

# Kompetenzzentrum für menschenzentrierte Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen (KARoKAS)

Förderkennzeichen 16SV8631

Adrian Schischmanow<sup>1</sup>, Alfred Iwainsky<sup>2</sup>, Sandra Böhm<sup>3</sup>, Lina Figueiredo<sup>4</sup>, Michael Melzer<sup>5</sup>, Patrick Neumann<sup>5</sup>, Astrid Oehme<sup>3</sup>, Angelika Trübswetter<sup>4</sup> und Elise Werner<sup>4</sup>



<sup>1</sup>Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin-Adlershof

<sup>2</sup>Gesellschaft zur Förderung  
angewandter Informatik e.V. (GFaI)  
Volmerstraße 3  
12489 Berlin

<sup>3</sup>HFC  
Human-Factors-Consult GmbH  
Köpenicker Straße 325  
12555 Berlin

<sup>4</sup>YOUSE GmbH  
Florastraße 47  
13187 Berlin

<sup>5</sup>Bundesanstalt für  
Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin

## 5.1 Ziele des Kompetenzzentrums

### 5.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Während Industrieroboter längst breitenwirksam sind, ist bei Assistenzrobotern ein technischer Stand erreicht, bei dem von Praxisreife in vielen Fällen noch nicht gesprochen werden kann. Insbesondere die Entwicklung von Assistenzrobotik und deren produktiver Einsatz im Katastrophenfall und bei komplexen Schadensereignissen steht noch am Anfang, da hier die Probleme der Einsatzlogistik, schwieriger Umgebungsbedingungen und erweiterte Ansprüche an die Zuverlässigkeit hinzukommen, so dass

letztendlich die ersten Einsatzkräfte vor Ort noch immer Menschen sind und Roboter deutlich an ihre Grenzen stoßen. Die Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) findet in diesen Domänen in so komplexen Prozess-, Entscheidungs- und Handlungsräumen statt, dass es bisher selbst an formalisierten Konzepten und Bewertungen fehlt. Die Anforderungen an die Robustheit, Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit (Usability) der Roboter im Feldeinsatz sind hierbei besonders hoch (vgl. De Greeff et al. 2018).

Insgesamt gibt es bei Katastrophen und komplexen Schadensereignissen derzeit keine flächenhaften Praxiserprobungen von Assistenzrobotik. Deren systematische Einbindung in operative Abläufe von Vor-Ort-Kräften wird mittlerweile aber immer stärker von Endanwender:innen gefordert. Dabei geht es um die Erstellung aussagekräftiger ad-hoc Lagebilder, die Erfassung und Vermittlung weiterer relevanter Daten für die Einsatzkräfte und auch um robotische Unterstützung beim Rettungs- und Bergungsvorgang. Ziel ist die Erhöhung der Sicherheit – sowohl der Einsatzkräfte als auch der Bevölkerung – sowie die effektive und effiziente Bewältigung der Lage.

Große Hürden für den Einsatz von Assistenzrobotik in dieser Anwendungsdomäne sind die zum Teil gravierenden technischen Schwächen, Störanfälligkeiten und damit verbundene potentielle Sicherheitsrisiken sowie nicht ausreichende und nicht einheitliche Standards, Normen, Zertifizierungen und Dokumentationen. Darüber hinaus erfüllen weder die Sensorik, Kommunikation und Navigation noch die Datenverarbeitung die hohen Anforderungen an sichere, operationell einsatzfähige Systeme. Es gibt auch nicht unerhebliche Defizite in der Ausbildung und somit ungeübten Umgang mit robotischen Systemen in der Praxis.

Auf dem Weg zu praxistauglichen und nutzenbringenden robotischen Assistenzsystemen für Einsätze in Katastrophensituationen und bei komplexen Schadensereignissen ist deshalb interdisziplinäre Forschung notwendig, die alle genannten Aspekte aufgreift und integriert. Am Deutschen Rettungsrobotik Zentrum (DRZ) in Dortmund wird dies bereits aus technischer Perspektive vorangetrieben. Eine wissenschaftlich begleitende Forschung zur Bewertung der MRI, der Gebrauchstauglichkeit und des Nutzer:innenerlebens (Usability und User Experience, UUX) sowie von ethischen, rechtlichen und sozialen Belangen (Ethical, Legal and Social Implications, ELSI) wird am DRZ jedoch nicht betrieben und ist dort so auch nicht geplant. Diese Themen stellen

indes das entscheidende Bindeglied zwischen der Technik und den Anwender:innen dar. Sie stellen sicher, dass technische Lösungen nicht an den Nutzenden vorbei entwickelt werden und nehmen eine Schlüsselrolle in der erfolgreichen Überführung von Assistenzrobotik in die Praxis sowie bei der Akzeptanz und sicheren Nutzung der Assistenzsysteme ein. Das Forschungsprojekt „Kompetenzzentrum für menschenzentrierte Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen“ (KAroKas) schließt diese Lücke und bildet damit eine sinnvolle und nachhaltige Ergänzung zu bereits bestehenden Kompetenzzentren wie dem DRZ.

### **Gesellschaftliche Relevanz der Anwendungsdomäne**

Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels und den infolgedessen zunehmenden Wetterextremen mit Hitze- und Starkregenereignissen, den daraus resultierenden Katastrophen und komplexen Schadensereignissen der letzten Zeit ist absehbar, dass es zukünftig einen Mehrbedarf an technischen Weiterentwicklungen zur Rettung von Menschenleben sowie zur Entlastung von Einsatzkräften geben wird. In diesem Kontext gibt es Nachholbedarf an technischer Unterstützung (IFAFRI 2019), dem zukünftig u. a. auch mit robotischen Assistenzsystemen begegnet werden sollte.

Das Thema Katastrophenschutz wurde zuletzt auf bundespolitischer Ebene von Unionsfraktionschef Ralph Brinkhaus adressiert: „Das Land ist nicht darauf vorbereitet, auf Krisen schnell, flexibel und einheitlich zu reagieren. Es gibt nahezu keine Notstandsgesetzgebung für zivile Krisen. Es gibt keine schnell aktivierbaren gemeinsamen Bund-Länder-Kommunal-Krisenstäbe.“ (ntv.de, 2021). Dieser Umstand hemmt auch die Innovationskraft auf der Technikseite, wodurch wiederum ein effektives und effizientes Handeln erschwert wird.

KAroKas möchte diese gesellschaftlich wichtige Herausforderung annehmen, indem es sich der Entwicklung, Anpassung und Evaluierung robotischer Assistenzsysteme für den Einsatz in Katastrophen und komplexen Schadensereignissen mit der wissenschaftlichen Bewertung von UUX und ELSI als Schwerpunkt widmet und damit den Einsatz gebrauchstauglicher und im Sinne der MRI sicherer Systeme voranbringt. KAroKas wirkt dabei komplementär zur technischen Ausrichtung des DRZ und bezieht teilweise auch die polizeiliche Gefahrenabwehr ein. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit beider Kompetenzzentren ermöglicht einen ganzheitlichen Erkenntnisgewinn und

die Entwicklung menschenzentrierter, in die Organisations- und Interaktionsprozesse optimal integrierter Assistenzroboter. Vor dem Hintergrund des Klimawandels, seiner Auswirkungen und des Bedarfs an robotischer Assistenz in der Anwendungsdomäne „Katastrophenschutz und komplexe Schadenslagen“ wäre die Kombination beider Zentren damit von großem gesellschaftlichem Nutzen.

### 5.1.2 Thema des Verbundprojektes

Im Fall komplexer Schadenslagen und Katastrophen können robotische Systeme sehr unterschiedliche Unterstützung leisten. Durch Erdbeben, Überflutungen und andere Katastrophen beschädigte und einsturzgefährdete Gebäude können von Einsatzkräften nicht immer sofort betreten werden. Jedoch ist es für den Einsatzauftrag zwingend notwendig, Informationen über den Zustand des Gebäudes zu erhalten sowie darüber, ob sich Personen in dem Gebäude befinden und deren Aufenthaltsort zu kennen. Die Einsatzkräfte nutzen daher Unbemannte Luftfahrzeuge (Unmanned Aerial Vehicles (UAV) bzw. Unmanned Aerial Systems (UAS)) sowie Bodenroboter, die räumliche Daten und Informationen zum Gebäudezustand sowie einzelner Räume erheben und dazu beitragen, ein Lagebild mit allen wichtigen Informationen zu erstellen. Daraus erkennen Expert:innen, ob und welche Räume ggf. (nicht) betreten werden können. Daneben können die Roboter detektieren, ob sich Menschen in dem Gebäude aufhalten und wo. Haben sie eine Person gefunden, teilen sie das den Einsatzkräften mit, so dass die Einsatzleitung entscheiden kann, wie für die Rettung vorgegangen wird. Außerdem sind Roboter in der Lage, eine Sprachverbindung zwischen der hilfebedürftigen Person und den Einsatzkräften herzustellen. Die Roboter unterstützen die Einsatzkräfte als Begleiter, indem sie sie zu georteten Personen navigieren und dabei darauf achten, dass etwaige gefährliche Räume/ Orte im Gebäude gemieden werden. Zusätzlich unterstützen sie die Einsatzkräfte durch den Transport von Gerätschaften, Material oder Personen.

Die Beschreibung der Unterstützungsmöglichkeiten verdeutlicht die Heterogenität der speziellen Fähigkeiten der Roboter, aber auch ihrer Schnittstellen zur Interaktion mit den Einsatzkräften einerseits und den betroffenen Personen andererseits. Beide Nutzer:innengruppen haben zudem unterschiedliche Anforderungen an die robotische Assistenz. Diese Anforderungen, deren Umsetzung in adäquate Interaktionskonzepte,

die Prüfung dieser Konzepte und die sinnvolle Einbettung in den organisatorischen Ablauf der Rettungskette sind Gegenstand des Kompetenzzentrums. Hierfür stehen KAroKas eine Reihe an dezentralen Einrichtungen und Infrastrukturen zur Verfügung (Abbildung 5.1), die zur Evaluation von Assistenzrobotern in simulierten Katastrophen und komplexen Schadenslagen, wie sie oben skizziert wurden und für alle weiteren adressierten Use Cases geplant sind, genutzt werden können. Die Testzentren sind über Deutschland verteilt und jedes bietet einzigartige Evaluierungsumgebungen (Trümmerstrecken, beschädigte Gebäude, Brandkammern, Verkehrsversuchsanlagen, Flughäfen). In diesen Einrichtungen werden Abläufe im Zusammenspiel zwischen Menschen und Robotern in simulierten Katastrophen und komplexen Schadensereignissen für verschiedene Use Cases evaluiert.



**Abbildung 5.1:** KaRoKas-Testumgebungen (Auswahl)

o.l.: Verwindungsbahn, Foto: FKVV Urban; o.r.: VW Roadshow Nutzfahrzeuge 2013, Foto: FKVV Urban; u.l.: Toyota Off-Road Event 2008, Foto: FKVV Urban; u.r.: Feuerwehr Ausbildung am Waldbrand-Tanklöschfahrzeug TLF 20/50 Typ "Brandenburg"2009, Foto: FKVV Urban

### **Vision für die Assistenzrobotik in der gewählten Anwendungsdomäne**

KAroKas ist ein Kompetenzzentrum mit dezentralen Test- und Evaluierungsmöglichkeiten, bei dem Hersteller ihre Assistenzroboter für den Anwendungsbereich Katastrophenschutz und komplexe Schadenslagen unter realistischen Einsatzbedingungen im Hinblick auf MRI-, UUX- und ELSI-Fragestellungen untersuchen lassen können und Gebrauchstauglichkeitsbewertungen, Technology Readiness Level (TRL) und Hinweise zu technologischen Lücken und Zertifizierungen aus Sicht der Nutzer:innen-zentrierten Forschung erhalten. Endanwender:innen können ihrerseits die Systeme in möglichst realitätsnahen Szenarien in den operativen Abläufen erleben und die Usability von Expert:innen bewerten lassen. Sie werden für das Thema ELSI

sensibilisiert und erhalten Workshops und Trainings. KARoKas nutzt einen szenarienbasierten Ansatz der darauf abzielt, Endanwender:innen unmittelbar und kontinuierlich in die MRI- und UUX-Evaluierungsprozesse einzubeziehen. Innerhalb von KARoKas werden ganzheitliche Konzepte für die MRI- und UUX-Beurteilung von Assistenzrobotik für die Anwendungsdomäne unter Einbezug von ELSI-Fragestellungen entworfen und dabei von Anforderungen der Endanwender:innen sowie sozialer, ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeitsaspekte geleitet. KARoKas gibt Hinweise zur optimalen Gestaltung der Roboter, Schnittstellen und der Interaktion zwischen Menschen und Robotern und trägt zur Erhöhung von Usability, Anwendungssicherheit und Akzeptanz von Assistenzrobotern in der Anwendungsdomäne bei. Mit der Vernetzung der Akteur:innen entlang der Wertschöpfungskette entstehen Nutzungs- und Geschäftsmodelle für den Einsatz zukünftiger Assistenzroboter in Katastrophen und in komplexen Schadenslagen.

### **Bezug des Verbundprojektes zur Bekanntmachung des BMBF**

Die Bekanntmachung erfolgte auf Grundlage des BMBF-Forschungsprogramms zur Mensch-Technik-Interaktion (MTI) „Technik zum Menschen bringen“. Genau in dieser Interaktion, und zwar in einer gesamtgesellschaftlich besonders bedeutenden Anwendungsdomäne, liegt der Fokus von KARoKas. Hier ist die MTI hinsichtlich Komplexität der eintretenden Situationen, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Roboter sowie der Akzeptanz der Nutzer:innengruppen besonders herausgefordert.

Die Hightech-Strategie (BMBF, 2019), die Strategie Künstliche Intelligenz (BMW, 2020) sowie der Aktionsplan „Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ (BMVI, 2020) der Bundesregierung adressieren Assistenzroboter als wichtigen Bestandteil der technologischen Weiterentwicklung bis zur Anwendung. Der damit verbundene Technologietransfer erfordert umfangreiche Tests solcher Gesamtsysteme und Systemkomponenten unter einsatzrealistischen Bedingungen, um in der Umsetzung die Systemsicherheit vollumfänglich zu gewährleisten.

### **Adressierte Forschungsfragen und deren Relevanz im Kontext der Anwendungsdomäne**

Die von KARoKas adressierten Forschungsfragen sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Sie sind auf die Anwendungsdomäne „Katastrophenschutz und komplexe Schadenslagen“

zugeschnitten. Ihre Behandlung ist für den erfolgreichen Einsatz von Assistenzrobotik in dieser Domäne unabdingbar.

### Interaktionsformen

- Wie kann MRI bei Großschadenslagen in welchen Situationen über welche Interaktionsformen hinreichend zuverlässig durchgeführt werden? Welche Alternativen sind denkbar und unter welchen Bedingungen sind sie akzeptabel?

### Interaktionsgeräte

- Welche Verbesserungen in der MRI ergeben sich durch den Einsatz verschiedener Interaktionsgeräte? Welche Interaktionen seitens des Roboters sind gut realisierbar und für Menschen verständlich?

### Intelligente Kleidung

- Welche Rollen können intelligente Kleidungen, Helme und Schuhe in der MR-Kooperation spielen? Welche neuen Funktionen sind zu entwickeln?

### Reproduzierbare Bewertung

- Wie kann man Assistenzroboter in ihrer Kooperation mit Menschen und anderen technischen Systemen im Katastropheneinsatz und in komplexen Schadenslagen sachlich und reproduzierbar bewerten?

### Gezielte Informationsbeschaffung

- Wie können Roboter zur gezielten Informationsbeschaffung eingesetzt werden? Welche Mechanismen, insbesondere KI-Funktionen, führen zu guten Lagebeschreibungen und Entscheidungshilfen?

### MRI zwischen Roboter und Verunglückten

- Wie kann MRI zwischen Roboter und einer verunglückten Person gestaltet werden. Welche Erklärung von Hilfestellungen sind in welcher Situation von Vorteil?

**Abbildung 5.2:** Zentrale Auswahl von Forschungsfragen, die in der Konzeptphase von KAroKas diskutiert wurden

### 5.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

#### **Strukturierte Erfahrungen mit der Anwendung von Assistenzrobotik**

Das Projekt folgt einem menschenzentrierten Entwicklungsprozess (human-centered design process, HCD) mit dem besonderen Schwerpunkt des Einbezugs verschiedener Akteur:innen von heterogen zusammengesetzten Einsatzteams einerseits und heterogenen robotischen Systemen andererseits, die das Team während eines Einsatzes unterstützen (vgl. KARoKas Use Cases). Hierbei werden zum einen die Prozessketten während eines Einsatzes betrachtet, so dass lückenlose und intuitive Interaktionsabläufe zwischen den Einsatzkräften und Robotern entstehen. Zum anderen rückt auf Betroffenseite die Interaktion zwischen Roboter und Laien in den Vordergrund, und zwar Laien, die sich gerade in einer Notlage befinden. Beide Interaktionsperspektiven werfen vielfältige ethische, rechtliche und soziale Fragestellungen auf, deren Beantwortung die Auslegung der MRI-Schnittstellen leiten wird.

#### **Entwicklung von Test-Szenarien, Metriken und Benchmarks**

Zu den wichtigsten Aktivitäten des KARoKas-Konsortiums in der Konzeptphase gehörte die Ausarbeitung, Diskussion, Bewertung und Priorisierung einer Vielzahl verschiedener Varianten von Use Cases (szenarienbasierte Entwicklung). Dabei spielte die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Partner mit ihren spezifischen Perspektiven eine große Rolle. Es ging vor allem darum, Assistenzrobotik zunächst gedanklich auf Basis vorhandener Kompetenzen und Erfahrungen in realistische Szenarien bei komplexen Schadenslagen zu integrieren. Dabei hatte die Sicht der menschlichen Nutzer:innen höchste Priorität. In die Arbeiten im Juli 2021 flossen Erfahrungen aus der aktuellen Flutkatastrophe ein, bei der sich auch KARoKas-Partner:innen bzw. deren Technik im Einsatz befanden. Fünf repräsentative Use Cases wurden ausgewählt, die im Projekt abgebildet werden sollen:

- Vermisstensuche und -bergung nach Erdbeben, Beyond-the-Rubble-Aufträge
- Großschadenslage nach Wetterereignis
- Wald- und Vegetationsbrand
- Terroranschlag in Stadion mit Massenansturm von Verletzten
- Großbrand in Industriehalle

Diese und weitere in der Machbarkeitsstudie ausgearbeitete Use Cases sollen als Konkretisierungen allgemeiner Leitlinien dienen, aber kein starres Korsett bei der

Umsetzung des Kompetenzzentrums sein. Vielmehr soll auf neu entstehende Prioritäten im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes (z. B. aufgrund sich häufender Großschadenslagen) und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Assistenzrobotik und anderer relevanter Techniken flexibel reagiert werden.

### **Werteorientierte und nachhaltige Gestaltung von Assistenzrobotik**

Mit Responsible Research and Innovation (RRI) ist auf europäischer Forschungsebene ein Konzept entwickelt worden, das mögliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft stärker in den Fokus rücken soll. „Im Sinne der »RRI-Philosophie« geht es bei der Ausgestaltung von Forschungs- und Innovationsprozessen somit um die stärkere und frühzeitige Adressierung sozialer, ökonomischer und ökologischer Herausforderungen unter Berücksichtigung bestimmter ethischer Prinzipien und normativer Ziele.“ (Lindner et al., 2016). Die soziale, ökonomische und ökologische Verantwortung rückt damit auch für die Assistenzrobotik immer weiter in den Fokus und wird daher in KAroKas eine wichtige Rolle einnehmen. In der Anwendung der ELSI-Workshop-Konzeptionen in KAroKas werden Expert:innen aus verschiedenen Bereichen mit ihrer interdisziplinären Wertevielfalt ethische, rechtliche und soziale Bedingungen für den Einsatz von robotischen Assistenzsystemen (RAS) reflektieren und debattieren. Als Grundlage werden hierfür im Projekt sieben Bewertungsdimensionen von MEESTAR (Manzeschke et al., 2013) mit Risiken aus dem UK-RAS Network (McDermid et al., 2019) verknüpft.

### **Gesellschaftliche Anforderungen an interaktive Assistenzrobotik**

Der gesellschaftliche Nutzen von technischen Assistenzsystemen ist groß. Wichtig dabei ist vor allem die Anpassung der Technologien an gesellschaftliche Bedürfnisse und Anforderungen. Gesellschaftliche Grundwerte und Freiheiten dürfen durch sie nicht verletzt werden. Dies gilt vor allem auch im Bereich des Katastrophenschutzes und in komplexen Schadenslagen, wo buchstäblich jede Sekunde zur Rettung von Leben zählt. Im ELSI-Konzept bilden die sieben MEESTAR-Dimensionen den Rahmen für verschiedene Bedürfnisse, Grundwerte sowie Freiheiten, welchen bei der Implikation von robotischen Assistenzsystemen (RAS) Beachtung geschenkt werden muss. Bei der Bewertung entstehen dabei jedoch auch mögliche Zielkonflikte, da jede Technik Folgen implizieren kann, die für Einzelne negativ sind, aber dennoch aus gesellschaftlicher Perspektive legitim erscheinen (Grunwald, 2005). Ein Beispiel hier-

für ist die Müllverbrennungsanlage, die niemand vor seinem Haus haben möchte, die aber trotzdem notwendig ist, um das gesellschaftliche Müllaufkommen zu bewältigen. In der Konzeptphase von KARoKas wurden solche Spannungsfelder beispielsweise in Rettungsszenarien identifiziert – hier können Fürsorge- und Sicherheitsaufträge, welche dem generellen Wohl von Personen dienen, im Einzelfall Eingriffe in die Privatheit oder auch Bevormundung bedeuten.

Ethische und soziale Aspekte einer MRI zeigen sich vor allem im Rahmen der Verantwortungsproblematik, wie bereits in der ersten Erhebung (ELSI-Workshop) der Konzeptphase durch die hohe Priorisierung von Sicherheits- und Haftungsfragen durch die Teilnehmenden deutlich wurde. Ganz oder teilautonom agierende Roboter können Schäden verursachen, sind aber offensichtlich nicht auf dieselbe Weise verantwortlich wie natürliche oder juristische Personen. Darüber hinaus kann in bestimmten Interaktions- und Teamformen die Verantwortung für die Handlungsergebnisse unter Umständen nicht mehr eindeutig zugeordnet werden. Das gilt insbesondere für autonome und lernende Robotersysteme, in denen nicht mehr nur Entwurf, Konstruktion und Programmierung, sondern auch die jeweilige Lerngeschichte und damit auch der Verlauf der Interaktion selbst die Handlungen bestimmen (Marino and Tamburrini, 2006). So müssen RAS dem Nutzen des Menschen unterstellt sein – nur so kann ihnen Legitimität und Akzeptanz entgegengebracht werden.

## **5.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik**

### **5.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik**

Für die robotische Exploration in Katastrophenfällen und bei komplexen Schadensereignissen werden bereits UAV/ UAS (DLR, 2019a) und punktuell Bodenroboter (T-Online.de, 2019) eingesetzt. Der Entwicklungsstand reicht von Forschungsprototypen bis zu kommerziellen Systemen. Letztere sind auf haptische MRI ausgelegt, Gestik- und Sprachsteuerung haben sich hier noch nicht durchgesetzt. Flugroboter sind wesentlich häufiger im Gebrauch als Bodenroboter.

Der Fokus in der Anwendungsdomäne liegt aktuell auf kleinen Flugrobotern. Obwohl

oft nicht explizit dafür entwickelt, werden sie vermehrt von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) eingesetzt. Produkte wie DJI Mavic 2<sup>1</sup>, DJI Mavic 2 Advanced<sup>2</sup>, Evo II<sup>3</sup>, Parrot<sup>4</sup> oder Skydio-X2<sup>5</sup> zeichnen sich durch umfangreiche Funktionalität aus und verfügen z.T. bereits über eine Kollisionsvermeidung, Gesichtserkennung, Tracking und Folgefunktion. UAV sind zum Teil so konstruiert, dass Anwender:innen eigene Spezialsensoren, z. B. zur Gaselektrodetektion (Neumann et al., 2019a,b), integrieren können. Autonomer Indoor-Flug und autonomes Schwarmverhalten (University of Zurich, o.D.) sind derzeit noch Gegenstand von Forschung. UAV-Hersteller stehen jedoch bereits an der Schwelle zu autonomen Indoor-Systemen (Staff, 2017) oder haben sie bereits überschritten.

Im Gegensatz zu UAV sind kommerzielle Bodenroboter weniger breit aufgestellt. Vereinzelt gibt es kommerzielle Assistenzsysteme für dedizierte Aufgaben, z. B. Inspektion, autonome Erkundung (Husky UGV<sup>6</sup>) oder Transport (Moose UAV<sup>7</sup>). Diese sind aber nur bedingt in der Anwendungsdomäne erprobt und die Hürden für den operativen Einsatz scheinen insgesamt wesentlich höher als bei UAV zu sein.

Einige KMU bieten vornehmlich im UAV-Bereich speziell konfektionierte Lösungen für Inspektions- und Erkundungsaufgaben an, z. B. zur Feuer- und Gaselektrodetektion, wie den AirRobot<sup>8</sup> oder die Lösungen der Firma THOLEG Civil Protection Systems<sup>9</sup> und auch bodengestützte Roboter, z. B. zur Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung von Alpha Robotics<sup>10</sup>.

Neben Universitäten und Hochschulen werden in Deutschland von Forschungseinrichtungen, beispielsweise dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT)<sup>11</sup>, dem

---

<sup>1</sup><https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise?site=brandsite&from=nav>

<sup>2</sup><https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise-advanced?site=brandsite&from=nav>

<sup>3</sup><https://autel drones.com/pages/evo-ii-collections>

<sup>4</sup><https://www.parrot.com/en/drones>

<sup>5</sup><https://www.skydio.com/skydio-x2>

<sup>6</sup><https://clearpathrobotics.com/husky-unmanned-ground-vehicle-robot/>

<sup>7</sup><https://clearpathrobotics.com/moose-ugv/>

<sup>8</sup><https://www.airrobot.de/projekte>

<sup>9</sup><https://THOLEG.com/>

<sup>10</sup><https://www.alpha-wolf.de/alpha-wolf-r1>

<sup>11</sup><https://www.informatik.kit.edu/>

Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)<sup>12</sup>, dem Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE)<sup>13</sup>, dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB)<sup>14</sup>, dem Forschungszentrum Informatik (FZI)<sup>15</sup> und dem Institut Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)<sup>16</sup>, Assistenzroboter und/oder mit ihnen in Zusammenhang stehende Technologien mit Bezug zum Zivil- und Katastrophenschutz entwickelt. Daneben gibt es BMBF-geförderte Kompetenzzentren, z. B. ROBDEKON<sup>17</sup>, mit Fokus auf Robotersysteme für Dekontaminationsaufgaben. Das Deutsche Kompetenzzentrum für Rettungsrobotik DRZ ist mit Technologien für die zivile terrestrische Gefahrenabwehr in menschenfeindlicher Umgebung bzw. zur Unterstützung bei Rettung und Schutz von Menschen und Sachwerten aufgestellt<sup>18</sup>.

Weiterhin gibt es ein breites Spektrum nationaler UAV-FuE-Förderprojekte mit Bezug zur Anwendungsdomäne, beispielsweise: Drohnen-Autonomie und Vereinfachung der Nutzung von Drohnen-Schwärmen (HTW Berlin)<sup>19</sup>, vernetzte und integrierte UAV-gestützte Datenerfassung im Bevölkerungsschutz (Projekt Vision)<sup>20</sup>, fliegende Robotersysteme zur Detektion und Analyse gasförmiger Schadstoffe mittels FTIR-Spektroskopie (Projekt ATHMOS)<sup>21</sup>, schnelle Hilfe für Ertrinkende (Projekt GUAR-

---

<sup>12</sup><https://www.dfki.de/web/forschung/forschungsbereiche/robotics-innovation-center/>

<sup>13</sup><https://www.fkie.fraunhofer.de/de/Pressemeldungen/WeltweiteBerichterstattungUeberDrohnenforschung.html>

<sup>14</sup><https://www.iosb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/kuenstliche-intelligenz-autonome-systeme.html>

<sup>15</sup><https://www.fzi.de/forschung/forschungsfelder/detail/ffeld/service-robotik-und-mobile-manipulation/>

<sup>16</sup><https://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11370/>

<sup>17</sup><https://www.iosb.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2018/start-kompetenzzentrum-robdekon.html>

<sup>18</sup><https://rettungsrobotik.de/>

<sup>19</sup><https://www.htw-berlin.de/forschung/online-forschungskatalog/projekte/projekt/?eid=2927>

<sup>20</sup>[https://www.dortmund.de/de/leben\\_in\\_dortmund/sicherheit\\_und\\_recht/feuerwehr/forschung\\_fw/laufende\\_projekte\\_fw/projekt\\_vision/index.html](https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/sicherheit_und_recht/feuerwehr/forschung_fw/laufende_projekte_fw/projekt_vision/index.html)

<sup>21</sup>[https://www.dortmund.de/de/leben\\_in\\_dortmund/sicherheit\\_und\\_recht/feuerwehr/forschung\\_fw/laufende\\_projekte\\_fw/projekt\\_athmos/index.html](https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/sicherheit_und_recht/feuerwehr/forschung_fw/laufende_projekte_fw/projekt_athmos/index.html)

DIAN)<sup>22</sup>, Suche nach Verschütteten (Projekt SORTIE)<sup>23</sup>, humanitäre Hilfe (Projekt Drones4Good)<sup>24</sup>, Aufklärung von Großschadens- und Katastrophenlagen aus der Luft (Projekt Livelage)<sup>25</sup>.

Auf EU-Ebene gibt es die H2020-Forschungsprojekte ASSISTANCE<sup>26</sup>, CURSOR<sup>27</sup>, FASTER<sup>28</sup>, INGENIOUS<sup>29</sup>, ResponDrone<sup>30</sup> und TERRIFIC<sup>31</sup>, die das Ziel vereint, Technologien für Einsatzkräfte weiterzuentwickeln und sinnvoll miteinander zu verknüpfen. Sie unterscheiden sich im technischen Fokus, nutzen aber alle robotische Systeme. Je nach Projekt liegt der Schwerpunkt mehr auf Flug- oder Bodenrobotern, Einzelsystemen, Kombinationen oder Schwärmen oder der Verknüpfung mit weiteren Technologien für Einsatzkräfte, z. B. smartere persönliche Schutzausrüstung (PSA) und/ oder Wearables.

Aktuelle Forschungstrends in der Rettungsrobotik beschäftigen sich bisher weniger mit MRI als mit technischen und informatischen Innovationen (Dadvar and Habibian, 2021). Die Kategorisierung und Bewertung robotischer Systeme wird vorwiegend basierend auf technischen Eigenschaften der Roboter durchgeführt (z. B. auf Basis der Fortbewegung, Sensorik, etc.). Erst neue Ansätze der Klassifizierung aus menschenzentrierter Sicht unterstützen hier bei der szenarienbasierten Entwicklung von MRI (Schweidler et al., 2020b, Schuchardt et al., 2017b).

Für die MRI-Forschung in der Rettungsrobotik liegt der Fokus auf der Fernsteuerung teilautonomer Systeme (siehe Delmerico et al. 2019 für einen Überblick). Neben klassischen Interfaces wie Joysticks werden in Forschungsprojekten auch Exoskelette (Wang et al., 2015) und Wearables (Miehlbradt et al., 2018) für deren Steuerung

---

<sup>22</sup>[https://www.th-koeln.de/hochschule/schnelle-hilfe-fuer-ertrinkende-per-drohne\\_83962.php](https://www.th-koeln.de/hochschule/schnelle-hilfe-fuer-ertrinkende-per-drohne_83962.php)

<sup>23</sup>[https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/sortie\\_72838.php](https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/sortie_72838.php)

<sup>24</sup>[https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2021/01/20210208\\_launch-of-the-drones4good-project.html](https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2021/01/20210208_launch-of-the-drones4good-project.html)

<sup>25</sup><https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/sicherheitsforschung-live-lage-1806820>

<sup>26</sup><https://assistance-project.eu/>

<sup>27</sup><https://www.cursor-project.eu/>

<sup>28</sup><https://www.faster-project.eu/>

<sup>29</sup><https://ingenious-first-responders.eu/>

<sup>30</sup><https://responldroneproject.com/>

<sup>31</sup><https://www.terrific.eu/>

entwickelt. Während es vielfältige Interaktionsmöglichkeiten gibt, wenn sich Roboter und Einsatzkraft in Sichtnähe zueinander befinden (Zeigegesten, Sprachkommandos, etc.), schränken sich die Möglichkeiten bei einer Fernkontrolle ein und es ergeben sich neue Herausforderungen: Die durch Entfernung und Bandbreite beeinflusste Interaktionslatenz wirkt sich negativ auf das Situationsbewusstsein des Operators, dessen Beanspruchung und die empfundene Akzeptanz bzgl. der robotischen Assistenz aus (Khasawneh et al., 2019).

### 5.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Die KARoKas-Verbundpartner bringen Assistenzroboter mit verschiedenen Fähigkeiten (Abbildung 5.3) in das Zentrum ein. Ergänzt wird die Palette durch robotische Systeme und flankierende Technologien, die im Projekt identifiziert und angemietet oder gekauft werden, einschließlich Ergebnissen aus H2020-Projekten, an denen der Koordinator (DLR) beteiligt ist. Zudem stehen Spezialfahrzeuge assoziierter Partner, z. B. das Amphibienfahrzeug PIONIER von CTM<sup>32</sup> und Räummaschinen von ReloConsult<sup>33</sup> (u. a. Dachschneeberäumung mittels Auslegerarm) für die KARoKas-Use-Cases zur Verfügung.

Das Vorhaben KARoKas geht über den Stand von Wissenschaft und Technik hinaus, indem es explizit einen gesonderten Forschungsfokus auf die Bewertung des Interaktionsverhaltens zwischen Menschen und Assistenzrobotern legt. Dafür werden Interaktionsstrategien und Prozessabläufe entwickelt, Evaluationsmethoden angewendet und in einen formalisierten Gesamtprozess eingebunden. Zwar gibt es international und auch in Deutschland bereits Kompetenz-, Versuchs- und Ausbildungszentren im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes, aber KARoKas adressiert zusätzlich folgende Schwerpunkte und Aspekte in Kombination:

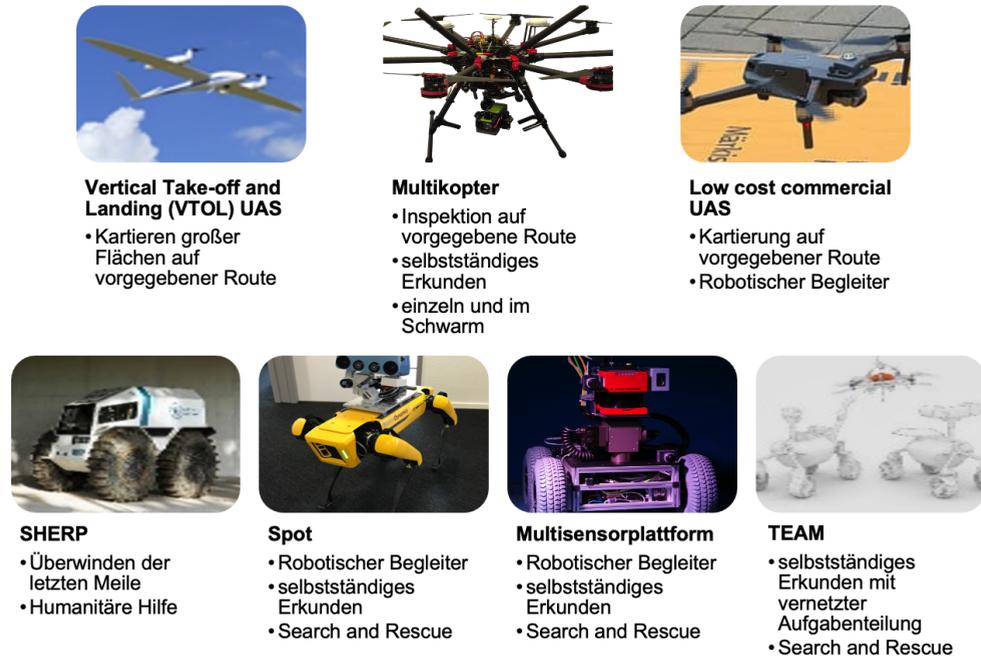
**Interaktionsverhalten:** Untersuchung der Kooperation von Assistenzrobotern (ggf. mehrerer, Multi-Agenten-Teams) mit Einsatzkräften und anderen technischen Systemen (z. B. Smart PSA) unter möglichst realistischen Einsatzbedingungen mit Schwerpunkt der Bewertung von MRI und UUX unter Einbeziehung von ELSI und Nachhaltigkeitsaspekten. Letztere können sich sowohl auf Effizienz und Energieverbräuche des

---

<sup>32</sup><https://www.ctm-fahrzeugbau.de/>

<sup>33</sup><http://www.reloconsult.de/>

Gesamtsystems beziehen (z. B. Yang and Parasuraman 2020), aber auch auf die soziale Nachhaltigkeit der Assistenzroboter (Kohl et al., 2020).



**Abbildung 5.3:** Assistenzroboter des Kompetenzzentrums KAroKas (Auswahl).

**Evaluationstechniken:** Im Feldeinsatz werden hohe Anforderungen an die Roboter bezüglich Gebrauchstauglichkeit und einfacher Bedienung, wahrgenommener technischer Fähigkeiten wie die Zuverlässigkeit, Robustheit und Sicherheit sowie die Unterstützung des Situationsbewusstseins der bedienenden Personen gestellt (Delmerico et al., 2019). Der Kern des Vorhabens besteht darin, sowohl das Zusammenspiel zwischen Assistenzrobotern und Endanwender:innen (MRI) in den Use Cases mittels UUX- und ELSI-Methoden als auch die Assistenzroboter und Einsatzprozesse mehrkriteriell zu bewerten. Hierfür wird auf den umfangreichen Vorarbeiten der Projektpartner aufgebaut und es werden bereits vorhandene Konzepte zur Taxonomierung von MRI-Szenarien genutzt und weiterentwickelt (Onnasch et al., 2016, Schweidler et al., 2020b). Einschlägige Bewertungsinstrumente für Kriterien der Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241-11) und User Experience (DIN EN ISO 9241 Teil 210) werden in Bewertungsmetriken überführt und getestet. Um eine möglichst breite assistenzro-

botische Vielfalt funktionaler und interaktiver Fähigkeiten vorzuhalten, bringen die Projektpartner ihre Assistenzroboter in das Zentrum ein (siehe Abbildung 5.3).

**Prozess-Kaskaden:** Eine der größten Herausforderungen in der Rettungsrobotik ist das Zusammenspiel innerhalb der Multi-Agenten-Teams, insbesondere bei der Einbindung unterschiedlicher robotischer Systeme (Lewis et al., 2019). Diese sollte nach den Bedarfen der Agenten innerhalb der Teams erfolgen, um die Effektivität des Teams und auch dessen Energieverbrauch zu optimieren (Yang and Parasuraman, 2020). Zur Bewertung von MRI und UUX adressiert KARoKas Prozess-Kaskaden sowie die Konzeption, Erprobung und Bewertung technischer Systeme und ihres Zusammenspiels unter Berücksichtigung organisatorischer und räumlicher Aspekte. Besonderes Augenmerk liegt auf der Mensch-Roboter-Interaktion / -Kommunikation / -Kooperation, deren Untersuchung und intuitiven Gestaltung entsprechend den Anforderungen der Einsatzkräfte und des Einsatzablaufes. Dabei werden unterschiedliche Kommunikationsformen (Gestik, Sprache, Haptik) einbezogen. Die Bewertungen der technischen Systeme erfolgt entsprechend den Prämissen von Usability und ELSI und anhand objektiver Verfahren zur mehrkriteriellen quantitativen Bewertung von Assistenzrobotern und der MRI. Jedwede Aspekte der Gefahrensituation werden dabei betrachtet: Umgebungsfaktoren (Gelände, Zugang etc.), Stakeholder (Einsatzkräfte, Gerettete, ggf. freiwillige Helfende), Technik (zur Verfügung stehende Roboter, Gerätschaften, weitere Technik) sowie – ganz wichtig – das Zusammenspiel aller Gegebenheiten.

**Großräumige Feldversuche:** Komplexe Feldversuche werden in eigenen ausgedehnten Testgeländen (siehe auch Abbildung 5.1) durchgeführt. Einzelne Projektpartner sind in der Lage, den Einsatz von Assistenzrobotern in echten komplexen Schadenslagen zu organisieren. Mit dem DLR als Projektkoordinator besteht darüber hinaus ein einzigartiger Zugriff auf Daten für Lagebeschreibungen simulierter und echter komplexer Schadenslagen.

KARoKas verfolgt damit einen Forschungsansatz, der MRI, UUX, ELSI und Nachhaltigkeitsaspekte integrativ betrachtet und damit entscheidende Mehrwerte und Synergien für die Weiterentwicklung von Assistenzrobotik und deren Anwendung in Katastrophen und komplexen Schadensereignissen generiert. Dies schließt das grundlegende Anliegen von KARoKas ein, nicht eine einzelne Roboter-Anwendung bis zur Perfektion

voranzutreiben, sondern eine innovative Methodik und zugehörige technische, organisatorische und räumliche Mittel für die nachhaltige Etablierung von Assistenzrobotik in der Anwendungsdomäne zu schaffen, die für Einsatzkräfte und auch übergeordnete Entscheidungsebenen breit nutzbar sind. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur institutionellen Infrastruktur im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes in Deutschland geleistet und ergänzt bereits vorhandene Institutionen (z.B. DRZ) in der Anwendungsdomäne. Abbildung 5.4 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen den Projekten KAroKas und Living Labs des DRZ sowie Kooperationspotentiale.



Abbildung 5.4: Vergleich zwischen KAroKas und dem DRZ

### 5.2.3 Risikodarstellung

Auch wenn mittlerweile eine solide technologische Basis vor allem an Flugrobotern vorhanden ist (und mit Abstrichen auch an bodengestützten Assistenzrobotern), die po-

tentiell auch für den Einsatz in Katastrophensituationen und komplexen Schadenslagen denkbar wäre, müssen die Systeme i. d. R. doch noch anwendungsspezifisch adaptiert und in eine übergeordnete Anwendungssoftware eingebunden werden. In KARoKas werden deshalb ebenfalls Delta-Entwicklungen nötig sein, um die Roboter für die Use Cases Fit-for-Duty zu bekommen und Akzeptanz bei den Nutzer:innen zu erzielen. Die Risiken bestehen also in der in KARoKas angestrebten Szenarien- und HMI-orientierten Entwicklung. Sie liegen vor allem in der Komplexität der Anwendungsszenarien selbst: viele Akteur:innen (Menschen und Roboter), verschiedene Verantwortungsbereiche und Umgebungen, Stresssituationen. Darüber hinaus beinhaltet die Etablierung eines arbeitsfähigen Kompetenzzentrums weitere Risiken, selbst wenn einzelne Szenarien des Einsatzes von Assistenzrobotern in der Anwendungsdomäne gut funktionieren. Der Grund besteht in der Notwendigkeit einer interdisziplinären Kooperation von Partnern mit sehr verschiedenen Sichten und Kompetenzen und der damit verbundenen hohen organisatorischen Komplexität.

## 5.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

### 5.3.1 Use Cases und Formalisierungen, Prozess- und Interaktionsstrategien

Die in der Machbarkeitsstudie identifizierten und ausgearbeiteten Use Cases werden im Projekt weiter detailliert und formalisiert sowie Prozess- und Interaktionsstrategien für den möglichst effizienten Einsatz der robotischen Assistenten in Kooperation mit Menschen im Nah- und Fernbereich erarbeitet. Die Ergebnisse sind die Basis für anschließende Adaptionen der robotischen Assistenten, um sie Fit-for-Duty zu bekommen. Für die praxisnahe Evaluierung der Assistenzrobotik werden bestehende Testgebiete weiter ausgebaut. Um z. B. parallele Brandausbrüche und Gasfreisetzungen innerhalb eines größeren Geländes simulieren zu können, wird ein entsprechendes System aus Emissions- (und ggf. Zündquellen) entworfen und aufgebaut, welches von einer mobilen Operationsbasis aus zentral gesteuert werden kann. Diese versuchstechnische Infrastruktur wird modular und flexibel gestaltet und zudem umsetzbar sein, um auf allen beteiligten Testfeldern instrumentiert werden zu können. Damit lassen sich verschiedenste Einsatzszenarien in unterschiedlichen Umgebungen (z. B. offenes Gelände oder Wald, Wohn- oder Fabrikgebäude, Infrastruktur- und verkehrstechnische Anlagen) realisieren.

### 5.3.2 Bewertung von MRI, UUX und ELSI

Den Verbund-Expert:innen für ELSI und HCD, YOUSE und HFC, stehen etablierte Methoden zur Verfügung. Eine wichtige Aufgabe besteht darin, diese Methoden in einen gemeinsamen Arbeitsprozess zu integrieren, der die Forschungsroutine des Kompetenzzentrums nachhaltig leitet, d. h. die verschiedenen Nutzer:innengruppen konsequent einbezieht und zudem den Erkenntnisgewinn im Sinne eines lernenden Systems strukturiert fortführt. Die gemeinsame Routine wird in Grundzügen einem User-Experience-Design-Prozess folgen, der unter anderem im Projekt KUKoMo<sup>34</sup> von HFC für die Integration von MRI in der Praxis weiterentwickelt und erprobt

---

<sup>34</sup><http://www.kukomo.de/>

wurde (Oehme et al., 2019). Die enge Zusammenarbeit bei der Planung, Entwicklung, Erprobung und Einführung wird von MRI-Expert:innen durch geeignete Erhebungs- und Evaluationstechniken unterstützt. Dabei werden in KARoKas die klassischen Phasen des HCD durchlaufen, d. h. es werden Anforderungen erhoben, es wird systematisch überprüft, ob die vorhandenen Roboter diese Anforderungen schon erfüllen, es werden Empfehlungen für Anpassungen abgeleitet, die durch die technischen Partner umgesetzt werden und es erfolgen technische Validierungen sowie Evaluationen mit Nutzer:innen im Feld unter realen Einsatzbedingungen und Anpassungen einschlägiger Methoden der Human-Factors-Forschung.

Dieser Prozess wird von der Analyse und iterativen Bearbeitung von ELSI-Fragestellungen gespeist. Als Grundlage für die ELSI-Begleitforschung wird das Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements (MEESTAR) herangezogen (Manzeschke et al., 2013). Mit Hilfe des mehrdimensionalen Modells werden ethisch-moralisch sensible Themen im Projekt identifiziert und hinsichtlich ihrer Bedeutung bewertet. Das Verfahren wurde von der Projektpartnerin YOUSE bereits in zahlreichen thematischen Kontexten in Form interaktiver Workshops angewandt (dynamicHIPs, AKOLEP, MYOW). Der Leitgedanke dabei ist, dass die betroffenen Personengruppen in einem von YOUSE moderierten Aushandlungsprozess eine systematische Analyse und Bewertung der robotischen Systeme in ihren jeweiligen Kontexten vornehmen, Spannungsfelder sowie Herausforderungen bei der Anwendung von Assistenzrobotik im jeweiligen Katastrophenfall identifizieren und die so gewonnenen Ergebnisse in den Entwicklungsprozess integriert werden. Neben der Analyse und iterativen Entwicklung der Technologien sowie der Einbeziehung der Praxiserfahrungen der Projektpartner ist auch die Sensibilisierung der verschiedenen Stakeholdergruppen für die Thematik von hoher Bedeutung.

Die konkrete Umsetzung im Projekt wird in mehreren iterativen Erhebungsschleifen über den Projektzeitraum erreicht. Dazu werden die entwickelten Use Cases mit Vertreter:innen der jeweiligen Stakeholder in interaktiven Workshop-Formaten betrachtet und bewertet, ELSI-Herausforderungen sowie erste Lösungsansätze erarbeitet und in die Entwicklung mit einbezogen. Die so identifizierten anwendungsspezifischen ELSI-Fragestellungen bilden die Basis einer gemeinsamen Erarbeitung von Nutzungsabläufen und möglichen MRI-Schnittstellen mit den technischen Partnern.

Die ELSI-Workshops bilden die Metaperspektive der Evaluation und werden flankiert durch Tests innerhalb anwendungsspezifischer MRI-Nutzungsszenarien auf Basis der Use Cases.

Zur Identifikation ELSI-relevanter Fragestellungen für die geplante Umsetzungsphase des Vorhabens KAroKas wurde im Juni 2021 ein interdisziplinärer Workshop nach einem adaptierten MEESTAR-Modell (Manzeschke et al., 2013) mit Mitgliedern der Projektpartner:innen durchgeführt. Um dem inhaltlichen Schwerpunkt des KAroKas-Vorhabens gerecht zu werden, wurden die sieben Dimensionen des Modells inhaltlich um die mittels UK-RAS-Network (Winfield et al., 2019) erarbeiteten ethischen Aspekte im Kontext Robotik und autonomer Systeme ergänzt. In wechselnden Kleingruppen sowie Plenumsphasen wurde eine erste Sondierung von ELSI-Herausforderungen beispielhaft für einen Use Case durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für die Machbarkeitsstudie mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet und bilden neben einschlägiger Literatur sowie Projekterfahrungen der Partnerin YOUSE die Basis der Konzeption des ELSI-Vorgehens im Projekt. Für die inhaltsanalytische Auswertung wurden die von den Workshop-Teilnehmenden angebrachten ELSI-Herausforderungen im Anschluss an den Workshop deduktiv codiert und paraphrasiert. Ebenso wurden die Herausforderungen induktiv nach thematischen Schnittmengen geclustert und damit bedeutende ELSI-Fragestellungen abgeleitet. Aus den Aspekten innerhalb der sieben MEESTAR-Dimensionen ergeben sich thematische Schnittmengen, die im Projektverlauf genauer betrachtet werden, um im nächsten Schritt relevante ELSI-Fragestellungen auszuarbeiten (Abbildung 5.5). Darüber hinaus werden durch die thematische Clustering gemäß qualitativer Inhaltsanalyse Spannungsfelder und Fallstricke zwischen den ethischen Dimensionen deutlich, welche bei KAroKas mitgedacht werden müssen.

### 5.3.3 Mehrkriterielle quantitative Bewertung der Assistenzroboter

Assistenzroboter werden u. a. mittels TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) und Fuzzy-Methoden (z. B. (Kahraman et al., 2007, Nádában et al., 2016)) mehrkriterieller quantitativer Bewertungen unterzogen. Dazu werden Kriterien der Effektivität und Effizienz verwendet, u. a. Präzision, Abarbeitungsdauer, Erfüllungsgrad der Aufgabe. Im Sinne der Nachhaltigkeiten werden hier auch Kriterien wie der Energieverbrauch der Roboter und deren Nutzwert in den MRI-Szenarien einbezogen. Im Projekt wird dazu ein Katalog mit geeigneten und möglichst

### 1 Die Situation der Hilfeleistung

- Interaktion in Hilfeleistungsprozessen bspw. Anamnese, Erstversorgung, Schutz und Seelsorge und RAS-Funktionen sowie Einschränkungen, Datenschutz

### 2 Der Umgang mit Daten

- Zugriffsrechte, sichere Datenübertragung und -verarbeitung, Persönlichkeitsrechte, subjektive Wahrnehmungen, informelle Selbstbestimmung

### 3 Transparenz, Gerechtigkeit und Teilhabe in Rettungsprozessen

- Nachvollziehbarkeit von und Mitsprache bei Entscheidungen, Chancengleichheit, Gleichverteilung von Ressourcen

### 4 Kommunikation

- diverse Kommunikationsformen (Sprachen, schriftlich, ...) und -weisen (menschlich, direkt, offen, nachvollziehbar, situativ, ...) und damit verbundene subjektive Gefühle (bspw. Sicherheit, Wohlempfinden)

### 5 Gleichberechtigung und Sensibilität

- bezüglich Zugänglichkeit bzw. Barrierefreiheit und Stigmatisierung/Bias (gem. AGG-Kriterien)

### 6 Vertrauen und Akzeptanz

- durch Form und Funktion sowie Kommunikationsprozesse und Reliability von RAS, ebenso Lernfähigkeit von RAS

### 7 Mensch-Roboter-Interaktion (MRI)

- Akzeptanz durch gute Zusammenarbeit und komplementäre Kooperationsmodi, geregelte und durch RAS-unterstützte Entscheidungsfindung und Prioritätensetzung: Kooperation bei Entscheidungshoheit auf Seite des Menschen, Fragen nach Autonomiegrad der RAS, Abhängigkeitsverhältnisse durch RAS

### 8 Verantwortungsübernahme, Zuständigkeiten und Haftbarkeit

- kontinuierliche Betreuung und Wartung von RAS, Bereitstellung Infrastruktur, Haftung und Handlungsspielraum bei Ausfällen, Absicherung von Entscheidungen, Qualifizierungen/ Aus- & Weiterbildungen, Risikoabschätzung für den Einsatz

## Abbildung 5.5: Identifizierte ELSI-Themenkomplexe

verallgemeinerbaren Bewertungsmetriken erarbeitet und mit den Expert:innen des DRZ harmonisiert. In Tests und Evaluationen werden Daten erhoben und für o. g. Bewertungen in geeigneter Form aufbereitet und methodisch untersucht. Damit werden gleichzeitig Beiträge zur Verbesserung der Datenlage von Assistenzrobotik in der Anwendungsdomäne geleistet.

### 5.3.4 Optimierung der Prozessautonomie

Es werden u. a. Multi Objective Decision Making, insbesondere Goal-Programming und Progressive Information (Sen, 2020) und MCDM (Basilico and Amigoni, 2011) als Methoden zur Optimierung der Autonomie von Bewegungsprozessen und Abläufen im Einsatz robotischer Systeme eingesetzt. Außerdem kommen KI-Methoden zur

Erfassung von bekannten, guten Entscheidungen als Vorlage für autonome Reaktionen (Steels, 2001) zur Anwendung. Ziel ist es, Verbesserungspotentiale der Robotereffizienz im Einsatz zu erkennen und zu erschließen.

### 5.3.5 Alltagstauglichkeit

Die im Rahmen vorbereitender MRI-, UUX- und ELSI-Untersuchungen befragten Endanwender Berliner Feuerwehr und I.S.A.R. Germany haben bereits generelle Anforderungen an technische Unterstützung durch Assistenzroboter formuliert. Dazu zählen die Erhöhung der Sicherheit der Einsatzkräfte, die Unterstützung bei Aufgaben zur Entlastung des Personals (Transport ist hier besonders hervorzuheben) sowie Unterstützung bei der Gewinnung von Informationen und bei der Informationsauswahl nach Relevanz. Wichtig für die Akzeptanz der RAS sind dabei einerseits die Nachvollziehbarkeit des Zustandekommens der Ergebnisse und das Vertrauen in sie. Andererseits muss die Entscheidungsgewalt über die einzuleitenden Maßnahmen beim Menschen liegen. Diese und weitere im Projektverlauf zu identifizierende Nutzungsanforderungen wird KAroKas in seiner Schnittstellenfunktion zwischen technischer Forschung und Entwicklung einerseits und Anwendungsperspektive andererseits aufgreifen. Damit wird gewährleistet, dass Alltagstauglichkeit und Nutzer:innen-Akzeptanz sichergestellt sind und nicht an Endanwender:innen vorbei entwickelt wird.

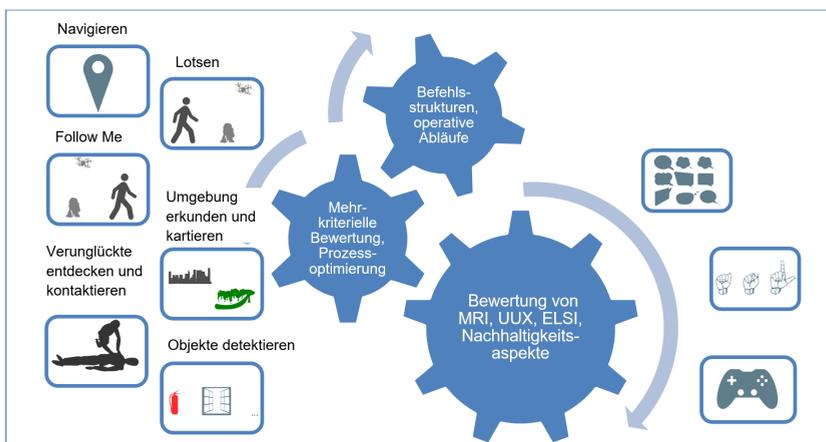


Abbildung 5.6: KAroKas – Themen-Cluster für eine integrierte Forschung

### 5.3.6 Integrierte Forschung

Das vom BMBF vorgeschlagene Thema „Grundlagen einer reflektierten Entwicklung neuer Interaktionsmodi zwischen Mensch und Technik – für ein neues Verständnis der Beziehungen von Individuum, Gemeinschaft und Gesellschaft in digitalisierten Lebenswelten“ (BMBF, 2020) wird KARoKas als Leitlinie für integrierte Erforschung seiner Themen-Cluster (Abbildung 5.6) dienen.

## 5.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

### 5.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn wird u. a. in der Beantwortung der Forschungsfragen aus Kapitel 5.1.2 und darauf aufbauend in der Entwicklung, Bewertung und Etablierung der Kaskade vereinheitlichter Abläufe, von technischen Tests einzelner Produkte über komplexe Feldtests, Evaluierungen, Vergabe von TRL bis hin zu Gebrauchstauglichkeitsbewertungen bzw. Zertifizierungen von Assistenzrobotern für ihre Kooperation mit Einsatzkräften bei Katastrophen und komplexen Schadenslagen bestehen. Dabei werden Know-how und große Datenmengen akkumuliert. Eine strukturierte Datenbank wird kontinuierlich erweitert und ihr Inhalt der Wissenschaft zur Verfügung gestellt (teilweise open access). Über die Konsortialpartner FHDW, DLR und GFaI (An-Institut der Berliner Hochschule für Technik (BHT)) werden KARoKas-Ergebnisse in die Lehre einfließen, über die Berliner Feuerwehr sowie I.S.A.R. Germany in die Aus- und Weiterbildung und das Training der Einsatzkräfte sowie über THOLEG Civil Protection Systems in die Aus- und Weiterbildung von UAV-Piloten.

Die Aussichten für eine wirtschaftlich erfolgreiche Nutzung des geplanten dezentralen Kompetenzzentrums auch nach der Förderphase können aus den folgenden Gründen bereits jetzt als hoch eingeschätzt werden (siehe auch Kap. 5.4.2):

Die nutzer:innenzentrierte Ausrichtung des Kompetenzzentrums ist Voraussetzung für die Akzeptanz bei den Zielgruppen und damit für den wirtschaftlichen Erfolg. Das Kompetenzzentrum wird über ein breites Spektrum an Einrichtungen mit anwendungsspezifischer Infrastruktur verfügen. Die Großimmobilien und Einrichtungen, mit denen entsprechende Dienstleistungen angeboten werden, sind nicht erst zu erwerben,

sondern gehören bereits zwei Verbundpartnern (DLR, BAM). Alle Verbundpartner verfügen entsprechend ihrer Ausrichtung über Zugang zu Zielgruppen bzw. zum Markt. Die KMU-Partner gehen davon aus, dass sie durch ihre Beteiligung an KAroKas auch in anderen Anwendungsdomänen zusätzliche Umsatzpotentiale erschließen können. Die Berliner Feuerwehr wird die anwenderbezogene Verwertung unterstützen, indem sie das Projekt und die Ergebnisse schon während der Laufzeit in den bundesweiten Fachmedien der BOS veröffentlicht und auf Fachveranstaltungen präsentiert. So kann bei den potenziellen Anwender:innen frühzeitig Aufmerksamkeit und Interesse für das Kompetenzzentrum erzielt werden.

Das in Kapitel 5.5.1 erwähnte HGF Innovation Lab OPTSAL<sup>35</sup> ist eine hervorragende Basis für die Integration behördlicher Nutzer:innen. Mit dem Ziel der Erweiterung der wirtschaftlichen Basis des Kompetenzzentrums (Etablierung einer Betreibergesellschaft bereits in der Umsetzungsphase) soll nach Ende der Förderung eine Ausweitung der o. g. Dienstleistungen auf andere für den Katastrophenschutz relevante Hightech wie Smart PSA, Spezialfahrzeuge, Löschmittel und Hochwasserbarrieren vorgenommen werden.

### 5.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Die Entwicklung des Kompetenzzentrums wird bereits innerhalb des Förderzeitraumes auf anschließende weitere wirtschaftliche Nutzung durch das Angebot folgender Hightech-Dienstleistungen mit Bezug zu Assistenzrobotern Dritter ausgerichtet:

- Durchführung technischer Funktionstests und komplexer Evaluationen in verschiedenen, klar festgelegten (im Förderprojekt entwickelten) Anwendungsszenarien unter Nutzung der verschiedenen Facilities mit ihren Infrastrukturen; diese Nutzung auch für Übungen/Schulungen
- Generierung digitaler Funktionsbeschreibungen, Bewertungen und weiterer relevanter Daten
- Vergabe von Zulassungen, Technology Readiness Levels (TRL), Qualitätspässen, Gebrauchstauglichkeitsbewertungen und Zertifikaten

Jeder Kund:innenantrag führt nicht nur zu direkter, sondern auch zu indirekter Wertschöpfung. Letzteres betrifft das untersuchte Technik-Arsenal und die gepflegte

---

<sup>35</sup><https://www.optsal.de/>

Datenbank. Im Katastrophen- bzw. Großschadensfall wird den jeweiligen Einsatzleitungen logistische und technische Hilfe geboten:

- Einsatzempfehlungen zu im Kompetenzzentrum verteilt stationierten Assistenzrobotern
- Bereitstellung dieser Technik, Einweisung von Einsatzkräften im Umgang mit ihr, Integration in konkrete Befehlsstrukturen, Weiterleitung relevanter Bestandteile der digitalen „Schatten“

Zur kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse wird eine Betreibergesellschaft etabliert. Es werden attraktive Geschäfts- und Bezahlmodelle (Pay per Service, ggf. kombiniert mit Pay per Availability) für die o. g. Hightech-Services Herstellern von Assistenzrobotern und anderen Unternehmen angeboten. Für die Gründung der Betreibergesellschaft werden von Beginn des Vorhabens an drei Alternativen verfolgt und bewertet:

- Neugründung mit differenzierter Beteiligung von Verbundpartnern und ggf. auch assoziierten Partnern als GmbH oder als Genossenschaft
- Einer der schon existierenden KARoKas-Partner übernimmt die Rolle der Betreibergesellschaft als neuen Geschäftszweig
- Neugründung als eingetragener Verein (e. V.), wobei KARoKas-Partner Vereinsmitglieder werden

Aufgrund dieser positiven Einschätzung hinsichtlich des Ergebnisses des Transfers wird gegenwärtig von einer wirtschaftlichen Nutzung vom Beginn innerhalb des ersten Jahres nach Abschluss der Förderphase ausgegangen.

## 5.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

### 5.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Die Verbundpartner haben in dedizierten Projekten, sowohl im Bereich der technischen Entwicklung als auch der Mensch-Roboter-Interaktionsforschung, umfangreiche Kompetenzen erarbeitet und Erfahrungen gesammelt, die eine Motivation für die Etablierung von KAroKas sind:

**DLR:** Das DLR verfügt über breite Kompetenzen in den für KAroKas relevanten Fachgebieten Robotik, Fernerkundung, UAV bzw. UAS, Sensorik, Sensordatenfusion und automatische Ortung (indoor und outdoor). Dies gilt auch für den Anwendungsbereich des Katastrophenschutzes bzw. der Behandlung von Großschadenslagen, insbesondere unter Nutzung von Fernerkundungsdaten, z. B. Waldbranderkennung von Satelliten und UAS-Schwärmen aus (DLR, 2019), zur Lagebilderstellung. Aktuell ist der Verbundkoordinator u. a. am Horizon-2020-Projekt zum Einsatz von Hightech im Katastrophenschutz INGENIOUS<sup>35</sup> (First Responder of the Future) beteiligt und leitet das HGF Innovation Lab OPTSAL<sup>36</sup> (Optical Technologies for Situation Awareness) mit behördlichen Partnern. Auch im Bereich terrestrischer Robotik<sup>37</sup> hat das DLR höchste Kompetenzen erworben. Eine bedeutende Entwicklung aus dem DLR-Institut für Optische Sensorsysteme in Berlin-Adlershof ist das Integrierte Positioning System (IPS)<sup>38</sup> (Börner et al., 2017, Schischmanow, 2020).

**BAM:** Die Kompetenzen resultieren aus langjährigen Dienstleistungen für sicherheitstechnische Fragestellungen in Technik und Chemie. Dies beinhaltet Prüfung, Analyse und Zulassung von Stoffen, technischen Produkten und Anlagen sowie die Erstellung von Zertifikaten, Gutachten, Anerkennungen sowie Prüf- und Forschungsberichten. Zwei aktuelle Beispiele für Transferaktivitäten sind das Innovationsforum InnoBOSK<sup>39</sup>, in dessen Rahmen eine Plattform zur Kontaktaufnahme, zum Networking und zum Austausch von Projektergebnissen zwischen Herstellern sicherheitsrelevanter Lösungen und BOS entwickelt wird (BAM, 2021b) und das H2020-Projekt METABUILDING LABS<sup>40</sup>, in dessen Rahmen Testbeds für innovative Gebäudefassaden-Elemente aufgebaut werden (BAM, 2021a). Weitere Beispiele von für KAroKas relevanten Vorerfahrungen gehen aus Bäßler (2020), Bradley et al. (2021) und Spitzer et al. (2021) hervor.

**Berliner Feuerwehr:** Neben den Erfahrungen aus dem Einsatzalltag einer Großstadt-Feuerwehr trägt die Berliner Feuerwehr auch mit ihren Kompetenzen und Kenntnissen aus über 10 Jahren Forschungsarbeit<sup>41</sup> zum Projekt bei. Als Anwendungspartner hat sie viel Erfahrung in der Begleitung und Auswertung von Feldtests und der Evaluation technischer Systeme und Anwendungen. Diese Erfahrungen haben einen Teil der Use Cases in KARoKas geprägt. Außerdem werden Erkenntnisse aus dem nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch mit anderen BOS zu realen Einsatzszenarien und Anwendungspotenzialen verschiedener Arten von Assistenzrobotern eingebracht.

**FHDW:** Die private Fachhochschule lebt die Einheit von Forschung und Lehre als Voraussetzung ihrer staatlichen Anerkennung als Hochschule. Der „übliche Geschäftsbetrieb“ besteht gerade in dieser Kombination. Die FHDW hat vielfach ihre Fähigkeit unter Beweis gestellt, in komplexen kooperativen FuE-Projekten exzellente Leistungen zu liefern. Ein herausragendes Beispiel ist ihre Mitwirkung im Spitzencluster „it’s OWL“ (Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe)<sup>42</sup>. Ziele sind wesentliche Innovationen in den Bereichen Automatisierung, Automotive und Maschinenbau. Ein weiteres Beispiel in auch für KARoKas relevanten fachlichen Schwerpunkten ist das ZIM-Projekt „SmartDike“ (FHDW). Dabei geht es um die Entwicklung eines ständigen Deich-Monitorings.

**Gestalt Robotics GmbH:** Das KMU ist der führende Dienstleister und Technologie-lieferant an der Schnittstelle von klassischer Automatisierungstechnik und künstlicher Intelligenz. Mit künstlicher Intelligenz, einem breiten Technologieportfolio und offenen Schnittstellen unterstützt es die Transformation zu zukunftsfähigen effizienten und flexiblen Automatisierungssystemen. Entwickelt werden innovative Lösungen mit klaren Vorteilen im Spannungsfeld von Zeit, Qualität und Kosten mit Fokus auf Bildverarbeitung und Steuerungstechnik. Anwendungsfelder sind KI-gestützte Bildverarbeitung (bspw. für visuelle Qualitätsprüfung oder visuelles Asset Tracking), autonome Navigation für mobile Roboter und Transportsysteme, adaptive u. kollaborative Robotik sowie Assistenzsysteme.

**GFal:** Vorerfahrungen zu mobilen Robotern wurden in FuE-Projekten zur automatisierten 3D-Erfassung von Innenräumen (Hohnhäuser, 2014) und zur Erkennung von Verschmutzungen in solchen Räumen gesammelt (Wolff et al., 2017). Inzwischen wer-

den auch UAV-Lösungen entwickelt (Püschel, 2020). Mensch-System-Kommunikation spielt in fast allen Förderprojekten und Aufträgen der GFaI eine große Rolle. Eine diesbezüglich besondere Herausforderung stellte das BMBF-Projekt „Akustisch und optisch erfahrbare Lernen in der Pflegeausbildung (AKOLEP)“<sup>43</sup> dar (Drost et al., 2017, Iwainsky and Thiel, 2016). Hier war auch die Erkennung von Handposen ein Schwerpunkt.

**HFC Human-Factors-Consult GmbH:** Vorarbeiten und daraus resultierende Vorerfahrungen betreffen zwei Komplexe: Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) sowie Katastrophenschutz. Beispiele für den ersten Komplex sind die Leitung des Begleitforschungsprojektes ARAIG<sup>44</sup> zur Bekanntmachung „Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten“ des BMBF (Schweidler et al., 2020a), die Begleitung der Integration von MRI in der Praxis im Verbundprojekt „Neue Konzepte zur Umsetzung von kollaborativen Montagesystemen für kleine und schwankende Produktionsstückzahlen sowie deren erfolgreiche Einführung in KMU“ (KUKoMo)<sup>45</sup> (Oehme et al., 2019) und das Projekt „Team-Mental-Models in Mensch-Roboter-Teams: Einsatzszenarien und Stand der Technik in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Onnasch et al., 2016). Für den zweiten Komplex stehen z. B. die Projekte „Kommunikations- und Informationsplattform für resiliente krisenrelevante Versorgungsnetze“ (ResKriVer)<sup>46</sup> und „Verbesserte Krisenbewältigung im urbanen Raum“ (ENSURE)<sup>47</sup> (Leitner and Onnasch, 2017, Schuchardt et al., 2017a).

**I.S.A.R. Germany:** Die 2003 gegründete private Hilfsorganisation als Zusammenschluss ehrenamtlicher Rettungsspezialisten ist weltweit die erste NGO, die als Mitglied der UN-Organisation „International Search and Rescue Advisory Group“ nach internationalen Standards geprüft und klassifiziert wurde. Die Vorerfahrungen resultieren aus konkreten Einsätzen nach Katastrophen und in Großschadenslagen im internationalen Rahmen gemäß der Devise „In Deutschland zuhause, in der Welt im Einsatz“ (Beispiele: Explosionskatastrophe im Hafen von Beirut, 2020; Hurrikan „Matthew“, 2016; Erdbeben in Nepal, 2015; Wiederaufbauprojekt nach dem Erdbeben in Haiti, 2010; Seebeben im Indischen Ozean, 2004).

**THOLEG Civil Protection Systems GmbH:** Die relevanten Vorerfahrungen ergeben sich aus dem Hauptgeschäftsfeld des KMU, d. h. aus Entwicklung und Vertrieb von Unmanned Aerial Systems (UAS) sowie zugehöriger Services und Ausbildungsaktivitäten zum Einsatz von UAS. Aktuell läuft u. a. ein ZIM-Kooperationsprojekt (gemeinsam mit zwei Partnern, die auch zum KARoKas-Verbund gehören: GFaI, FHDW) zur Erreichung eines hohen Autonomiegrades von UAS (einschließlich kleiner Flotten) bei der Applikation von Verbisschutzmitteln zielgenau an Setzlingen in Wald und Forst.

**YOUSE GmbH:** Vorerfahrungen beruhen auf einer Vielzahl von öffentlich geförderten FuE-Projekten und Industrieaufträgen, in deren Rahmen das KMU vorrangig für die Berücksichtigung ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen (ELSI) sowie für die frühzeitige Einbeziehung der zukünftigen Nutzer:innen in Innovationsprozesse und einzelne technische Entwicklungen zuständig ist. Repräsentative Beispiele von FuE-Projekten im Bereich der Robotik sind Folgende<sup>48</sup>: 3DIMiR – Angstfreie Zusammenarbeit zwischen Mensch und Schwerlastroboter in der Montage; SafeMate – Industrie 4.0 – Menschen und Roboter als Kolleg:innen in der Montage; AutARK – Autonomes Assistenzsystem für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK). Besonders hervorgehoben sei das EU-Projekt „Robot-Era – Realisierung komplexer sozialer Robotiksysteme“, in dessen Rahmen der bis dahin größte Feldtest in der sozialen Robotikforschung stattfand.

---

<sup>36</sup><https://ingenious-first-responders.eu/>

<sup>37</sup><https://www.optsal.de/>

<sup>38</sup><https://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11370/>

<sup>39</sup>[https://www.dlr.de/os/desktopdefault.aspx/tabid-9967/17040\\_read-41235/](https://www.dlr.de/os/desktopdefault.aspx/tabid-9967/17040_read-41235/)

<sup>40</sup><https://www.bam.de/Content/DE/Projekte/laufend/InnoBOSK/innobosk.html>

<sup>41</sup><http://metabuilding-labs.eu/>

<sup>42</sup><https://www.berliner-feuerwehr.de/forschung/>

<sup>43</sup><https://www.its-owl.de>

<sup>44</sup><https://www.interaktive-technologien.de/projekte/akolep>

<sup>45</sup><http://mensch-roboter-interaktion.com/>

<sup>46</sup><http://www.kukomo.de/>

<sup>47</sup><https://www.reskriver.de/>

<sup>48</sup>[https://ensure-projekt.de/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/ENSURE\\_Broschuere.pdf](https://ensure-projekt.de/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/ENSURE_Broschuere.pdf)

<sup>49</sup><https://youse.de/referenzen/>

	<b>Endanwen-der, Aus-bilder von Einsatz-kräften</b>	<b>Entwickler/Anbieter v. As-sistenzrobotern, Quer-schnittstechnologien, Zu-satztechnik</b>	<b>Anbieter von Eva-luationstechniken und -services so-wie von Versuchs-geländen</b>	<b>Promotoren von Inno-vations- und Technolo-gietransfer, Multiplika-toren</b>
<b>DLR</b>		Bodengebundene Roboter u. UAV; Navigations- und Mapping-Technologien, Bereitstellung/Auswertung von Lagebil-dern; Multimodale Sensorik; KI	Einbringung zweier ei-gener Flughäfen, Fern-erkundungsdateninfra-struktur TRL-Vergabe	Innovations-, Technologie- und Know-how-Transfer (auch durch OPTSAL); Initi-ierung von Anschlussfor-schung
<b>BAM</b>		UAV mit Payload zur Gasdetek-tion; Erkennung und Charakteri-sierung von Gasen und ihrer Ausbreitung; Initiierung von An-schlussforschung	Einbringung Testge-lände „Technische Si-cherheit BAM TTS / TUAS“ TRL-Vergabe; Prüf- u. Zertifizierungspro-zeesse	Innovations-, Technologie- und Know-how-Transfer (z. B. mittels Plattformtechnik); Initiierung von Standardisie-rungsprozessen
<b>Berliner Feuer-wehr</b>	Einsatzze-narien für und Bewer-tung von MRI	Einbringung eigener Technik in Feldtests und Einsatzübungen	Einbringung v. Übungs-Facilities in Tests und Einsatz-übungen	
<b>FHDW</b>		Analyse und Optimierung von Prozess-/ Bewegungsautonomie und logistischer Abläufe; KI		Innovations-, Technologie- und Know-how-Transfer; Ini-tiierung von Anschlussfor-schung
<b>Gestalt Robotics</b>		Bodengebundene Roboter, of-fene Schnittstellen, Systemin-tegration und Prozessautomati-sierung		
<b>GFal</b>		Bodenroboter für Inspektions-aufgaben; Einsatz von UAV; Mehrkriterielle Bewertungsmetri-ken; Optimierungsmethoden; Datenbanktechnik; KI		Initiierung von Anschlussfor-schung
<b>HFC</b>		Bewertung von MRI, Anpassung von HMI an diverse Anwen-dungsfälle	Mehrkriterielle, praxis-orientierte Evaluation von MRI, HMI	
<b>I.S.A.R. Germany</b>	Analog Berli-ner Feuer-wehr, fokus-siert auf Katastrophen			
<b>THOLEG</b>		Systemanbieter für Robotik im Zivil- und Katastrophenschutz, Ausbildung/ Training von UAV-Piloten		
<b>YOUSE</b>			ELSI; Use Case Anfor-derungsanalyse; Ein-bringung v. User Expe-rience in der MRI	

**Tabelle 5.1:** Klassifikation der Rollen der Verbundpartner

### 5.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Die Funktionen der Partner gehen weitgehend aus den vorhergehenden Abschnitten, insbesondere aus Kapitel 5.5.1 hervor. Tabelle 5.1 liefert zusätzlich eine Klassifikation der wichtigsten Partnerkompetenzen. Die matrixartige Tabelle ist insofern etwas vereinfacht, als nur die Hauptrollen der Partner im Projekt berücksichtigt wurden.

Die Kooperation der Partner untereinander wird durch ein Steuergremium organisiert und kontrolliert. Darin wird es Verantwortliche für die Gesamtleitung (DLR), Qualitätssicherung, Öffentlichkeitsarbeit und das Zusammenarbeiten mit dem Transferprojekt geben.

Die Umsetzungskette ist in sechs Schritten geplant, die sich zeitlich und inhaltlich überlappen:

1. Technische und organisatorische Umsetzung erster eingeschränkter Assistenzroboter-Nutzungsszenarien mit eingebetteten Weiter- und Anpassungsentwicklungen, Tests, Erfahrungsaustausch mit externen Playern (insbesondere Herstellern von Assistenzrobotern) und Publikationsaktivitäten
2. Erhöhung der Komplexität der angestrebten Anwendungsszenarien mit den unter 1 genannten Aktivitäten, nun aber mit umfangreichen Feldtests und erweitertem Technik-Arsenal; Kommunikation von Best Practice und Defiziten; Forcierung von wissenschaftlich-technischem Anschluss zur Beseitigung von Defiziten in der Assistenzroboter-Community
3. Planung, Durchführung und Auswertung einer Präsentationsübung; Kommunikation von Highlights bei der Nutzung von Assistenzrobotik (neueste, dann verfügbare Technik), aber auch von Defiziten möglichst mit Anregung zu deren Beseitigung
4. Etablierung einer Betreibergesellschaft, Vorbereitung und Beantragung ihrer Akkreditierung als Zertifizierungsstelle für Produkte, Prozesse und Dienstleistungen (DIN EN ISO/IEC 17065), Anbieter von Eignungsprüfungen (DIN EN ISO/IEC 17043), Validierungs- und Zertifizierungsstelle bei der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH DAkkS<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup><https://www.dakks.de/de/home.html>

5. Projektabschluss mit Publikationen der Ergebnisse, Forcierung eines wissenschaftlich-technischen Anschlusses erneut durch Kommunikation von technischen und organisatorischen Defiziten
6. Übergang in die Betriebsphase der Betreibergesellschaft (siehe Kapitel 5.4)

Diese Umsetzungskette zeigt, dass der Verbund das geplante Kompetenzzentrum als einerseits kontinuierlich offen für die Evaluation neu entstehender Assistenzrobotik (und weiterer innovativer Technik) halten und andererseits durch die Kommunikation von Defiziten Entwicklungen initiieren wird. Entscheidende Schnittstellen zwischen den Verbundpartnern im Projekt und darüber hinaus sind:

- Sensorik-, Bewegungs- und Manipulationsfunktionalität von Assistenzrobotern (DLR, BAM, Gestalt Robotics, GFaI, THOLEG Civil Protection Systems) – Formen der Mensch-Roboter-Kommunikation/ Kooperation, insbesondere auch über intelligente Kleidung (HFC); ELSI-Aspekte (YOUSE)
- Bei der Planung von Feldtests, Evaluationen aus Sicht der Praxis und Einsatzübungen: Bereitsteller der entsprechenden Einrichtungen wie Versuchsgelände (DLR, BAM, Berliner Feuerwehr); Planer der Ereignisse mit Einsatzerfahrungen (Berliner Feuerwehr, I.S.A.R. Germany); Bereitsteller diverser innovativer Technik (DLR, BAM, GFaI, THOLEG Civil Protection Systems, Gestalt Robotics, FHDW); Evaluation der MRI (HFC, YOUSE) (unter Einbeziehung aller anderen Partner)
- ameratechnik und (Bild-) Datenübertragung von Assistenzrobotern, UAS, Flugzeugen und Satelliten (DLR) zur Gewinnung von Lagebildern mittels Sensordatenfusion (DLR) und KI-basierter Entscheidungsunterstützung für Einsatzpersonal (Anwenderkompetenz: Berliner Feuerwehr, I.S.A.R. Germany; KI-Kompetenz: Gestalt Robotics, DLR, GFaI, FHDW)
- Integriertes Positioning System (IPS) zwecks Lieferung von Navigationsdaten auch in Bereichen ohne GPS-Empfang bzw. andere technische Ortungsinfrastrukturen (DLR) für aktuelle Lage- und Planungsaktivitäten im Rahmen von Mensch-Roboter-Einsätzen (Anwender: Berliner Feuerwehr, I.S.A.R. Germany; Technologie: HFC, YOUSE, GFaI) sowie Navigation mit mehrkriterieller Routenoptimierung bei komplexen Restriktionen (FHDW)

### 5.5.3 Einbindung weiterer Akteure (assoziierte Partner)

In der Konzeptphase des Verbundprojektes KARoKas ist es gelungen, wichtige Institutionen und Unternehmen als assoziierte Partner (nicht zum geförderten Verbund gehörig) für die Etablierung eines Kompetenzzentrums für Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen zu gewinnen. Das Spektrum reicht von Technologie-Anbietern über den Betreiber einer Versuchsanlage bis hin zu Multiplikatoren und Akteuren im Bildungsbereich. Im Einzelnen handelt es sich um Folgende: Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH<sup>50</sup>; CTM Fahrzeugtechnik GmbH<sup>51</sup>; Förderverein der Verkehrs-Versuchsanlage Horstwalde e. V. (FKVV)<sup>52</sup>; Gesellschaft zur Förderung nachhaltiger Innovationen und Bildungsprozesse für den Zivil- und Katastrophenschutz e. V. (InnoBi)<sup>53</sup>; ReloConsult<sup>54</sup>; Stadt Welzow<sup>55</sup>. Kurzcharakterisierung und potenzielle Beiträge zu KARoKas finden sich in den LoI. Im Zuge der Projektarbeit kann dieser Kreis erweitert werden, wenn z. B. für die Klärung aufgetretener Fragen bzw. Probleme die Einbeziehung zusätzlicher Kompetenzen notwendig wird.

### 5.5.4 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt

Im Konsortium sind diesbezügliche Vorerfahrungen vorhanden. So hat insbesondere der Partner HFC das Begleitprojekt ARAIG (Schweidler et al., 2020a) geleitet (siehe auch Kapitel 5.5.1). Die einzelnen Aktivitäten der Kooperation mit dem Transferprojekt (TP) lassen sich in folgende vier Komplexe einteilen:

**Durch das TP koordinierte verbundübergreifende Forschungsaktivitäten zu Problemkreisen von gemeinsamer Bedeutung:** Kommunikation und Bewertung von Ergebnissen zu ELSI im Rahmen verbundübergreifender Workshops; Etablierung einer Gruppe potenzieller Nutzer:innen; Beteiligung am verbundübergreifenden Wissenstransfer (über das TP) zu Evaluationsmethoden und zugehöriger Instrumente (wie die Entwicklung von Kennzahlen/ Metriken); Bereitstellung der Recherche-

---

<sup>50</sup><https://berlin-partner.de/>

<sup>51</sup><https://www.ctm-fahrzeugbau.de/>

<sup>52</sup><https://www.fkvv.de/>

<sup>53</sup><http://innobi.org/>

<sup>54</sup><http://www.reloconsult.de/>

<sup>55</sup><https://welzow.de/index.php/start.html>

bzw. Erfassungsergebnisse im Bereich der relevanten Regularien (Gesetze, Normen/Standards, Richtlinien, Vorschriften) in strukturierter und kommentierter Form für das TP und damit auch für die anderen Verbünde; Verbundübergreifende Zusammenarbeit mit Normungsgremien unter Einbeziehung des TP.

**Verbundübergreifende PR-Aktivitäten mit dem TP mit großer Öffentlichkeitswirksamkeit:** Durchführung öffentlicher Veranstaltungen mit integrierten Präsentationen von Einsätzen mit Assistenzrobotern und weiteren technischen Systemen in komplexen Schadenslagen unter Einbeziehung des TP als Multiplikator; Ein besonderer Höhepunkt soll eine öffentlich zugängliche Präsentationsübung unter Leitung des Verbundpartners Feuerwehr Berlin werden, bei der in realitätsnahen Szenarien (bei Einbeziehung von Kleindarstellern) sowohl Best Practice bei der Integration von Assistenzrobotern in Bekämpfung bzw. Management komplexer Schadenslagen als auch Grenzen technischer Systeme bzw. einzelner Komponenten klar aufgezeigt werden. Vorerfahrungen bezüglich der Planung, Organisation und Durchführung solcher Übungen sind im KAroKas-Verbund bei der Berliner Feuerwehr und HFC Human-Factors-Consult GmbH vorhanden (siehe z. B. Schuchardt et al. (2017a)). Aktive Beteiligung an verbundübergreifenden Wettbewerben via TP; Einbeziehung bzw. Information des TP in Publikationen seitens KAroKas, ggf. Organisation verbundübergreifender Veröffentlichungen z. B. in der Fachpresse

**Kooperation mit dem TP im eigenen Projektrahmen:** Artikulation technischer Bedarfe, die im Projektverlauf durch neue Erkenntnisse bzw. neue Entwicklungen im Bereich der Assistenzrobotik auftreten, in Richtung des TP u. a. mit dem Ziel, Unterstützung bei der Einbeziehung weiterer Assistenzroboter in KAroKas zu erhalten; Kommunikation von Unterstützungsbedarfen im Zuge der Entwicklung von Geschäftsmodellen für das eigene Kompetenzzentrum

**Austausch wichtiger Informationen im Zuge der Projektarbeit über das TP:** Bereitstellung von Informationen zu den Versuchsfeldern des Verbundes (Charakteristika, Orte, Kontaktdaten) für das TP als zentrale Anlaufstelle auch für interessierte externe Einrichtungen; Zugang zu Datenbanken mit Projektergebnissen; Bereitstellung von Meilenstein- und Veranstaltungs-/ Präsentationsberichten; Kommunikation eigener Erkenntnisse/ Erfahrungen im Bereich Open Source

### Danksagung

Das Autorenteam möchte sich bei allen Beteiligten bedanken, die zum Gelingen dieser Machbarkeitsstudie beigetragen haben. Besonderer Dank gilt Dirk Aschenbrenner (Koordinator des Forschungsverbundes für das Deutsche Rettungsrobotik-Zentrum (DRZ), Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Feuerwehr Dortmund), Dr. Spyros Athanasiadis (Project Manager des H2020-Projekts INGENIOUS, Senior Researcher, Crisis Management and Secure Societies (CMSS), Institute of Communication & Computer Systems (ICCS), Dr. Steven Bayer (I.S.A.R. Germany), Ralf Berger (Abteilungsleiter Sicherheitsforschung und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Michèle Börner (Auftragsadministration Berlin, DLR e.V.), Dennis Dahlke (wiss. Mitarbeiter, Abt. Echtzeit-Datenprozessierung am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Dr. Eugen Funk (Geschäftsführung Gestalt Robotics GmbH), Sabina Kaczmarek (Leiterin des Bereichs Forschungsprojekte, Stab FP, Berliner Feuerwehr), Dr.-Ing. Sebastian Glende (Geschäftsführung YOUSE GmbH), Martin Goetzke (Administration Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Feuerwehr Dortmund), Dr. Julia Gonschorek (Leiterin des Helmholtz Innovation Lab OPTSAL, Abt. Sicherheitsforschung und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Robert Grafe (Geschäftsführung Deutsches Rettungsrobotik-Zentrum e.V.), Manja Gutsche (Auftragsadministration Berlin, DLR e.V.), Christof Hammer (Gruppenleiter Cyber-Physical Systems am Institut für den Schutz kritischer Infrastrukturen, DLR e.V.), Siegfried Helling (Projektmanager Innovation Optik I Photonik, Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH), David Heuskin (Gruppenleiter Technologieerprobungssysteme am Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen, DLR e.V.), Benjamin Hohnhäuser (GFaI e.V.), Prof. Dr. rer. nat. Eckhard Koch (Vizepräsident für Forschung, Entwicklung und Transfer, Dozent für Wirtschaftsinformatik, Projektmanagement, Unternehmensgründung, IT-Sicherheit, Technologie- und Innovationsmanagement, FHDW), Thomas Kraft (wiss. Mitarbeiter Abt. Sicherheitsforschung und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Prof. Dr.-Ing. Jens Lambrecht (Geschäftsführung Gestalt Robotics GmbH), Dr.-Ing. Rodney Leitner (Geschäftsführung HFC Human-Factors-Consult GmbH), Dr. Alexander Nottbeck (Leitungsstab – Referent Sonderaufgaben, Stab A Ref 3, Berliner Feuerwehr), Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Nüßer (Fachbereich Informatik,

FHDW), Dr.-Ing. Sylvia Pratzler-Wanczura (Wissenschaftliche Leiterin am Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Feuerwehr Dortmund), Sabine Pulsmeier (Debitorenbuchhaltung, Administration Drittmittel, FHDW), Frank Püschel (Bereichsleiter Bildverarbeitung/Industrielle Anwendungen (BVIA), GfAI e.V.), Julia Stark (Stab FP 1, Forschungsprojekte, Berliner Feuerwehr), Dr. Klaus Urban (FKVV e.V.), Dr.-Ing. Armin Wedler (Abt. Mechatronische Systeme am Institut für Robotik und Mechatronik, DLR. e.V.), Thomas Zügel (Inh. THOLEG Civil Protection Systems GmbH) sowie allen Verbundpartnern, assoziierten Partnern, Teilnehmern des im Rahmen der Studie durchgeführten ELSI-Workshops und allen Unterstützern, die in der Danksagung nicht namentlich genannt sind.

## Use Case Beschreibungen

Zu den wichtigsten Aktivitäten des KArKas-Konsortiums in der Konzeptphase gehörte die Ausarbeitung, Diskussion, Bewertung und Priorisierung einer Vielzahl verschiedener Varianten von Use Cases. Dabei spielte die interdisziplinäre Zusammenarbeit völlig verschiedener Partner mit ihren spezifischen Sichten eine große Rolle. Es ging vor allem darum, Assistenzrobotik zunächst gedanklich auf Basis vorhandener Kompetenzen und Erfahrungen in realistische Szenarien bei komplexen Schadenslagen zu integrieren. Dabei hatte die Sicht der menschlichen Nutzer höchste Priorität. Bei der Arbeit im Juli 2021 sind auch Erfahrungen aus der aktuellen Flutkatastrophe eingeflossen, bei der sich auch KArKas-Partner bzw. deren Technik im Einsatz befinden. Im Folgenden wird eine Auswahl von fünf repräsentativen Use Cases erläutert. Diese und andere ausgearbeitete Use Cases sollen als Konkretisierungen allgemeiner Ziele Leitlinien, aber kein starres Korsett bei der Umsetzung des Kompetenzzentrums sein. Vielmehr soll auf neu entstehende Prioritäten im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes (z. B. auf Grund sich häufender Großschadenslagen) und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Assistenzrobotik und anderer relevanter Techniken flexibel reagiert werden.

### Use Case 1: Vermisstensuche und -bergung nach Erdbeben, Beyond-the-Rubble-Aufträge

An der Westküste der Türkei hat es ein schweres Erdbeben gegeben. Mehrere Dörfer und Städte sind betroffen. Häuser sind eingestürzt, von Einsturz bedroht oder beschädigt. Es wird mit vielen Verschütteten und Toten gerechnet. Strom-, Wasserversorgung und Telekommunikation sind unterbrochen. Andere Länder entsenden Hilfs- und Rettungskräfte, so auch Deutschland mit ISAR Germany. Mit an Bord des Flugzeugs befinden sich verschiedene robotische Systeme. Bevor die First Responder Teams zum Einsatz kommen, wird das Gebiet mit einem schnellen Fixed-Wing UAV befliegen und eine Luftbildkarte der Zerstörungen erstellt. Die Einsatzleitung leitet daraufhin priorisierte Maßnahmen ein. Dazu zählt auch der Nutzung robotischer Begleiter. Gleich nach Ankunft wird das Search- and Rescue-Team zu seinem ersten Einsatz geschickt. Es gilt zunächst, in einem eingestürzten Gebäude in der Innenstadt nach verschütteten Personen zu suchen. Die Begehung des Gebäudes durch Rettungskräfte wurde zuvor genehmigt. Zur Unterstützung wird ein Bodenroboter an das Haus teleoperiert. Dieser sucht mit seinem Bioradar nach auffälligen Signaturen und wird fündig. Parallel werden die Hunde unter Berücksichtigung der Bioradar-Ergebnisse dirigiert. Der Bodenroboter ist auch mit Wifi-Technik ausgestattet. Darüber gelingt es, mit einigen der Verschütteten Kontakt aufzunehmen, sie psychologisch in Ihrer Landessprache zu betreuen und auf die Bergung vorzubereiten. Währenddessen wird ein weiteres UAV (Multicopter) auf Erkundungsflug ins Innere des Gebäudes geschickt. Im zweiten Obergeschoss entdeckt das UAV schließlich zwei am Boden liegende, eingeklemmte Personen. Daraufhin meldet es den Fund und führt die Rettungskräfte zu den beiden Verletzten, denen schnell geholfen werden kann. Drei Tage später, nachdem die Search- and Rescue-Arbeiten beendet wurden, hat das Team von ISAR Germany freie Kapazitäten, Beyond-the-Rubble-Aufträge durchzuführen. An diesem Tag geht es darum, eine große Textilfabrik auf Erdbebenschäden zu untersuchen. Dazu hat Michael einen Bodenroboter dabei, der ihm auf seinem Weg zum Einsatzort in drei bis fünf Metern Entfernung autonom folgt und ein UAV mit Ersatz-Akkus und verschiedene konventionelle Geräte transportiert. An der Fabrik angekommen wird das UAV gestartet und erkundet das Innere selbständig, nimmt Fotos auf, kartiert in 3D und misst parallel mit seinem Gassensor, um freigesetzte Gefahrstoffe zu erkennen und

zu lokalisieren. Michael sieht bei der Analyse und Bewertung der Erkundungsdaten an einigen Säulen Risse. Die Bilddaten werden in Echtzeit auch an die Einsatzzentrale übertragen. Dort können Experten Michael bei der Bewertung der Risse im Hinblick auf die Sicherheit des Gebäudes unterstützen. Sie informieren ihn, dass weitere Bilder, und zwar von einer nicht erfassten, für das UAV schwer zugänglichen Säule, notwendig sind. Michael dirigiert daraufhin den Bodenroboter zu einer weiteren, auf ein einzelnes Ziel gerichteten Erkundung. Die zusätzlich gelieferten Bilder sind die Grundlage für die nun ausreichend gut abgesicherte Entscheidung der Einsatzzentrale, dass das Gebäude zumindest aus Sicht der Bauwerksstatik von Einsatzkräften betreten werden kann. Nachdem das UAV seinen Erkundungsflug (mit Zwischenstopps zum Akku-Wechsel) absolviert hat, kehrt es erneut zu seiner Startposition zurück. Es hat keine gefährlichen Gase in dem Gebäude feststellen können. Also kann die Begehung beginnen. Michael stellt fest, dass sein robotischer Bodenbegleiter nicht alle für diese Begehung erforderlichen Ausrüstungen an Bord hat. Daraufhin gibt er dem Roboter den Befehl, selbstständig zum ca. einen Kilometer entfernten Einsatzzentrum zurückzufahren und bittet seine Kollegen per Funk, ihn mit dem fehlenden Equipment zu bestücken und erneut auf autonome Fahrt zum Einsatzort zu schicken.

## Use Case 2: Großschadenslage nach Wetterereignis

Über die Region Berlin-Brandenburg zieht ein heftiges Sommergewitter. Es kommt zu vollgelaufenen Kellern, überfluteten Straßen, umgestürzten Bäumen, beschädigten Fahrzeugen, Verkehrsbehinderungen sowie Blitzeinschlägen und teilweise daraus resultierenden Gebäudebränden. Daneben haben Menschen die üblichen medizinischen Notfälle wie beispielsweise Herzinfarkte oder Schlaganfälle. Direkt mit dem Beginn des Unwetters gehen in der Leitstelle der Berliner Feuerwehr die ersten Notrufe ein. Sie dauern die Zeit des Gewitters und auch noch Stunden danach an. Die Feuerwehr ist in den Ausnahmezustand geschickt worden, so dass alle verfügbaren Kräfte einsatzbereit sind. Die Rettungskräfte sowie die Leitstellenmitarbeiter:innen sind aufgrund der hohen Anzahl von Notrufen und Einsätzen an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Die Leitstelle muss entscheiden, in welcher Reihenfolge die Einsätze angefahren werden. Einsätze, bei denen Menschenleben in Gefahr sind, haben oberste Priorität. Um einen besseren Überblick über die gesamte Schadenslage zu erhalten werden

mehrere schnelle Fixed-Wing-UAV entsandt, um die besonders betroffenen Stadtgebiete zunächst großflächig zu kartographieren. Durch einen KI-basierten Datenabgleich mit bestehendem Material können signifikante Schäden, insbesondere umgestürzte Bäume sowie geflutete, weggespülte oder durch Treibgut versperrte Straßenabschnitte schnell identifiziert werden. Anhand dieser Informationen wird vom System eine Einsatzkarte mit den nicht oder kaum befahrbaren Arealen erstellt, die die Grundlage für die folgende Koordinierung der Einsätze und Anfahrtswege darstellt. Alle vier Stunden wird die Kartographierung wiederholt, damit die Leitstelle stets mit einem aktuellen Lagebild arbeiten kann. Zur weiteren Lageerkundung in den schwer zu erreichenden Gebieten kommen vorzugsweise Drehflügel-UAV zum Einsatz, auch um ggf. Kontakt mit den dortigen Anwohnern (z. B. über Lautsprecher-durchsagen) aufzunehmen. Die Leitstelle erhält die telefonische Meldung über einen umgestürzten Baum, der auf ein Auto in einer überfluteten Straße gefallen ist. Telefonisch ist nicht zu erfahren, ob Personen involviert sind. Zur Erkundung der Lage schickt der Leitstellenmitarbeiter ein freies Fixed-Wing-UAV aus einer nahegelegenen Wache. Das UAV fliegt autonom innerhalb von zwei Minuten zum Zielort. Schneller geht es nicht! Das UAV macht im Tiefflug selbständig Fotos von der Szene, die in Realzeit an die Leitstelle übertragen werden. Eine Mitarbeiterin kann erkennen, dass sich in dem PKW eine Person befindet. Sie schickt umgehend mehrere Einsatzkräfte zum Unglücksort, die auf dem Rückweg von einem anderen Einsatz und nur wenige Minuten Fahrtweg vom Unglücksort entfernt sind. Die Notfallkräfte bekommen alle für den Einsatz wichtigen Informationen sowohl per Funk von der Leitstellenmitarbeiterin mitgeteilt als auch auf der Einsatz-App der Berliner Feuerwehr dargestellt. Die im Auto befindliche Person kann versorgt und schließlich befreit werden. Die Mitarbeiterin in der Leitstelle, die die Rettung initiiert hat, wünscht sich, dass ein UAV zukünftig nicht nur Fotos übermittelt, sondern per On-Board-Bildinterpretation gleich die Meldung über eine eingeschlossene Person als Pop-Up mit sofortigem Handlungsbedarf absetzt. Der Stress der Interpretation von Bildfluten würde etwas reduziert. Aber das müsste sicher in vielen verschiedenen Situationen funktionieren.

### Use Case 3: Wald- und Vegetationsbrand

Jetzt wird es langsam brenzlich. Barbara pendelt mit dem PIONIER schon den ganzen Tag zwischen See und der Hauptfront des Kampfes gegen die Feuerwalze. Sie ist für den Nachschub zuständig, bringt vor allem Löschwasser. Beim ersten Mal war es ein großartiges Gefühl, einen solchen amphibischen Riesen mit vier angetriebenen Ketten durch das Netz von verrauchten Waldwegen zu steuern. Aber dann kam von der Leitstelle die Information, dass die schon zur Routine gewordene Route nicht mehr befahrbar ist. Das ständige Monitoring mit einer Drohne hatte eine gefährliche Verschiebung der Feuerfront in ihren Wegebereich offenbart. Es erfolgte die Anweisung, eine neue, leider etwas längere Route zu nehmen. Die sah sie klar und eindeutig auf ihrem Navi. Aber dennoch: Draußen war es schlicht brenzlich. Aktuell nicht wirklich gefährlich, aber es gab viel mehr Feuerstellen in unmittelbarer Umgebung als auf der alten Route. Hoffentlich hatten Drohne und Leitstelle alles richtig gemacht. Barbara wünscht sich, dort auch mal arbeiten zu können. Das sieht sie als größere Herausforderung als das „Wasserkarren“ durch den Wald, wenn das auch neuerdings mit einem Hightech-Fahrzeug erfolgt, das sie begeistert. Sie hat davon gehört, dass ihre Funktion im Cockpit des PIONIER ohnehin bald nicht mehr gebraucht wird. Man entwickelt ihn weiter. Er soll später einem kleinen geländegängigen mobilen Roboter automatisch folgen können. Der Kleine ist der Master, der Riese der Slave. David und Goliath mal in Kooperation. In welchen Situationen das wohl funktionieren wird?

Barbara wird aus ihren Gedanken gerissen. Sie glaubt Glutnester am Rande eines bereits abgebrannten Waldstücks und in unmittelbarer Nähe völlig vertrockneter Vegetation zu entdecken. Hier könnte der nächste Kampf gegen Windmühlenflügel losgehen. Mit Hilfe der Ortungsfunktionalität ihres Navigationssystems meldet Barbara die Beobachtung bei genauer Angabe von Positionen. Eine Drohne mit Infrarot-Kamera wird dorthin geschickt, um genauer zu sondieren und ggf. einen Einsatz am Boden zu initiieren.

Am Ziel angekommen bietet sich Barbara ein Bild von Verwüstung und erfolgreichem Kampf gegen das Feuer gleichermaßen. Ein Löschroboter unterstützt die Feuerwehrleute. Im Wesentlichen macht er das gleiche wie sie, aber bei genauerem Hinsehen erkennt man, dass er per Fernbedienung weiter in eine von Feuer umgebene Schneise hineingeschickt werden kann als ein Mensch. Leider wird aber auch er schnell behindert.

Alleine könnte das relativ kleine Kettenfahrzeug noch weiter vorstoßen, aber für das Weiterziehen des Schlauches reicht die Kraft nicht. Barbara fragt sich: Wie groß und stark müsste wohl ein neuer Löschroboter sein, damit er uns wirklich hilft?

### **Use Case 4: Terroranschlag in Stadion mit Massenansturm von Verletzten**

Eine Bombe ist während einer Sportveranstaltung explodiert. Einsatzkräfte mit diversen Fahrzeugen sind bereits vor Ort. Die Situation ist zunächst unübersichtlich und auch immer noch gefährlich. Auf der Nordseite in oberen Rängen geschah es. Dort liegen Tote und schwer Verletzte. Von dort ging Panik aus. Nicht betroffene und leicht verletzte Personen bewegen sich zu den Ausgängen, wobei es zu chaotischen Szenen kommt. Ohne ihre technischen Assistenten wären die Einsatzkräfte rein zahlenmäßig überfordert. Es gibt einfach zu viel an zu vielen verschiedenen Stellen zu tun. Mit bodengebundenen fahrenden und Treppen steigenden Robotern können sich die Einsatzleiterin und ihre Einsatzkräfte auf die Versorgung der Verletzten, die Suche nach weiteren Bomben, auch unter Einbeziehung von Hunden, und die Evakuierung der Stadion-Besucher konzentrieren. Den Transport der Verletzten zu den in der Arena stehenden Krankenwagen hingegen nehmen autonom fahrende und Treppen steigende Roboter (Trageroboter) weitgehend ab. Durch den Einsatz der Trageroboter kann die Dauer der Evakuierung der Verletzten auf die Hälfte der sonst dafür nötigen Zeit reduziert werden. Ein hoher Wert für die Verletzten! Außerdem werden die Einsatzkräfte physisch entlastet. Die Einsatzleitung verfolgt die räumlich verteilten Prozesse mittels eines UAV, das einerseits Übersichtslagebilder liefert und andererseits zur gezielten Erkundung näher an bestimmte Ereignisse herangeflogen werden kann. An einer Stelle am Rande der Arena bildet sich eine Gruppe aufgeregter Menschen. Die zivile Drohne wird dorthin geleitet, um mehr zu erfahren. Eine vom Trageroboter beförderte verletzte Person hat offenbar die Nerven verloren und lehnt sich gegen den Roboter auf. Einige Umstehende versuchen zu beruhigen, andere äußern verbreitete technikfeindliche Klischees. Man wird für spätere Einsätze ein versuchsintensives Forschungsprojekt initiieren oder einen entsprechenden Auftrag erteilen, um unter psychologischen und ergonomischen Gesichtspunkten ein visuelles und akustisches Interface zwischen Roboter und transportierter Person zu entwickeln.

## Use Case 5: Großbrand in Industriehalle

In einem komplexen, unübersichtlichen Industriegelände in Berlin-Lichtenberg mit großflächigen und auch verwinkelten Bereichen ist nach einer Verpuffung ein Brand ausgebrochen. Der Rauch füllt sehr schnell die an die Produktion angrenzenden Büroräume und schneidet mehreren Personen den Fluchtweg nach draußen ab. Die Feuerwehr ist kurze Zeit nach Ausbruch des Feuers vor Ort und sondiert die Lage (auch mittels UAV). An einigen offenen Fenstern tritt bereits schwarzer Rauch aus einem der Gebäude, Flammen schlagen aus einem Teil des Daches. Einige Personen, die an offenen Fenstern und auf Balkonen stehen, können sehr schnell über Drehleitern gerettet werden. Kurze Zeit später ist klar, dass Teile des Gebäudes als einsturzgefährdet beurteilt werden und das Eindringen für die Einsatz- und Rettungskräfte in diese Bereiche unter diesen Umständen zu gefährlich ist. Daraufhin beschließt die Einsatzleitung, das Gebäudeinnere mit Robotern zu erkunden, nach Eingeschlossenen zu suchen und erste Unterstützungsmaßnahmen zur Rettung der eventuell noch im Gebäude befindlichen Personen einzuleiten. Gleichzeitig beginnen die Löscharbeiten an der Halle von außen. Die Roboter (Boden- und Flugroboter stehen zur Verfügung) sind trotz eingeschränkter Sicht in der Lage, teleoperiert (auf Basis von Bauwerksplänen) und autonom durch das Gebäude zu navigieren und es zu erkunden. Dabei kommen Infrarotkameras zum Einsatz. Die Assistenzroboter liefern eine temperaturkolorierte Gebäudekarte, erkennen – sofern es die Sicht der VIS-Kameras noch zulässt – Notausgangsschilder und Türen/Durchgänge und markieren diese in der Karte. Die Roboter können mit ihren Infrarotkameras auch im Rauch eine bewegungslos liegende Person erkennen und verorten sowie den Ort an die Einsatzleitung melden. In dieser Situation wird die Entscheidung getroffen, trotz der Gefahren in das Gebäude einzudringen. Zur Beschleunigung der Rettung führt der Roboter den zur Rettung vorgehenden Trupp unmittelbar zu der bewusstlosen Person. Es findet Erste Hilfe statt, eine Brandfluchthaube wird angelegt und die Person wird vorsichtig ins Freie gebracht. Mit weiteren Personen, die sich in einem rauchfreien Raum befinden, das Gebäude aber nicht selbstständig verlassen können, kommunizieren die Roboter per Sprache. Ein Sprachkanal zu den Einsatzkräften vor Ort bleibt permanent geöffnet. Auch in diesem Fall kann rechtzeitig Hilfe geleistet werden. Nachdem der Brand mehrere Stunden später unter Kontrolle gebracht ist, nutzen Einsatzkräfte für Nachlöscharbeiten

als Anmarschweg auch einen unterirdischen Tunnel, den die Assistenzroboter vorher kartiert hatten. Die Roboter lotsen die Löschkräfte den Anmarschweg entlang bis zu den Brandherden im Gebäudeinneren.

### Literaturverzeichnis

Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung BAM. Übersicht – BAM entwickelt mit Partner\*innen eine europäische Plattform für die Prüfung innovativer Fassadensysteme. <https://www.bam.de/Content/DE/Pressemitteilungen/2021/Infrastruktur/2021-06-29-plattform-fassadensysteme-metabuilding-labs.html>, 2021a. Letzter Zugriff: 14.07.2021.

Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung BAM. InnoBOSK – Vernetzung, zivile Sicherheitsforschung und neue Lösungen. <https://www.bam.de/Content/DE/Projekte/laufend/InnoBOSK/innobosk.html>, 2021b. Letzter Zugriff: 19.07.2021.

Nicola Basilico and Francesco Amigoni. Exploration strategies based on multi-criteria decision making for searching environments in rescue operations. *Autonomous Robots*, 31(4):401–417, 2011.

Ralph Bäßler. What went wrong? Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided. 2020.

Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF. Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025. <https://www.hightech-strategie.de/files/HTS2025.pdf>, 2019.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. D.). BMBF. Integriert forschen — Miteinander durch Innovation. <https://www.interaktive-technologien.de/forschung/forschungsfelder/grundlagen/integriert-forschen>, 2020. Letzter Zugriff: 25.10.2021.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI. Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte. Aktionsplan der Bundesregierung.

[https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/aktionsplan-drohnen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/aktionsplan-drohnen.pdf?__blob=publicationFile), 2020.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi. Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Fortschreibung 2020. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/strategie-kuenstliche-intelligenz-fortschreibung-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/strategie-kuenstliche-intelligenz-fortschreibung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=10), 2020.

Anko Börner, Dirk Baumbach, Maximilian Buder, Andre Choinowski, Ines Ernst, Eugen Funk, Denis Grießbach, Adrian Schischmanow, Jürgen Wohlfeil, and Sergey Zuev. IPS – a vision aided navigation system. *Advanced Optical Technologies*, 6(2): 121–129, 2017.

Ian Bradley, GE Scarponi, Frank Otremba, and AM Birk. An overview of test standards and regulations relevant to the fire testing of pressure vessels. *Process safety and environmental protection*, 145:150–156, 2021.

Mehdi Dadvar and Soheil Habibiyan. Contemporary research trends in response robotics. *arXiv preprint arXiv:2105.07812*, 2021.

Joachim De Greeff, Tina Mioch, Willeke Van Vught, Koen Hindriks, Mark A Neerincx, and Ivana Kruijff-Korbayová. Persistent robot-assisted disaster response. In *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 99–100, 2018.

Jeffrey Delmerico, Stefano Mintchev, Alessandro Giusti, Boris Gromov, Kamilo Melo, Tomislav Horvat, Cesar Cadena, Marco Hutter, Auke Ijspeert, Dario Floreano, et al. The current state and future outlook of rescue robotics. *Journal of Field Robotics*, 36(7):1171–1191, 2019.

Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt DLR. Sommerzeit, Waldbrandzeit – Mit fliegendem Kameraschwarm Brände aufspüren. [https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/02/20190628\\_sommerzeit-waldbrandzeit.html](https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/02/20190628_sommerzeit-waldbrandzeit.html), 2019. Letzter Zugriff: 25.10.2021.

B Drost, TD Diep, and B Hohnhäuser. Echtzeitfähige Erkennung und Klassifikation von Handposen bei der Händedesinfektion mit Methoden des Maschinellen Lernens.

*Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. GFaI (Hrsg.)*, Tagungsband des 20. Anwendungsbezogenen Workshops zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 07.-08.12.2017, Berlin(Workshop 3D-NordOst), 2017.

Fachhochschule der Wirtschaft (o. D.). FHDW. Künstliche Intelligenz im Deich. Projekt SmartDike: Entwicklung eines intelligenten Sensor- und risikobasierten Monitoringverfahrens für die direkte Integration beim Bau von Flussdeichen. <https://www.fhdw.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/SmartDike.html>. Letzter Zugriff: 29.04.2021.

Armin Grunwald. Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. *TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 14(3):54–60, 2005.

B Hohnhäuser. ConMon – Automatisierte Dokumentation von Bauwerksveränderungen. *GFaI-Informationen*, 2/2014, S. 2, 2014.

The International Forum to advance First Responder Innovation IFAFRI. Capability gap 10 “deep dive” analysis. 2019.

Alfred Iwainsky and Sebastian Thiel. A mixed reality environment for educating nurses. In *International Conference on e-Learning*, volume 16, page 101, 2016.

Cengiz Kahraman, Sezi Çevik, Nüfer Yasin Ates, and Murat Gülbay. Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems. *Computers & Industrial Engineering*, 52(4):414–433, 2007.

Amro Khasawneh, Hunter Rogers, Jeffery Bertrand, Kapil Chalil Madathil, and Anand Gramopadhye. Human adaptation to latency in teleoperated multi-robot human-agent search and rescue teams. *Automation in Construction*, 99:265–277, 2019.

Jonas Laurenz Kohl, Michel Joop van der Schoor, Anne Magdalene Syré, and Dietmar Göhlich. Social sustainability in the development of service robots. In *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, volume 1, pages 1949–1958. Cambridge University Press, 2020.

- R Leitner and L Onnasch. Das interaktionskonzept. *Situationsbezogene Helferkonzepte zur verbesserten Krisenbewältigung. Ergebnisse aus dem Forschungsverbund ENSURE*, Schriftenreihe Sicherheit Nr. 22, S. 183 – 202, 2017.
- Michael Lewis, Katia Sycara, and Illah Nourbakhsh. Developing a testbed for studying human-robot interaction in urban search and rescue. In *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction (HCII'03)*, pages 270–274, 2019.
- Ralf Lindner, Kerstin Goos, Sandra Güth, Oliver Som, and Thomas Schröder. »Responsible Research and Innovation« als Ansatz für die Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik–Hintergründe und Entwicklungen. 2016.
- Arne Manzeschke, Karsten Weber, Elisabeth Rother, and Heiner Fangerau. *Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme*. VDI/VDE, 2013.
- Dante Marino and Guglielmo Tamburrini. Learning robots and human responsibility. *The International Review of Information Ethics*, 6:46–51, 2006.
- John McDermid, Vincent C Müller, Tony Pipe, Zoe Porter, and Alan Winfield. Ethical issues for robotics and autonomous systems. 2019.
- Jenifer Miehlebradt, Alexandre Cherpillod, Stefano Mintchev, Martina Coscia, Fiorenzo Artoni, Dario Floreano, and Silvestro Micera. Data-driven body–machine interface for the accurate control of drones. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(31):7913–7918, 2018.
- Sorin Nădăban, Simona Dzitac, and Ioan Dzitac. Fuzzy topsis: A general view. *Procedia computer science*, 91:823–831, 2016.
- Patrick P Neumann, Dino Hüllmann, and Matthias Bartholmai. Concept of a gas-sensitive nano aerial robot swarm for indoor air quality monitoring. *Materials Today: Proceedings*, 12:470–473, 2019a.
- Patrick P Neumann, Harald Kohlhoff, Dino Hüllmann, Daniel Krentel, Martin Kluge, Marcin Dzierliński, Achim J Lilienthal, and Matthias Bartholmai. Aerial-based gas tomography—from single beams to complex gas distributions. *European Journal of Remote Sensing*, 52(sup3):2–16, 2019b.

ntv.de. Vielleicht sogar Revolution. Brinkhaus plädiert für Jahrhundertreform. <https://www.n-tv.de/politik/Brinkhaus-plaediert-fuer-Jahrhundertreform-article22376844.html>, 2021. [Letzter Zugriff: 17.07.2021].

A Oehme, T Jürgensohn, S Böhm, V Upadrasta, M Göbel, and M Blechschmidt. Nutzerorientierte Gestaltung und Integration von MRK am Praxisbeispiel. Projektatlas Kompetenz Montage, kollaborativ und wandlungsfähig, 2019.

Linda Onnasch, Xenia Maier, and Thomas Jürgensohn. *Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund, 2016.

F Püschel. VeBaS-UAV – On-Board-Bildverarbeitung für autonom Antiverbiss-Spray applizierende UAV. *textitGFaI Jahresbericht 2020, zum Forschungsbereich Bildverarbeitung / Industrielle Anwendungen* S. 12, 2020.

Adrian Schischmanow. Das integrierte positionsbestimmungssystem ips. *Drittes Innovationsforum Autonome, mobile Dienste–Services für Mobilität*, pages 95–103, 2020.

A Schuchardt, R Peperhove, K Schulze, R Leitner, L Onnasch, M Jendreck, S Wurster, S Joschko, M Diederichs, A Winzer, and V Kasch. Vollübungen im projekt ensure. *Situationsbezogene Helferkonzepte zur verbesserten Krisenbewältigung. Ergebnisse aus dem Forschungsverbund ENSURE*, Schriftenreihe Sicherheit Nr. 22, S. 137-182, 2017a.

Agnetha Schuchardt, Roman Peperhove, and Lars Gerhold. *Situationsbezogene Helferkonzepte zur verbesserten Krisenbewältigung: Ergebnisse aus dem Forschungsverbund ENSURE*. 2017b.

Paul Schweidler, Astrid Oehme, and Thomas Jürgensohn. 4 objektivierbare Performancekriterien. *Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten–Ergebnisse und Forschungsperspektiven*, page 57, 2020a.

Paul Schweidler, Alina Tausch, Astrid Oehme, and Thomas Jürgensohn. MRI-Szenarien einfach klassifizieren mit der Kontext-Person-Roboter-Heuristik „KOPROH“. 2020b.

- C Sen. Sen's improved multi goal programming technique - an extension. *American Journal of Operational Research*, 10(3), 49-52., 2020.
- Stefan Spitzer, Enis Askar, Arne Krietsch, and Volkmar Schröder. Comparative study on standardized ignition sources used for explosion testing. *Journal of loss prevention in the process industries*, 71:104516, 2021.
- Geo Week News Staff. Hovermap: Powerful slam for drone autonomy and lidar mapping. <https://www.geoweeknews.com/news/hovermap-powerful-slam-drone-autonomy-lidar-mapping>, 2017. Letzter Zugriff: 25.10.2021.
- Luc Steels. Language games for autonomous robots. *IEEE Intelligent systems*, 16(5): 16–22, 2001.
- T-Online.de. Japanische Atomruine. Roboter untersucht geschmolzenen Kernbrennstoff in Fukushima. [https://www.t-online.de/nachrichten/panorama/id\\_85244504/fukushima-roboter-untersucht-geschmolzenen-kernbrennstoff-in-japanischer-atomruine.html](https://www.t-online.de/nachrichten/panorama/id_85244504/fukushima-roboter-untersucht-geschmolzenen-kernbrennstoff-in-japanischer-atomruine.html), 2019. Letzter Zugriff: 25.10.2021.
- University of Zurich(o.D.). Robotics and perception group. <http://rpg.ifi.uzh.ch/index.html>. Letzter Zugriff: 25.10.2021.
- Albert Wang, Joao Ramos, John Mayo, Wyatt Ubellacker, Justin Cheung, and Sangbae Kim. The hermes humanoid system: A platform for full-body teleoperation with balance feedback. In *2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, pages 730–737. IEEE, 2015.
- Alan Winfield, John McDermid, Vincent C Müller, Zoë Porter, and Tony Pipe. Ethical issues for robotics and autonomous systems. 2019.
- M Wolff, M Pfaff, B Hohnhäuser, and A Rückert. Bewertung von pathogenen Oberflächenbelastungen anhand von multispektralen Datensätzen und 3D-Modellen. *Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. GFai (Hrsg.). Workshop 3D-NordOst*, Tagungsband des 20. Anwendungsbezogenen Workshops zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 07.-08.12.2017, Berlin, 2017.

Qin Yang and Ramvijas Parasuraman. Needs-driven heterogeneous multi-robot cooperation in rescue missions. In *2020 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, pages 252–259. IEEE, 2020.