Verbundprojekt: KI-Assistenz zur roboterunterstützten Aufklärung und Abwehr akuter radiologischer Gefahrenlagen (KIARA)

Schlussbericht

Teilvorhaben

Interaktionskonzept zur KI-assistierten kognitiven Unterstützung von Anwendern

Förderkennzeichen

13N16276

Zuwendungsempfänger

Energy Robotics GmbH

Projektlaufzeit

01.04.2022 – 30.06.2024

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

1. Kurzdarstellung 2
1.1 Aufgabenstellung 2
1.2 Ablauf des Vorhabens 2
1.3 Wesentliche Ergebnisse 3
2. Eingehende Darstellung 4
2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 4
2.1.1 AP-Nr. 1 Szenarien 4
2.1.2 AP-Nr. 2 Ethische und juristische Aspekte 4
2.1.3 AP-Nr. 3 KI-Assistenz zur roboterunterstützten Lageerkundung 4
2.1.4 AP-Nr. 4 KI-Assistenz für mobile Manipulation zur Bewältigung von Gefahrenlagen 5
2.1.5 AP-Nr. 5 Interaktionskonzept zur KI-assistierten kognitiven Unterstützung von Anwendern 5
2.1.6 AP-Nr. 6 Anwendertraining und -schulung 6
2.1.7 AP-Nr. 7 Demonstratoren und praxisnahe Erprobung 7
2.1.8 Meilensteine und Ergebnisse 7
2.2 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 8
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 8
2.4 Voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 8
2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 9
2.6 Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses 9

1. Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Das Teilvorhaben adressierte die Entwicklung eines Interaktionskonzept mit Umsetzung als Bedienschnittstelle zur Ermöglichung einer leistungsfähigeren roboter- und KI-unterstützten Lageaufklärung und Einleitung erster Maßnahmen zur Gefahrenabwehr durch die Einsatzkräfte. Dazu wurden verschiedene Aspekte adressiert:

- Die Erforschung und Entwicklung eines neuen Konzepts für eine mobile Fernbedienschnittstelle (User Interface, UI) zur KI-Assistenz für Roboterunterstützung in der Aufklärung und Abwehr akuter radiologischer Gefahrenlagen
- Einsatz geeigneter Repräsentationen der aus unterschiedlichen Robotersensormodalitäten gewonnenen geometrischen und semantischen Umgebungsinformationen zur Lageaufklärung
- Entwicklung von für KI-Assistenz für mobile Robotermanipulation geeignete Repräsentationen und Interaktionsmöglichkeiten der Assistenzfunktionen
- Entwicklung von geeigneten Interaktionsmodi für die menschlichen Bediener für Lageaufklärung und mobile Robotermanipulation und die jeweiligen KI-Assistenzfunktionen
- Experimentelle Evaluation in virtuellen und realen Szenarien

Die Projektinhalte betteten sich in den wissenschaftlichen und technischen Stand zu Beginn des Vorhabens ein. Im Bereich der Roboter zur Gefahrenabwehr sind Bedienschnittstellen typischerweise stark herstellerspezifisch und mit keinen oder nur wenigen Assistenzfunktionen zur Unterstützung des Bedieners ausgestattet. Im Bereich der industriellen Ferninspektion boten erste Anbieter (z.B. ANYbotics oder Boston Dynamics) auch Bedienschnittstellen mit autonomen bzw. teil-autonomen Funktionalitäten an, diese sind allerdings ebenfalls herstellerspezifisch und erzeugen so einen entsprechenden "Vendor Lock-in”. Im akademischen Bereich werden primär Entwicklungsbedienschnittstellen und experimentelle Systeme zur Konzeptevaluation behandelt, die typischerweise nur begrenzt Anforderungen zur technischen Reife und flexiblen Nutzen auf verschieden Endgeräten abbilden. Darüber hinaus wurden in verschiedenen Studien Konzepte (z.B. Co-active Design) und Richtlinien zum Design von Bedienschnittstellen erarbeitet, die in den Entwicklungstätigkeiten berücksichtigt wurden.

Energy Robotics ist Anbieter einer End-to-End Lösung für Ferninspektionsaufgaben mit (teils überwachten) autonomen mobilen Robotern und hat als Teil dieser Lösung bereits ein intuitiv bedienbares Web-basiertes Nutzerinterface für die kontaktlose Inspektion entwickelt. Diese Bedienschnittstelle diente als Basis für Entwicklungen im Vorhaben.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde im April 2022 gestartet. Dabei wurde zunächst gemeinsam mit den Projekt- und Anwendungspartnern Anforderungen und reale Referenzszenarien definiert und im weiteren Projektverlauf kontinuierlich fortgeschrieben. Darauf aufbauend wurden die Entwicklungstätigkeiten zur Umsetzung des Entwicklungs- und Interaktionskonzepts aufgenommen. Daneben wurden Beiträge zu den Arbeitspaketen z.B. durch Einbringung von Expertise zu Anforderungen, oder Definition und Umsetzung von Schnittstellen gemeinsam mit den Projektpartnern geleistet. Neben den regelmäßigen Verbundtreffen und Entwicklungsaustauschen, wurden mehrere Integrationssprints mit den Projektpartnern durchgeführt. Im März 2023 und Juni 2024 wurde die entwickelte Bedienschnittstelle gemeinsam

mit der Integration für die Demonstratoren erfolgreich bei Erprobungen in simulierten Einsatzszenarien auf dem Testgelände des Kerntechnischen Hilfsdienst eingesetzt und evaluiert.

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse des Teilvorhabens sind Erforschung, Entwicklung und Umsetzung eines neuen Konzepts für eine mobile Fernbedienschnittstelle (User Interface, UI) zur KI-Assistenz zur Roboterunterstützung in der Aufklärung und Abwehr akuter radiologischer Gefahrenlagen und dessen experimentelle Evaluation in virtuellen und realen Szenarien.

Durch die Web-basierte Umsetzung kann die Bedienschnittstelle plattformunabhängig, ohne die Installation spezifischer Software, gleichzeitig und flexibel auf unterschiedlichen Endgeräten (z.B. Notebook, Workstation, Tablet oder Smartphone) genutzt werden. Dabei können geeignete Interaktionsmode verwendet werden und durch die Darstellung relevanter Informationen und Sensormodalitäten relevante Informationen zum Szenenbewusstsein bereitgestellt werden. In der Bedienschnittstelle können flexibel verschiedene Sensormodalitäten, Informationen und 3D Modelle in Echtzeit dargestellt werden.

Ein besonderer Fokus lag auf der Erfüllung einsatztauglicher Anforderungen. In realen Szenarien sind dabei insbesondere auch die Kommunikationsbedingungen herausfordernd. Durch den Einsatz robuster Protokolle und effizientere Kompressionsverfahren kann mit der entwickelten Bedienschnittstelle auch unter herausfordernden Kommunikationsbedingungen, wie sie in realen Einsatzlagen zu erwarten sind, zuverlässig und effizient die Bedienung und Darstellung des Roboterzustandes und der Umgebung gewährleistet werden.

Die Bedienschnittstelle wurde für die Projektdemonstratoren erfolgreich integriert und im März 2023 und Juni 2024 bei Erprobungen in simulierten Einsatzszenarien auf dem Testgelände des Kerntechnischen Hilfsdienst gemeinsam mit Einsatzkräften eingesetzt und evaluiert.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Haupttätigkeiten von Energy Robotics (ER) zur Entwicklung und Umsetzung des Interaktionskonzept zur KI-assistierten kognitiven Unterstützung von Anwendern lagen im Arbeitspaket AP-5. Darüber hinaus wurden in den anderen Arbeitspaketen Beiträge, z.B. durch Einbringung von Expertise zu Anforderungen, oder Definition und Umsetzung von Schnittstellen gemeinsam mit den Projektpartnern, geleistet.

2.1.1 AP-Nr. 1 Szenarien

Im AP-Nr. 1 hat ER Beiträge zur Spezifizierung des Referenzszenario und der Anforderungsanalyse mit besonderem Fokus auf die Aspekte der Benutzerschnittstelle geleistet. In diesem Rahmen wurde an den Workshops und Erprobungen mit Anwendern teilgenommen und kontinuierlich Inhalte zum gemeinsamen Arbeitsdokument zur Definition der Anforderungen beigetragen (T-AP-1.1).

Darüber hinaus wurde eine für den Industrieeinsatz genutzte Simulationsumgebung –und Plattform demonstriert und Anforderungen für den möglichen zukünftigen Einsatz, der in KIARA entwickelten Simulation in der Cloud erörtert und damit zur Auswahl und Erweiterung der Simulationsplattform beigetragen (T-AP-1.2).

2.1.2 AP-Nr. 2 Ethische und juristische Aspekte

Im AP-Nr. 2 hat ER im Rahmen der gemeinsamen Workshops und Projekttreffen zur Bewertung der erarbeiteten Szenarien und damit verbundenen ethischen und juristischen Aspekte beigetragen. In diesem Rahmen wurden insbesondere Erfahrungen aus dem Bereich der industriellen Ferninspektion mit autonomen Robotern eingebracht.

Dabei wurde sowohl zur Übersicht der relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen (T-AP-2.2), als auch zu Empfehlungen für Entwickelnde und Anwendende zum Eingreifen von Menschen (T-AP-2.4) beigetragen.

2.1.3 AP-Nr. 3 KI-Assistenz zur roboterunterstützten Lageerkundung

Im AP-Nr. 3 hat ER Konzepte und Funktionalitäten zur Einbindung der KI-Assistenzsysteme zur Lageerkundung in die Bedienschnittstelle entwickelt.

Dabei wurden gemeinsam mit den Projektpartnern Schnittstellen und Datenformate für 3D Karten, Strahlungsdaten (T-AP-3.1), weitere Detektionen von Gefahrenquellen (T-AP-3.2) und dem Zustand und der Interaktion mit der Assistenzfunktion zur intelligenten Exploration (T-AP-3.3.) als Basis für die Darstellung und Interaktion in AP-Nr. 5 definiert und implementiert.

Basierend auf den Ergebnissen der Anforderungsanalyse (T-AP-1.1/ T-AP-5.1) sind notwendige Anforderungen, dass die Datenkommunikation zwischen Roboter und Bedienschnittstelle auch bei unzuverlässiger Verbindung mit geringer Bandbreite, wie es in realen Einsatzumgebungen zu erwarten ist, bestmöglich funktioniert. Als Schnittstelle und Format wurde sich in großen Teilen an standardisierten und etablierten ROS-Nachrichtenformaten orientiert. Allerdings sind diese schlecht für datenintensiven Modalitäten wie hochauflösende Videostreams und 2D/3D Karten geeignet, da die zugrunde liegende TCP-basierte ROS-Datenkommunikation bei geringer Bandbreite und Paketverlust nur unzuverlässig und ineffizient funktionieren. Daher wurden

effiziente und robuste Übertragungsverfahren entwickelt, die auf WebRTC-/UDP basierter Kommunikation aufbauen und Chunking/Splitting-Verfahren für große Datentypen verwendenden. Sodass die Übertragung auch bei einer unzuverlässigen Verbindung mit geringer Bandbreite bestmöglich funktioniert und eine Darstellung der Daten in Echtzeit in der Bedienschnittstelle möglich ist.

2.1.4 AP-Nr. 4 KI-Assistenz für mobile Manipulation zur Bewältigung von Gefahrenlagen

Im AP-Nr. 4 hat ER Konzepte und Funktionalitäten zur Einbindung der KI-Assistenzsysteme zur mobilen Manipulation in die Bedienschnittstelle entwickelt.

Dabei wurde analog zu AP-Nr. 3 vorgegangen, und gemeinsam mit den Projektpartnern Schnittstellen und Datenformate für die Szenensegmentierung (T-AP-4.2) und angelernte KI-Assistenzfunktionen (T-AP-4.3) als Basis für die Darstellung und Interaktion in AP-Nr. 5 definiert und implementiert.

Analog zu AP-Nr. 3 wurden dabei standardisierten ROS-Nachrichtenformaten aufgebaut und für Informationen mit großen Datenmengen ebenfalls die entwickelten effizienten Kommunikationsmethoden verwendet, sodass in Echtzeit bei begrenzter Bandbreite der Manipulator und ein 3D Umgebungsmodell dargestellt werden können, um so den Operator z.B. in engen Bereichen bei der Manipulation zu unterstützen. Darüber hinaus wurden weitere Schnittstellen für die Darstellung von semantischen Segmentierungen direkt in der Bildebene umgesetzt.

2.1.5 AP-Nr. 5 Interaktionskonzept zur KI-assistierten kognitiven Unterstützung von Anwendern

Im AP-Nr. 5 fanden die Haupttätigkeiten von ER zur Entwicklung eines Interaktionskonzept zur KI-assistierten kognitiven Unterstützung von Anwendern statt. Dabei wurden zunächst gemeinsam mit Projekt- und Anwendungspartnern Anforderungen an das UI-Design und Interaktionen analysiert (T-AP-5.1). Darauf aufbauend wurden Interaktionskonzepte für die robotergestützte Lageerkundung (T-AP-5.2) und die mobile Manipulation (T-AP-5.3) entwickelt und umgesetzt.

Die spezifischen Anforderungen wurden gemeinsam mit Projekt- und Anwendungspartnern und im gemeinsamen Anforderungsdokument festgehalten. Zentrale für das Teilvorhaben spezifische Anforderungen sind:

- Möglichkeit zur Nutzung kabelloser Kommunikation und damit einhergehender Limitationen in Bandbreite und Zuverlässigkeit
- Übersichtliche Informationsdarstellung
- Bereitstellung von Daten zur Einsatzkoordination
- Möglichkeit zur selektiven Datenübertragung
- Einfache Erlernbarkeit
- Möglichkeit für Hybrides Training

Diese Anforderungen wurden in der Entwicklung und Umsetzung der Interaktionskonzepte berücksichtigt. Die Entwicklung und Umsetzung der Bedienschnittstelle und des Interaktionskonzepts ist durch Energy Robotics in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern erfolgt. Eine erste Version wurde in Zusammenarbeit mit TUDA zunächst auf dem mobilen Erkundungsdemonstrator ANYmal integriert und gemeinsam mit Teilfunktionen und Schnittstellen für beide Demonstratoren für die Ergebnisse aus AP-3 bei beiden Erprobungen in Eggenstein erfolgreich demonstriert.

Die im Teilvorhaben entwickelte Bedienschnittstelle baut auf dem Web-basierten Nutzerinterface für die kontaktlose Inspektion von ER auf. Die Nutzung einer Web-basierten Lösung erfordert lediglich die Verfügbarkeit eines Web-Browsers auf dem Endgerät und ermöglicht so plattformunabhängig, ohne die Installation spezifischer Software, gleichzeitig und flexibel auf unterschiedlichen Endgeräten (z.B. Notebook, Workstation, Tablet oder Smartphone) unabhängig vom Betriebssystem genutzt werden. Damit lassen sich auch gleichzeitig Daten zur Steuerung eines einzelnen Roboters und zur Einsatzkoordination mit mehreren Robotern bereitstellen.

In der entwickelten Bedienschnittstelle können flexibel verschiedene Sensormodalitäten, Karten und 3D Modelle dargestellt werden, wie z.B. Videostreams, die 2D Strahlungskarte, 3D Punktwolken der Umgebungskarte mit 3D Robotermodell oder Bilder mit Objektdetektionen. Dabei wurde die Unterstützung für die Darstellung mehrerer Roboter in derselben Umgebung implementiert, so dass Benutzer direkt sehen, wo sich verschiedene Roboter befinden, auch relativ zueinander, was einen deutlichen Zugewinn an Transparenz des Gesamtsystems bedeutet.

Ein besonderer Fokus lag auf der Erfüllung einsatztauglicher Anforderungen zur Robustheit und Kommunikationsbandbreite. Dazu wurden die in T-AP-3.2 und T-AP-4.2 definierten und entwickelten Schnittstellen und Formate zur robusten und effizienten Kommunikation eingebunden um so unter herausfordernden, realen Kommunikationsbedingungen zuverlässig und effizient die Darstellung des Roboterzustand, der Umgebung und von Videostreams mit geringer Latenz zu gewährleisten.

Durch die Nutzung der ausgewählten Schnittstellen und Formate ist es dabei möglich die gleiche Bedienschnittstelle sowohl mit Sensordaten des realen Roboters als auch mit einem simulierten Roboter zur Entwicklung oder in einer virtuellen Trainingsumgebung zu verwenden.

Eine große Herausforderung ist die Installation von Software zur Anbindung an die Bedienschnittstelle auf den Robotern mit unterschiedlichen Softwareumgebungen und Betriebssystemen. Um hier ein hohes Maß an Abstraktion, Isolation und Modularisierung zur erreichen wurde eine Container Deployment Struktur auf Basis von Docker-Containern entwickelt. Dieser Ansatz wird verfolgt, um sowohl den mobilen Erkundungsroboter ANYmal, den Manipulationsroboter Telemax oder andere Plattformen mit geringem Aufwand anbinden zu können.

2.1.6 AP-Nr. 6 Anwendertraining und -schulung

Im AP-Nr. 6 wurden von ER Beiträge zu den Konzepten und Umgebungen für Anwendertraining und -schulung geleistet.

ER hat mit der Expertise zum Training und Leistungsbewertung von Operatoren in der industriellen Ferninspektion im Rahmen der Projektworkshops zum Trainingskonzept beigetragen (T-AP 6.2).

ER hat zur Ermöglichung eines herstellerneutralen Trainings durch die Entwicklung einer plattform- und damit herstellerneutralen web-basierten Benutzerschnittstelle zum Ziel des AP bei. Die Bedienschnittstelle kann dabei transparent sowohl Daten realer Roboter als auch virtueller Roboter in Trainingsumgebungen verwenden. Darüber hinaus wurde Unterstützung zur Ausgestaltung der Trainingsumgebung im Rahmen der Projektworkshops geleistet (T-AP 6.3).

2.1.7 AP-Nr. 7 Demonstratoren und praxisnahe Erprobung

Im AP-Nr. 7 hat ER Beiträge zur Integration der Demonstratoren (T-AP 7.2 und 7.3) und der Konzeption und Durchführung der Erprobungen geleistet (T-AP 7.4 und 7.5).

Dabei hat ER zum Konzept und Integration der integrierten Funktionsnutzlasten für die Demonstratoren (T-AP 7.2 und 7.3) beigetragen. Insbesondere die entwickelte Container Struktur (siehe 5.2) hat dabei zu einer deutlichen Vereinfachung des Deployments ermöglicht.

Die realen Erprobungen auf dem Testgeländer der KHG im März 2023 und Juni 2024 wurden erfolgreich durchgeführt (T-AP 7.4) und durch zeitversetzte virtuelle Erprobungen ergänzt (T-AP 7.5). ER hat dabei die in T-AP-5.2 beschriebe Integration der Benutzerschnittstelle demonstriert.

2.1.8 Meilensteine und Ergebnisse

Im Rahmen der zuvor gelisteten Tätigkeiten wurden alle Meilensteine und Projektergebnisse erfolgreich erfüllt:

Meilensteine

- Entwurf Bedien- und Interaktionskonzept für KI-assistierte Lageerkundung und Manipulation (Bericht), Beginn Implementierung (AP5)
- Durchführung der ersten praxisnahen Erprobungen unter erleichterten Bedingungen in einem realen und einem virtuellen Szenario (AP7)

Ergebnisse

- T-AP-1.1 Beiträge zum Arbeitsdokument zur Anforderungsanalyse und zur Detailbeschreibung von Referenzszenarien mit resultierenden Herausforderungen (erste Version M4, sukzessive Fortschreibung über die Projektlaufzeit, koordiniert durch T-AP-1.1 Leiter DRZ)
- T-AP-1.2 Beiträge zu Auswahl und Erweiterung der Simulationsplattform (koordiniert durch T-AP1.2 Leiter TUDA-SIM)
- T-AP-2.2 Beiträge zu den Übersichten über bestehende relevante rechtliche Regelungen und Zulassungs- und Zertifizierungsverfahren inkl. der maßgeblichen Industrienormung und der ggfs. greifenden Produktsicherheit (koordiniert durch T-AP-2.2 Leiter TUDA-BRU)
- T-AP-2.4 Beiträge zu den Empfehlungen n (für Entwickelnde und Anwendende von KI-assistierten Robotern zur Gefahrenabwehr, sowie für das Eingreifen von Menschen) (koordiniert von T-AP-2.4 Leiter KIT-ITAS)
- T-AP-3.1 Funktionalitäten der Visualisierung und Bedienschnittstelle, Formate und Schnittstellen der Datenübertragung zur Bedienschnittstelle
- T-AP-3.2 Beiträge zu Funktionalitäten zur Detektion von Objekten durch Anlernen durch Bediener
- T-AP-3.3 Beiträge zur Methodik zum Anlernen von Experten-Feedback
- T-AP-4.2 Beiträge zur Methodik zur kollaborativen Szenensegmentierung
- T-AP-4.3 Beiträge zur Funktionalität zum Anlernen durch Bediener
- T-AP-5.1 Anforderungsanalyse an UI Design und Interaktionen
- T-AP-5.2 Bedienschnittstelle für KI-assistierte interaktive Lageerkundung
- T-AP-5.3 Bedienschnittstelle für KI-assistierte Manipulation
- T-AP-6.2 Beiträge zum Konzept zur Schulung und Leistungsbewertung und zum Katalog erforderlicher Parameter herstellerneutral

- T-AP-6.3 Beiträge zur Bedienschnittstelle (U) in der eingerichteten Suite virtueller Trainingsszenarien und ersten Testschulungsläufen
- T-AP-7.1 Beiträge zum szenariospezifischen modularen Nutzlast-Konzept
- T-AP-7.2 Beiträge zur Einsatzfähigkeit des Erkundungsroboters zur ersten Erprobung und zur zweiten Erprobung
- T-AP-7.3 Beiträge zur Einsatzfähigkeit des mobilen Manipulators: prinzipiell zur ersten Erprobung, vollumfänglich zur zweiten Erprobung
- T-AP-7.4 Mitwirkung an der Durchführung der ersten Erprobung
- T-AP-7.5 Beiträge zur Durchführung von virtuellen Erprobungen mit wachsender Komplexität

2.2 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Aus der Nachkalkulation des Projekts ergeben sich Gesamtkosten von € 373.102,88. Diese liegen leicht unter den ursprünglich in der Vorkalkulation angesetzten € 409.400,00. Maßgeblich für diese Einsparung sind die Personalkosten. Der Einsatz von Mitarbeitenden mit etwas geringerer Erfahrung als ursprünglich im Antrag vorgesehen führte zwar zu einem leicht erhöhten Bedarf an Arbeitsstunden zur Durchführung der Projektaufgaben, durch niedrigeren Stundensätze als in der Vorkalkulation konnte das Vorhaben so insgesamt effizienter als in der Vorkalkulation geplant umgesetzt werden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten waren für die Erfüllung der Aufgaben notwendig und ausreichend. Die durch Energy Robotics durchgeführten Arbeiten hätten ohne die bereitgestellte Förderung nicht durchgeführt werden können. Die Arbeiten wurden sorgsam geplant und anschließend entsprechend dem Projektplan und den zur Projektlaufzeit festgestellten Anforderungen umgesetzt. Alle geleisteten Arbeiten waren angemessen und notwendig, um die Projektziele zu erreichen.

2.4 Voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Der Verwertungsplan wird weiter wie im Antrag beschrieben verfolgt. Durch hohe Adaptierbarkeit der Benutzerschnittstelle aufgrund der Nutzung von Web-Technologien ist sie einfach auf verschiedene Robotersysteme anpassbar und damit eine wirtschaftliche Nutzung auch im relativ kleinen Markt für Robotersysteme für Einsatzkräfte grundsätzlich realisierbar.

Im Projekt hat sich gezeigt, dass für komplexe und dynamische Einsatzlagen mit Exploration und Manipulation eine enge Kopplung zwischen Bedienschnittstelle und den spezifischen Funktionen des Roboters notwendig ist. Dies ist mit dem entwickelten roboteragnostischen Konzept in der Praxis nur mit direkter Kooperation der Systemanbieter umsetzbar. Anwendungspartner im EOD-Bereich haben auf die Bedeutung für hochintegrierte Lösungen zur Robotersteuerung hingewiesen.

Die Erkenntnisse und Ergebnisse aus dem Projekt lassen sich gut auf allgemeine Security und Surveillance Use-Cases übertragen, wo die Erkenntnisse in das hessische LOEWE3-geförderte Projekt *CoRobWatch - Geländeüberwachung mit kollaborativen Flug-Boden-Robotersystemen* einfließen und so perspektivisch bei entsprechender Eignung wirtschaftlich verwertet.

Die praktischen Entwicklungsergebnisse zur effizienten Datenübertragung wurden im Anschluss an das Projekt weiterentwickelt und in die Energy Robotics Bedienschnittstelle eingebunden und stehen so bereits unseren Kunden als Teil der von ER angebotenen Robot-as-a-Service Lösung z.B. für die Bereiche industrielle Inspektion und Security und Surveillance zur Verfügung.

Darüber hinaus werden die Erkenntnisse zu Entwicklungen mit Anpassungen in weiteren verwandten Nutzungsszenarien wirtschaftlich verwertet werden, etwa der industriellen Inspektion.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Berichtszeitraum sind einzelne Beispiele für den Einsatz von Robotern mit Strahlungssensorik (inklusive Benutzerschnittstelle) bekannt geworden, jedoch keine, die die besonderen Anforderungen aus KIARA berücksichtigen.

2.6 Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Die Gesamtprojektergebnisse wurden gemeinsam mit den Projektpartnern als Publikation[1] veröffentlicht und am 13.11.2024 durch eine Vertreterin des Konsortiums auf der führenden Konferenz für Rettungs- und Sicherheitsrobotik IEEE SSRR 2024 in New York vorgestellt.

[1] Daun, [...], Kohlbrecher *et al*., "A Holistic Concept on AI Assistance for Robot-Supported Reconnaissance and Mitigation of Acute Radiation Hazard Situations," *2024 IEEE International Symposium on Safety Security Rescue Robotics (SSRR)*, New York, NY, USA, 2024, pp. 40-45, doi: 10.1109/SSRR62954.2024.10770059.