierbei die Stromversorgung zum Betrieb des Hangars, welche ebenfalls als positive Standortfaktor der Optimierung hinzugefügt werden könnte. Weiterhin sind Datenübertragung und Netzabdeckung in Zielflughöhe kritische Faktoren, um eine zuverlässige Kommunikation während der UAS-Einsätze zu gewährleisten. Es hat sich gezeigt, dass der Breitband Monitor<sup>17</sup> keine verwertbaren Informationen für die relevanten Flughöhen liefert. Die Datenakquise hat gezeigt, dass zu Stromversorgung und Datenübertragung keine hinreichenden Informationen vorhanden sind.

Ohne diese spezifischen Daten ist ein Einsatz der UAS nicht als sicher einzustufen. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Projektes durch die Firma Mintmasters umfangreiche Messversuche an den relevanten Seen durchgeführt. Diese Messungen dienten dazu, ein detailliertes Bild der Netzabdeckung und weiterer kritischer Faktoren in den verschiedenen Flughöhen zu erlangen. Durch diese gezielten Untersuchungen konnte sichergestellt werden, dass im Rahmen des Projektes die UAS unter optimalen Bedingungen operieren und effektiv für Rettungseinsätze eingesetzt werden können.

Diese sorgfältige Berücksichtigung zusätzlicher, oft fehlender Informationen trägt wesentlich zur Entwicklung eines umfassenden und robusten

Modells für die Standortoptimierung bei. Sie ermöglicht es, effiziente und sichere Lösungen für die UAS-gestützte Notfallrettung deutschlandweit zu entwickeln und anzuwenden, wodurch ein signifikanter Beitrag zur Verbesserung der Reaktionszeiten und zur Erhöhung der Sicherheit bei Rettungseinsätzen geleistet wird.

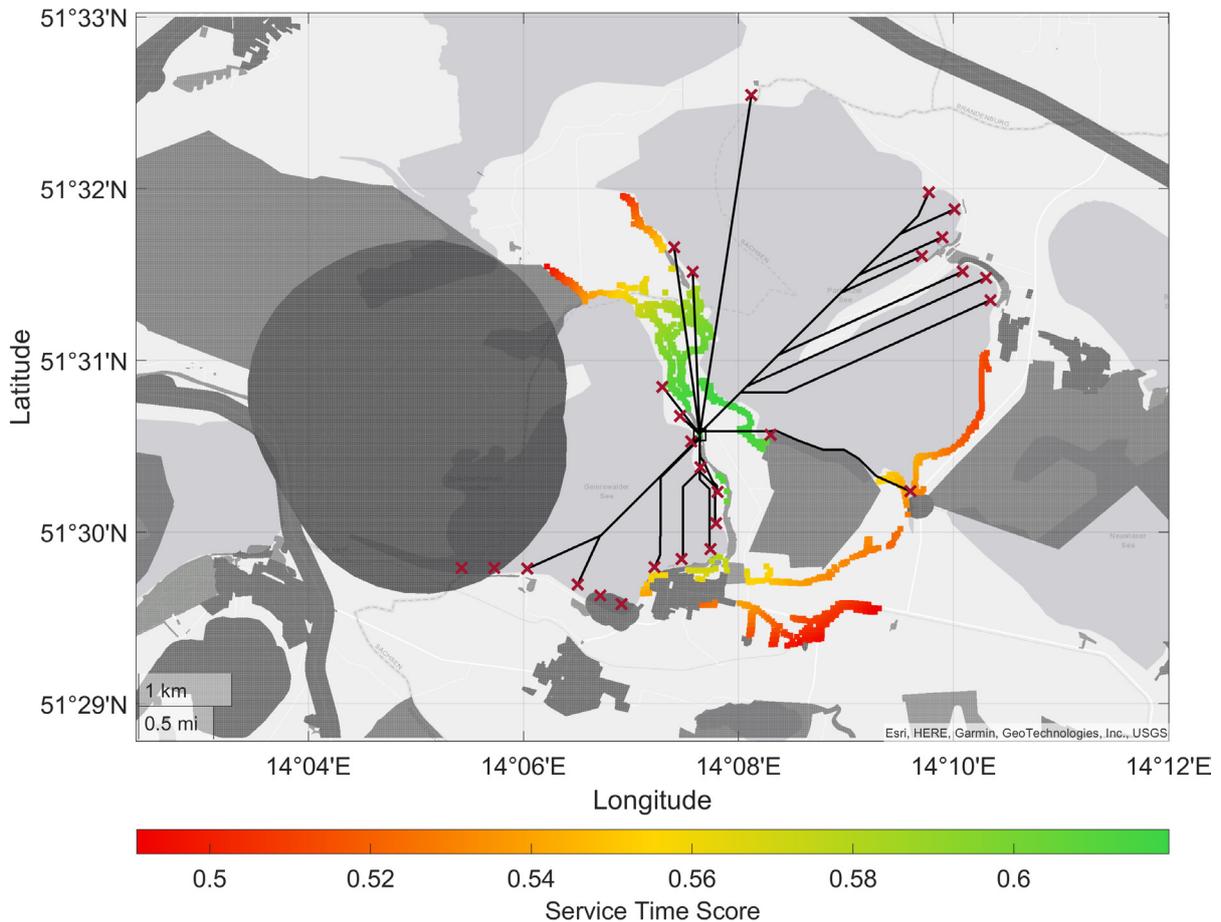
Nachdem potenzielle Gefahrengebiete, Aufstellorte für Drohnenhangars und Gebiete, die in der Flugplanung gemieden werden sollten, identifiziert wurden, folgt die Bestimmung des optimalen Hangar-Standorts. Dies geschieht unter Verwendung eines numerischen Optimierungsmodells, welches ein spezifisches UAS-Modell, Wettereinflüsse, geografische Restriktionen und weitere operationelle Parameter berücksichtigt. Das Ergebnis dieses Prozesses ist ein Scoring-System, das Second-Best-Kandidaten für die verschiedenen Standorte in einem ausgewählten Gebiet identifiziert und somit einen umfassenden Überblick über optimale Standorte für das gesamte Überwachungsgebiet bietet.

Abbildung 8 zeigt den optimalen Standort für einen Hangar im Einsatzgebiet sowie die identifizierten Unfallschwerpunkte. Das Scoring der potenziellen Aufstellorte wird farblich dargestellt, wobei die verschiedenen Farben das gemittelte, normierte Flugzeit-Scoring für jeden potenziellen Standort im Vergleich zu den besten Standorten jedes Unfallschwerpunkts anzeigen. Die grauen Flächen weisen auf geografische UAS-Gebiete hin, die zum Zwecke der Risikominimierung vermieden werden sollten.

Diese umfassende und mehrdimensionale Herangehensweise an die Standortoptimierung ermöglicht es, effiziente und sichere Lösungen für die UAS-gestützte Notfallrettung deutschlandweit zu entwickeln und anzuwenden, wodurch ein signifikanter Beitrag zur Verbesserung der Reaktionszeiten und zur Erhöhung der Sicherheit bei Rettungseinsätzen geleistet wird.

17. Siehe Bundesministerium für Digitales und Verkehr (o. J.): Mobilfunk-Monitoring Karte, <https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/MobilfunkMonitoring/Vollbild/start.html>.

Abbildung 8: Beispiel für den optimalen Hangar-Standort mit Risikogebieten (rote Kreuze, verbunden mit optimalen Flugpfaden in schwarz). Die farbliche Hervorhebung zeigt alternative Hangar-Standorte, wobei grün potenzielle Second-Best-Lösungen anzeigt. Die grau schraffierten Flächen stellen geografische UAS-Gebiete im Untersuchungsraum dar.



Quelle: TUD.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die entwickelte Standortoptimierung für eine beliebige Anzahl von zu errichtenden Standorten anwendbar ist. Es ist jedoch zu beachten, dass mit der Zunahme der Standorte auch der Rechenbedarf erheblich steigt. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden in dem begleitenden Journal-Beitrag auch Methoden entwickelt, die den Rechenbedarf effektiv reduzieren.

Die Empfehlung für einen Open-Source-getriebenen Ansatz zur Standortoptimierung unterstreicht die Bedeutung der Skalierbarkeit und Umsetzbarkeit des vorgeschlagenen Konzepts. Dieser Ansatz gewährleistet nicht nur eine breite Anwendbarkeit des Konzeptes, sondern bildet auch die Grundlage für einen sicheren Betrieb und schafft einheitliche Standards, die für den Erfolg und die Akzeptanz von UAS-gestützten Rettungsmaßnahmen unerlässlich sind.

18. Vgl. Braßel (et. Al.) (2023).

### 3.5 Digitaler Zwilling

Der Einsatz von UAS in der Wasserrettung ist eine vielversprechende Möglichkeit zur Verkürzung des therapiefreien Intervalls. Zur Quantifizierung eben dieser Zeiteinsparung wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches die Rettungskette im IST-Zustand, sowie unter Nutzung des RescueFly UAS zur Wasserrettung computergestützt abbildet. Das Simulationsmodell ermöglicht das Testen verschiedener Einsatzszenarien und Parameterkonfigurationen (z. B. spezifische Flugparameter des UAVs, Alarm- und Ausrückeordnung (AAO) von Rettungsmitteln der Feuerwehr) und die Auswertung Rettungsdienst-typischer Kenngrößen, wie Hilfsfrist, therapiefreies Intervall, oder Reaktionszeit. Die Simulation dient somit als Werkzeug zur Voranalyse einer Anschaffung des RescueFly UAS, indem der konkrete Nutzen des UAS dargestellt und die potenzielle Verbesserung gegenüber des IST-Zustandes gemessen wird.

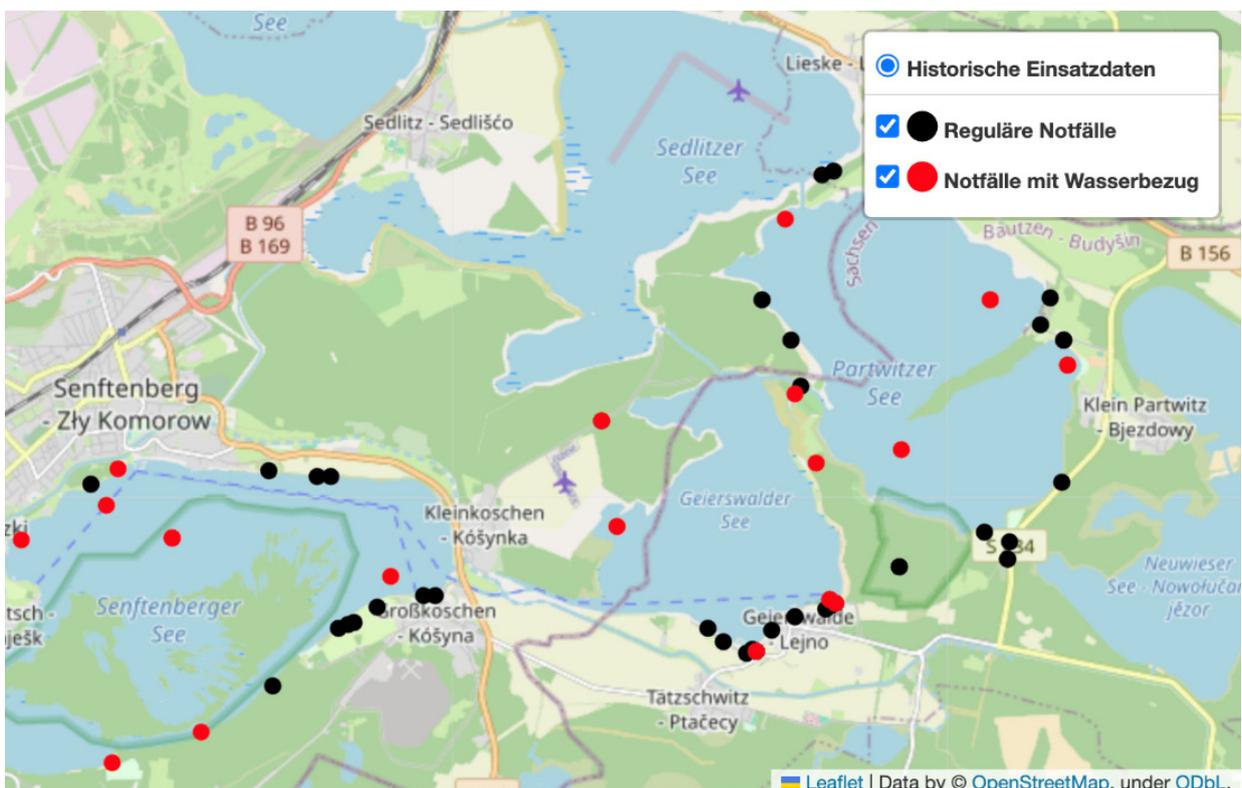
Das Modell nutzt ereignisorientierte Simulation bzw. Discrete-Event-Simulation (DES) und einen agentenbasierten Modellierungsansatz (ABM),

wo eine Folge von Ereignissen die Handlung der Agenten bestimmt. Die abzubildende Rettungskette verläuft wie folgt:

Eine Person im Wasser erfährt eine Notsituation. Die hilfsbedürftige Person wird von einer (oder mehreren) außenstehenden Person entdeckt, welche per Mobilfunk oder NRT einen Notruf absetzt. Nach Verbindung mit der zugehörigen Leitstelle wird ein Gespräch mit dem Disponenten geführt, welcher sich daraufhin entschließt, die dafür zuständigen Rettungsmittel zu alarmieren. Dies betrifft neben dem Rettungsdienst (Rettungstransportwagen und ggf. Notarzteinsetzfahrzeug oder Rettungshubschrauber) auch die ortsansässige Feuerwehr, Wasserschutzpolizei oder Wasserwacht inkl. Rettungsboot. Nach Auswahl des Einsatzgebietes durch den Disponenten kann zusätzlich das UAS alarmiert werden, welches schon vor Eintreffen der Rettungskräfte den Unfallort lokalisiert haben kann.

Ein Notfall wird als diskretes Ereignis modelliert mit einer individualisierten Wahrscheinlichkeit, in

Abbildung 9: Historische Einsatzdaten in den Jahren 2019 bis 2022 mit und ohne direkten Badebezug, erfasst von der IRLS Lausitz und IRLS Ostachsen.



Quelle: BTU.

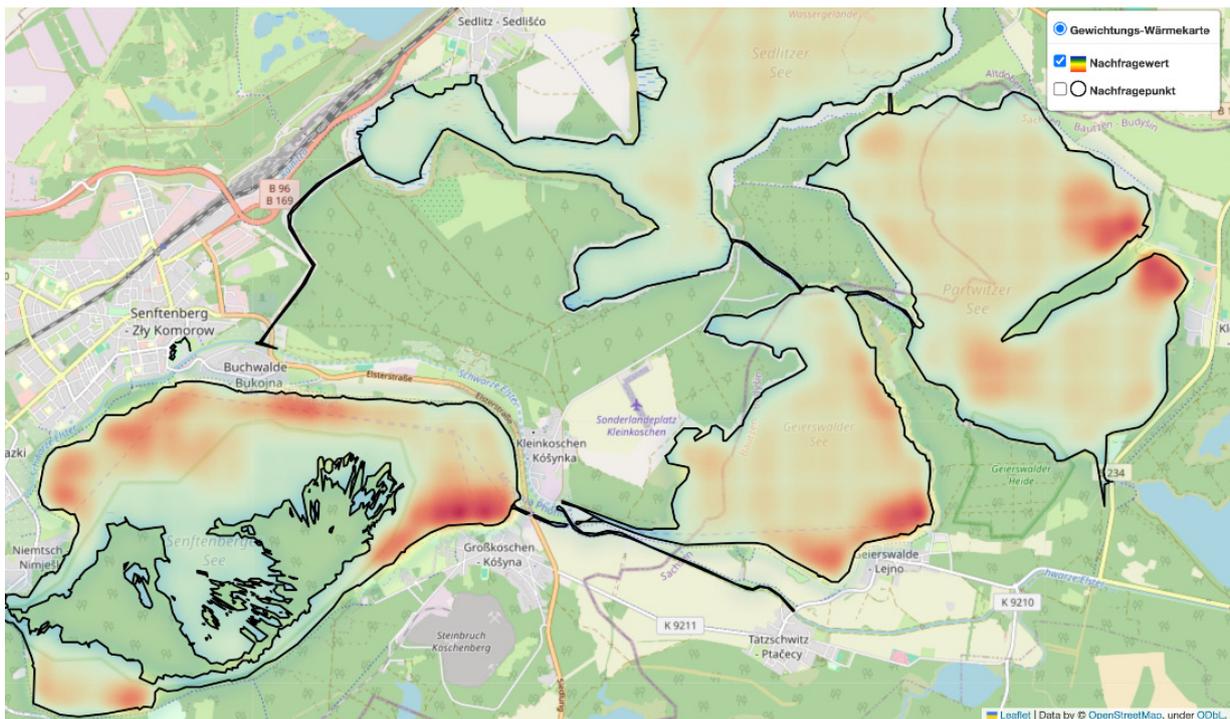
Abhängigkeit von Personen-Parametern wie Alter, Gesundheitszustand und Umgebungsparametern wie Wetter und Temperatur.

Dazu werden für ein beliebiges Einsatzgebiet mit Hilfe von Open Source Daten (OSM und dipul) basierend auf den Features zur Standortoptimierung aus Tabelle 1 automatisiert mögliche Aufenthaltsorte für Badegäste zu Land sowie zu Wasser identifiziert und deren zeitlich variables Badegastaufkommen ermittelt. Außerdem sind in Kooperation mit der IRLS Lausitz und IRLS Ostsachsen historische regionsspezifische Einsatzdaten von 2019 - 2022 erhoben worden, welche ebenfalls in die Identifizierung der Auf-

enthaltensorte von Badegästen einfließen, vgl. Abbildung 9. Exemplarisch werden typische Aufenthaltsorte zu Wasser in Abbildung 10 dargestellt.

Die Erarbeitung einer einheitlichen Datengrundlage war kompliziert aufgrund mehrerer Datenquellen (Einsatzprotokolle, Einsatzleitsysteme), unvollständigen und teils fehlerhaften Angaben und der damit einhergehenden Notwendigkeit, einzelne Einsätze und deren wichtige Eckdaten, wie etwa den genauen Einsatzort, von Einsatzkräften aus dem Gedächtnis rekonstruieren und fehlerhafte Angaben in den Daten korrigieren zu lassen.

Abbildung 10: Nutzung der Badeseen resultierend aus Datenauswertungen von OSM, dipul und historischen Einsatzdaten, Partwitzer See, Geierswalder See, Senftenberger See (Sedlitzer See ist im Norden mit abgebildet, aktuell aber noch nicht offiziell zur Nutzung freigegeben).



Quelle: BTU.

Das Verhalten von Badegästen wurde über einen agentenbasierten Simulationsansatz abgebildet. Dabei fließen insbesondere Indikatoren wie die Altersverteilung, der Prozentsatz an Personen mit Wasserkontakt und Schwimmvorhaben, Verschlucken von Wasser und Kopf untertauchen in die Simulation ein.<sup>19</sup>

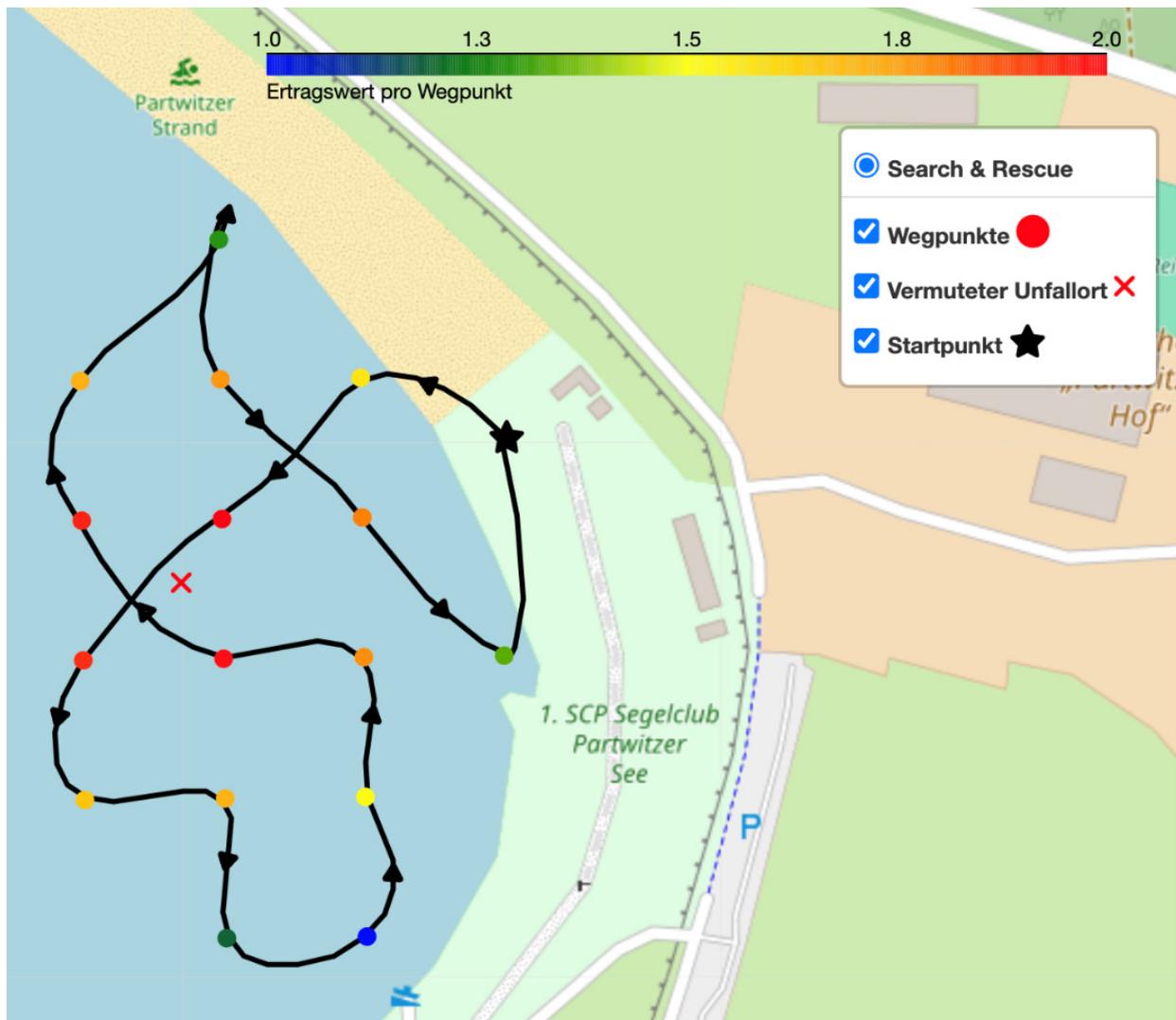
Bei Auslösung des RescueFly-Systems beginnt die Simulation einer S&R-Mission. Simuliert wird nun mehrfach der wahre Unfallort der hilfsbedürftigen Person, um die durchschnittliche Zeit zur Auffindung und zur Rettung messbar zu machen.

19. Vgl. Silva, I. D. (et. Al.) (2011): Amazon Beaches (São Luís, Brazil) Recreational Use, Environmental Indicators, and the Perception of Beachgoers, Journal of Coastal Research, S.1287-1291; Collier, S. A. (et. al.), (2015): Swimming in the USA: beachgoer characteristics and health outcomes at US marine and freshwater beaches. Journal of water and health, 13(2), S. 531-543.

Die Flugtrajektorienplanung erfolgt mittels eines gemischt-ganzzahligen linearen Optimierungsmodells (Mixed-Integer Linear Programming – MILP) von Schmidt & Fügenschuh.<sup>20</sup> Dieses Modell ermöglicht die Planung eines Einsatzes mehrerer UAVs unterschiedlicher Konfigurationen (Geschwindigkeiten, Batterielaufzeiten, Kameraöffnungswinkel) unter Angabe individueller Weg-

punkte und Flughöhe für die S&R-Mission. Somit fließen Vorinformationen wie der vermutete Unfallort oder Standorte anderer Schwimmer in die Routenplanung ein, ebenso wie Wegpunkten eine individuelle Wichtigkeit zugeordnet wird. In dem Modell werden Kollisionsvermeidung, Wind, sowie etwaige Restriktionsgebiete berücksichtigt.

Abbildung 11: Simulation einer S&R-Mission am Partwitzer Strand mit Flugtrajektorie des UAS (schwarz), gewichteten Anflugpunkten (farbige Kreise) und vermutetem Unfallort (rotes Kreuz).



Quelle: BTU.

20. Vgl. Schmidt, J.; Fügenschuh, A. (2023): A two-time-level model for mission and flight planning of an inhomogeneous fleet of unmanned aerial vehicles, Computational Optimization and Applications 85(1), S. 293-335.

### 3.6 Infrastruktur (Droniq)

Im Rahmen von Rescue Fly wurden verschiedene Antennen zur Luftraumüberwachung eingesetzt, diese umfassen verschiedenartige Setups zur Abdeckung von den entsprechenden Anwendungsszenarien.

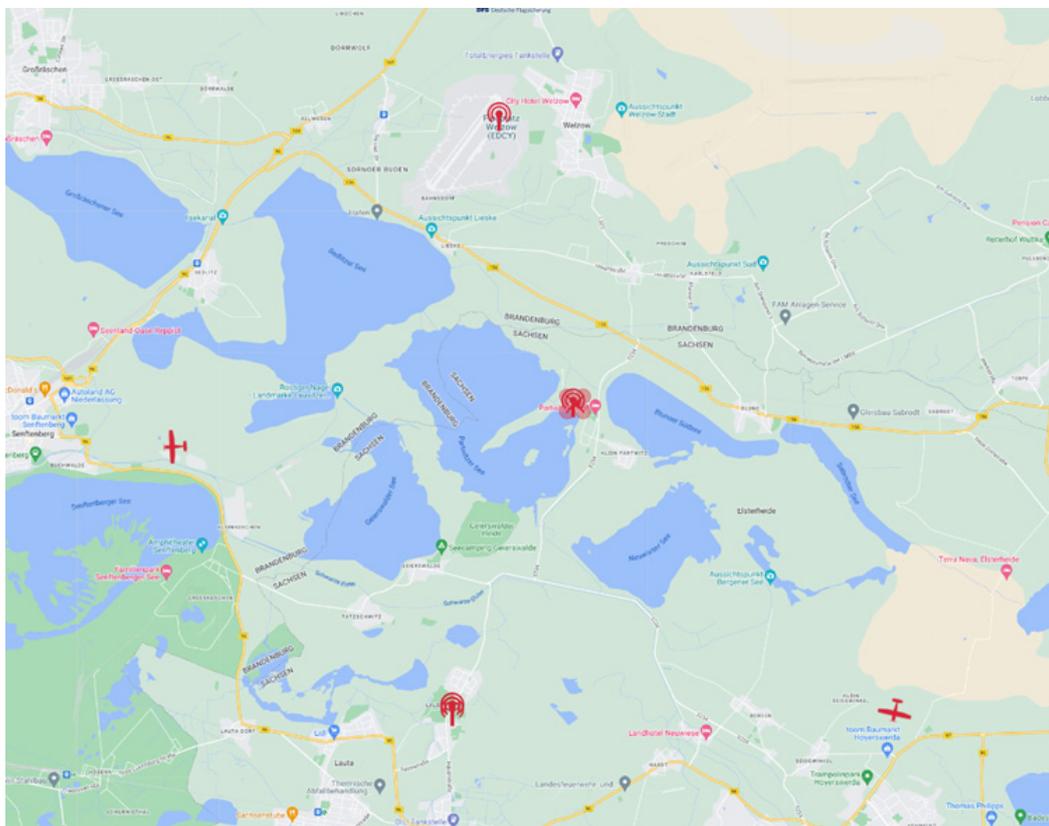
- **Omnidirectional Ground Station (OGS):** Eine stationäre Verkehrsempfangsstation, die ADS-B und FLARM-Signale der umliegenden Luftverkehrsteilnehmer empfängt und per LTE an das Droniq UTM (UAS Traffic Management) System überträgt. Die OGS ist wetterfest, kompakt und wurde im Rahmen der Demonstration im Uferbereich aufgestellt.
- **Fixed Ground Station (FGS):** Eine leistungsstarke stationäre Verkehrsempfangsstation, die eine großflächige Luftraumüberwachung ermöglicht. Die FGS empfängt nicht nur ADS-B und FLARM-Signale, sondern auch Mode-S-Signale, die von bemannten Flugzeugen ausgesendet werden. Es wurden verschiedene FGS an Gebäuden und Masten

rund um das Demonstrationsgebiet im Uferbereich aufgestellt, sodass eine optimale Abdeckung des Luftraumes möglich war.

- **HOD4track Deutschland:** Ein LTE-Transponder, der an dem UAV oder anderen Fluggeräten befestigt werden kann, um deren Position über LTE an das Droniq UTM zu übermitteln. Das HOD4track empfängt auch ADS-B und FLARM-Signale. Dieses wurde am Fluggerät selbst befestigt, sodass jederzeit die Position im Luftraum allen Beteiligten elektronisch sichtbar war.

Durch Einsatz beider Antennensetups konnte eine umfassende Abdeckung des lokalen Luftraumes erreicht werden, die dafür gesorgt hat, dass eine allgemeine Kenntnis der Luftraumteilnehmer bestand und auch entsprechend Beachtung in der Missionsausführung bestand. Mit diesen Daten konnte die Durchführung durch die Luftlage in Echtzeit unterstützt werden und eine sichere Navigation im Luftraum erreicht werden.

Abbildung 12: Aufnahme des Demonstrationsflugs im Oktober 2023.



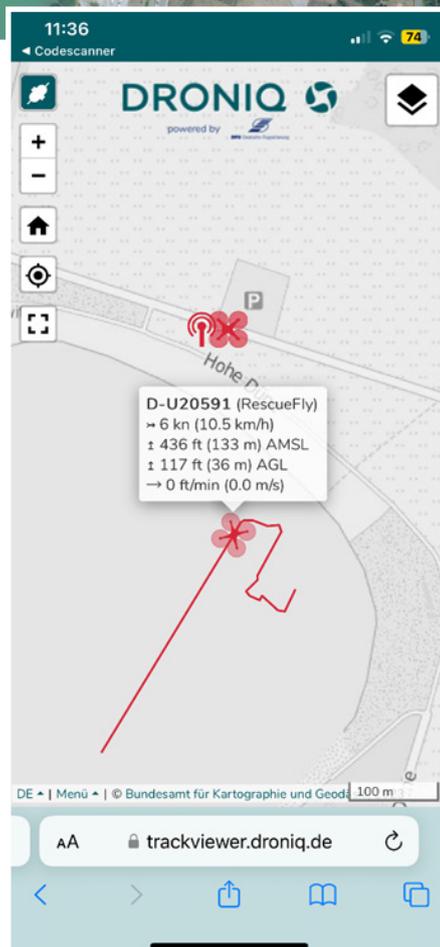
Quelle: Droniq.

Abbildung 13: Screenshot der Droniq Live-Luftlage bei der Vorführung im Oktober 2023 (vgl. Abbildung 6).



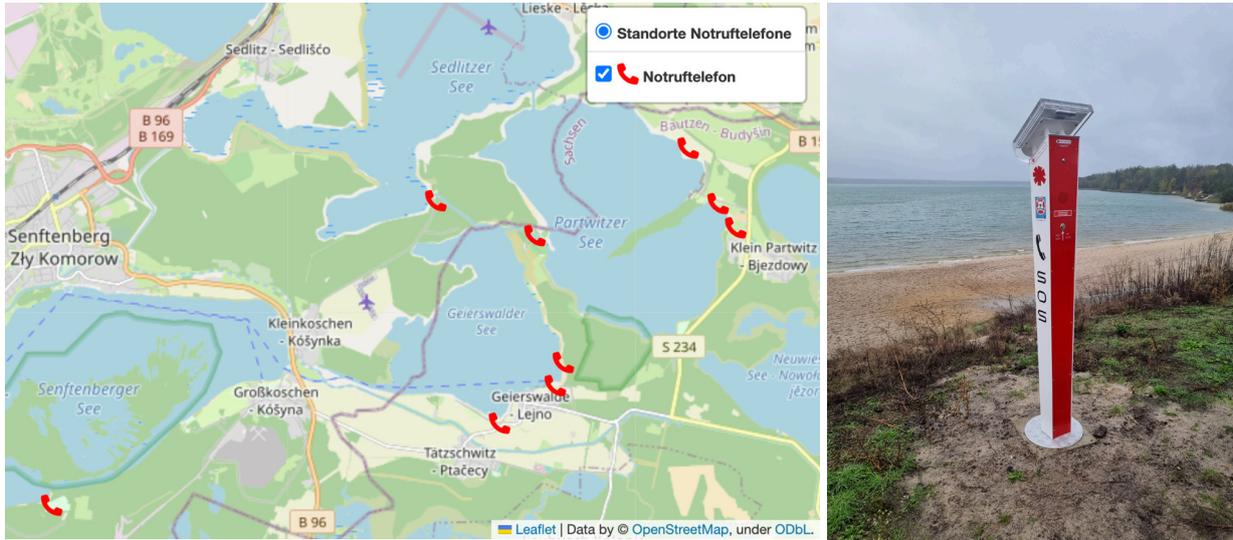
Abbildung 14: Anzeige der Droniq Live-Luftlage auf mobilem Endgerät.

Im Rahmen der unter 3.4 und 3.5 durchgeführten Analysen zur optimalen Standortwahl für den Drohnenhangar (vgl. Abbildung 8) ergaben sich sowohl für den Anwendungsfall als auch für das Teilprojektziel, den Vorbehalten der Bevölkerung öffentlichkeitswirksam zu begegnen, neun optimale Standorte für die NRT. Durch ihre feste Position und somit GPS-Koordinate bieten die NRT den Vorteil, dass ein über sie abgesetzter Notruf unmittelbar einer geografischen Position zugeordnet werden kann und somit auch das Einsatzgebiet festgelegt wird. Durch die Verknüpfung von NRT-Rufnummer und zugehöriger GPS-Koordinate im Leitstellensystem der beiden IRLS kann der Disponent sofort die regulären Rettungsmittel sowie im Bedarfsfall das RescueFly-UAS disponieren. Im Testsystem von RescueFly war jedem NRT ein Einsatzgebiet und damit Zielgebiet für den Anflug des UAS zugeordnet. Die optimale Flugtrajektorie wurde bereits im Vorfeld (vgl. Abbildung 7) berechnet, sodass wertvolle Zeit bis zum Start des UAS eingespart werden konnte.



Quelle: Droniq.

Abbildung 15: Standorte der NRT aufgrund der Nutzung von Uferabschnitten (s. Abbildung 10) sowie öffentlichkeitswirksamen / touristischen Stellen, (Quelle: BTU). Rechts: Notruftelefon (NRT) am Badestrand Partwitzer See, dem Uferabschnitt und damit potenzielles Einsatz- bzw. Zielgebiet systemseitig fest zugeordnet sind.



Quelle: BSS.

In Abstimmung mit den IRLS erfolgt lediglich die Disposition des UAS in der Leitstelle. Es ist hilfreich, dass in den Leitstellen eine Luftlagedarstellung vorliegt – vergleichbar mit der Darstellung von Rettungsflügen/-hubschraubern im Einsatz. Die Anzeige aller UAS-Aktivitäten im Zuständigkeitsbereich wird begrüßt, allerdings nicht aus der Perspektive, steuernd eingreifen zu können, sondern um etwaige Notrufe aus Verunsicherung von Bürgern einordnen zu können.

Die IRLS haben weder Interesse noch Ressourcen oder Know-How, die Verantwortlichkeiten einer Drohnenleitstelle zu übernehmen. Die IRLS benötigen, vergleichbar zur Deutschen Flugsicherung, den standardisierten Datenaustausch zu einer zentralen Koordinierungsstelle, die das Luftlagebild für (von der Leitstelle disponierte) Flugobjekte im unteren Luftraum bereitstellt und die Funktion/Aufgabe des PIC übernimmt. Diese Koordinierungsstelle wäre im optimalen Fall mindestens für ein Bundesland zuständig. Die IRLS benötigen zudem Positions- und Missionsdaten von Einsätzen (BOS und B2B), um Transparenz

über Flugbewegungen zu haben. Somit können Meldungen der Bevölkerung zu UAS-Sichtungen eingeordnet und beantwortet werden. Es wird eine Sichtbarkeit gefordert, wie sie z. B. von Rettungsdienstorganisationen sichergestellt wird.

Diese nutzen das UTM-System von Droniq, um UAV sicher und effizient in den Luftraum zu integrieren. Das UTM-System bietet neben einem kombinierten Luftlagebild aus bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen weitere Funktionen zum sicheren und effizienten UAS-Betrieb BVLOS. Die eingesetzten Rettungs-UAS im RescueFly-Projekt wurden für den Flug mit einem HOD ausgestattet, das Position und Sensordaten per Mobilfunk an das UTM-System sendet und empfängt. Die Rettungsleitstelle der Björn Steiger Stiftung konnte über eine webbasierte Benutzerschnittstelle auf das UTM-System zugreifen und die UAS-Flüge planen, überwachen und steuern. Die Leitstelle konnte auch die Live-Luftlage in ihrem Einsatzgebiet einsehen und mögliche Konflikte oder Gefahren frühzeitig erkennen und vermeiden.

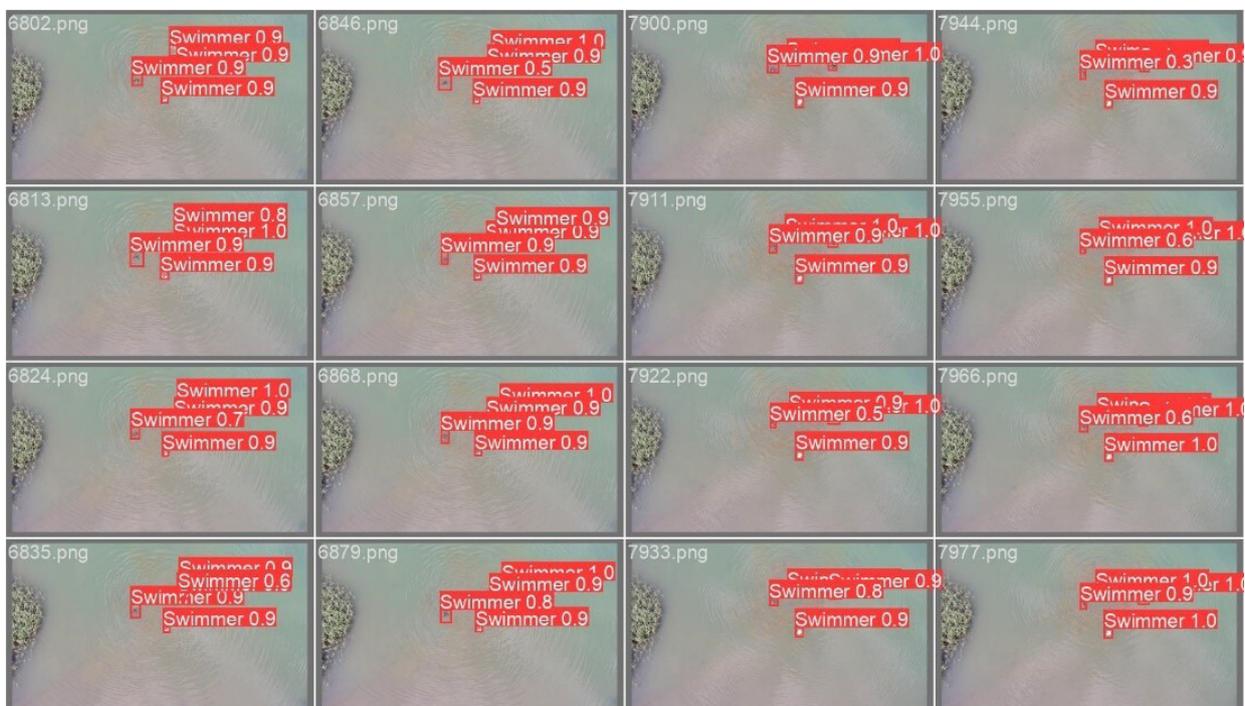
### 3.7 Bilderkennung

Ein entscheidender Vorteil des Einsatzes von UAS bei S&R-Missionen sind hochaufgelöste Videoaufnahmen aus der Vogelperspektive. Verfahren der Bildverarbeitung und Methoden KI haben daher großes Potential, hilfsbedürftige Personen im Wasser automatisiert zu erkennen. Die Aufgabe der Bilderkennung ist dabei dreiteilig: Zuerst müssen die Personen im Wasser erkannt werden (Detection), danach deren Schwimmstrecke nachverfolgt und die erkannte Person auch nach kurzzeitigem Verlassen des Bildes wieder als die Gleiche identifiziert werden (Tracking) und letztlich müssen normale Schwimmbewegungen von den Bewegungen hilfsbedürftiger Personen unterschieden werden (Action Recognition).

Um verlässliche Resultate für Algorithmen der Bilderkennung zu erzielen, wurde eine umfassende Datengrundlage geschaffen. Zuerst wurden öffentlich verfügbare Datensätze von Schwimmaufnahmen genutzt. Wichtig für gute Resultate sind

hierbei insbesondere eine Top-Down Perspektive, eine dem Einsatzort ähnliche Umgebung, sowie ein möglichst diversifiziertes ethnisches Schwimmerprofil. Da die freie Verfügbarkeit solcher spezifischer Datensätze stark begrenzt war, wurden synthetische (künstliche) Datensätze von Schwimmern erzeugt, mit lokalen Aufnahmen im Lausitzer Seeland verschnitten und augmentiert. Hierbei wurde ein StyleGAN-Ansatz zur Generierung synthetischer Daten auf Grundlage eines Kaggle-Datensatzes<sup>21</sup> implementiert, mit dem Hintergrund, diese sicherheitsbezogene KI-Anwendung interpretierbar zumachen und nicht nur als Black-Box zu nutzen. In einem referierten Artikel wurden Methoden vorgestellt, welche die synthetisierten Bilder nach Projektion in einen niedriger-dimensionalen Raum erklären.<sup>22</sup> Diese Ergebnisse sind auf weitere sicherheitsrelevante KI-Anwendungen übertragbar, d. h. insbesondere auf Schwimmsituationen im Outdoor-Bereich.

Abbildung 16: Bilderkennung synthetisch hergestellter Datensätze mittels Kaggle-Daten.



Quelle: BTU.

21. Vgl. Kaggle (o. J.): Swimmers, <https://www.kaggle.com/datasets/seanmc4/swimmers>.

22. Yarahmadi, A. M.; Breuß, M.; Mohammadi, M. K. (2023): Explaining StyleGAN Synthesized Swimmer Images in Low-Dimensional Space, in: Proceedings of the Computer Analysis of Images and Patterns, Cham, S. 164-173, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44237-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44237-7_16).

Es wurde ein umfassendes Konzept für eine eigene Datenakquise erarbeitet und durchgeführt. Circa 40 Probanden unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Ethnie wurden dafür in Kleingruppen eingeteilt. Im Voraus wurden wichtige Schwimmaktivitäten festgelegt (verschiedene Schwimmarten, Wassersport, Treiben, Tauchen, Ertrinken), die von den Probanden durchgeführt und per Kamera aus unterschiedlichen Höhen (30 m – 100 m) gefilmt wurden. Entstanden sind dadurch ca. 300 Min. Rohaufnahmen, diese wurden sorgfältig um irrelevante Sequenzen bereinigt, um danach einen aufwändigen Labeling-Prozess zu durchlaufen. Dort wurden Schwimmer mit ihrer zugehörigen Aktivität markiert, in jedem Einzelbild für die Detektion und außerdem in Bildsequenzen für die Action Recognition. In Abbildung 17 sind Resultate der synthetischen Schwimmererkennung dargestellt, die durch diese Aufnahmen und durch Verwendung erstellter synthetischer Daten erzeugt wurden.<sup>23</sup>

Mehrere State-of-the-Art KI-Methoden wurden in der Bilderkennung in Kombination eingesetzt:

Für die Detektion von Personen im Wasser wird das YOLO-Netzwerk (engl. You Only Look Once) in der Version YOLOv8 genutzt. Der YOLO-Algorithmus nutzt ein Convolutional Neural Network (CNN), welches nur eine einzige Vorwärtspro-

pagation zur Objekterkennung benötigt. Somit können Objekte mithilfe von Bounding Boxes - Rechtecke um das erkannte Objekt - in Echtzeit erkannt und mit einer Wahrscheinlichkeit zu einer bestimmten Klasse zu gehören (z. B. Schwimmer) versehen werden. Die Zuverlässigkeit der Detektion ist abhängig von der Flughöhe des UAV, so wurden für Höhen von 30 m bis 50 m gute Werte erzielt, die allerdings mit Höhenzunahme bis zu den 100 m Flughöhe rasch abnahmen.

Das System ist in der Lage, die Positionsbestimmung und Identifikation einzelner Schwimmer in großen Gruppen durchzuführen, selbst wenn diese Personen sich nicht zu jedem Zeitpunkt im Bild befinden. Unter Vergabe eindeutiger Identifikationsnummern wird gewährleistet, dass bereits als negativ geprüfte nicht-hilfsbedürftige Personen erneut überprüft werden müssen. Hierfür werden die Personen zuerst über YOLOv8 detektiert und schließlich deren Schwimmstrecke auf Grundlage der zeitlichen und räumlichen Merkmale mittels Kalman-Filtern und DeepSORT in Echtzeit vorhergesagt.

Für die Bewegungserkennung (Action Recognition) wurden verschiedene Klassen definiert, vgl. Tabelle 5, und per Deep-Learning (LSTM, engl. long short-term memory) gelernt.

Tabelle 5: Klassen für die Action Recognition

| Name der Klasse | Beschreibung  |
|-----------------|---|
| swimming        | Eindeutige Schwimmbewegungen (Rückenschwimmen, Brustschwimmen, Kraulen) |
| floating        | Regloses Treiben an der Wasseroberfläche                                |
| diving          | Tauchen unter der Wasseroberfläche                                      |
| drone           | Hinaufschauen in Richtung UAV   |
| standing        | Stehen in flachem Wasser  |
| group           | Gemeinsames Schwimmen in einer Gruppe                                   |
| waterpolo       | Ausübung von Wasserball-Sportarten                                      |
| breathing       | Heftiges Atmen und Spucken von Wasser                                   |
| downwards       | Treiben mit dem Gesicht im Wasser                                       |

23. Khan Mohammadi (et. Al.) (2024): Investigating training datasets of real and synthetic images for swimmer localisation with YOLO, Preprints.org, <https://doi.org/10.20944/preprints202402.0446.v1>.

Die KI-Anwendung lieferte in ersten praktischen Tests und bei dem durchgeführten Demonstratorflug vielversprechende Ergebnisse, basiert jedoch in ihrer Entscheidungsfindung bislang ausschließlich auf synthetischen und simulierten Daten, nicht jedoch auf Echtdaten hilfsbedürftiger Schwimmer. Diese Echtdaten können noch

weitere erhebliche Verbesserungen bringen. Dennoch ist die KI-Anwendung jetzt schon eine große Unterstützung für den Rettungsfernpielen bei der Erkennung hilfsbedürftiger Schwimmer. In Abbildung 16 ist die Action Recognition exemplarisch dargestellt.

Abbildung 17: Action Recognition von Schwimmern im Partwitzer See.



Quelle: BTU.

# 4 BETRIEBSANFORDERUNGEN (BSS)

## 4.1 Vorhaltung und Betrieb (BSS)

Das UAS soll als ergänzendes, zusätzliches Rettungsmittel eingesetzt werden. Die bekannten Einsatzfahrzeuge der Feuerwehr und des Rettungsdienstes werden weiterhin vorgehalten und gemäß der geltenden AAO zum Einsatz entsendet. Über den Einsatz des UAS entscheidet die zuständige Rettungsleitstelle.

Grundsätzlich sind die in den Landesgesetzen definierten Rettungsfristen nicht explizit für die Wasserrettung definiert. Es gilt aber, wie bei allen Notfällen, die Maxime, das therapiefreie Intervall so kurz wie möglich zu halten, bzw. bei der Wasserrettung die Zeit bis zum Eintreffen von geeigneter Hilfe beim Verunglückten (auf dem Wasser) zu verkürzen.

Institutionen, die Badeseen bewirtschaften, beauftragen im Regelfall Organisationen wie die Wasserwacht oder die DLRG mit der Ausübung der Aufsicht auf offizielle Badestrände bzw. mit der Patrouille auf den Seen, um auch im Fall von strandfernen Unfällen Hilfe zu leisten. Je nach Größe der Seen und vorhandenen Ressourcen werden Patrouillenfahrten auch durch die Wasserschutzpolizei übernommen, jedoch mit Fokus auf deren Zuständigkeiten. Das Projektgebiet

erstreckte sich auf die beiden Seen Partwitzer See und Geierswalder See, die teilweise in Brandenburg und in Sachsen liegen. Dadurch ergibt sich hinsichtlich der verantwortlichen Gebietskörperschaften für die Seen genauso wie beim Rettungsdienst eine unterschiedliche Zuständigkeit.

Für den primären Anwendungsfall Wasserrettung ergeben sich daher zwei Optionen bzgl. der Anforderung an die Betriebsbereitschaft:

- Option 1 (Dienstzeiten): entsprechend den Dienstzeiten der Wasserwacht (ergeben sich aus der Beauftragung)

- Option 2 (Badesaison): während der offiziellen Badesaison z. B. Mai bis September; 30 min nach Sonnenaufgang bis 30 min vor Sonnenuntergang

Diese Optionen bilden bei der späteren Kalkulation der Betriebskosten die Arbeitshypothese. In diesem Zusammenhang werden dann auch weitere BOS- und B2B-Anwendungsfälle für eine Mischkalkulation betrachtet (sog. sekundäre Anwendungsfälle), die zeitlich und ggfs. räumlich komplementär zum primären Einsatzgebiet geleistet werden können.

## 4.2 Infrastruktur (Droniq, BSS)

Zur Herstellung eines gemeinsamen Luftlagebildes gibt es verschiedene Betriebsanforderungen, die im Folgenden kurz skizziert werden. Zuerst wird jedoch auf die Fusionierungslogik und die Informationsquellen eingegangen. Droniq nutzt allgemein verschiedene Datenquellen, die in einem zentralen System zusammengeführt werden. Die Datenquellen sind:

- Radar: Primär- und Sekundärradarziele aus der Radarinfrastruktur der Deutschen Flugsicherung (DFS) in Deutschland, mit denen Luftfahrzeuge geortet werden.
- ADS-B: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast ist ein System, das die Position und Geschwindigkeit von Flugzeugen und

UAV über Funk überträgt. Droniq empfängt diese Daten von den oben beschriebenen eigenen Bodenstationen und von Partnern wie der DFS.

- FLARM: FLARM ist ein System, das die Kollision von Flugzeugen und UAV vermeiden soll. Es sendet und empfängt die Position und Geschwindigkeit von Fluggeräten über lokalen Funk. Droniq integriert diese Daten in das Luftlagebild, um die Sichtbarkeit von Segelflugzeugen, Hubschraubern und anderen FLARM-Nutzern zu erhöhen.
- LTE: Long Term Evolution ist ein Mobilfunkstandard, der die Datenübertragung zwischen UAV und dem Droniq-System ermöglicht.

Droniq nutzt das LTE-Netz der Deutschen Telekom, um die Position, Geschwindigkeit, Flugrichtung und Identifikation von UAV zu erhalten, die mit einem Droniq Transponder ausgestattet sind.

Weitere Quellen: Droniq nutzt darüber hinaus weitere Quellen unterschiedlicher Art, z. B. ADS-B Exchange oder andere lokale Datenprovider in geringem Umfang.

Zur Fusionierungslogik: Datenfusionierung ist der Prozess der Kombination von Informationen aus verschiedenen Quellen, um ein konsistentes, genaues und nützliches Bild der Situation zu erhalten. Datenfusionierung ist besonders wichtig für die Luftlagedarstellung, die die Identifizierung, Lokalisierung und Verfolgung von Luftobjekten wie Flugzeugen, UAV, militärischen Nutzern, Ballonen, etc. umfasst. Die Luftlagedarstellung ist eine wesentliche Voraussetzung für die Luftraumüberwachung und die sichere Durchführung unbemannter Missionen.

Das gemeinsame Luftlagebild wird dann in Echtzeit an die Nutzer von Droniq über eine Web-Applikation übermittelt. Die Nutzer können so die Position und Bewegung von Flugzeugen und UAV in ihrem Umfeld sehen und mögliche Konflikte erkennen und vermeiden. Das Luftlagebild dient auch als Grundlage für weitere Dienste wie die Routenoptimierung nach Geozonen, die Gefahrenanalyse aufgrund von möglichen Risiken am Boden oder die Notfallplanung.

Die Betriebsanforderungen für die Datenfusionierung in Bezug auf die Luftlagedarstellung hängen von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. der Anzahl und Art der verfügbaren Sensoren, der Qualität und Zuverlässigkeit der Sensordaten, der Komplexität und Dynamik der Luftsituation, der Reaktionszeit und dem Informationsbedarf der Nutzer. Einige allgemeine Anforderungen sind:

- Die Datenfusionierung muss in der Lage sein, mehrere Sensortypen zu integrieren, wie z. B. Radar, optische Kameras, Infrarotkamera, akustische Sensoren, Funkpeilung usw.
- Die Datenfusionierung muss in der Lage sein, mehrere Ebenen der Informationsverarbeitung durchzuführen, wie z. B. Signalverarbeitung, Objekterkennung, Objektzuordnung, Objektklassifizierung, Objektidentifizierung, Situationsbewertung und Bedrohungsanalyse

- Die Datenfusionierung muss in der Lage sein, Unsicherheiten und Widersprüche in den Sensordaten zu handhaben, wie z. B. Rauschen, Ausfälle, Falschalarme, Mehrdeutigkeiten usw.

- Die Datenfusionierung muss in der Lage sein, adaptive und robuste Algorithmen zu verwenden, die sich an die Veränderungen der Sensor- und Umgebungsbedingungen anpassen können

- Die Datenfusionierung muss in der Lage sein, zeitnahe und genaue Ergebnisse zu liefern, die den Anforderungen der Nutzer entsprechen

Die Luftlagedaten der Droniq können entweder über eine Anwendung der Droniq abgerufen und angezeigt werden oder über eine Schnittstelle an ein Drittsystem übermittelt werden.

#### **Drohnen-Leitstelle:**

Die Herausforderungen und Lösungen zur Nutzung von UAS in unterschiedlichen Bereichen (BOS, B2B) benötigen eine geordnete und koordinierte Nutzung des entsprechenden Luftraumes.

Um dies zu verwirklichen, benötigen potenzielle Einsatzbereiche für AUS-Operationen einen Ausbau entsprechender Infrastruktur (s. o.) und die Bereitstellung sowie prozedurale Standardisierung und Entwicklung geeigneter Betriebsabsprachen (Drohnenleitstelle). Gemäß der herrschenden Gesetzgebung müssen BVLOS UAV-Flüge auch im BOS-Umfeld durch einen PIC mit adäquater Ausbildung und Qualifikation überwacht werden.

Hinsichtlich der exakten Anforderungen an eine Drohnenleitstelle müssen bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedene Annahmen getroffen werden, da es derzeit noch keine Referenzleitstelle in Deutschland für den UAS-Betrieb gibt.

# 5 RECHTLICHE MACHBARKEIT

Der Betrieb von UAS als Einsatzmittel zur Wasserrettung ist eine hoheitliche Aufgabe und zulässig. Die Zuständigkeit für den Rettungsdienst einschließlich der Wasserrettung liegt bei Landkreisen als untere Rettungsdienstbehörde (im RescueFly Fall: Landkreis Oberspree-Lausitz und Bautzen). Die zuständige Leitstelle löste den Einsatz nach Eingang einer Notfallobermittlung aus. Der Landkreis übernimmt den Betrieb des UAS selbst (UAS-Betreiber) oder beauftragt nach Durchführung eines Vergabeverfahrens eine private Hilfsorganisation oder ein Unternehmen (Leistungserbringer) mit dem Betrieb durch Abschluss eines öffentlich-rechtlichen Vertrages. Soweit der Dritte nicht beliehen ist, muss der Flugbetrieb unter Aufsicht der Behörde stattfinden.

Das EU-Luftverkehrsrecht regelt Flugbetrieb für innerstaatliche hoheitliche Tätigkeiten im öffentlichen Interesse nicht. Der Einsatz eines UAS zur Wasserrettung zählt zu dem sogenannten privilegierten UAS-Betrieb, für den das EU-Luftverkehrsrecht nicht gilt. Beim Betrieb müssen jedoch die EU-Sicherheitsziele für den Luftverkehr angemessen berücksichtigt werden und im Luftraum ist eine „Staffelung“ zur Kollisionsvermeidung sicherzustellen. Um die Sicherheitsziele zu berücksichtigen, wird empfohlen, angelehnt an die EU-Regelungen, die Herstellung und Zertifizierung der UAS sowie die Ausbildung und den Kompetenznachweis des Personals durchzuführen. Der UAS-Betrieb kann von den Regelungen abweichen, damit der Einsatzerfolg bei Notfällen im Wasser nicht gefährdet wird. Der Betrieb ist trotzdem sicher durchzuführen. Es wird empfohlen, orientiert an einem entsprechenden EU-Standardszenario ein Betriebskonzept für ein „UAS-Wasserrettungs-Betriebsszenario“ zu erarbeiten und über ein Betriebshandbuch umzusetzen.

Nach dem deutschen Luftverkehrsgesetz (LuftVG) und den dazu erlassenen Verordnungen besteht für UAS zur Wasserrettung die Berechtigung zur Teilnahme am Luftverkehr. Der Flugbetrieb ist auch nach dem LuftVG privilegiert. Der Betrieb muss nicht genehmigt werden und die geografischen UAS-Gebiete gelten für ihn nicht.

Aus dem nationalen Luftrecht erwachsen etliche Verpflichtungen, die zwingend zu beachten sind.

Der Flugbetrieb von UAS zur Wasserrettung kann außerhalb der Sichtweite des PIC und weitgehend automatisiert erfolgen. Der PIC muss im Notfall oder bei Lageänderungen auf den Flug des UAV einwirken können. Um den Vorrang der Rettungsmission zu erhalten und das Kollisionsrisiko mit der bemannten Luftfahrt auf ein Mindestmaß zu reduzieren, sind Maßnahmen wie die Information der Flugplätze im Einsatzraum, die Information des allgemeinen Flugverkehrs, die elektronische Erkennbarkeit des UAV, die Koordination mit den in der Nähe des Einsatzraumes stationierten Rettungshubschraubern und die Luftlageüberwachung erforderlich.

Beim Probeflugbetrieb gelten die gleichen luftrechtlichen Ausnahmen wie im Regelbetrieb (Recht auf Einsatzvorbereitung). Im Probeflugbetrieb kann der behördliche oder beauftragte UAS-Betreiber noch simuliert werden. Die zuständigen Behörden sollten informiert werden.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Rechtsgutachten an den UAV Dach e. V. - Verband für Unbemannte Luftfahrt durch die Björn Steiger Stiftung in Auftrag gegeben. Dieses verweist noch einmal im Detail auf die rechtlichen Rahmenbedingungen zum Einsatz von UAS im Rahmen der Wasserrettung. Das Gutachten kann bei Bedarf bei der Björn Steiger Stiftung angefordert werden.

# 6 WIRTSCHAFTLICHKEIT

## 6.1 Annahmen und Einflussfaktoren

Neben der Betrachtung der technischen, juristischen und prozessualen Machbarkeit steht vor allem die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zwischen Projekt und Übergang in den Regelbetrieb im Fokus. Im Rahmen des Projektes konnte keine umfassende Business-Case-Erstellung umgesetzt werden, vielmehr wurden unterschiedliche Annahmen getroffen und mögliche Einflussfaktoren bewertet.

Ausgehend vom Projektfokus wird der primäre Anwendungsfall ‚Drohnenbasierte Wasserrettung‘ singular betrachtet. Wie in Abschnitt 4.1 skizziert, können hier unterschiedliche Optionen für die Betriebsanforderungen bewertet werden. In der Einzelbetrachtung ‚Drohnenbasierte Wasser-

rettung‘ sind alle Kosten ohne Skaleneffekte und zukünftige technische und kostenspezifische Entwicklungen enthalten. Dies stellt das Worst-Case-Szenario dar. In einem zweiten Schritt wird die Erweiterung auf weitere BOS-Anwendungsfälle, die zeitlich und räumlich komplementär einzuordnen sind, betrachtet (2a). Lediglich mit übergeordneten Marktprognosen belegte Entwicklungen berücksichtigen dann B2B-Anwendungen in der Privatwirtschaft (2b), die die vorhandenen Ressourcen mit einer geringeren Priorität nutzen. Allen Szenarien einher geht die Betrachtung eines Betriebes, der nicht in der Nacht stattfindet. Im Folgenden sind die Kostenannahmen für die einzelnen Komponenten dargestellt.

## 6.2 Drohne und Drohnenhangar

Betrachtet man das für den Anwendungsfall geeignete UAV – geeignet im Sinne, dass notwendige Voraussetzungen wie Reichweite, Geschwindigkeit, Stabilität, Payload, etc. erfüllt sind, so ergeben sich die unten genannte Einmalkosten. In diesen Kosten sind auch Zertifizierungskosten in Höhe von 850.000 € bei einer angenommenen

Produktionsmenge von mindestens 500 UAV enthalten. Die Wartungskosten sind abhängig von den Flugstunden. Angenommen werden hier 150 Flugstunden pro Jahr. Angenommen wird eine Wartung pro Kalenderjahr (konservative Abschätzung).

Tabelle 6: Kostenannahmen Drohne

|                      | Kostenart      | Einzelposten <sup>24</sup> |
|----------------------|----------------|----------------------------|
| Einmalig             | Drohne         | 20.000 €                   |
| Laufende Kosten p.a. | Wartung Drohne | 1.000 €                    |

Die Kostenstruktur des Drohnenhangars fächert sich in Einmalkosten wie die Anschaffungskosten und pro Standort notwendigen Planungs- und Errichtungskosten (Grundstücks-, Erschließungs- und Genehmigungskosten inkl. Pacht, Transport, Untergrund/Fundament) sowie in laufende Kosten wie Wartung (Ersatzteile, Service) und Energie-/

Kommunikationskosten (Klimatisierung, Konnektivität auch für Wetterdaten) auf.

Laut Marktrecherche ergeben sich beim Hangar Anschaffungskosten von circa 29.000 €: Da für den spezifischen Fall noch einige Anpassungen notwendig sind, schätzen wir die Kosten auf ca. 30.000 €.

24. Die Einzelposten der Kosten bestehen aus Schätzungen des Konsortiums, Marktrecherche und weiterer Befragungen von Experten.

Tabelle 7: Kostenannahmen Drohnenhangar

|                       | Kostenart              | Einzelposten <sup>25</sup> |
|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| Einmalig              | Anschaffung Hangar     | 30.000 € <sup>26</sup>     |
| Einmalig              | Planung und Errichtung | 7.500 €                    |
| Laufende Kosten p. a. | Wartung                | 5.250 €                    |
| Laufende Kosten p. a. | Energie/Kommunikation  | 500 €                      |

### 6.3 Infrastruktur

Zur Darstellung der Luftlage im unteren Luftraum ist die Implementierung von dezentraler vernetzter Infrastruktur in Gestalt von Antennen und aktiven Elementen an den Flugkörpern notwendig. Im Rahmen des Projektes wurden zur Ausleuchtung des Projektgebietes zwei Fixed Ground Station (FGS) Antennen installiert, eine in Lauta, eine am Flughafen Welzow. Zusätzlich kam eine Omnidirectional Ground Station (OGS) bei der technischen Demonstration zum Einsatz. Als aktives Element an dem UAV wurde ein Hook-on-Device an dem UAV befestigt. Die Darstellung des unteren Luftraums erfolgte mit Hilfe der Software UTMpro, für die Lizenzkosten anfallen und die in unterschiedlichen Browsern lauffähig ist.

Die einmaligen Anschaffungskosten der verwendeten Antennen und Transponder befinden sich in der Tabelle 7. Hier sind auch die laufenden Kosten für Antennen, Transponder sowie Software (pro Jahr/pro Nutzer) aufgelistet.

Darüber hinaus ist es möglich, Fluggeräte auch direkt ins Droniq-System zu integrieren und deren eingebaute Sensorik zu nutzen. Somit ist die Installation eines externen Transponders nicht mehr notwendig. Die Kosten für die sog. Direktintegration eines Fluggeräts in das Droniq UTM-System ist abhängig von verschiedenen Faktoren

und Spezifikation des Flugsystems, daher ist eine pauschale Aussage zu einem Preis für die Einbindung nicht möglich. Diese bewegt sich allgemein jedoch im mittleren vierstelligen Bereich.

Im Rahmen des Projektes wurden zudem NRT an neuralgischen Stellen der Seen installiert, denen ein 'Einsatzgebiet' zugeordnet wurde und die mit Geokoordinaten und Rufnummer in die jeweils zuständige Notrufleitstelle integriert wurden. Während der Ausarbeitung des Anwendungsfalls und der technischen Konzeptionsphase dienen die modifizierten NRT auch als Standort für Antennen zur Kommunikation mit dem UAS bzw. wurden als Kommunikationshub getestet. Als Ergebnis des zusätzlichen Strombedarfs der aktiven Elemente wurde diese Realisation verworfen, da die NRT ansonsten einen permanenten Stromanschluss benötigt hätten. Diese wäre auf Kosten der Auswahl des optimalen Standortes erfolgt.

Die Anschaffungskosten der NRT belaufen sich auf ca. 8.000 € pro Stück (inkl. Bodenanker, Planung, Anträgen und Erdarbeiten). Zur Versorgung des Projektgebietes und zur Bekanntmachung des Projektes an hochfrequentierten Orten wurden in Summe neun NRT aufgestellt (vgl. Abbildung 15)

### 6.4 Drohnenleitstelle

Der operative Betrieb einer überregional zuständigen Drohnenleitstelle ist noch Neuland. Es existiert kein Pflichtenheft mit zu erfüllenden Anforderungen als detaillierte Kalkulationsgrundlage.

Aus diesem Grund werden bei der Kostenbetrachtung Erkenntnisse des RescueFly Projektes berücksichtigt. Die Frage, ob eine Drohnenleitstelle z. B. in Gebäudekomplexe existierender Leitstel-

25. Die Einzelposten der Kosten bestehen aus Schätzungen des Konsortiums, Marktrecherche und weiterer Befragungen von Experten.

26. Für den Hangar wurden Marktpreise von circa 29.000€ gefunden, vgl. z. B. Epotronic (o. J.): DJI Matrice 30T Dock Bundle, <https://epotronic.com/DJI-Matrice-30T-Dock-Bundle/956842>, zuletzt abgerufen: 26.02.2024.

len oder Flugüberwachung integriert wird, kann erst in Zukunft beantwortet werden. Als Kalkulationsgrundlage geht man von einem Gebäude aus, das sich an der europäischen Leitstellennorm DIN EN 50518 orientiert, und die Arbeitsplätze für Drohnenpiloten angemietet werden. Klare Erkenntnis des Projektes ist es, dass die existierenden Leitstellen der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr nicht die Aufgabe einer Drohnenleitstelle übernehmen wollen und können. Es wird berücksichtigt, dass zum einen für die Disposition von BOS-Einsätzen eine Schnittstelle zu

den existierenden IRLS geschaffen werden muss und zudem für die eigentliche Missionserfüllung gesondert ausgerüstete Fernpilotenarbeitsplätze inkl. Softwaretools zur Verfügung stehen müssen. Zudem werden Personalkosten und Softwarepflegekosten zu Grunde gelegt. Die Drohnenleitstelle ist nur für zivile Einsätze konzipiert, kann grundsätzlich aber BOS- und B2B-Aufgaben übernehmen. Im Rahmen des Projektes werden weder Einnahmenbetrachtung noch Analyse einer geeigneten Betriebsgesellschaftsform und deren finanzielle Auswirkungen betrachtet.

Tabelle 8: Kostenannahmen Drohnenleitstelle

|                              | <b>Kostenart</b>                     | <b>Einzelposten<sup>27</sup></b> |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Laufende Kosten p. a.</b> | Personalkosten Fernpilot             | 55.000 €                         |
| <b>Laufende Kosten p.a.</b>  | Räumlichkeiten Drohnenleitstelle     | 100.000 €                        |
| <b>Einmalig</b>              | Software-Plattform Drohnenleitstelle | 250.000 €                        |
| <b>Einmalig</b>              | Integration von IRLS Systemen        | 30.000 €                         |
| <b>Laufende Kosten p. a.</b> | Software-Pflege                      | 60.000 €                         |

27. Die Einzelposten der Kosten bestehen aus Schätzungen des Konsortiums, Marktrecherche und weiterer Befragungen von Experten.

## 6.5 Gesamtkostenbetrachtung

### 6.5.1 Mikrosicht (Projektgebiet)

In der Mikrosicht wird exakt das Projektszenario betrachtet: Die Abdeckung von zwei Seen, die eng aneinander liegen und nur durch eine

Landbrücke (Breite ca. 100 m) getrennt sind, mit einer Wasseroberfläche von jeweils ca. 10 qkm. Hierfür werden ungefähr die folgenden Kosten angenommen.

Tabelle 9: Kostenannahmen Mikrosicht (Projektgebiet)

|                      | Kostenart                          | Einzelposten | Option 1 Anzahl |
|----------------------|------------------------------------|--------------|-----------------|
| Einmalig             | Antennen                           | 8.000 €      | 2               |
| Einmalig             | Transponder HOD4track              | 1.250 €      | 1               |
| Einmalig             | Transponder Dronetag mini          | 300 €        | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Antennen OGS                       | 300 €        | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Antennen FGS                       | 1.450 €      | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Transponder HOD4rtrack             | 80 €         | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Transponder Dronetag mini          | 80 €         | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Software UTMpro                    | 1.800 €      | 3               |
| Laufende Kosten p.a. | Personalkosten Fernpilot           | 55.000 €     | 2               |
| Einmalig             | Drohne                             | 20.000 €     | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Wartung Drohne                     | 1.000 €      | 1               |
| Einmalig             | Anschaffung Hangar                 | 35.000 €     | 1               |
| Einmalig             | Planung und Errichtung des Hangars | 10.000 €     | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Wartung                            | 5.250 €      | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Energie/Kommunikation              | 500 €        | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Räumlichkeiten Drohnenleitstelle   | 100.000 €    | 1               |
| Einmalig             | Software-Plattform Leitstelle      | 250.000 €    | 1               |
| Einmalig             | Integration von IRLS Systeme       | 30.000 €     | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Software-Pflege                    | 60.000 €     | 1               |

Im Sinne der in 4.1 beschriebenen Optionen 1 (Dienstzeiten) und Option 2 (Badesaison) hinsichtlich der Betriebszeiten liegen die Betriebskosten pro Stunde zwischen 900 € und 1.800 €.

Landkreise in Sachsen). Diese Dimension ist in etwa vergleichbar mit der Einführung in einem mittelgroßen Bundesland. Es werden erste Skalierungseffekte berücksichtigt.

### 6.5.2 Makrosicht (Bundesland bzw. Seenlandschaft)

In der Makrosicht wird das Szenario betrachtet, dass das RescueFly System in der gesamten Seenlandschaft Brandenburg und Sachsen eingeführt wird (5 Landkreise in Brandenburg, 2

Betrachtet werden folgende Seen:

- Senftenberger See - 13 qkm - 1 System
- Sedlitzer See - 14,2 qkm - 1 System
- Großräschener See - 8 qkm - 1 System

- Scheibe-See - 6,9 qkm - 1 System
- Bärwalder See - 13 qkm - 1 System

Es ergeben sich Synergieeffekte bei nah zusammenliegenden Seen, ansonsten werden singuläre Systeme (UAV + Hangar + HOD) vor Ort benötigt. Die zentrale Infrastruktur kann jedoch geteilt werden und es ergeben sich erste Synergieeffekte. Die Annahme ist, dass ein weiterer PIC ausreicht, um die zusätzlichen Seen zu betreuen. Hinsichtlich des Antennen-Setups wären die derzeitige Position und Ausrichtung der Antennen ausreichend, um zumindest den Senftenberger See zuverlässig abzudecken. Bei weiter entfernten Seen, wie dem Sedlitzer und dem Großräscher See muss eine zunehmende

Fluktuation einkalkuliert werden, die z. B. durch den Verbau des FLARM-Senders am Helikopter beeinflusst werden kann. Um also eine volle Abdeckung der o. g. Seen sicherzustellen, empfiehlt sich ein abgewandeltes Setup der bereits stationierten Antennen und eine Ergänzung um weitere Antennen. Vorstellbar wäre eine 360-Grad Installation aus vier FGS, sowie zwei zusätzlichen Antennen an den Randgebieten (bspw. in Großräschen und Weißkollm).

Im Vergleich zu der Mikrosicht werden erste Skalierungseffekte sichtbar. Bezogen auf die Mikro-betrachtung sinken die Kosten pro System bei Option 2 (Badesaison, vgl. 4.1) um den Faktor vier auf ca. 220 € pro Stunde.

Tabelle 10: Kostenannahmen Makrosicht

|                      | Kostenart                        | Einzelposten | Option 2 Anzahl |
|----------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|
| Einmalig             | Antennen                         | 8.000 €      | 4               |
| Einmalig             | Transponder HOD4track            | 1.250 €      | 6               |
| Einmalig             | Transponder Dronetag mini        | 300 €        | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Antennen OGS                     | 300 €        | 2               |
| Laufende Kosten p.a. | Antennen FGS                     | 1.450 €      | 2               |
| Laufende Kosten p.a. | Transponder HOD4rtrack           | 80 €         | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Transponder Dronetag mini        | 80 €         | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Software UTMpro                  | 1.800 €      | 3               |
| Laufende Kosten p.a. | Personalkosten Fernpilot         | 55.000 €     | 5               |
| Einmalig             | Drohne                           | 20.000 €     | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Wartung Drohne                   | 1.000 €      | 6               |
| Einmalig             | Anschaffung Hangar               | 35.000 €     | 6               |
| Einmalig             | Planung und Errichtung           | 10.000 €     | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Wartung                          | 5.250 €      | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Energie/Kommunikation            | 500 €        | 6               |
| Laufende Kosten p.a. | Räumlichkeiten Drohnenleitstelle | 100.000 €    | 1               |
| Einmalig             | Software-Plattform Leitstelle    | 250.000 €    | 1               |
| Einmalig             | Integration von IRLS Systeme     | 30.000 €     | 1               |
| Laufende Kosten p.a. | Software-Pflege                  | 60.000 €     | 1               |

### 6.5.3 Zusatznutzenbetrachtung

#### Im BOS-Umfeld:

Bei der Kalkulation der Kosten für den primären Einsatzfall des Projektes ist es mit Hinblick auf eine Überführung in den Regelbetrieb notwendig, weitere BOS-Anwendungsfälle in die Betrachtung mit einfließen zu lassen. Zentrale Infrastruktur wie die Einrichtung einer BOS-Drohnenleitstelle, modularer UAS oder auch dezentraler Elemente wie Antennen sind nur durch Skalierung finanzierbar.

Betrachtet werden folgende Anwendungen im BOS-Umfeld: Waldbranddetektion, Hochwasser- / Starkregenerenignisse, Notfalllogistik, Rehkitzsuche, Kadaversuche (Afrikanische Schweinepest). Diese Anwendungen weisen teilweise eine große Komplementarität geografisch wie zeitlich auf. Dies bedeutet, dass das System in aller Regel zur Verfügung steht für die Wasserrettung.

Tabelle 11: Annahme weiterer BOS-Anwendungsfälle im Verhältnis zum primären Anwendungsfall Wasserrettung

| Primäre BOS Anwendungsfälle                           | Tendenz<br>stark zunehmend -<br>zunehmend -<br>gleichbleibend -<br>abnehmend | Geografisch<br>komplementär<br>zu Badeseen     | Zeitlich<br>komplementär                                       | Anteil an<br>primären<br>BOS<br>Anwendungsfällen<br>in % |
|---|--|--|--|--|
| Waldbranddetektion                                    | zunehmend bis stark zunehmend  | ja, großflächig                                | März bis Oktober   | 10-15  |
| Hochwasser- / Starkregenerenignisse                   | zunehmend  | Hochwasser: teilweise<br>Starkregen: Ja. Urban | Hochwasser:<br>ja, Nov - Jan<br>Starkregen:<br>nein, Jun - Aug | 5-10   |
| Rehkitzsuche  | gleichbleibend bis zunehmend   | teilweise, ja                                  | ja, Erntezeit  | 15-25  |
| Kadaversuche  | gleichbleibend bis zunehmend   | teilweise, ja                                  | ganzjährig, ja<br>zeitweise                                    | 15-25  |
| Brandbekämpfung                                       | zunehmend bis stark zunehmend  | ja, urban                                      | ganzjährig, ja<br>zeitweise                                    | 25-35  |
| Notfalllogistik (zeitkritisch)                        | gleichbleibend bis zunehmend (abhängig von Nutzlast)                         | ja, feste Strecken bzw. Punkt-zu Punkt         | ganzjährig, ja<br>zeitweise                                    | 10-15  |
| Sonstiges (z. B. Lagebild, Unfälle, Vermessungsflüge) | stark zunehmend  | ja, großflächig                                | ganzjährig, ja<br>zeitweise                                    | 5-10   |

### Außerhalb des BOS-Umfeldes:

Bei der Berücksichtigung von Kosten- bzw. Skalierungseffekten, die durch Anwendungsfälle außerhalb des BOS-Umfeldes stammen konnten, wurden u. a. folgende sekundäre Anwendungsfälle berücksichtigt.

Tabelle 12: Sekundäre Anwendungsfälle außerhalb des BOS-Umfelds

| Sekundäre Anwendungsfälle   | Tendenz<br>stark zunehmend - zunehmend -<br>gleichbleibend - abnehmend |
|---|--|
| (Medizinische) Logistik   | zunehmend bis stark zunehmend (bei geklärter Regulierung)              |
| Perimeterschutz <sup>28</sup>                                     | zunehmend bis stark zunehmend  |
| Inspektionen von Infrastruktur und Bauwerken, Gebäuden, Maschinen | zunehmend bis stark zunehmend  |
| Fortschrittsüberwachung in der Baubranche / Tagebau               | gleichbleibend bis stark zunehmend                                     |
| Vegetationsüberwachungen  | zunehmend bis stark zunehmend (Düngemittelvorschrift)                  |

Hier spielt deren Einfluss auf die Kostenstruktur lediglich insoweit eine Rolle, wie die Anwendung BVLOS stattfindet oder nicht. Anwendungen, die ausschließlich über Privatgelände stattfinden und bereits heute über eigene Leitstellen gesteuert werden, werden nicht berücksichtigt.

Die jeweiligen UAS werden im Anwendungsfall angeschafft und gewartet. Auch findet die Flugplanung beim Anbieter statt. Es werden lediglich zentrale Elemente der Infrastruktur genutzt. Damit reduzieren sich die Kosten für die öffentliche Hand.

Zur Sicherstellung der Servicebereitschaft müssen weitere Arbeitsplätze in der Drohnenleistung geschaffen werden, zusätzliche Drohnenpiloten angestellt werden und Software-Schnittstellen geschaffen werden.

Benchmark für die Betrachtung sind die Kosten, die bei einem Einsatz von Helikoptern aufkommen. Diese werden momentan auf ca. 80 – 100 €

pro Flugminute taxiert. Bei entsprechender Skalierung (z. B. im Bereich der Produktion) sowie Synergieeffekten kann die Flugminute für einen UAS-Einsatz erheblich günstiger sein als ein Helikoptereinsatz. Eine Wirtschaftlichkeit ist im Rahmen des Möglichen, sofern weitere BOS-Anwendungsfälle miteinkalkuliert werden. Prinzipiell sollte jedoch auch über Förderungsmöglichkeiten des Systems nachgedacht werden, um die hohen Erstanschaffungskosten auszugleichen. Denn gerade in der Lausitzer Seenlandschaft entstehen neue Seen durch die Flutung ehemaliger Braunkohletagebaue. Dies bedeutet jedoch weitere Seen, die in der Theorie eine Überwachung in Form von Rettungsschwimmern haben sollten, um so Menschen vor dem Ertrinken im besten Falle zu retten. In der Praxis ist dies aktuell nicht möglich, da schon nicht genügend Personal für die Schwimmbäder zur Verfügung steht, geschweige denn für die Küstenbereiche und weitere Badeseen. Hier kann das RescueFly-System einen Mehrwert leisten.

28. Unter Perimeterschutz wird die Inspektion von Infrastruktur und Bauwerken/Gebäuden/Maschinen, die Fortschrittsüberwachung in der Baubranche und im Tagebau, die Vegetationsüberwachung sowie die Logistik verstanden.

# 7 POLITISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE AKZEPTANZ

## 7.1 Wirkungen auf den Tourismus

Die Lausitz besitzt schon seit jeher vielfältige touristische Naturraumpotenziale wie z. B. den Spreewald, den Naturpark Niederlausitzer Heide-landschaft oder den Muskauer Park, welche viele Tagesausflügler und Touristen anlocken. Mit der geplanten Flutung der ehemaligen Braunkohle-tagebaue und den bereits existierenden Seen werden weitere naturnahe Erholungslandschaf-ten entstehen und damit die Attraktivität für Tou-risten und Ausflügler erhöhen. Im Fokus steht hier neben unterschiedlichen Wassersportaktivi-täten insbesondere Radsport/-wandern.

Die Einführung von Maßnahmen und Systemen, die im Falle eines Unfalls auf dem Wasser oder auf der Straße/Radweg schnell für Hilfe sorgen – das umschließt auch das Auffinden von Verun-fallten in unwegsamem Gelände – erhöhen auto-matisch das subjektive Gefühl von Sicherheit. Im Rahmen der Standortwahl für NRT, Wahr-scheinlichkeitsbetrachtung von möglichen Einsatz-gebiet wurden die anonymisierten Einsatzdaten der beiden für die Lausitz zuständigen Leitstel-len IRLS Lausitz und IRLS Ost-sachsen analysiert. Es zeigte sich eine Zunahme von Radunfällen, in die Radwanderer involviert waren. Durch man-

gelnde Ortskenntnis und ungenaue Ortung der Unfallstellen wächst der Bedarf der Leitstellen an zusätzlichen technischen Möglichkeiten. Hinzu-kommen auch Unfälle in rutschungsgefährdeten Sperrgebieten, die manchen Touristen unbe-kannt sind oder ignoriert werden. Diese Sperr-gebiete stellen BOS-Kräfte vor große Herausfor-derungen, aufgrund schwammiger rechtlicher Auslegung zur Befahrbarkeit der Gebiete. Ob und welche Sperrgebiete befahren werden, hängt aktuell nur vom sich im Dienst befindenden Ein-satzleiter ab, der allein die Verantwortung dafür übernimmt. Hier könnte ein UAS zur Lokalisation von hilfsbedürftigen Personen in oder in der Nähe solcher Gebiete beitragen und auch das Risiko für die BOS-Kräfte minimieren.

Grundsätzlich zeigen die Gespräche mit Verant-wortlichen für die Naherholungsangebote sowie für die Rettungskette, dass sich die Implemen-tierung eines Systems wie im Projekt entwickelt, positiv auf die Destination Lausitz ausüben wür-de. Das betrifft insbesondere das subjektive Ge-fühl der Sicherheit als auch den Eindruck eines innovativen Gebietes.

## 7.2 Wirkungen auf den Strukturwandel

Als europäische Modellregion für den Struktur-wandel könnte die großräumige Einführung eines UAS vgl. zu RescueFly als Musterlösung für an-dere Regionen und als eine Digitalisierung und Ergänzung von Rettungsmitteln genutzt werden. Durch die „steuernde“ Funktion einer Drohnen-leitstelle von Einsätzen inner- und außerhalb des BOS-Bereiches sowie von Ressourcen passt es in das Zielbild 'Modellregion Gesundheit' und 'Digitales Leitkrankenhaus CTK'. Auch andere Regionalleitstellenbereiche könnten das System entsprechend ihren Anforderungen umsetzen, sodass durch offene Standards weitere Vernet-zungen geschaffen werden und diese als Muster-lösung beispielhaft für andere Regionen gelten.

Bzgl. des Forschungs-, Innovations- und Wissen-schaftsstandortes Lausitz ermöglichte der Aufbau eines UAS-Systems wissenschaftliche Begleitfor-schung, neuartige Daten für die Versorgungs-forschung auf Basis von UAS, Kooperationen zur Entwicklung neuer UAS-Anwendungen in der Re-gion sowie eine Stärkung der anwendungsorien-tierten KI-Forschung.

Dem o. g. Modellcharakter könnte die Region gerecht werden, indem eine Plattform bzw. ein Ökosystem UAS implementiert werden, die An-wendungsfälle der Daseinsgrundversorgung im Bereich Gesundheit (Notfallhilfe, Medizinlogi-stik), Öffentliche Sicherheit (Lageaufklärung),

Feuerwehr (Waldbranddetektion) und Katastrophenschutz vereinen. Die zentral und dezentral notwendige Infrastruktur könnte dann auch die Basis für kommerzielle Anwendungsfälle bilden. Daraus resultiert ein Impuls für den gesamten

Sektor UAS mit neuen, hochqualifizierten Berufsbildern wie UAS-Mechatroniker, Drohnenleitstellendisponent, Fernpilot. Auch könnten innovative Kooperationsmodelle zwischen Wirtschaft und öffentlichem Dienst implementiert werden.

### 7.3 Wirkungen auf die Umwelt

Es gibt zu den Auswirkungen von UAV auf die Umwelt bisher kaum belastbare Studien. Eine Studie der Schweizerischen Vogelwarte Sempach von 2017 wertete in einer Literaturrecherche die verschiedenen Veröffentlichungen, die Reaktionen von Vögeln auf UAV getestet hatten. Eine Reaktion ist von verschiedenen Faktoren wie u. a. Flugmustern, Lärmpegel, Größe der UAV sowie Größe der Vögel abhängig. So zeigte sich, dass größere Vögel eher eine Reaktion zeigten als kleinere. Die stärkste Reaktion riefen zielgerichtete Flugmuster, größere UAV und benzinbetriebene (lautere) Motoren bei Vögeln hervor.<sup>29</sup> Neben offensichtlichen Verhaltensänderungen können jedoch auch anderweitige Stressreaktionen ausgelöst werden wie z. B. die Erhöhung des Herzschlags. Eine Studie aus dem Jahr 2021 zeigt erste Ergebnisse am Beispiel des brütenden Großen Brachvogels, nach denen Überflüge von UAV zu ähnlichen Reaktionen führen wie natürlich vorkommende Ereignisse wie z. B. die Reaktion auf Greifvögel.<sup>30</sup> Andere Studien stellten jedoch fest, dass der Einsatz von UAV nur geringe bis gar keine Verhaltensreaktionen von Tieren ausgelöst hat.<sup>31</sup> Die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg und das Bayerische Landesamt für Umwelt haben 2022 eine Handreichung zum Einsatz von UAS im Naturschutz herausgegeben. Die Studie formuliert auch einige Grundregeln, wie z. B. die

UAV nicht in unmittelbarer Nähe von Tieren starten oder landen zu lassen und möglichst kleine und leise UAV verwenden.<sup>32</sup>

Bei der Planung und Durchführung der Flugmission im Rahmen von RescueFly wurden geografische Gebiete sowie potenziell belebte Gebiete sorgfältig berücksichtigt. Dies umfasst die Einhaltung von Flugbeschränkungen und Sicherheitszonen. Entscheidend ist hier die Abwägung zwischen dem potenziellen Sicherheitsgewinn durch den UAS-Einsatz und dem durch die Mission induzierten Sicherheitsrisiko. In dringenden Fällen kann der PIC entscheiden, bestimmte restriktive Gebiete wie Naturschutzgebiete zu überfliegen, um Zeit zu sparen und die Effizienz der Rettungsaktion zu maximieren. Dabei wird jedoch beachtet, dass der Flug so gestaltet ist, dass dieser möglichst keine Störungen hervorruft. Schon allein aufgrund der Größe des UAV mit einem Gewicht von 5 kg ist die Gefahr reduziert, dass diese schwerwiegende Verhaltens- oder Stressreaktionen auslösen. Für den Rückflug hingegen wird die Flugroute unter strenger Einhaltung aller geografischer Beschränkungen berechnet. Dies gewährleistet, dass das UAV sicher und unter Einhaltung aller geltenden Vorschriften und Beschränkungen zum Hangar zurückkehrt.

29. Mulero-Pázmány, Margarita (et. Al.) (2017): Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review, PLoS ONE 12(6): e0178448.

30. Wulf, T.; Pietsch, M. (2021): Störungsanalyse von UAVs bei der Detektion von Nistplätzen des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) – Methode und erste Ergebnisse, Journal für Angewandte Geoinformatik, 7-2021, S. 180-189.

31. Vgl. Christie, K. S. (et. Al.) (2016): Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology, *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(5), S. 241-251; Vas, E. (et. Al.) (2015): Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines, *Biology Letters* 11(5), <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0754>.

32. Döring, S. (2022): Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring: Aktuelle Forschungsergebnisse und Erfahrungswerte zur störungsökologischen Wirkung von Drohnen, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg & Bayerisches Landesamt für Umwelt.

## 7.4 Öffentliche Wahrnehmung

Die Akzeptanz von zivil genutzten UAS ist in den letzten Jahren gestiegen. Eine repräsentative Umfrage des Verbands Unbemannte Luftfahrt aus dem Jahr 2022 zeigt, dass gegenüber 2019 die Akzeptanz zivil eingesetzter UAS um 7 % auf 51 % gestiegen ist. Dabei befürwortet eine Mehrheit der Befragten den Einsatz von UAS im Bereich humanitärer Hilfe, wie z. B. bei Naturkatastrophen (85 %) oder auch zum Transport von Organen, Medikamenten sowie Blutkonserven (62 %).

Privatsphäre bleibt eine große Herausforderung für den Einsatz zivil genutzter UAS. Insgesamt 78 % der Befragten sagten aus, dass sie eine Störung der Privatsphäre durch UAS als sehr wahrscheinliche bzw. als eher wahrscheinliche Herausforderung sehen. Eine weitere Herausforderung sehen die Befragten beim Einsatz von UAS für kriminelle Taten (75 %) oder terroristische Anschläge (70 %). Auch Unfälle durch Kollisionen und Abstürze sehen 69 % als Herausforderung.<sup>33</sup>



33. Verband Unbemannte Luftfahrt (2022): Was denken die Deutschen über Advanced Air Mobility?, [https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/04/20220624\\_Akzeptanzumfrage\\_DE\\_Lang.pdf](https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/04/20220624_Akzeptanzumfrage_DE_Lang.pdf).

# 8 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Im Laufe der Projektlaufzeit von RescueFly haben sich in den einzelnen Arbeitspaketen immer mal wieder Erkenntnisse ergeben, die eine Veränderung der staatlichen Regulierung oder der

Prozessstandards bei BOS sinnvoll erscheinen lassen. Nachfolgend sollen diese Erkenntnisse dargestellt und nach dem jeweiligen Träger einer Maßnahme untergliedert werden.

## 8.1 Empfehlungen an die Träger des Rettungswesens

Mit der potenziellen Bereitstellung einer einheitlichen Infrastruktur (Drohnenleitstelle) können BOS-Einsätze von UAS zentral koordiniert und von allen Landkreisen der Lausitz kooperativ in Anspruch genommen werden. Es erfolgt eine einheitliche und standardisierte Herangehensweise, die Skaleneffekte mit sich bringt. Es empfiehlt sich außerdem, eine einheitliche Luftlage zu erstellen und dabei möglichst qualitativ hochwertige Daten zu verwenden. Diese Luftlage soll nicht nur der Leitstelle zur Verfügung stehen, sondern auch mit Einsatzkräften am Boden geteilt werden.

Zusätzlich zu den im Projekt eingesetzten Werkzeugen zur Erhebung und Darstellung von Daten (siehe insbesondere 4.2) ist zudem eine Integration weiterer Luftverkehrsdaten speziell von BOS-Einsätzen sinnvoll. Diese Erkenntnis hat dazu beigetragen, dass derzeit bereits an der Entwicklung und dem Einsatz eines BOS-Tools gearbeitet wird. Diese Drone Operator App soll in Zusammenarbeit mit der ADAC-Luftrettung Einsatzkräfte am Boden vor sich nähernden BOS-Hubschraubern warnen. Dabei wird auch auf die Disposition des jeweiligen Hubschraubers über RescueTrack zurückgegriffen. Die Benutzung einer solchen Plattform empfiehlt sich gerade bei ad-hoc zeitkritischen Einsätzen, um ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten.

Durch die avisierte übergreifende technische Lösung werden Ersatz- und Ausfallkapazitäten für die UAS-Versorgung geschaffen, d. h. die UAS-Einsätze können ortsungebunden in der gesamten Lausitz erfolgen. Ebenso ist eine parallele Betreuung mehrerer Einsätze durch eine Drohnenleitstelle möglich. Dabei ist darauf zu achten, dass die eingesetzten UAS über LTE gesteuert und überwacht werden können und der Drohnenleitstand die Steuerung von unterschiedlichen UAS

von verschiedenen Herstellern erlaubt. Bei der Ausrüstung der UAS muss berücksichtigt werden, dass diese die Voraussetzungen für den Einsatz in unterschiedlichen Lufträumen wie bspw. unkontrolliertem und kontrolliertem Luftraum erfüllen, um größtmögliche Flexibilität zu bieten.

Das Vorhaben hätte mindestens für das Land Brandenburg Pilotcharakter und liefert eine Datengrundlage für einen bedarfsgerechten, zukünftigen Einsatz von UAS in der Lausitz.

Die interkommunale Vernetzung der Rettungsdienste der Brandenburger Lausitz ist bereits sehr vorangeschritten. Die Ergänzung um eine zentrale BOS-UAS-Leitstelle hätte versorgungstechnisch Wirkung für die gesamte Lausitz. Auch ist eine „Öffnung“ für die sächsischen Kommunen technisch möglich und sehr zu empfehlen.

Die heterogene bzw. eingeschränkte Datengrundlage stellte innerhalb des Projekts ein Problem dar. Daher wird zur Verbesserung der Datengrundlage angeraten, historische Einsatzdaten durch eine automatisierte und einheitliche Datenerfassung von Real-Einsätzen der Wasserrettung durch BOS-Kräfte (IRLS) zu erfassen, um so u. a. ein besseres Bild über mögliche Unfallorte zu bekommen. Dazu gehört auch eine wissenschaftliche Begleitforschung, u. a. zum Thema UAS-Einsatz im Rettungsdienst.

Das Gesamtsystem kann im Rahmen der interkommunalen Zusammenarbeit durch ein ähnliches Modell wie die IRLS Lausitz (s. u.) betrieben werden. Die Folgekosten für die sächsische Ausstattung sowie die Personalkosten der UAS-Leitstelle sollten für die BOS-Rettungsdienst Anwendungsfälle durch die Träger des Rettungsdienstes (Landkreis und Kreisfreie Städte) als Kosten des Rettungsdienstes getragen werden.

Weitere BOS-Einsätze (Feuerbekämpfung, polizeiliche Aufgaben) müssen mit den jeweiligen Kostenträgern besprochen werden. Auch hier können innovative Modelle im Rahmen eines Pilotbetriebes evaluiert werden.

Mit Hinblick auf ein grundlegendes Finanzierungsmodell ließe sich evtl. das Finanzierungsmodell des neu zu schaffenden Telenotarztes adaptieren. Hier ist die Stadt Cottbus als Träger der gemeinsamen Integrierten Regionalleitstelle für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Zentralen Komponenten (Basisinfrastruktur) verantwortlich. Die mobilen Komponenten in den dezentralen Rettungsmitteln werden durch die jeweiligen Träger des Rettungsdienstes verantwortet. Die Steuerung und Abstimmung für das Gesamtsystem werden ebenfalls durch die IRLS Lausitz der Stadt Cottbus übernommen. Diese Zusammenarbeit hat sich bewährt und stellt den Best-Practice-Ansatz dar, der seit vielen Jahren in der Region gelebt wird. Dies wäre auch im

Fall einer Drohnenleitstelle zu empfehlen. Hinzu kommt eine Vorgabe für die zentrale Beschaffung von UAS, damit die Modularität und Vernetzung gewährleistet sind.

- Eine nahtlose Integration der RescueFly-Systeme Drohnenhangar-Flugplanung in die Rettungsleitstellen benötigt offene Kommunikationsschnittstellen
- Festlegung sicherer Alternativlandeplätze für das UAS im Falle technischer Probleme (Systemausfall, verbleibende Batteriekapazität für Rückflug)
- Trotz der Privilegien von BOS-Einsätzen ist enge Zusammenarbeit zwischen den Behörden, den Rettungsdiensten und anderen relevanten Organisationen unerlässlich, um einen rechtlichen Rahmen zu festigen und eine effektive Koordinierung während der Rettungseinsätze zu unterstützen.

## 8.2 Empfehlungen an den Regulierer

Ein Beweggrund zur Durchführung des Projektes RescueFly war neben der Prüfung der o. g. Machbarkeiten auch die in Summe nicht befriedigende Situation bzgl. der Regulierung für den Einsatz von UAS im BOS und im B2B Bereich. Diese wird z.B. an dem Punkt deutlich, dass für die Specific Category eine stärkere Verzahnung zwischen den Landesluftfahrtbehörden und dem LBA notwendig wäre. In neun Bundesländern ist das LBA zuständig, in den restlichen sieben die jeweiligen Landesluftfahrtbehörden. Innerhalb des LBA existiert eine gute Harmonisierung und es findet ein regelmäßiger Erfahrungsaustausch statt, mit den Landesluftfahrtbehörden spricht man erfahrungsgemäß offiziell aber nur ca. zweimal pro Jahr und die Landesluftfahrtbehörden untereinander ebenso selten. Dass die Experten der jeweiligen Behörden nicht voneinander lernen und Erfahrungen teilen, hemmt das Tempo bzgl. der Genehmigung höherer Risikoklassen wie z.B. SAIL III und IV erheblich, weil es deutschlandweit nur wenige Anträge gibt.

Dieser Austausch ist von grundlegender Bedeutung auch für weitere Anwendungsfälle im Bereich Notfalllogistik oder BOS allgemein. Hier wäre eine enge Zusammenarbeit mit der EASA zur Ausarbeitung von Acceptable Means of Com-

pliance (MoC) für bestimmte Klassen wie SAIL III wünschenswert. Zurzeit fehlt das MoC für den Einsatz von Systemen zur Risikomitigation (ground risk und air risk) in High Robustness (bspw. flight termination systems oder detect and avoidance systems) sowie ein MoC für Transportbehälter gefährlicher Güter (nach ICAO Kategorisierung, also bspw. „unchecked blood“) und ein MoC für SAIL III als Alternative zu Do160/Do154/Do178. Insbesondere für die Etablierung von diversifizierten Geschäftsmodellen wäre eine Trennung von Transportmittel und Transportbehälter angezeigt.

Grundsätzlich sollte der Umbruch im Ground Risk Model von SORA 2.0 zu SORA 2.5 im Spätsommer 2024 genutzt werden, um endlich Klarheit bzgl. der intrinsic ground risk class nutzen. Die momentan diskutierte Variante, dass die SORA 2.5 durch das finale JARUS proposal und EASA rulemaking bestimmt wird, würde zu einem quantitativen ground risk model führen, was begrüßenswert ist. Nicht abschließend geklärt ist, allerdings welche Datengrundlage hierfür herangezogen werden soll. Damit gäbe es zwar klare Indikatoren wie viele Personen pro Quadratmeter zu welchem ground risk führen, aber ohne Datenquelle, die die jeweilige Bevölkerungsdich-

te festlegt, bliebe die Situation für Antragsteller unklar. Die dipul-Datenbank könnte hier eine unterstützende Rolle spielen.

Die praktische Erfahrung zeigt, dass ein standardisierter Umgang mit geographischen Gebieten nach §21h LuftVO erforderlich ist. Für eine Überfluggenehmigung sind für so gut wie jeden Anwendungsfall, der nicht über völlig unbewohntem Gebiet stattfindet, letztendlich zahlreiche Stakeholder zuständig und einzubeziehen. Dies erschwert die Skalierung von Anwendungsfällen und Routen im BOS und B2B Umfeld. Hier könnte eine Kartei mit Ansprechpartnern der jeweiligen Städte, Umweltbehörden, Energieversorger, Feuer-, Rettungs- und Polizeiwachen, usw. ein sinnvoller erster Schritt sein. Die Festlegung gemeinsamer Anforderungen/Kriterien mit den Stakeholdern und darauf aufbauende Dokumententemplates wären ein zweiter möglicher Schritt.

Als konkretes Ergebnis des Projektes RescueFly schlägt das Konsortium vor, ein Standardszenario (STS) für behördliche Drohnenrettungseinsätze, auch spezifiziert für automatisierte Wasserrettung, festzulegen. Hierbei sind Anforderungen im STS, einschließlich Voraussetzungen, Bedingungen und Verfahren zur Sicherstellung eines sicheren Flugbetriebs zu definieren. Dazu gehört die Konformität mit EU-Regelungen, damit das UAS nach den technischen Anforderungen der EU-Regelungen konstruiert, hergestellt, zugelassen und gewartet ist. Ebenso sind Ausrüstungsstandards festzusetzen. So sollte das Wasserrettungs-UAS mindestens über die Ausstattung verfügen, die für den Flugbetrieb im intendierten Luftraum für bemannte Luftfahrzeuge vorgeschrieben ist. Auch sollte das erhöhte Bodenrisiko berücksichtigt werden. Hierzu zählt die Forderung einer Risikobeurteilung der gesamten Mission für das intendierte Einsatzgebiet und Abwägung zwischen dem Sicherheitsgewinn durch die Mission und dem induzierten Risiko durch das Abweichen der Sicherheitsziele des EU-Drohnenrechts. Zudem braucht es eine Definition der geeigneten technischen Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos wie Redundanzen kritischer Systemkomponenten, akustische/optische Signale oder Mitigationsmaßnahmen, z. B. ein Rettungsschirm.

Empfohlen wird die Information der Öffentlichkeit über den Zweck und die Vorteile der UAS-gestützten Rettung und Anbringen von Warnhinwei-

sen an Stränden, zur Förderung der Akzeptanz in der Bevölkerung und zur Schärfung des Situationsbewusstseins. Über die Erweiterung der dipul-Datenbank um potenziell belebte Gebiete (Menschenansammlungen, z. B. Strand, Veranstaltungsgelände) und Hindernisse ist sinnvoll. Zusätzlich sollte die Flugplanung für den zeitkritischen Rückflug alle zivil-gewerblichen Regelungen einhalten. Erweiterte Notfallverfahren müssen für den automatisierten Flugbetrieb entwickelt werden.

Während der Mission ist die Sicherheit im Betriebsraum so zu gewährleisten, dass das UAV im vorgesehenen Betriebsraum bleibt, entsprechende technische Maßnahmen und Flugplanungsaspekte sind abzuleiten. Es ist eine Höhenbegrenzung für die Mission im STS festzulegen. Ein zuverlässiges und vollständiges Luftlagebild in Echtzeit ist beim Fernpiloten (Drohnenleitstelle) sowie bei weiteren beteiligten BOS-Organisationen (auch mobil im Einsatzgebiet) bereitzustellen. Dies setzt unter anderem eine flächendeckende Installation von zusätzlichen Empfängern im jeweiligen Landkreis / Bundesland voraus, um die notwendige Vollständigkeit der Luftlagedaten zu erreichen. Hier kann auf die im Projekt genutzte Technik aufgesetzt werden. Es sind Qualifikationsanforderungen für am UAS-Betrieb beteiligte Personen (PIC), einschließlich theoretischer und praktischer Fähigkeiten, zu definieren. Zudem sind spezifische Ausbildungsinhalte für Wasserrettungsszenarien in der Ausbildung der Fernpiloten und beteiligten Personen zu integrieren, um das Bodenrisiko korrekt einzuschätzen und zu minimieren. Durch die bislang nur geringe Erfahrung in diesen Rettungsfällen wird empfohlen, erfolgte Real-Einsätze unter Beachtung aller datenschutzrechtlichen Anforderungen in die Schulung einzubeziehen.

Das Projekt RescueFly hat gezeigt, dass ebenso geeignete Methoden zur Optimierung des Standortes der Drohnenhangars, um Flugwege zu minimieren und das Risiko für Dritte zu reduzieren, Anwendung finden müssen. Zuletzt ist die Erlaubnis zum Abwerfen von Rettungsmitteln, sofern keine Verletzungsgefahr für Personen besteht, zu klären, die derzeit noch manuell, aber durchaus auf Basis von Bilderkennung automatisiert erfolgen könnte.

## 9 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

- Braßel, H.; Zeh, T.; Fricke, H. (2022): Fast and Robust Optimization of Unmanned Aerial Vehicle Locations considering Restricted Areas, DLRK, Dresden, Germany.
- Braßel, H.; Zeh, T.; Fricke, H.; Eltner, A. (2023): Optimal UAV Hangar Locations for Emergency Services Considering Restricted Areas, *Drones* 2023(7), 203, <https://doi.org/10.3390/drones7030203>.
- Christie, K. S.; Gilbert, S. L.; Brown, C. L.; Hatfield, M.; Hanson, L. (2016): Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology, *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(5), S. 241-251.
- Collier, S. A.; Wade, T. J.; Sams, E. A.; Hlavsa, M. C.; Dufour, A. P.; Beach, M. J. (2015): Swimming in the USA: beachgoer characteristics and health outcomes at US marine and freshwater beaches, *Journal of water and health*, 13(2), S. 531-543.
- DLRG (2024): DLRG Statistik 2023: Mindestens 378 Menschen in Deutschland ertrunken, <https://www.dlrg.de/informieren/die-dlrg/presse/statistik-ertrinken/2023/presseinfo/>.
- DLRG (2022): Schwimmfähigkeit der Bevölkerung 2022, <https://www.dlrg.de/informieren/die-dlrg/presse/schwimmfaehigkeit/>.
- Döring, S. (2022): Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring: Aktuelle Forschungsergebnisse und Erfahrungswerte zur störungsökologischen Wirkung von Drohnen, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg & Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- Droniq (2022): Drohnennutzung im BOS-Segment – Ergebnisse der BOS-Umfrage 2022 von Droniq und dem Behörden Spiegel.
- Harras, M. S.; Saleh, S.; Battseren, B.; Hardt, W. (2023): Vision-based Propeller Damage Inspection Using Machine Learning, Embedded Selforganising Systems 10(7), Special Issue - Proceedings of ISCSET 2023, <https://doi.org/10.14464/ess.v10i7.604>.
- Khan Mohammadi, M.; Schneiderei, T.; Mansouri Yarahmadi, A.; Breuß, M. (2024): Investigating training datasets of real and synthetic images for swimmer localisation with YOLO, Preprints, <https://www.preprints.org/manuscript/202402.0446/v1>.
- Mulero-Pázmány, M.; Jenni-Eiermann, S.; Strebler, N; Sattler, T.; Negro, J. J.; Tablado, Z. (2017): Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review, *PLoS ONE* 12(6): e0178448.
- Schmidt, J.; Fügenschuh, A. (2023): A two-time-level model for mission and flight planning of an inhomogeneous fleet of unmanned aerial vehicles, *Computational Optimization and Applications*, 85(1), S. 293-335.
- Silva, I. D.; Pereira, L. C. C.; de Sousa, R. C.; Oliveira, S. D.; de O. Guimarães, D.; da Costa, R. M. (2011): Amazon Beaches (São Luís, Brazil) Recreational Use, Environmental Indicators, and the Perception of Beachgoers, *Journal of Coastal Research*, S. 1287-1291.
- Vas, E.; Lescroël, A.; Duriez, O.; Boguszewski, G.; Grémillet, D. (2015): Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines, *Biology Letters* 11(5), <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0754>.
- Verband Unbemannte Luftfahrt (2022): Was denken die Deutschen über Advanced Air Mobility?, [https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/04/20220624\\_Akzeptanzumfrage\\_DE\\_Lang.pdf](https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/04/20220624_Akzeptanzumfrage_DE_Lang.pdf).
- Verband Unbemannte Luftfahrt (2023): Studie zum deutschen Drohnen-, Flugtaxi- sowie Drohnen-detektions- und -abwehrmarkt, [https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/09/VUL-Marktstudie\\_2023\\_DE\\_f\\_.pdf](https://verband-unbemannte-luftfahrt.de/wp-content/uploads/2023/09/VUL-Marktstudie_2023_DE_f_.pdf).
- Wulf, T.; Pietsch, M. (2021): Störungsanalyse von UAVs bei der Detektion von Nistplätzen des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) – Methode und erste Ergebnisse, *Journal für Angewandte Geoinformatik*, 7-2021, S. 180-189.
- Yarahmadi, A. M.; Breuß, M.; Mohammadi, M. K. (2023): Explaining StyleGAN Synthesized Swimmer Images in Low-Dimensional Space, in: Proceedings of the Computer Analysis of Images and Patterns, Cham, S. 164-173, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44237-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44237-7_16).

## 10 AUTORENVERZEICHNIS

**Joachim von Beesten:** Geschäftsführer Björn Steiger Stiftung

**Hannes Braßel:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Technologie und Logistik des Luftverkehrs, Institut für Luftfahrt und Logistik, TU Dresden

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael Breuß:** Professor am Fachgebiet für Angewandte Mathematik, Institut für Mathematik, BTU Cottbus-Senftenberg

**Prof. Dr.-Ing. Hartmut Fricke:** Inhaber der Professur für Technologie und Logistik des Luftverkehrs, Institut für Luftfahrt und Logistik, Technische Universität Dresden

**Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfram Hardt:** Inhaber Professur für Technische Informatik, Fakultät für Informatik, Technische Universität Chemnitz

**Dr. Ariane Heller:** Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Technische Informatik, Fakultät für Informatik, Technische Universität Chemnitz

**Esther Kern:** Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Brandenburgischen Institut für Gesellschaft und Sicherheit

**Mohsen Khan Mohammadi:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Angewandte Mathematik, Institut für Mathematik, BTU Cottbus-Senftenberg

**Dr.-Ing. Martin Lindner:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Technologie und Logistik des Luftverkehrs, Institut für Luftfahrt und Logistik, TU Dresden

**Emily Pfister:** Business Development Manager, Droniq GmbH

**Dr. rer. nat. Toni Schneidereit:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Angewandte Mathematik, Institut für Mathematik, BTU Cottbus-Senftenberg

**Dr. Tim Stuchtey:** Geschäftsführender Direktor Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit

**Dr. Ashkan Mansouri Yarahmadi:** Technischer Mitarbeiter am Fachgebiet für Angewandte Mathematik, Institut für Mathematik, BTU Cottbus-Senftenberg

**Thomas Zeh:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Technologie und Logistik des Luftverkehrs, Institut für Luftfahrt und Logistik, TU Dresden

**Sascha Zell:** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Ingenieurmathematik und Numerik der Optimierung, Institut für Mathematik, BTU Cottbus-Senftenberg

**Thomas Zügel:** Leiter Fachbereich Forschung und Entwicklung MINTMASTERS GmbH

## 11 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1:  | Infografik Todesfälle durch Ertrinken.   | 9  |
| Abbildung 2:  | Todesfälle nach Gewässerarten.   | 9  |
| Abbildung 3:  | Verteilung der Windgeschwindigkeiten in Deutschland auf Level 64 (mittlere Höhe: 36,87 m über Grund) im Zeitraum vom 02.03.2022 bis zum 02.11.2022 basierend auf dem Modell DWD ICON-D2. | 14 |
| Abbildung 4:  | Bestimmung der Größe der Landeplattform.   | 19 |
| Abbildung 5:  | Teilweise geöffneter Drohnenhangar, Flugtauglichkeitssensorik im gelb markierten Bereich.  | 21 |
| Abbildung 6:  | Prototypische Benutzeroberfläche für die Flugplanung für das Seengebiet (links) und im Nahbereich/Suchgebiet (rechts).   | 23 |
| Abbildung 7:  | Flugplan Demonstratorflug RescueFly mit einer Anflug- und Suchhöhe von 30 m.   | 24 |
| Abbildung 8:  | Beispiel für den optimalen Hangar-Standort mit Risikogebieten.   | 31 |
| Abbildung 9:  | Historische Einsatzdaten in den Jahren 2019 bis 2022 mit und ohne direkten Badebezug, erfasst von der IRLS Lausitz und IRLS Ostachsen.   | 32 |
| Abbildung 10: | Nutzung der Badeseen resultierend aus Datenauswertungen von OSM, dipul und historischen Einsatzdaten, Partwitzer See, Geierswalder See, Senftenberger See.                               | 33 |
| Abbildung 11: | Simulation einer S&R-Mission am Partwitzer Strand mit Flugtrajektorie des UAS gewichteten Anflugpunkten und vermutetem Unfallort.  | 34 |
| Abbildung 12: | Aufnahme des Demonstrationsflugs im Oktober 2023.  | 35 |
| Abbildung 13: | Screenshot der Droniq Live-Luftlage bei der Vorführung im Oktober 2023.  | 36 |
| Abbildung 14: | Anzeige der Droniq Live-Luftlage auf mobilem Endgerät.   | 36 |
| Abbildung 15: | Standorte der NRT aufgrund der Nutzung von Uferabschnitten sowie öffentlichkeitswirksamen / touristischen Stellen.   | 37 |
| Abbildung 16: | Bildererkennung synthetisch hergestellter Datensätze mittels kaggle-Daten.   | 38 |
| Abbildung 17: | Action Recognition von Schwimmern im Partwitzer See.   | 40 |
|               |  |    |
| Tabelle 1:    | OSM-Features für Risikogebiete   | 28 |
| Tabelle 2:    | OSM-Features der positiven Standortfaktoren  | 28 |
| Tabelle 3:    | OSM-Features für negative Standortfaktoren   | 29 |
| Tabelle 4:    | OSM-Features für Straßenzugang des Hangars   | 29 |
| Tabelle 5:    | Klassen für die Action Recognition   | 39 |
| Tabelle 6:    | Kostenannahmen Drohne  | 44 |
| Tabelle 7:    | Kostenannahmen Drohnenhangar   | 45 |
| Tabelle 8:    | Kostenannahmen Drohnenleitstelle   | 46 |
| Tabelle 9:    | Kostenannahmen Mikrosicht (Projektgebiet)  | 47 |
| Tabelle 10:   | Kostenannahmen Makrosicht  | 48 |
| Tabelle 11:   | Annahme weiterer BOS-Anwendungsfälle im Verhältnis zum primären Anwendungsfall Wasserrettung   | 49 |
| Tabelle 12:   | Sekundäre Anwendungsfälle außerhalb des BOS-Umfelds  | 50 |

## 12 Verbundpartner des RescueFly-Projekts

### 12.1 Björn Steiger Stiftung



Die Björn Steiger Stiftung SbR mit Sitz in Winnenden ist eine gemeinnützige Organisation und setzt sich seit mehr als 50 Jahren für die Verbesserung des Rettungswesens und der Notfallhilfe ein. Meilensteine dieses Engagements sind die Einführung der bundesweit einheitlichen und kostenfreien Notrufnummern 110/112, der Aufbau der Notruftelefonnetze an deutschen Straßen, der Aufbau der Luftrettung sowie eine bundesweite mit allen Leitstellen vernetzte Notfall-App. Seit 2019 stellt die Stiftung neu entwickelte, moderne Notrufsäulen an Badegewässern und anderen Notfallschwerpunkten auf und beteiligt sich national wie international an innovativen Entwicklungen, die die Verbesserung des Rettungs- und Notfallwesens zum Ziel haben. Die Stiftung agiert hier als Think Tank, um innovative Ideen und Lösungsansätze für Herausforderungen im Gesundheitssystem konkret umzusetzen und mithilfe von Netzwerken zu skalieren.

### 12.2 Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit



Das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit (BIGS) ist ein unabhängiges, überparteiliches und nicht-gewinnorientiertes Institut in Potsdam mit der Mission, durch eigene anwendungsorientierte Forschung, Analysen, Veröffentlichungen und Veranstaltungen Fragen und Herausforderungen ziviler Sicherheit zu begegnen und Brücken zwischen Theorie und Praxis zu schlagen. Das Institut soll einen Beitrag dazu leisten, die Interdisziplinarität des Problems „Sicherheit“ zu reflektieren, entsprechend zu analysieren und so dazu beizutragen, dass wissenschaftliche Erkenntnisse umfassend berücksichtigt werden, wenn sich der Staat, die Gesellschaft und die Wirtschaft Herausforderungen ziviler Sicherheit stellt.

### 12.3 BTU Cottbus-Senftenberg



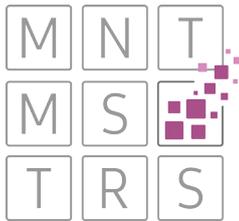
Die Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg steht für die Entwicklung praxisrelevanter Lösungen für die Gestaltung der großen Zukunftsthemen und Transformationsprozesse, sowohl auf regionaler als auch auf internationaler Ebene. Dabei werden innovative technische Anwendungen in enger Kooperation mit Partnern und Partnerinnen aus Wissenschaft und Wirtschaft erforscht. Die Professur für Ingenieurmathematik und Numerik der Optimierung unter Leitung von Prof. Dr. rer. nat. habil. Armin Fügenschuh forscht im Bereich des Operations Research an aktuellen Themen aus Industrie, Wirtschaft, Gesundheitswesen und Wissenschaft. Hier werden insbesondere Methoden der gemischt-ganzzahligen linearen und nichtlinearen numerischen Optimierung und Simulation eingesetzt. Grundthema der Forschung an der Professur für Angewandte Mathematik unter Leitung von Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael Breuß ist die Mathematische Bildverarbeitung. Der Fokus liegt auf partiellen Differentialgleichungen und deren Numerik, verschiedenen Optimierungsverfahren und Variationsansätzen und KI-Methoden für Bilderkennung und Tracking.

### 12.4 Droniq GmbH



Die Droniq GmbH ist ein 2019 gegründetes Joint Venture der DFS Deutsche Flugsicherung (51 % Anteil) und der Deutschen Telekom (49 % Anteil). Das in Frankfurt am Main ansässige Unternehmen hat es sich zur Aufgabe gemacht, den professionellen und sicheren Einsatz von Drohnen bei Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben sowie bei Unternehmen zu fördern. Kern des Produktangebots von Droniq ist das Droniq Verkehrsmanagementsystem für Drohnen (UTM). Das UTM zeigt dem Piloten den gesamten ihn umgebenden Flugverkehr an – bemannt wie unbemannt. Ferner können auch die anderen Flugverkehrsteilnehmer die Drohne bei Bedarf sehen. Mit diesem in Deutschland einmaligen System schafft Droniq die Grundlage, Drohnen auch außerhalb der Sichtweite sicher einzusetzen. Zu den weiteren von der Droniq angebotenen Leistungen zählen der Verkauf von Drohnen für den gewerblichen und behördlichen Drohneneinsatz sowie Hard- und Software-Lösungen für den sicheren Betrieb. Darüber hinaus unterstützt sie ihre Kunden bei der Beantragung von Betriebserlaubnissen und berät bei der Missionsplanung. Mit seiner u. a. Frankfurt und Mönchengladbach vertretenen Droniq Academy bietet das Unternehmen zudem die Möglichkeit, Schulungen und Prüfungen für Fernpiloten zu absolvieren. Zu den Kunden der Droniq zählen u.a. Bundes- und Landespolizeieinheiten sowie Feuerwehren, Rettungskräfte und Unternehmen aus den Bereichen Chemie, Logistik, Bau und Security.

## 12.5 MINTMASTERS GmbH



Die MINTMASTERS GmbH beschäftigt sich mit der Entwicklung, der Herstellung und dem Vertrieb von robotischen Systemen und Zubehör – u.a. zur Verbesserung der Notfallhilfe, als Lehrmittel für Schulen und Universitäten, als Werkzeuge im behördlichen Umfeld sowie in weiten Bereichen der Forschung und Entwicklung UAS gebundener Aufgaben und Sensoriken. Ebenso gehört die Aus- und Weiterbildung (einschließlich von Lehrkräften) an robotischen Systemen und Zubehör dazu. MINTMASTERS bietet weitreichende Ingenieurtechnische Dienstleistungen und Entwicklungen im Bereich der Einsatzrobotik an. Als Problemlöser kommen wir immer dann zum Einsatz, wenn Anforderungen über ein hohes Maß an Knowhow und Fachwissen bedürfen. Spezialisiert auf modulare Lösungen im Tätigkeitsfeld Luft- Boden- und Wasserrobotik verfügt die MINTMASTERS GmbH über Knowhow von der 3D Animation über die 3D Konstruktion bis zur adaptiven Fertigung im eigenen Hause. Die Bereiche Softwareentwicklung und PCB Design mit SMD Fertigung komplettieren den Anspruch des Unternehmens, Lösungen für komplexe Anforderungen unserer Kunden anbieten zu können.

## 12.6 Technische Universität Chemnitz



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfram Hardt leitet seit 2003 die Professur Technische Informatik an der Technischen Universität Chemnitz. Die Professur Technische Informatik ist fachkompetent bei der Konzeptionierung, Entwicklung und dem Test von Hard- und Softwareplattformen. Dabei befasst sich die Professur vor allem mit Hardware-Software-Codesign und KI-basierten eingebetteten Systemen. Praxisorientierte und strukturierte Vorgehensweisen bei der Entwicklung solcher Systeme für Demonstratorplattformen und Industrieanwendungen, zum Beispiel autonome Luftinspektionen, stehen dabei im Vordergrund. Sie bilden den Schlüssel zur Schaffung zuverlässiger, robuster, leicht wart- und testbarer Soft- und Hardwarelösungen. Die Professur Technische Informatik kann auf Wissen und langjährige Erfahrung aus verschiedenen erfolgreichen Projekten zurückgreifen. Beispielweise durch die Beteiligung bei SAGITTA – Open Innovation und OPIRA, beide unter Leitung von Airbus Innovationsteams. Bei OPIRA hat die Professur Technische Informatik im Teilprojekt neue Avionik-Computersysteme an einer hochperformanten, stereoskopischen Bildverarbeitungskette auf rekonfigurierbarer Hardware gearbeitet. Im Rahmen des OPIRA Projektes wurden in einem gesamtsystemischen Ansatz technologische Lösungen zur Steigerung der Sicherheit im Luftverkehr und den Betrieb von RPAS (Remotely Piloted Aerial Systems) für zivile Anwendungen untersucht. Dies erfolgte mit dem Fokus auf die Optimierung von Piloten-/ Operator-Assistenzsystemen, die mittels moderner Avioniksysteme leistungs- und kosteneffizient integriert und umgesetzt wurden.

## 12.7 Technische Universität Dresden



Die Professur für Technologie und Logistik des Luftverkehrs im Institut für Luftfahrt und Logistik (IfL) der verkehrswissenschaftlichen Fakultät der TU Dresden lehrt und forscht auf fünf Schwerpunkten der Luftfahrt. Ein hochmotiviertes Team aus wissenschaftlichen Mitarbeitern wendet sich den Bereichen „Airport Operations/Data Mining“, „Airspace Management/Network Optimization“, „Safety“, „Trajectory Management/Flight Guidance“ und „Unbemannte Luftfahrt/Drones/Urban Air Mobility“ zu. Prof. Dr.-Ing. Hartmut Fricke ist seit 2001 Inhaber der Professur und Institutsdirektor des Instituts für Luftfahrt und Logistik, das seit 2018 auch die Professur für Hubschraubertechnologie als gemeinsame Berufung mit dem DLR in Braunschweig, Institut für Systemtechnik umfasst. Das Portfolio des Lehrstuhls deckt damit alle gängigen Flugzeugkonfigurationen und Einsatzspektren ab. Hartmut Fricke und sein Team publizieren regelmäßig auf den führenden internationalen Tagungen im Bereich Air Traffic Management, Digital Avionics sowie Operations Research und den einschlägigen wissenschaftlichen Journalen. In ihren grundlagen- und implementierungsnahen Forschungen arbeitet die Professur eng mit zahlreichen nationalen und europäischen Partnern des Luftverkehrssystems zusammen.

# BIGS

BRANDENBURGISCHES INSTITUT  
für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT

Das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit ist ein unabhängiges, überparteiliches und nicht-gewinnorientiertes Institut in Potsdam mit der Mission, Brücken zwischen Theorie und Praxis zu bauen, um durch seinen multi- und interdisziplinären Ansatz einen Beitrag zur Stärkung der zivilen Sicherheit zu leisten.

*Located in Potsdam, the Brandenburg Institute for Society and Security is an independent, non-partisan, non-profit organization with an inter- and multidisciplinary approach with a mission to close the gap between academia and practice in civil security.*

[www.bigs-potsdam.org](http://www.bigs-potsdam.org)