



BAR Dipl.-Ing. (FH) Christian Pesch
Aufstiegsbeamter
Feuerwehr Dortmund

Fachartikel

Zukunft bei Taucheinsätzen der Feuerwehren

Facharbeit gemäß § 20 Abs. 1 VAP2.2-Feu NRW

Meschede, den 13.06.2024

Aufgabenstellung

Zukunft bei Taucheinsätzen der Feuerwehren

Die Ausbildung der Feuerwehrtaucher ist sehr aufwändig. Einsätze sind eher selten, dafür sehr anspruchsvoll. Insbesondere die Suche von vermissten Personen in Gewässern verläuft oft erfolglos. Inwieweit können technische Entwicklungen wie z. B. Echolot, Unterwasserdrohnen und GPS- Orientierung unter Wasser zu einer Verbesserung des Einsatzerfolges führen? Welche weiteren technischen Entwicklungen und Neuerungen könnten Feuerwehrtaucher in der Zukunft unterstützen? Geben Sie einen Überblick über aktuelle Entwicklungen und Trends und bewerten Sie diese aus Ihrer Sicht hinsichtlich der Eignung für den Feuerwehreinsatz.

Hinweis: In diesem Fachartikel wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Abkürzungsverzeichnis

AGBF	<u>A</u> rbeitsgemeinschaft der Leiter der <u>B</u> erufsfeuerwehren
BHKG NRW	<u>G</u> esetz über den <u>B</u> randschutz, die <u>H</u> ilfeleistung und den <u>K</u> atastrophenschutz NRW
bzw.	beziehungsweise
DLRG e. V.	<u>D</u> eutsche <u>L</u> ebens- <u>R</u> ettungs- <u>G</u> esellschaft e. V.
Downscan Echolot	Echolot, das den Bereich unter dem Boot erfasst
etc.	et cetera, lateinisch für: und so weiter
EU	<u>E</u> uropäische <u>U</u> nion
FwDV	<u>F</u> euerweh <u>r</u> diens <u>v</u> orschrift
ggf.	gegebenenfalls
GPS	<u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem, satellitengestütztes Navigationssystem
RC	<u>R</u> emote <u>C</u> ontrolled, englisch für: ferngesteuert
ROV	<u>R</u> emotely <u>O</u> perated <u>V</u> ehicle, englisch für: Tauchroboter, Unterwasserdrohne
Sidescan Echolot	Echolot, das die Seitenbereiche neben dem Boot erfasst
UWIS- System	<u>U</u> nterwasser- <u>I</u> nformations- <u>S</u> ystem
WLAN	<u>W</u> ireless <u>L</u> ocal <u>A</u> rea <u>N</u> etwork, kabelloses lokales Netzwerk
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Todesfälle durch Ertrinken 2023, nach DLRG e. V. 2024 (eigene Darstellung).....	2
Abb. 2: Übungspuppe auf Echolot (SAR-Unterwasser-Systeme GmbH, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum 04.04.2024)	4
Abb. 3: seascape® (TechAdVision GmbH, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum 15.04.2024).....	5
Abb. 4: ROV der Landespolizei NRW (eigene Darstellung).....	5
Abb. 5: UWIS System (eigene Darstellung)	5
Abb. 6: Projekt DeeperSense (DFKI, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum: 28.03.2024).....	6
Abb. 7: Projekt CELIDON (Feuerwehr Dortmund IFR, 2021, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum: 20.03.2024)	6
Abb. 8: Rettungsroboter (Fraunhofer IOSB-AST, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum: 27.03.2024)	6

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Nutzwertanalyse, Ergebnisse Gesamtnutzwert je Einsatzszenario (eigene Darst.).....	7
Tab. 2: Nutzwertanalyse, Zielerfüllungsfaktor (eigene Darstellung).....	9
Tab. 3: Nutzwertanalyse, Gewichtung (eigene Darstellung).....	9
Tab. 4: Dokumentation der Literaturrecherche (eigene Darstellung).....	11
Tab. 5: Dokumentation persönlicher Korrespondenz (eigene Darstellung)	12
Tab. 6: Entscheidungsmöglichkeiten, Kurzübersicht (eigene Darstellung).....	17
Tab. 7: Feuerwehrtaucher, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)	19
Tab. 8: Unterwasserroboter, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung).....	20
Tab. 9: Echolot vom Boot, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)	21
Tab. 10: Echolot vom ferngesteuerten Kleinstboot, einsatzmittelspez. Kriterien (eigene Darst.).....	22
Tab. 11: Handgeführttest Echolot, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)	23

Inhalt

Teil I: Fachartikel	1
Kurzzusammenfassung	1
1 Einleitung	2
2 Darstellung der Problemstellung	2
3 Herangehensweise	3
3.1 Forschungsfrage	3
3.2 Forschungsansatz	4
3.3 Methodik	4
4 Ergebnisse	4
4.1 Aktueller Stand anwendungsreifer Technik	4
4.1.1 Echolottechnik	4
4.1.2 Ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge	5
4.1.3 Unterwassernavigation	5
4.2 Aktueller Stand korrelierender aktueller Forschungsvorhaben	5
4.2.1 Projekt "DeeperSense"	5
4.2.2 Projekt "CELIDON"	6
4.2.3 Projekt "Roboter zur Rettung von Menschen aus dem Wasser"	6
5 Diskussion	6
5.1 Entscheidungsmöglichkeiten	6
5.2 Einsatzszenarien	7
5.3 Vorhalteaufwand	7
5.4 Einsatzmittelspezifische Kriterien	7
5.5 Zielerfüllungsfaktor und Gewichtung	7
5.6 Ergebnisse und Interpretation	7
6 Fazit	8
Teil II: Methoden-, Literatur- und Quellendokumentation	9
1 Beschreibung der Methodik	9
1.1 Festlegung der Entscheidungsmöglichkeiten	9
1.2 Festlegung der Einsatzszenarien	9
1.3 Ermittlung des Vorhalteaufwandes	9
1.4 Ermittlung der einsatzmittelspezifischen Kriterien	9
1.5 Festlegung des Zielerfüllungsfaktor und der Gewichtung	9
1.6 Berechnung der Ergebnisse	10
2 Begründung	10
3 Literatur- und Quellendokumentation	11
3.1 Beschreibung der Literatur- und Quellensuche und der Datenbanken	11
3.2 Übersicht über die Ergebnisse der Literatur- und Quellendokumentation	11

3.2.1 Dokumentation der Literaturrecherche	11
3.2.2 Dokumentation persönlicher Korrespondenz.....	12
3.3 Kriterien der Literatur- und Quellenauswahl	13
3.4 Zusammenfassende Beschreibung der ausgewählten Literatur und Quellen.....	13
Literaturverzeichnis	14
A. Anhänge.....	17
1 Darstellung der Entscheidungsmöglichkeiten; Referenzprodukte.....	17
1.1 Taucher	17
1.2 Unterwasserroboter	17
1.3 Echolot vom Rettungsboot	17
1.4 Echolot vom ferngesteuerten Kleinstboot.....	17
1.5 Handgeführtes Echolot.....	18
1.6 UWIS Unterwasser Navigationssystem.....	18
2 Punktevergabe der Nutzwertanalyse.....	19
2.1 Feuerwehrtaucher	19
2.2 Unterwasserroboter	20
2.3 Echolot vom Rettungsboot	21
2.4 Echolot vom ferngesteuerten Kleinstboot.....	22
2.5 Handgeführtes Echolot.....	23
3 Eigenständigkeitserklärung	24

Teil I: Fachartikel

Kurzzusammenfassung

Der Fachartikel untersucht aktuelle marktreife Technik, die zu einer Verbesserung des Einsatzerfolgs der Feuerwehrtaucher führen kann. Darüber hinaus gewährt sie Einblicke in aktuelle korrelierende Forschungsvorhaben.

Anhand von validierten Experteninterviews werden die Einsatzszenarien *Absuche großer Wasserflächen*, *Absuche kleiner Wasserfläche*, *Absuche von Uferbereichen* und *Direkter Eingriff* abgeleitet.

Die marktreife Technik (*Unterwasserroboter*, *Echolot vom Boot*, *Ferngesteuertes Echolot vom Kleinstboot*, *Handgeführtes Echolot*) wird im Hinblick auf diese Einsatzszenarien anhand der einsatzmittelspezifischen Kriterien der Produkte mit einer Nutzwertanalyse bewertet.

Die Nutzwertanalyse zeigt, dass der Einsatz der Feuerwehrtaucher sehr gut mit am Markt verfügbarer Technik ergänzt werden kann, wobei sich für jedes Einsatzszenario jeweils bestgeeignete Technik ergibt.

Für die *Absuche großer Wasserflächen* ist insbesondere die Echolottechnik sehr gut geeignet, wobei das *Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot* am flexibelsten einsetzbar ist.

Die *Absuche kleiner Wasserfläche* („Spotsuche“) ist mit dem *Unterwasserroboter* sehr gut möglich. Neben einer sehr langen Einsatzdauer und erheblichen Tauchtiefe überzeugt das Gerät auch mit der Möglichkeit sehr gefährliche Bereiche zu erkunden und das sowohl mit Echolot- als auch optischer Kamertechnik.

Für die *Absuche von Uferbereichen* ist das *Handgeführte Echolot* gut geeignet, sofern es vom Ufersaum (flaches Wasser) aus eingesetzt werden kann. Im Übrigen ist auch das *Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot* sehr gut zur Absuche von Uferbereichen geeignet.

Für den *Direkten Eingriff* (das heißt Durchführung von Maßnahmen z. B. per Greifarm) ist neben dem Feuerwehrtaucher als einziges Gerät der *Unterwasserroboter* geeignet, der auch in diesem Einsatzszenario mit seiner sehr langen Einsatzdauer, möglichen Tauchtiefe und Möglichkeit in sehr gefährliche Bereiche vorzudringen überzeugt.

Einen erheblichen Sicherheitszugewinn für Feuerwehrtaucher stellt das ebenfalls in dem Fachartikel vorgestellte Unterwassernavigationssystem UWIS dar.

Durch Aufstellung eines strategischen Ziels Rettungstauchen 2035 versucht der Fachartikel die laufenden und zukünftigen korrelierenden Forschungsvorhaben, das heißt Entwicklungen und Trends, zum Thema an der Praxis des Feuerwehrtauchens auszurichten.

Der Fachartikel zeigt transparent, dass der Feuerwehrtaucher sehr gut mit aktuellen technischen Entwicklungen unterstützt werden kann. Deutlich wird die Notwendigkeit einer gezielten Auswahl für die jeweiligen Einsatzszenarien, wobei diese Arbeit als Entscheidungshilfe für diese Auswahl dienen kann.

1 Einleitung

In Deutschland sind im Jahr 2023 mindestens 378 Personen ertrunken (Deutsche-Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V. (DLRG e. V.), 2024). Der Wert entspricht einem ähnlichen Niveau der Vorjahre (DLRG e. V., 2024).

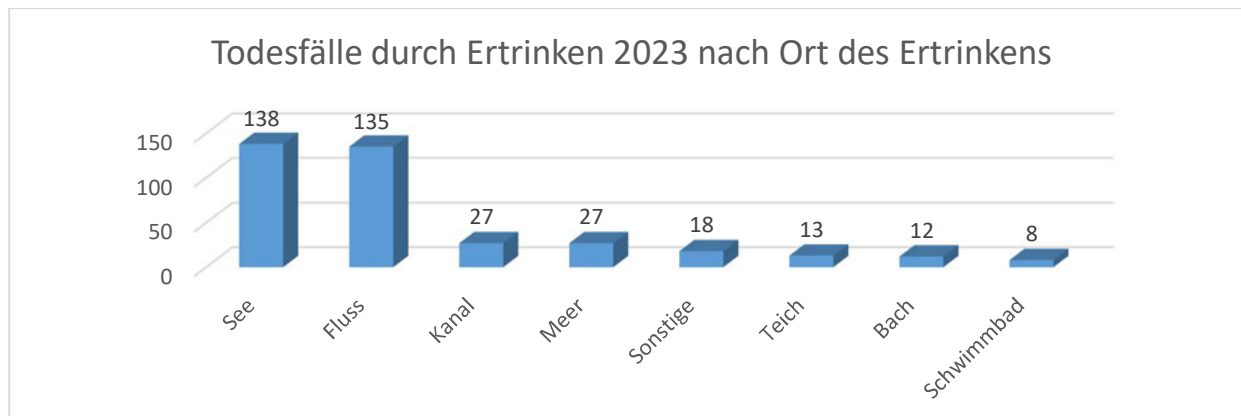


Abb. 1: Todesfälle durch Ertrinken 2023, nach DLRG e. V. 2024 (eigene Darstellung)

Mit dem Eintritt des Todes nach dem Untertauchen kann nach etwa zehn Minuten gerechnet werden (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2023). Nach Eintauchen in eiskaltes Wasser ist sogar schon in den ersten ein bis drei Minuten mit einem Kälteschock zu rechnen, der überwiegend zu sofortigem Ertrinken (80 % der Todesfälle) führt (DLRG e. V., 2014.). Es kann konstatiert werden, dass zur Rettung von Menschenleben in jedem Fall eine möglichst schnelle Hilfe erforderlich sein wird.

Ob eine in personeller wie auch materieller Hinsicht zweifelsohne aufwändig zu unterhaltende Tauchereinheit innerhalb der Feuerwehr vorgehalten wird, ist am Ende im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung eine Entscheidung der Gemeinde, die im Rahmen des Fachartikels nicht weiter thematisiert wird bzw. werden kann. Es sei aber erwähnt, dass die Gemeinden dafür Sorge zu tragen haben, „... dass die aufgestellten Einheiten in angemessener Zeit am Einsatzort eintreffen.“ (Schneider, 2016, 84) und dass es einer Gemeinde verwehrt ist „... auf die Anschaffung von erforderlichem Gerät von vorneherein deswegen zu verzichten, weil sie in einem Schadensfall beabsichtigt, im Wege der überörtlichen Hilfe auf Ausrüstungsgegenstände zurückzugreifen, die eine andere Gemeinde in Erfüllung ihrer Aufgaben angeschafft hat.“ (ebd.).

Sofern die Gemeinde als Ergebnis der Brandschutzbedarfsplanung die Notwendigkeit einer Tauchereinheit festgestellt hat, ist diese durch den Leiter der Feuerwehr den örtlichen Verhältnissen entsprechend auszustatten (BHKG NRW, 2024). Entsprechend sind am Markt verfügbare technische Neuerungen in die Überlegungen zur strategischen Einsatzplanung und technischen Ausstattung der Feuerwehr mit einzubeziehen. Das in besonderem Maße, wenn eine wesentliche Verbesserung des Einsatzerfolges bzw. ein wesentlich besserer Schutz der Einsatzkräfte zu erwarten ist.

Die Feuerwehr vertraut allerdings auch im Tauchwesen gerne auf bekannte und verlässliche Techniken und Taktiken, selbst wenn diese ggf. nicht dem neuesten Stand der Technik entsprechen (Demke, 2014, 494). Der Leiter der Feuerwehr Dortmund pointierte die Fähigkeit der Feuerwehr zur Anpassung gar so: „Als Autos die Straßen eroberten, hatte die Feuerwehr noch Experten für Pferdekutschen!“ (Aschenbrenner, 2020).

Der Fachartikel stellt die verfügbare marktreife Technik dar, bewertet diese auch aus gesamt-einsatztaktischer Sicht und stellt auf Grundlage aktueller Forschungsvorhaben einen realistischen strategischen Ansatz für den Taucheinsatz im Jahr 2035 auf.

2 Darstellung der Problemstellung

Feuerwehrtaucher sind Spezialisten unter Generalisten. Die Ausbildung eines Feuerwehrtauchers von der Einstellung bis zur vollen Einsatzbereitschaft ist langwierig und stellt besonders hohe physische und psychische Anforderungen an die Auszubildenden (FwDV 8, 2014). Für den Betrieb einer Tauchereinheit ist neben der technischen Ausstattung (insbesondere persönliche Schutzausrüstung und Tauchgeräte) auch ein spezielles Feuerwehrfahrzeug erforderlich. Einhergehend mit der erforderlichen wiederkehrenden

Wartung der technischen Geräte und Fortbildung der Feuerwehrtaucher ist insgesamt von hohen Vorhaltekosten auszugehen (Zandstra, 2024) (Schlagheck, 2024).

Eingedenk dieser Rahmenbedingungen stellen nur wenige Feuerwehren Tauchereinheiten auf. So ist z. B. in Nordrhein-Westfalen (NRW) schon aus der räumlichen Verteilung der Tauchereinheiten heraus eine längere Eintreffzeit als im üblichen Feuerwehreinsatz zu erwarten (Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren NRW, 2011).

Die Einsatzzeit des Tauchers unter Wasser ist neben dem Volumen der Atemluftflaschen abhängig von der Tiefe. Unter der (auf der sicheren Seite liegenden) Annahme noch ohne notwendige Dekompressionsstopps auftauchen zu können ist die Tauchzeit bei einer Tauchtiefe von 30 Metern z. B. auf 15 Minuten begrenzt. Abzüglich der einzuhaltenden Ein- und Austauschzeit bleibt eine Einsatzzeit von lediglich etwa 10 Minuten übrig. Die Tauchtiefe ist dabei für Feuerwehrtaucher auf maximal 30 Meter reglementiert. (FwDV 8, 2014). Mitunter kann es auch Rahmenbedingungen geben, die den Einsatz von Feuerwehrtauchern komplett ausschließen oder stark einschränken, wie etwa eine Kontamination des Gewässers, Unterwasserbauwerke, Strömung bzw. Sogwirkung sowie Eisbildung.

Die Personensuche unter Wasser ist aufwändig, maßgeblich von der Grundstruktur (Hindernisse, Klippen, Bewuchs, aufgewirbelter Schlamm) und von einer sorgfältigen wie auch zeitintensiven Vorplanung abhängig. Als Beispiel sei hier die Berufsfeuerwehr Dortmund genannt, die für die Suche einer Person unter noch günstigen Bedingungen eine Flächenleistung von 75 m² pro Minute veranschlagt (Dillenhöfer, 2024). Feuerwehrtaucher werden zwangsläufig auch mit dem Tod konfrontiert – und das in einer auch für den Taucher selbst lebensgefährlichen Umgebung. Zu berücksichtigen ist also auch die insbesondere aus Fürsorgesicht nicht unerhebliche „tiefergehende psychische Belastung des Rettungstauchers“. (Dr. Schiöberg-Schiegnitz, 1996).

Feuerwehrtaucher tauchen regelmäßig unter schwierigen Bedingungen. Insofern muss vor allem auch aus Sicht des Arbeitsschutzes in der Gefährdungsanalyse eine mittlere bis hohe Schadenseintrittswahrscheinlichkeit angenommen werden. In Kombination mit einem ebenfalls zu erwartenden schwerwiegenden Schadensausmaß (schwere Verletzungen / Tod) ergibt sich ein hohes Risiko, so dass eine Risikoreduzierung – etwa durch technische Maßnahmen – angezeigt ist (Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1988).

Zwischenfazit:

Feuerwehrtaucher sind einer hohen Gefährdung ausgesetzt. Die Flächenabsuche mit Feuerwehrtauchern ist vergleichsweise langsam, die Tauchzeit mit zunehmender Tiefe beschränkt.

Verbunden mit der geringen Gebietsabdeckung durch Tauchereinheiten ist mit einem langen Zeitraum bis zur Entdeckung/ Rettung von Personen zu rechnen.

- Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit, als auch zum Schutz der Feuerwehrtaucher vor vermeidbaren Gefahren ist die Implementierung ergänzender technischer Maßnahmen zu prüfen.

3 Herangehensweise

Bei diesem Fachartikel werden die „Anforderungen an die Facharbeit Teil I der Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen“ (IdF NRW, 2023) in Verbindung mit den Regelungen zur „Nutzung und Einbindung externer Quellen“ (IdF NRW, 2021) beachtet.

3.1 Forschungsfrage

Die aus der Aufgabenstellung abgeleitete Forschungsfrage lautet:

Wie können aktuelle technische Entwicklungen heute zu einer Verbesserung des Einsatzerfolgs der Feuerwehrtaucher führen und welche aktuellen Entwicklungen und Trends können in Zukunft zu einer Verbesserung des Einsatzerfolgs der Feuerwehrtaucher führen?

3.2 Forschungsansatz

Es wird ein qualitativer Ansatz zur Beantwortung der Fragestellungen gewählt. Das bedeutet, dass für die Interviews gezielt diejenigen Experten ausgewählt wurden, die dem Stand der Technik entsprechend ausgestattet sind.

Ein quantitativer Ansatz (etwa über eine Umfrage) ist nicht zielführend. Es sind erkennbar viele Tauchergruppen nicht hinreichend dem Stand der Technik entsprechend ausgestattet, so dass für einen aussagekräftigen quantitativen Ansatz keine ausreichende Datengrundlage zur Verfügung steht.

3.3 Methodik

Zur Erstellung des Fachartikels wird anhand von verschiedenen Methoden ein aufeinander aufbauendes stufenweises Vorgehen angewandt. Beginnend mit einer Literaturrecherche, die die aktuellen statistischen Zahlen, sowie erste Informationen zum aktuellen Stand der Technik liefert, erfolgt anschließend eine Konkretisierung sowie Validierung über Experteninterviews.

Da als Ergebnis der durchgeführten Literaturrecherche zu der untersuchten Forschungsfrage (siehe Teil II Kapitel 3.2.1) keine relevanten wissenschaftlichen Fachartikel in ausreichender Anzahl vorliegen, kann keine Metaanalyse der Literatur durchgeführt werden. Um die Bewertung der aktuellen Technik im Einsatz dennoch durchführen zu können werden Experteninterviews mit Anwendern der Technik durchgeführt, die sowohl dem Stand der Technik entsprechend ausgestattet sind als auch über eine langjährige Expertise verfügen. Die Experteninterviews erfolgen systematisch anhand der Einzelkriterien, so dass eine freie Struktur in der Gesprächsführung ermöglicht wird und trotzdem Vergleiche zwischen den Themenfeldern hergestellt werden können.

Die hier erarbeitete Theorie wird aus einer Nutzwertanalyse der einzelnen Einsatzoptionen (technischen Möglichkeiten) abgeleitet und bietet somit die Möglichkeit der Beurteilung der unterschiedlichen Optionen hinsichtlich ihrer Effektivität im Einsatz.

4 Ergebnisse

4.1 Aktueller Stand anwendungsreifer Technik

Zur Unterstützung der Feuerwehrtaucher ist anwendungsreife und leistungsfähige Technik am Markt verfügbar. Eine genaue Darstellung der herangezogenen Technik und technischen Daten sowie eine einleitende grafische Darstellung der verschiedenen Geräte bzw. Optionen – auch im Vergleich zu einem Feuerwehrtaucher – erfolgt im Anhang Kapitel A1. Militärische Technik wird nicht weiter betrachtet. Diese eignet sich in der Regel nicht für die Personensuche, ist zu groß bzw. schwer und unterliegt überwiegend der Geheimhaltung (Minschke, 2024) (OveHomann, 2024).

4.1.1 Echolottechnik

Während noch vor einigen Jahren die wenig aussagekräftige grafische Darstellung von Echoloten auf der Abfolge gemittelter Tiefenmessungen beruhte (Bartlett, 2005), sind heute fotorealistische Darstellungen möglich. Zur Personensuche eignen sich insbesondere sog. Sidescan Echolote, die den Gewässergrund mit bis zu 60 Meter Breite je Bootsseite erfassen. Bis zu 30 Meter Wassertiefe sind Personen gesichert interpretierbar. Die maximale realistische Tiefe für die Personensuche beträgt 60 Meter, die Mindesttiefe 0,5 Meter. Die Fläche eines Fußballfeldes (7.140 m²) kann in 16 Minuten gesichert (d.h. mehrfach befahren) abgesucht werden. Dabei stellen die Trübung des Wassers sowie in der Regel auch Wasserpflanzen kein Problem dar (Thöne, 2024).

Ein aktueller Trend ist der Einbau der Echolottechnik in kleine (0,7 m x 0,5 m x 0,3 m; 8 kg) ferngesteuerte (RC) Boote, siehe Abbildung 3. Diese sind bis zu einer Entfernung von 5 km fernsteuerbar und auch in der Lage eine vordefinierte Fläche autonom abzusuchen. Verdachtspunkte können zusätzlich bis zu einer Tiefe von 14 Meter direkt mit einer absenkbaren optischen Kamera kontrolliert werden. Sämtliche Echolot- sowie Kameradaten können an Land in Echtzeit verarbeitet werden. Die Einsatzzeit beträgt ca. 6 bis 8 Stunden (Hamm, 2024).

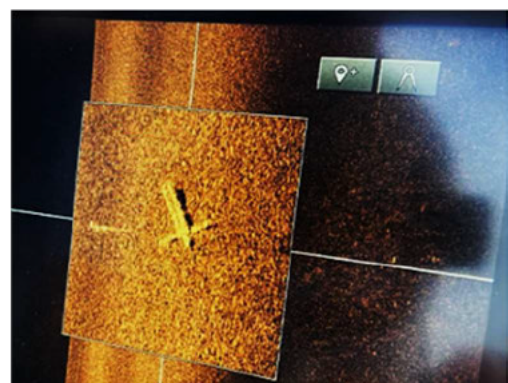


Abb. 2: Übungspuppe auf Echolot (SAR-Unterwasser-Systeme GmbH, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum 04.04.2024)

Eine noch sehr neue Einsatzoption ist das *Handgeführte Echolot* AQUA-EYE®. Mit dem bis 5 Meter Tiefe wasserdichten pistolenförmigen Echolot kann ein Bereich bis in 50 Metern Entfernung schnell abgesucht werden. Das Gerät verzichtet auf eine grafische Darstellung. Vielmehr wird die Signatur einer Person über künstliche Intelligenz erkannt und mit Distanz, Richtung und ungefähre Tiefe grafisch abstrahiert angezeigt. (Thöne, 2024) (Brettner, 2024).



Abb. 3: seascope® (TechAdVision GmbH, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum 15.04.2024)

4.1.2 Ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge

Die äußerst kompakte (0,44 x 0,24 x 0,72 Meter, 26 kg) Unterwasserdrohne DEEP TREKKER REVOLUTION® ist sehr leistungsstark und verfügt neben leistungsfähiger Kamera- sowie Echolottechnik auch über einen ferngesteuerten Greifarm, der eine Kraft bis etwa 1 kN aufbringen kann. Die Drohne ist bis zu 7,4 km/h schnell und die maximale Tauchtiefe beträgt 305 Meter. Zur Navigation ist ein Ultraschall-gestütztes Ortungssystem implementiert. Über ein gesondertes Echolot, das einen Punkt auf dem Gewässergrund fixiert, kann die Drohne auch in strömenden Gewässern eine exakte Stelle über Grund halten. Die Einsatzdauer beträgt mit Akku 8 Stunden. Eine Stromversorgung über Kabel ist ebenfalls möglich, so dass sich eine fast unbegrenzte Einsatzdauer ergibt (Thöne, 2024).



Abb. 4: ROV der Landespolizei NRW (eigene Darstellung)

4.1.3 Unterwassernavigation

Das UWIS® (UNTER-WASSER-INFORMATION-SYSTEM) ermöglicht die Navigation und Kommunikation unter Wasser. Am Taucher (oder auch ROV) wird ein Transponder angebracht, der per Ultraschall mit drei im Dreieck ausgebrachten Bojen an der Oberfläche kommuniziert. Diese wiederum verfügen über eine GPS-Anbindung und sind mit WLAN untereinander vernetzt, so dass der Standort des Tauchers trianguliert werden kann. Der Abstand der Bojen darf bis zu 1.000 Meter betragen, das System funktioniert bis 150 Meter Wassertiefe. Maximal 100 Taucher können in das System eingebunden werden. Der Standort kann sogar unter Wasser mit einem speziellen Tabletcomputer kartenreferenziert dargestellt werden. Die relative Genauigkeit beträgt $\pm 0,5$ Meter. (Thöne, 2024).

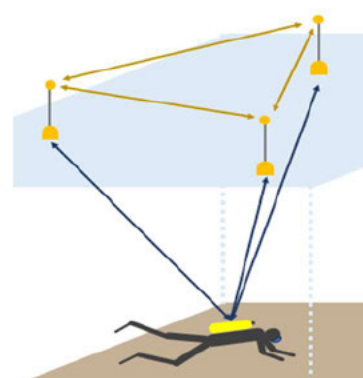


Abb. 5: UWIS-System (eigene Darstellung)

4.2 Aktueller Stand korrelierender aktueller Forschungsvorhaben

Nachfolgende Projekte stellen einen Überblick über derzeitige Forschungsvorhaben und Trends dar. Zwar vergehen bis zur Marktreife der Technik in der Regel noch Jahre, dennoch ist schon in diesem Stadium die Einbindung späterer Endanwender obligatorisch, so dass anhand der technischen Möglichkeiten praxistaugliche Endanwendungen quasi iterativ entwickelt werden.

4.2.1 Projekt "DeeperSense"

Die Sicht im Wasser ist durch Trübung (Algen, aufgewirbelte Sedimente, etc.) oftmals sehr eingeschränkt. Diesem Problem hat man sich im EU geförderten Projekt DeeperSense gewidmet. Mit einem ROV werden sowohl Kamera- als auch Sonarbilder in Echtzeit an eine Station über Wasser gesendet. Mit einem eigens entwickelten Algorithmus werden die SonarDaten aufbereitet und als quasi-optische Daten in das Kamerabild implementiert (Vögele, 2024).

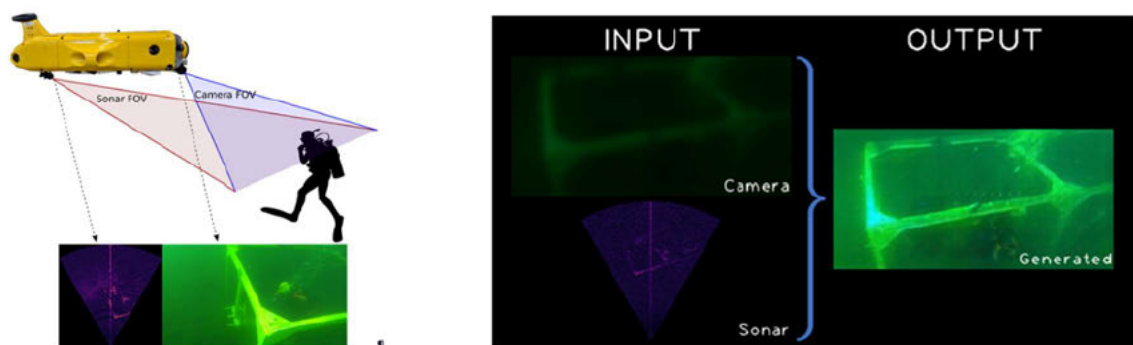


Abb. 6: Projekt DeeperSense (DFKI, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum: 28.03.2024)

4.2.2 Projekt "CELIDON"

Die optische Sicht ist im Atemschutzeinsatz regelmäßig ähnlich eingeschränkt wie im Taucheinsatz, so dass hier auch ein Forschungsvorhaben mit ähnlichem Hintergrund genannt werden soll. So wurde im Projekt CELIDON eine Lokalisierungs- und Visualisierungstechnologie entwickelt, um die Sicherheit der Feuerwehrleute in Nullsichtsituationen zu steigern. Mit einem in die Atemschutzmaske integrierten Prismen-Display werden dem Atemschutzträger Daten wie z. B. die Standorte weiterer Feuerwehrkräfte eingeblendet. Ab Mai 2024 wird das Projekt als CELIDON Pro weitergeführt, wobei die Integration eines vollwertigen Displays in eine Atemschutzmaske vorgesehen ist (Soballa, 2024). Eine wesentliche Hilfe für den Feuerwehrtaucher könnte die Kombination eines Displays in der Tauchermaske mit der unter Kapitel 4.2.1 beschriebenen Technik darstellen. Die Visualisierung erfolgt sodann direkt in der Tauchermaske – und nicht nur auf einem Bildschirm an Land.



Abb. 7: Projekt CELIDON (Feuerwehr Dortmund IFR, 2021, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum: 20.03.2024)

4.2.3 Projekt "Roboter zur Rettung von Menschen aus dem Wasser"

Über die reine Erkundung unter Wasser hinaus haben Forschende des Fraunhofer Institut für angewandte Systemtechnik in Zusammenarbeit mit der Wasserwacht Halle (Saale) e. V. einen vielversprechenden Prototypen entwickelt. Es handelt sich um einen um ein Zusatzmodul ergänzten Unterwasserroboter, der ferngesteuert Ertrunkene anfährt, fixiert und zur Wasseroberfläche zurückbringt. In einem weiteren Entwicklungsschritt soll es möglich sein, Ertrinkende in Schwimmbädern mit entsprechender Kamera- bzw. Sensortechnik zu erkennen, woraufhin der Rettungsroboter autark die Rettung einleitet (Rauschenbach, 2024).



Abb. 8: Rettungsroboter (Fraunhofer IOSB-AST, 2024, mit freundlicher Genehmigung, Lizenzdatum: 27.03.2024)

5 Diskussion

Die Bewertung erfolgt anhand einer Nutzwertanalyse.

5.1 Entscheidungsmöglichkeiten

Als Entscheidungsmöglichkeiten (d.h. Einsatzoptionen) werden

- der **Feuerwehrtaucher** (hier auch als Referenz- bzw. Orientierungswert),
- der **Unterwasserroboter**,
- das **Echolot (vom Boot)**,
- das **Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot**, sowie
- das **Handgeführte Echolot** gewählt.

Es handelt sich um eine abschließende Aufstellung anwendungsreifer Entscheidungsmöglichkeiten.

Das Unterwassernavigationssystem UWIS wird nicht als Entscheidungsmöglichkeit geführt, da dieses lediglich ergänzend im direkten Zusammenspiel mit den oben genannten Entscheidungsmöglichkeiten nutzbar ist. Die als Ausblick dargestellten korrelierenden aktuellen Forschungsvorhaben werden ebenfalls nicht als Entscheidungsmöglichkeiten benannt, da es sich um Projekte der Grundlagenforschung handelt, die noch nicht über hinreichende Praxiserfahrungen validierbar (im Übrigen nicht am Markt verfügbar) sind.

5.2 Einsatzszenarien

Aus den Diskussionen mit den Experten ließen sich übereinstimmend die folgenden vier Einsatzszenarien abbilden, wobei im spezifischen Einsatz regelmäßig auch eine Kombination der Szenarien auftreten kann:

- die **Absuche großer Wasserflächen**,
- die gezielte **Absuche einer kleinen Fläche**, „Spotsuche“,
- die **Absuche von Uferbereichen**,
- der **Direkte Eingriff**, d.h. das Ergreifen und Retten /Bergen von Personen.

Einsatzoptionen müssen sich in den Einsatzszenarien bewähren um im Sinne der Aufgabenstellung für den Feuerwehrdienst geeignet zu sein.

5.3 Vorhalteaufwand

Bei der Frage der Eignung für einen Feuerwehreinsatz spielt der Vorhalteaufwand isoliert betrachtet zunächst keine Rolle. Bei der Anschaffung / Einführung / Indienstrahme einer der genannten Entscheidungsmöglichkeiten ist der Vorhalteaufwand allerdings de facto zwangsläufig zu berücksichtigen, so dass die **Gesamtheit aller Aufwände** ergänzend in der Anlage dargestellt wird. Dies sind insbesondere

- Anschaffungskosten,
- Kosten für Wartung und Unterhalt,
- Kosten und Aufwand für die Lagerung und Unterbringung von Personal und Gerät,
- Personalaufwand (Personalbedarf, Eignung sowie Aus- und Fortbildung).

In dem Fachartikel werden Anschaffungs- und Unterhaltskosten im Hinblick auf die Aufgabenstellung bzw. Forschungsfrage nicht berücksichtigt. Die Darstellung erfolgt hier ergänzend dennoch, um Beschaffern und Anwendern einen erweiterten Orientierungsrahmen zu geben.

5.4 Einsatzmittelspezifische Kriterien

Als einsatzmittelspezifische Kriterien werden die Produkt- bzw. Leistungsmerkmale der einzelnen Entscheidungsmöglichkeiten im Anhang unter Kapitel 2 aufgeführt. Die Punktevergabe erfolgt auf Grundlage der technischen Produktdaten sowie der Experteninterviews.

5.5 Zielerfüllungsfaktor und Gewichtung

Zur Einschätzung wie gut die einzelnen Entscheidungsmöglichkeiten die Bewertungskriterien erfüllen, werden Zielerfüllungsfaktoren verwendet. Ausgedrückt durch eine Bewertungsskala von 0 bis 4. 0 Punkte werden vergeben, wenn das Kriterium nicht erfüllt wird, 4 Punkte werden vergeben, wenn das Kriterium überragend erfüllt wird. Der Zielerfüllungsfaktor wird auch für den Vergleich von Kosten, Aufwand, Geschwindigkeiten etc. genutzt, wobei geringe Punkte für hohe Kosten, hohe Aufwände, geringe Geschwindigkeiten etc. vergeben werden. Die einsatzmittelspezifischen Kriterien Personalbedarf, persönliche Eignung des Personals und Aufwand der Aus- und Fortbildung fließen mit einem Gewichtungsfaktor 0,3 in die Bewertung ein, da diese im Hinblick auf die Aufgabenstellung eine untergeordnete Rolle spielen. Für das jeweilige Einsatzszenario besonders prägende Kriterien werden mit Faktor 2,0 bewertet. Nicht entscheidende Kriterien werden mit Faktor 0 bewertet. Die grafische Darstellung ist im Teil II, Kapitel 1.5 in der Tabelle 3 zu finden.

5.6 Ergebnisse und Interpretation

In Tabelle 1 sind die gewichteten Ergebnisse der Nutzwertanalyse dargestellt. Für jedes Einsatzszenario ergibt sich eine rechnerisch bestgeeignete Entscheidungsmöglichkeit. Zur Berechnung siehe Teil II Kap. 1.

Tab. 1: Nutzwertanalyse, Ergebnisse Gesamtnutzwert je Einsatzszenario (eigene Darstellung)

Einsatzszenarien:	Feuerwehr-taucher:	Unterwasser-roboter:	Echolot vom Boot:	Ferngesteuertes Echo-lot vom Kleinstboot:	Handgeführtes Echolot:
Absuche großer Wasserflächen	28.9	40.7	44	45.6	38.3
Absuche kleiner Wasserfläche	26.9	40.7	35	37.6	33.3
Absuche von Uferbereichen	28.9	41.7	43	45.6	39.3
Direkter Eingriff	24.9	38.7	0	0	0

Zur *Absuche großer Wasserflächen* ist das *Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot* sehr gut geeignet. Das *Echolot vom Boot* ist hier ähnlich gut geeignet, jedoch weniger flexibel einsetzbar und weniger für Flachwasserbereiche geeignet.

Zur *Absuche einer kleinen Wasserfläche*, ist der *Unterwasserroboter* sehr gut geeignet, da dieser de facto bis zu jeder erforderlichen Tiefe sehr lange sehr genau erkunden kann.

Zur *Absuche von Uferbereichen* ist das *Handgeführte Echolot* sehr gut geeignet, sofern dieses vom flachen Wasser aus eingesetzt werden kann. Im Übrigen ist das *Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot* ebenfalls sehr gut geeignet.

Für den *Direkten Eingriff* sind das *Echolot vom Boot*, das *Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot* sowie das *Handgeführte Echolot* nicht geeignet, da diese nur der Erkundung dienen. Eine für den *Direkten Eingriff* sehr gut geeignete Entscheidungsmöglichkeit ist der *Unterwasserroboter*, insbesondere da dieser in praktisch jeder Tiefe und auch in gefährlichen Bereichen sehr lange eingesetzt werden kann.

6 Fazit

Die Nutzwertanalyse zeigt, dass der Einsatz des Feuerwehrtäuchers sehr gut mit am Markt verfügbarer Technik ergänzt werden kann.

Die Fähigkeitslücke der Flächensuche kann das *Echolot vom Rettungsboot* sehr gut schließen. Falls kein Rettungsboot zur Verfügung steht, bzw. wenn ein sehr schneller und flexibler Einsatz notwendig ist, kann das *Ferngesteuerte Echolot vom Kleinstboot* eine sehr gute (oder gar bessere) Alternative darstellen.

Die Fähigkeitslücke der Suche in großen Tiefen und gefährlichen Bereichen inklusive der prinzipiellen Möglichkeit eine Rettung per Greifarm vorzunehmen kann der *Unterwasserroboter* schließen. Ob die Anschaffung eines solchen Gerätes verhältnismäßig ist, ist im Einzelfall vor Ort anhand des Einsatzgebietes (viele für Taucher gefährliche Bereiche, Bereiche die sehr schnell sehr tief sind und trotzdem regelmäßig mit Ertrinkenden gerechnet werden muss, etwa Talsperren) zu prüfen.

Das *Handgeführte Echolot* kann z. B. an Badestränden eine sehr wertvolle Ergänzung sein, um ggf. schon vor Eintreffen der Feuerwehrtäucher den Aufenthaltsort der gesuchten Person abschätzen zu können. Für den Einsatz vom Boot (das heißt vom nicht festen Standplatz) bzw. bei strömenden Gewässern ist es nicht geeignet.

Das UWIS-System stellt insbesondere auf großflächigen und unübersichtlichen Gewässern einen erheblichen Sicherheitszugewinn für die Feuerwehrtäucher sowie taktischen Zugewinn durch möglichen zielgerichteten Maßnahmenvortrag dar. In übersichtlichen und eher flachen Gewässern (z. B. einem Kanal) stellt das System im Lichte des auch erforderlichen Aufwandes keinen erheblichen Zugewinn dar. Als besonders hilfreich beschreiben Dieckmann und Löhken das UWIS-System, wenn der Einsatz vom Boot mit Echolot, sowie Unterwasserroboter und Taucher (je mit UWIS-Transponder) kartenreferenziert gemeinsam koordiniert eingesetzt werden (Löhken & Dieckmann, 2024).

Der von Enaux und Schauenburg (2015) beschriebene taktische Ansatz für Flächensuche mit Echolot und Kontrolle der Verdachtspunkte mit Tauchern (ggf. auch Unterwasserrobotern bzw. abgelassener optischer Kameras) ist etabliert und wird von allen Experten unabhängig voneinander beschrieben.

Die das Thema korrelierenden Forschungsvorhaben geben einen guten Ausblick auf zukünftig mögliche Einsatzoptionen (autonomer Rettungsroboter) bzw. technische Hilfestellungen für Taucher (Projekt DeeperSense). Zur Förderung einer bedarfsgerechten Entwicklung ist eine Beteiligung der Feuerwehren an den Projekten in der Rolle des Endanwenders anzustreben (Beispiel Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie der Feuerwehr Dortmund).

Aus dem aktuellen Stand der Technik, der etablierten Taktik und den Erkenntnissen aus den Forschungsprojekten lässt sich ein mittelfristiges strategisches Ziel für die Zukunft des Tauchwesens in den Feuerwehren ableiten, das auch eine Richtschnur für die Ausrichtung zukünftiger Forschungsprojekte sein kann:

Strategisches Ziel: Rettungstauchen 2035

In einem Notfall erkunden mehrere Kleinstboote autonom das Gewässer und erstellen ein dreidimensionales Lagebild aus Echolot- und Kamerabildern. Künstliche Intelligenz hilft bei der Identifikation von Personen. Ein Operator weist den georeferenziert eingebundenen Tauchern und Unterwasserrobotern Verdachtspunkte zielgerichtet zu. Die Taucher greifen über Displays in den Tauchermasken auf alle Daten zu. Ihre maximale möglich Tauchzeit wird optimal zur Menschenrettung eingesetzt. Insbesondere an vorgesehenen Badestellen werden zusätzlich autonome Rettungsroboter (durch die Betreiber) vorgehalten.

Teil II: Methoden-, Literatur- und Quelldokumentation

1 Beschreibung der Methodik

Die Bewertung erfolgt anhand einer Nutzwertanalyse. Diese ist ein Hilfsmittel zur Bewertung und Entscheidungsfindung, die Forschungsfrage kann trotz ggf. komplexer Problemstellung rational gelöst werden (Kersting & Werbeck, 2014).

1.1 Festlegung der Entscheidungsmöglichkeiten

Die Auswahl der Entscheidungsmöglichkeiten erfolgt nicht nur auf Grundlage der Aufgabenstellung, sondern auch auf Grundlage der Literaturrecherche und Experteninterviews. Dabei ist zu beachten, dass die Auswahl abschließend ist.

1.2 Festlegung der Einsatzszenarien

Die Auswahl der Einsatzszenarien erfolgt auf Grundlage der Experteninterviews. Diese sind auch im Lichte der vorherrschenden Orte des Ertrinkens plausibel, siehe Abbildung 1.

1.3 Ermittlung des Vorhalteaufwandes

Der Vorhalteaufwand wird auf Grundlage der Experteninterviews und Angaben der Produkthersteller ermittelt. Im Sinne der Aufgabenstellung nicht zu berücksichtigende Aufwände werden bei der Nutzwertanalyse nicht berücksichtigt.

1.4 Ermittlung der einsatzmittelspezifischen Kriterien

Die einsatzmittelspezifischen Kriterien, wie auch die Punktevergabe, werden aus den Experteninterviews und Angaben der Produkthersteller abgeleitet.

1.5 Festlegung des Zielerfüllungsfaktor und der Gewichtung

Der Zielerfüllungsfaktor (d.h. die Punktevergabe) erfolgt mit einer Punktevergabe von 0 bis 4, siehe Tabelle 2.

Tab. 2: Nutzwertanalyse, Zielerfüllungsfaktor
(eigene Darstellung)

Zielerfüllungsfaktor	
0	= nicht geeignet
1	= bedingt geeignet
2	= geeignet
3	= gut geeignet
4	= sehr gut geeignet

Für jedes Einsatzszenario werden den einsatzmittelspezifischen Kriterien Gewichtungsfaktoren zugeordnet. Im Sinne der Aufgabenstellung weniger entscheidende Kriterien werden mit Faktor 0,3 berücksichtigt. Für die Einsatzszenarien besonders prägende Kriterien werden mit Faktor 2,0 berücksichtigt, siehe Tabelle 3.

Tab. 3: Nutzwertanalyse, Gewichtung (eigene Darstellung)

Einsatzmittelspezifische Kriterien:	Absuche großer Wasserflächen:	Absuche kleiner Wasserflächen ("Spotsuche"):	Absuche von Uferbereichen:	Direkter Eingriff:
Personalbedarf	0.3	0.3	0.3	0.3
Persönliche Eignung des Personals	0.3	0.3	0.3	0.3
Aufwand Aus- und Fortbildung	0.3	0.3	0.3	0.3
Flexibilität Einsatzaufnahme	1	1	1	1
Absuche von Uferbereichen	1	1	2	1
Minimale Einsatztiefe	1	1	1	1
Maximale Einsatztiefe	1	1	1	1

Maximale Einsatzzeit	1	1	1	1
Einsatz bei Strömung	1	1	1	1
Einsatz bei Kontamination	1	1	1	1
Einsatz bei Bewuchs	1	0	1	1
Einsatz bei Gewässertrübung	1	1	1	1
Einsatz bei Eisbildung	1	1	1	1
Suchgeschwindigkeit	2	0	1	0
Suchgenauigkeit	1	2	1	1
Durchführung von Maßnahmen	0	0	0	2

1.6 Berechnung der Ergebnisse

Die im Teil I unter Kapitel 5.6 dargestellten Ergebnisse werden wie folgt berechnet. Für jedes Einsatzszenario werden die Punkte der einsatzmittelspezifischen Kriterien mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multipliziert und anschließend je Entscheidungsmöglichkeit addiert. Die Entscheidungsmöglichkeit mit der jeweils höchsten Punktzahl ist für das jeweilige Einsatzszenario am besten geeignet. Wobei gilt:

GNi: Gesamtnutzwert der Entscheidungsmöglichkeit i (je Einsatzszenario)

gj: Gewichtungsfaktor des einsatzspezifischen Kriteriums j

n: Anzahl der einsatzmittelspezifischen Kriterien

PEij: Punktevergabe der Entscheidungsmöglichkeit i in Bezug auf das einsatzspezifische Kriterium j

$$GNi = \sum_{j=1}^n gj * PEij$$

Für die Fälle, in denen eine Entscheidungsmöglichkeit für ein Einsatzszenario nicht geeignet ist (z. B. Echolot kann nur erkunden und keinen *Direkten Eingriff* vornehmen) wird GNi zwingend auf 0 gesetzt.

2 Begründung

Aus der Aufgabenstellung resultieren insgesamt sehr viele zu berücksichtigende Kriterien, wie z. B. die einsatzmittelspezifischen Kriterien der Entscheidungsmöglichkeiten, die Gewichtung und die Einsatzszenarien. Eine besondere Schwierigkeit stellt die rationale Berücksichtigung aller Kriterien bei der Beurteilung dar. Ein gutes Mittel zur Entscheidungsfindung ist die Nutzwertanalyse, die Zangemeister 1976 wie folgt definierte: „[Die] Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“ (Zangemeister, 1976, 45).

Die Nutzwertanalyse ist bei dieser Arbeit im Übrigen eine rational methodische Möglichkeit zur Plausibilisierung – bzw. Bestätigung- der in den Experteninterviews übereinstimmend gewonnenen Angaben zur präferierten Einsatztaktik, d. h. der gängigen Auswahl der Entscheidungsmöglichkeiten je Einsatzszenario.

Auf eine Auswertung der Nutzwertanalyse als Summe über alle Einsatzszenarien wird bewusst verzichtet, da dies insgesamt zu einer nicht praxistauglichen Entscheidungsfindung führen würde.

3 Literatur- und Quellendokumentation

3.1 Beschreibung der Literatur- und Quellensuche und der Datenbanken

Die Literaturrecherche und Quellensuche erfolgte sowohl mit Suchbegriffen aus persönlichen Vorkenntnissen als auch mit Suchbegriffen, die aus der Aufgabenstellung extrahiert werden. Verwendete Datenbank, Suchbegriffe, Ergebnisse und für die Arbeit verwendete Fundstellen sind unter Kapitel 3.2.1 aufgeführt. Es wird im Übrigen keine Literaturfundstelle ohne Rücksprache bzw. weitere Korrespondenz mit den Verfassern verwendet. Die Verfasser sind insofern insbesondere als Experten unter Kapitel 3.2.2 dokumentiert. Die Suche geeigneter Experten erfolgt über die Literaturrecherche, Kontakt zu Arbeitskreisen (z. B. Arbeitsgruppe Tauchen der AGBF NRW), sowie das persönliche berufliche wie auch private Netzwerk des Verfassers. Die bei der Arbeit berücksichtigten Experten sind unter Kapitel 3.2.2 dokumentiert

3.2 Übersicht über die Ergebnisse der Literatur- und Quellendokumentation

3.2.1 Dokumentation der Literaturrecherche

Ergebnisse der unter Kapitel 3.1 beschriebenen Literaturrecherche:

Tab. 4: Dokumentation der Literaturrecherche (eigene Darstellung)

Datenbank:	Suchbegriffe:	Ergebnisse:	Verwendet:
Google	Ertrinkungsunfälle Statistik	20000	1
Google	Echolot Feuerwehrtaucher	770	1
Google	Sonar Feuerwehrtaucher	1760	0
Google	ROV Feuerwehrtaucher	552	0
Google	Unterwasserroboter Feuerwehrtaucher	465	2
Google	GPS Feuerwehrtaucher	8600	0
Google	CELIDON Feuerwehr	464	0
Google	Rettungsroboter unterwasser	728	1
Google	Sonar THW Mülheim	574	0
Google	Echolot THW Mülheim	9	0
Google scholar	Ertrinkungsunfälle Statistik	340	0
Google scholar	Echolot Feuerwehrtaucher	0	0
Google scholar	Sonar Feuerwehrtaucher	1	0
Google scholar	ROV Feuerwehrtaucher	272	0
Google scholar	Unterwasserroboter Feuerwehrtaucher	0	0
Google scholar	GPS Feuerwehrtaucher	6	0
Google scholar	CELIDON Feuerwehr	27	0
Google scholar	Rettungsroboter unterwasser	12	0
Google scholar	Sonar THW Mülheim	0	0
Google scholar	Echolot THW Mülheim	0	0
Google scholar	Nutzwertanalyse	14100	1
BASE	Echolot	203	0
BASE	Sonar	55145	0
BASE	Rettungsroboter	33	0
BASE	Feuerwehrtaucher	1	0
Brandschutz (Kohlhammer)	Echolot	0	0
Brandschutz (Kohlhammer)	Sonar	0	0
Brandschutz (Kohlhammer)	ROV	2	0
Brandschutz (Kohlhammer)	Unterwasserroboter	0	0
Brandschutz (Kohlhammer)	Roboter	5	1
Brandschutz (Kohlhammer)	Feuerwehrtaucher	1	0
Brandschutz (Kohlhammer)	Taucher	3	1
Brandschutz (Kohlhammer)	Tauchen	2	1

3.2.2 Dokumentation persönlicher Korrespondenz

Zusätzlich zur Literaturrecherche gab es Korrespondenz (persönliche Gespräche, Videokonferenzen, Telefonate, Schriftverkehr) mit folgenden Experten:

Tab. 5: Dokumentation persönlicher Korrespondenz (eigene Darstellung)

Name:	Organisation:	Funktion:	Datum:
Beckmöller, Marcus	Feuerwehr Hamm	Wachabteilungsleiter	09.12.2023
Brettner, Rudolf	Wasserwacht München (auch Berufsfeuerwehr München)	Technischer Leiter	18.04.2024
Dolz, Christopher	Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V. Bundesgeschäftsstelle	PR Redakteur	18.03.2024
Diekmann, Martin	DLRG e. V.	Landesbeauftragter Einsatztauchen NRW	24.04.2024
Dienemann, Frank Hauptbrandmeister	Feuerwehr Lübeck	Einsatztaucher	11.12.2023
Dillenhöfer, Urs Hauptbrandmeister	Feuerwehr Dortmund	Einsatztaucher	11.04.2024
Frenthoff, Markus	Feuerwehr Gelsenkirchen	Tauchdienstleiter	16.01.2024
Hamm, Dennis	TechADVision GmbH	CEO / Head of R&D	13.04.2024
Koch, Andreas Prof. Dr. med.	Universitätsklinikum Schleswig-Holstein	Mediziner, Sektion Maritime Medizin	24.01.2024
Kröger, Stefan Dipl.- Ing. (FH) Brandrat	Feuerwehr Dortmund	Wachleiter Feuerwache 2 (Standort Einsatztaucher)	08.04.2024
Künнемeyer, André Polizeihauptkommissar	Polizeipräsidium Bochum, 1. Technische Einsatzeinheit	Leiter Taucherguppe & Truppführer Technische Gruppe	20.03.2024
Löhken, Marco	DLRG e. V.	Landesbeauftragter Tauchen NRW	24.04.2024
Minschke, Mike Dipl. - Ing.	Industrie	Entwickler Unterwasser-Sensorik	26.03.2024
OveHomann, Ralf	Bundeswehr, Wehrtechnische-Dienststelle & FW Eckernförde	Erprobungs- & Lehrtaucher	05.12.2024
Rauschenbach, Thomas Prof. Dr. Ing.	Fraunhofer - IOSB	Leiter Unterwasserrobotik	27.03.2024
Schauenburg, Volker Branddirektor	Feuerwehr Dortmund (& THW Mülheim an der Ruhr)	Bereichsleiter Gefahrenabwehr & Technik	26.10.2023
Schernhammer, Jürgen	Feuerwehr Esslingen	Stv. Amtsleiter & Fachbereichsleiter Technik	04.12.2023
Schlagheck, Kai Brandoberinspektor	Feuerwehr Oberhausen	Leitung Atemschutz und Tauchdienst	21.12.2023
Senff, Uwe Dipl. - Ing. (FH) Brandrat	Bezirksregierung Arnsberg	Dezernat 22, Gefahrenabwehr, Kampfmittelbeseitigung	11.04.2024
Soballa, Nico M. Sc.	Feuerwehr Dortmund IFR	Wissenschaftlicher Mitarbeiter	02.04.2024
Teckentrup, Eike Brandmeister	Feuerwehr Ahlen	Leiter Tauchdienst	28.11.2023
Thöne, Jannik	SAR Unterwasser Systeme GmbH	Leitung und Schulung	04.04.2024
Vögele, Thomas Dr. Ing.	DFKI Robotiks Innovation Center	Senior Researcher	27.03.2024
Zandstra, Marc Oberbrandrat	Feuerwehr Dortmund	Stv. Bereichsleiter Gefahrenabwehr & Technik	02.04.2024

3.3 Kriterien der Literatur- und Quellenauswahl

Grundsätzliches Kriterium für die verwendete Literatur ist die uneingeschränkte Zitierwürdigkeit der Quellen. Für den Fall, dass in Ausnahmefällen lediglich "beschränkt zitierfähige" Literatur verwendet werden soll, ist zwingend eine Validierung durch ergänzende Interviews vorgesehen. Die Verwendung von "in der Regel nicht zitierwürdiger" Literatur wurde für den Fachartikel ausgeschlossen (IdF, 2021, 5).

Um möglichst allgemeingültige Thesen ableiten zu können, werden die Interviewpartner aus einem bewusst breiten Spektrum ausgewählt. Kriterien sind hier die Verteilung im Bundesgebiet, das Einsatzgebiet (u.a. Fluss, Kanal, See, Meer), die Organisation (u.a. Wissenschaft, Hilfsorganisation, Polizei, Bundeswehr, Industrie, Feuerwehr), die vornehmliche Tätigkeit (u.a. Personenrettung, Personensuche & Bergung, Forschung, Verkauf & Schulung), sowie die Fachexpertise im jeweiligen Gebiet. Zwingend ist auch immer die Nachvollziehbarkeit der fachlichen Laufbahn und Dauer der Tätigkeit, so dass die Möglichkeit zur Validierung gegeben ist.

3.4 Zusammenfassende Beschreibung der ausgewählten Literatur und Quellen

Für die Bearbeitung des Fachartikels wird ausschließlich zitierwürdige Literatur herangezogen, diese bildet allerdings keine ausreichende Grundlage für die eigentliche Forschungsfrage des Fachartikels. Für das Kapitel 4.1 kann lediglich ein relevanter Artikel aus einer Fachzeitschrift verwendet werden – der per persönlichem Interview validiert wurde. Für das Kapitel 4.2 werden von den Forschenden Wissenschaftliche Publikationen zur Verfügung gestellt, die dem Verfasser jeweils persönlich erläutert wurden.

Im hier betrachteten technischen Gebiet gab es in den vergangenen zehn Jahren einen erheblichen Technologiesprung, so dass ältere Literatur – so diese denn vorläge – ohnehin keine ausreichende Aussagekraft im Sinne der Aufgabenstellung / Forschungsfrage - aktuelle Entwicklungen und Trends - haben würde.

Als Experten werden ausschließlich Personen anerkannt, die die im Kapitel 3.3 gelisteten Kriterien vollständig erfüllen. Es erfolgen Plausibilitätskontrollen durch Quervergleiche.

Literaturverzeichnis

Aschenbrenner, D. (2020): Interview mit Thomas Kuhn, WirtschaftsWoche, Internet: www.wiwo.de/technologie/umwelt/koordinator-des-deutschen-rettungsrobotik-zentrums-als-autos-die-strassen-eroberten-hatte-die-feuerwehr-noch-experten-fuehr-pferdekutschen/26082910.html, abgerufen am 26.03.2024

Bartlett, T. (2005): Elektronische Yachtnavigation, 1. Auflage, Delius Klasing Verlag, Bielefeld

Brettner, R. (2024): Technischer Leiter, Wasserwacht München, Interview am 18.04.2024

Bundesanstalt für Arbeitsschutz (1988). Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen, Risikomatrix nach Nohl, Schriftenreihe Teil I und II, Fb Nr. 536 und Fb Nr. 542

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2023). Kittelmann et al.. Handbuch Gefährdungsbeurteilung. Internet: www.baua.de/gefaehrungsbeurteilung, abgerufen am 18.03.2024

Demke, R. (2024): Feuerwehr-Dienstvorschrift 8 Tauchen ist überarbeitet worden, in: Redaktion BrandSchutz/Deutsche Feuerwehr Zeitung, 68. Jahrgang Juli 2014, Kohlhammer Verlag, Seite: 494 bis 495

Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V. (DLRG e. V.). (2024). DLRG Statistik „Todesfälle durch Ertrinken 2023“. Internet: <https://dlrg.de/statistik-ertrinken>, abgerufen am 19.03.2024

Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V. (DLRG e. V.). (2014). Ausbilderhandbuch Rettungsschwimmen. Version 1.0

Diekmann, M. (2024): Landesbeauftragter Einsatztauchen NRW, Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V. (DLRG e. V.), Interview am 24.04.2024

Dillenhöfer, U. (2024): Hauptbrandmeister - Einsatztaucher, Feuerwehr Dortmund, Interview am 11.04.2024

Enaux & Schauenburg (2015): Neue Ortungstechnik für die Fachgruppe Wassergefahren, in: THW Zeitung 1/2015, Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Landesverband Nordrhein-Westfalen, Seite: 1 bis 4

Feuerwehr-Dienstvorschrift (FwDV) 8. (2014). Tauchen. Internet: idf.nrw.de/dokumente/wir-ueber-uns/aufgaben-des-idf/eingebundene-dokumente/downloads.php, abgerufen am 27.03.2024

Feuerwehr-Dienstvorschrift (FwDV) 100. (1999). Führung und Leitung im Einsatz. Internet: idf.nrw.de/dokumente/wir-ueber-uns/aufgaben-des-idf/fwdv100.pdf, abgerufen am 21.03.2024

Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz (BHKG) NRW, 2015). Internet: recht.nrw.de, abgerufen am 21.03.2024

Hamm, D. (2024): CEO / Head of R&R, TechAdVision GmbH, Warendorf, Interview am 15.04.2024

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen (IdF NRW). 2021. Nutzung und Einbindung externer Quellen. Gesamtwerk. Version 1.0 vom 13.10.2021

Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen (IdF NRW). 2021. Anforderungen an die Facharbeit Teil I der Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen. Stand: 21.03.2023

Kersting & Werbeck (2014): Angewandte Nutzwertanalyse in Planung und Verwaltung, Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e. V.

Kröger, S. (2024): Brandrat, Wachleiter, Feuerwehr Dortmund, Interview am 20.03.2024

Künnemeyer, A. (2024): Polizeihauptkommissar, Leiter Tauchergruppe und Truppführer Technische Gruppe, Polizeipräsidium Bochum, Technische Einsatzeinheit, Interview am 08.04.2024.

Löhken, M. (2024): Landesbeauftragter Tauchen NRW, Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V. (DLRG e. V.), Interview am 24.04.2024

Minschke M. (2024): Experte und Entwickler für Unterwasser-Sensorik, Interview am 26.03.2024.

OveHomann, R. (2024): Erprobungs- und Lehrtaucher, Wehrtechnische Dienststelle Eckernförde, Bundeswehr, Interview am 05.12.2023

Rauschenbach, T. (2024): Leiter der Abteilung Unterwasserrobotik, Fraunhofer-IOSB, Interview am 27.03.2024

Thöne, J. (2024): Senior Key-Account-Manager, SAR Unterwasser Systeme GmbH, Altenbeken, Interview am 04.04.2024

Vögele, T. (2024): Senior Researcher Projekt DeeperSense, Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz, Interview am 27.03.2024

Soballa, N. (2024): Wissenschaftlicher Mitarbeiter Projekt CELIDON, Feuerwehr Dortmund, Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Interview am 02.04.2024

Schauenburg, V. (2024): Branddirektor, Bereichsleiter, Feuerwehr Dortmund, Bereich Gefahrenabwehr und Technik, Interview am 26.10.2023.

Schiöberg-Schiegnitz, Dr. S., (1996): Tauchpsychologie, veröffentlicht in Ecomed Sicherheit (Bartmann), Taucher-Handbuch, Seite: IV – 4.6 5

Thöne J. (2024): Leitung und Schulung, SAR Unterwassersysteme GmbH, Interview am 04.04.2024

Schlagheck, K. (2024): Brandoberinspektor, Leitung Atemschutz und Tauchdienst, Feuerwehr Oberhausen, Interview am 21.12.2023

Schneider, K. (2016): Kommentar Brandschutz-, Hilfeleistungs-, Katastrophenschutzgesetz Nordrhein-Westfalen, 9. Erweiterte und überarbeitete Auflage

Scribbr. (2024): In 4 Schritten zur Methodik. Internet: www.scribbr.de/category/methodik, abgerufen am 25.03.2024.

Zandstra, M. (2024): Oberbrandrat, Stellvertretender Bereichsleiter, Feuerwehr Dortmund, Bereich Gefahrenabwehr und Technik, Interview am 02.04.2024.

Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 4. Auflage, München, Berlin, Seite 45.

A. Anhänge

1 Darstellung der Entscheidungsmöglichkeiten; Referenzprodukte

Nach einer Kurzdarstellung der Entscheidungsmöglichkeiten in Tabelle 6 erfolgt im Weiteren die Angabe der herangezogenen Referenzprodukte.

Tab. 6: Entscheidungsmöglichkeiten, Kurzübersicht (eigene Darstellung)

	Erforderliches Personal:	Maximale Tiefe:	Minimale Tiefe:	Maximale Strömung:	Suchgeschwindigkeit:	Suchgenauigkeit:	Maximale Einsatzzeit:	Bemerkungen:
 Taucher	Taucheinsatzführer, Feuerwehrtaucher, Sicherheitstaucher, Signalmann	30 Meter	0 Meter	5,4 km/h	75 m²/min.	sehr hoch: visuell & haptisch	15 min bis 360 min (maximaler Aufenthalt)	kein Einsatz bei Kontamination
 ROV	Echolotauswerter	305 Meter	0,5 Meter	7,4 km/h	2 m²/min.	hoch: optisch & Sonar	8 h mit Akku, unbegrenzt über Kabel	Maßnahmen mit Greifarm möglich
 Echolot	Bootführer, Echolotauswerter	30 Meter realistisch max. 60 Meter	0,5 Meter	weniger relevant	450 m²/min.	mittel: Sonar	unbegrenzt (~)	Achtung: Wasserring des Bootes
 RC-Echolot	Echolotauswerter, (RC-Boot fährt autonom)	30 Meter realistisch max. 60 Meter	0,5 Meter	3,6 km/h	450 m²/min.	mittel: Sonar	6 bis 8 h	Funk: 5 km Reichweite, klein & mobil
 Handgef. Echolot	Echolotauswerter	50 Meter	2 Meter	kein Einsatz bei Strömung	1600 m²/min	mittel: Sonar	12 h	bis 5 Meter wasserdicht

1.1 Taucher

Die Parameter zur Leistungsfähigkeit und zum Aufwand der Tauchereinheiten wurden mit den Feuerwehren Oberhausen (Schlagheck, 2024) und Dortmund (Dillenhöfer & Kröger, 2024) ermittelt.

1.2 Unterwasserroboter

Als Referenzprodukt unter den Unterwasserrobotern wird für den Fachartikel das Produkt Revolution des Herstellers Deep Trekker® herangezogen (Thöne, 2024). Das Produkt wurde unter anderem auch von der Landespolizei NRW beschafft (Künnemeyer, 2024). Der Roboter ist insbesondere mit einer optischen Kamera, einem Echolot und einem ferngesteuerten Greifer ausgestattet. Die Position des Roboters unter Wasser kann über ein eigenständiges Ultraschallmodul ermittelt werden. Die Anschaffungskosten betragen ca. 148.000 Euro (Künnemeyer, 2024).

1.3 Echolot vom Rettungsboot

Im Bereich der Echolottechnik für die Personensuche stellen die Echolotserie HDS PRO des Herstellers Lowrance®, sowie die Echolotserie GPSMAP 84xx des Herstellers Garmin® den aktuellen Stand der Technik dar (Thöne, 2024). Für die Bearbeitung des Fachartikels wurde das Echolot Garmin® GPSMAP 8416 als Referenz herangezogen. Der Preis mit Echolotgeber beträgt ca. 6.500 Euro (SAR Unterwasser Systeme GmbH, 2024).

Als Träger eignen sich insbesondere Boote mit Bugklappe, so dass man den Echolotgeber frei von Wasserverwirbelungen sehr gut im Bug anbringen kann (Thöne, 2024). Für ein Rettungsboot (~ 5 Meter Klasse) nach DIN 14961 mit Straßentrailer muss man mit Kosten in Höhe von ca. 60.000 Euro kalkulieren (Schauenburg, 2024).

Hinweis: Große und schwerfällige Löschboote, die insbesondere auf engen Gewässern nicht gewendet werden können, eignen sich nicht für die Personensuche mit Echolottechnik.

1.4 Echolot vom ferngesteuerten Kleinstboot

Ein führender Hersteller für die Entwicklung und Fertigung ferngesteuerter Kleinstboote für die Personensuche ist der Hersteller TechAdVision® GmbH aus Warendorf. Zum Einsatz kommen die unter Kapitel 1.3 genannten Echolote. Für die Bearbeitung des Fachartikels wurde das Modell seascape SAR als Referenz herangezogen. Das Boot kann autonom operieren, die maximale Reichweite der Funkfernsteuerung beträgt 5 Kilometer. Die Ergänzung des Bootes um eine optische Kamera, die bis auf

14 Meter Tiefe herabgelassen werden kann, ist möglich. Die Anschaffungskosten betragen je nach Ausstattung 14.000 Euro bis 20.000 Euro (Hamm, 2024).

1.5 Handgeführtes Echolot

Das handgeführte Echolot AQUA EYE® des Herstellers Vodasafe® ist noch neu am Markt und nach aktuellem Stand das einzige technische Gerät in diesem Bereich. Das Gerät ist vornehmlich für den schnellen Einsatz vom flachen Uferbereich eines Gewässers aus in einem 50 Meter Halbkreis geeignet. Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz wird die Signatur des menschlichen Körpers erkannt und die Richtung, Entfernung sowie Tiefe angezeigt. (Thöne, 2024). Die Wasserwacht München hat bei umfangreichen Tests eine „Trefferquote von ca. 80 %“ (Brettner, 2024) ermittelt. Die Anschaffungskosten betragen ca. 8.500 Euro (Brettner, 2024).

1.6 UWIS Unterwasser Navigationssystem

Das UWIS® (Unterwasser-Informationen-System) wird nicht als eigenständige Einsatzoption gewertet, es handelt sich um eine Ergänzung für Feuerwehrtaucher bzw. Unterwasserroboter. Besonders geeignet ist das System für größere Wasserflächen, verbunden mit der Möglichkeit einer sehr genauen Dokumentation (Dieckmann, 2024). Es werden die Tiefe und der Standort des Tauchers übertragen (Löhken, 2024). Als besonders hilfreich beschreiben Dieckmann und Löhken das System, wenn der Einsatz vom Boot mit Echolot, sowie Unterwasserroboter und Taucher (je mit UWIS- Transponder) kartenreferenziert gemeinsam koordiniert eingesetzt werden (Löhken & Dieckmann, 2024). Die Anschaffungskosten betragen ca. 18.000 Euro für einen Ausstattungssatz mit sechs Sendern (Dieckmann, 2024).

2 Punktevergabe der Nutzwertanalyse

2.1 Feuerwehrtaucher

Tab. 7: Feuerwehrtaucher, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)

Einzelkriterium:	Punkte:	Begründung:
Anschaffungskosten	1	sehr hoch, siehe Kosten Wartung, Lagerung und Unterbringung sowie Aus- und Fortbildung (Schlagheck, 2024)
Kosten für Wartung und Unterhalt	1	Bsp. FW Oberhausen Wartung Tauchtechnik 1500 € / Jahr pro Taucher, Abschreibung GW- Wasserrettung 17 t € / Jahr (Schlagheck, 2024)
Kosten & Aufwand für Lagerung und Unterbringung	1	Lagerflächen, Werkstattflächen, Fahrzeugstellplatz und spezielles Fahrzeug erforderlich
Personalbedarf	1	4 Personen, Taucheinsatzführer, Feuerwehrtaucher, Sicherheitstaucher, Signalmann (FwDV 8, 2014)
Persönliche Eignung des Personals	1	hohe physische und psychische Anforderungen, regelmäßige Untersuchungen (FwDV 8, 2014)
Aufwand Aus- und Fortbildung	1	sehr hoch (Schlagheck, 2024)
Kosten Aus- & Fortbildung	1	Bsp. FW Oberhausen 1500 € /Jahr pro Taucher (Schlagheck, 2024)
Flexibilität Einsatzaufnahme	2	Rüstzeit für Anlegen der Ausrüstung beachten, flexible Wasserrang über Ufer, Leiter, Boot möglich
Absuche von Uferbereichen	2	sehr genau aber sehr langsam, CAVE: Aufwirbeln von Sediment! (Dillenhöfer, 2024)
Minimale Einsatztiefe	4	0 Meter
Maximale Einsatztiefe	2	30 Meter (FwDV 8, 2014)
Maximale Einsatzzeit	2	bei 30 Meter Wassertiefe 15 Minuten, max. bis zu 360 min (max. Aufenthalt) (FwDV 8, 2014)
Einsatz bei Strömung	3	bis 5,4 km/h (FwDV 8, 2014)
Einsatz bei Kontamination	0	kein Einsatz bei Kontamination durch z. B. Gefahrstoffe oder gesundheitsschädliche Algen (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Bewuchs	2	Spotsuche möglich, Flächensuche sehr eingeschränkt (Signalleine versus Bewuchs) (Dillenhöfer, 2024)
Einsatz bei Gewässertrübung	1	je trüber das Wasser, desto eingeschränkter ist der Taucher, bei Nullsicht haptische Orientierung (Dillenhöfer, 2024)
Einsatz bei Eisbildung	2	kein Einsatz bei Eisbildung <u>mit</u> Strömung, besondere Maßnahmen erforderlich, Einschränkung des Suchradius (FwDV 8, 2014)
Suchgeschwindigkeit	2	75 m ² / min (Dillenhöfer, 2024)
Suchgenauigkeit	4	sehr hoch, visuell und haptisch (Dillenhöfer, 2024)
Durchführung von Maßnahmen	4	sehr leistungsfähige Durchführung von Maßnahmen, sei es die Rettung von Personen oder handwerkliche Tätigkeiten (Dillenhöfer, 2024)

2.2 Unterwasserroboter

Tab. 8: Unterwasserroboter, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)

Einzelkriterium:	Punkte:	Begründung:
Anschaffungskosten	1	148.000 € (Künnemeyer, 2024)
Kosten für Wartung und Unterhalt	4	sehr gering (Künnemeyer, 2024)
Kosten & Aufwand für Lagerung und Unterbringung	4	sehr gering, durch kompakte Abmessungen
Personalbedarf	4	ROV- Bediener (Künnemeyer, 2024)
Persönliche Eignung des Personals	4	keine besonderen Anforderungen (Künnemeyer, 2024)
Aufwand Aus- und Fortbildung	4	sehr gering (Künnemeyer, 2024)
Kosten Aus- & Fortbildung	4	sehr gering (Künnemeyer, 2024)
Flexibilität Einsatzaufnahme	4	sehr flexibel, durch kompakte Abmessungen und Gewicht überall einsetzbar (Künnemeyer, 2024)
Absuche von Uferbereichen	2	möglich aber schwierig, wenn Lage des Roboters unter Wasser nicht bekannt ist (Künnemeyer, 2024)
Minimale Einsatztiefe	3	0,5 Meter (Thöne, 2024)
Maximale Einsatztiefe	4	305 Meter (Thöne, 2024)
Maximale Einsatzzeit	4	8 Stunden, per Verbindungskabel unbegrenzt (Thöne, 2024)
Einsatz bei Strömung	4	bis 7,4 km/h, "Rhein möglich" (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Kontamination	4	möglich (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Bewuchs	1	Spotsuche möglich, Flächensuche nicht möglich (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Gewässertrübung	3	Trübung keine Einschränkung (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Eisbildung	4	möglich (Künnemeyer, 2024)
Suchgeschwindigkeit	1	2 m ² / Minute bei Spotsuche, ABER "ROV schafft 5 Spots, wenn Taucher einen Spot schafft" (Thöne, 2024)
Suchgenauigkeit	3	hoch, per Echolot und optischer Kamera (Künnemeyer, 2024)
Durchführung von Maßnahmen	1	Greifer, mit dem eine Kraft bis 1 kN aufgebracht werden kann. Rettungsmaßnahmen möglich; Greifer greift Person, ROV mit Person wird sodann am Verbindungsseil aus dem Wasser gezogen (Künnemeyer, 2024)

2.3 Echolot vom Rettungsboot

Tab. 9: Echolot vom Boot, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)

Einzelkriterium:	Punkte:	Begründung:
Anschaffungskosten	2	Echolot ca. 6.500 € (SAR Unterwasser Systeme GmbH, 2024) / [Boot ca. 50.000 € (Schauenburg, 2024)]
Kosten für Wartung und Unterhalt	3	Echolot wartungsarm, Wartung des Bootes mit Anhänger beachten
Kosten & Aufwand für Lagerung und Unterbringung	2	Kosten für Stellplatz des Bootes (anteilige Gebäudekosten) beachten
Personalbedarf	3	Bootsführer und Echolotbediener
Persönliche Eignung des Personals	4	keine besonderen Anforderungen (Thöne, 2024)
Aufwand Aus- und Fortbildung	3	mittel (Ausbildung Bootsführer beachten) (Thöne, 2024)
Kosten Aus- & Fortbildung	3	gering (Künnemeyer, 2024)
Flexibilität Einsatzaufnahme	2	abhängig von der Möglichkeit und Schnelligkeit der Wasserung des Bootes
Absuche von Uferbereichen	3	in Abhängigkeit des Tiefgangs des Bootes möglich
Minimale Einsatztiefe	2	0,5 Meter (zusätzlich Tiefgang Boot beachten!)
Maximale Einsatztiefe	3	30 Meter realistisch, maximal 60 Meter (Thöne, 2024)
Maximale Einsatzzeit	4	nahezu unbegrenzt (d.h. bezogen auf den Einsatz & in Abhängigkeit der Reichweite des Bootes)
Einsatz bei Strömung	4	möglich, Strömung für Rettungsboot unerheblich
Einsatz bei Kontamination	4	möglich (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Bewuchs	3	möglich, bei dichtem Bewuchs Nutzung von Downscan (geringere Bahnbreite) (Thöne, 2024)
Einsatz bei Gewässertrübung	4	Trübung keine Einschränkung (Künnemeyer, 2024)
Einsatz bei Eisbildung	2	bei geringer Eisdicke möglich (Künnemeyer, 2024)
Suchgeschwindigkeit	4	450 m ² / Minute (Thöne, 2024)
Suchgenauigkeit	2	mittel, per Sonar (Künnemeyer, 2024)
Durchführung von Maßnahmen	0	nicht möglich

2.4 Echolot vom ferngesteuerten Kleinstboot

Tab. 10: Echolot vom ferngesteuerten Kleinstboot, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)

Einzelkriterium:	Punkte:	Begründung:
Anschaffungskosten	3	14.000 € bis 20.000 € (Hamm, 2024)
Kosten für Wartung und Unterhalt	4	sehr gering (Hamm, 2024)
Kosten & Aufwand für Lagerung und Unterbringung	4	sehr gering, durch kompakte Abmessungen
Personalbedarf	4	ein Helfer als Bediener / Auswerter
Persönliche Eignung des Personals	4	keine besonderen Anforderungen (Hamm, 2024)
Aufwand Aus- und Fortbildung	4	sehr gering, viele autonome Anteile bzw. einfache Bedienung
Kosten Aus- & Fortbildung	4	sehr gering
Flexibilität Einsatzaufnahme	4	sehr flexibel, durch kompakte Abmessungen und Gewicht überall einsetzbar
Absuche von Uferbereichen	4	durch geringen Tiefgang sehr gut möglich
Minimale Einsatztiefe	3	0,5 Meter (Hamm, 2024)
Maximale Einsatztiefe	3	30 Meter realistisch, maximal 60 Meter (Thöne, 2024)
Maximale Einsatzzeit	4	6 bis 8 Stunden (Hamm, 2024)
Einsatz bei Strömung	2	Nutzung bis 3,6 km/h Strömungsgeschwindigkeit möglich (Hamm, 2024)
Einsatz bei Kontamination	4	möglich (Hamm, 2024)
Einsatz bei Bewuchs	3	möglich, bei dichtem Bewuchs Nutzung von Downscan-Echolotgeber (geringere Bahnbreite) (Thöne, 2024)
Einsatz bei Gewässertrübung	4	Trübung keine Einschränkung (Hamm, 2024)
Einsatz bei Eisbildung	0	nicht möglich (Hamm, 2024)
Suchgeschwindigkeit	4	450 m ² / Minute (Hamm, 2024)
Suchgenauigkeit	3	hoch, per Sonar und 14 Meter Tiefe auch zusätzlich optisch (Hamm, 2024)
Durchführung von Maßnahmen	0	nicht möglich

2.5 Handgeführtes Echolot

Tab. 11: Handgeführtes Echolot, einsatzmittelspezifische Kriterien (eigene Darstellung)

Einzelkriterium:	Punkte:	Begründung:
Anschaffungskosten	4	ca. 8.500 € (Brettner, 2024)
Kosten für Wartung und Unterhalt	4	gering (Brettner, 2024)
Kosten & Aufwand für Lagerung und Unterbringung	4	sehr gering, sehr kompaktes Gerät
Personalbedarf	3	ein Helfer mit Gerät, ein weiterer Helfer geht zur Rettung vor und wird eingewiesen (Brettner, 2024)
Persönliche Eignung des Personals	4	keine besonderen Anforderungen (Brettner, 2024)
Aufwand Aus- und Fortbildung	4	sehr gering, sehr einfache Schulung, vergleichbar mit einem AED (Brettner, 2024)
Kosten Aus- & Fortbildung	4	sehr gering (Brettner, 2024)
Flexibilität Einsatzaufnahme	4	sehr schnell, da sehr kompakt (Brettner, 2024)
Absuche von Uferbereichen	4	vornehmliches Einsatzgebiet, Gerät soll mit festem Stand im seichten Wasser bedient werden (Brettner, 2024)
Minimale Einsatztiefe	2	2 Meter (Brettner, 2024)
Maximale Einsatztiefe	1	bis 14 Meter (Brettner, 2024)
Maximale Einsatzzeit	4	12 Stunden pro Akkuladung (Thöne, 2024)
Einsatz bei Strömung	0	kein Einsatz bei Strömung möglich (Brettner, 2024)
Einsatz bei Kontamination	4	möglich, das Gerät wird durch eine Öffnung im Eis per Haltestange unter Wasser gehalten (Brettner, 2024)
Einsatz bei Bewuchs	2	bei sehr viel Bewuchs Beeinträchtigungen (Brettner, 2024)
Einsatz bei Gewässertrübung	4	möglich (Brettner, 2024)
Einsatz bei Eisbildung	1	möglich, das Gerät wird durch eine Öffnung im Eis per Haltestange unter Wasser gehalten (Brettner, 2024)
Suchgeschwindigkeit	3	1600 m ² / Minute (von einem Uferstandort 50 Meter Radius im 5 Minuten) CAVE: Nur vom Ufer möglich! (Brettner, 2024)
Suchgenauigkeit	3	hoch, "bei umfangreichen Tests 80% Treffer" (Brettner, 2024)
Durchführung von Maßnahmen	0	nicht möglich



Ausbildung für das zweite Einstiegsamt der Laufbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes

Eidesstattliche Eigenständigkeitserklärung

Datum: 13.06.2024

Name: Christian Pesch, Feuerwehr Dortmund

Thema der Facharbeit:

Zukunft bei Taucheinsätzen der Feuerwehren. Die Ausbildung der Feuerwehrtaucher ist sehr aufwändig. Einsätze sind eher selten, dafür sehr anspruchsvoll. Insbesondere die Suche von vermissten Personen in Gewässern verläuft oft erfolglos. Inwieweit können technische Entwicklungen wie z. B. Echolot, Unterwasserdrohnen und GPS- Orientierung unter Wasser zu einer Verbesserung des Einsatzerfolges führen? Welche weiteren technischen Entwicklungen und Neuerungen könnten Feuerwehrtaucher in der Zukunft unterstützen? Geben Sie einen Überblick über aktuelle Entwicklungen und Trends und bewerten Sie diese aus Ihrer Sicht hinsichtlich der Eignung für den Feuerwehreinsatz.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit explizit benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form ganz oder teilweise noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Meschede, den 13.06.2024

Ort, Datum

