Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

DATIpilot

DATIpilot Modul 1 Innovationssprints

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Kurzbericht und Eingehende Darstellung öffentlich

KI-gestützte Kontroll- & Sicherheitsaufgaben von Servicerobotern

AI-Robotic Building Safety Check

	Institution	Name Projektleitung	Förderkennzeichen
Technische Entwicklung der Bilderkennung **(Koordination)** Teilprojekt A	Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML	Marcus Hintze	03DPS1246A
Anwendungsszenarien und Einsatzgebiete für Sicherheitsrobotik Teilprojekt B	FACT GmbH	Nadine van Wüllen	03DPS1246B

LAUFZEIT: 01.09.2024 – 28.02.2026

Dortmund, den 26.08.2026

Autorenschaft: Marcus Hintze, Nadine van Wüllen

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

1 Kurzbericht 2
1.1 Ausgangslage des Vorhabens 2
1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung 2
1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele 2
1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 3
1.2 Ablauf des Vorhabens 3
1.3 Ergebnisse des Vorhabens 4
1.3.1. Wesentliche Ergebnisse 4
1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 5
2 Eingehende Darstellung 6
2.1 Durchgeführter Arbeitsplan 6
2.2 Erreichte Meilensteine 6
2.3 Erreichte Ergebnisse 13
2.3.1 Erreichung der Gesamtziele 13
2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele 14
2.4 Verwertung 15
2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses 15
2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens 15
2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse 16
2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit 17

1 Kurzbericht

1.1 Ausgangslage des Vorhabens

1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Gesamtziel des Innovationssprints	Das Ziel ist die Weiterentwicklung von bestehenden Servicerobotern zur Durchführung zusätzlicher Nebentätigkeiten, während der Verrichtung der Haupttätigkeit (z.B. Transport, Reinigung, etc.). Das Einsatzgebiet soll demnach auf die Übernahme von Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im teilöffentlichen Raum (Feldtest: Krankenhaus) erweitert werden, indem durch die Entwicklung einer modular einbaubaren KI-gesteuerten Bilderkennung am Roboter beispielsweise das Vorhandensein von Feuerlöschern oder die Freihaltung von Fluchtwegen überprüft und gemeldet werden kann.
Beitrag des Teilprojekts A	Das Ziel des Teilprojektes A ist die technische Entwicklung der Bildverarbeitung zur Erkennung der Umgebung im Raum und Identifizierung der Sicherheitsobjekte (z.B. Feuerlöcher). - Stabile Erkennung von Brandschutzeinrichtungen (z.B. Feuerlöscher) mittels Künstlicher Intelligenz - Fusionierung von Sensoren zur 3D Lokalisierung der erkannten Brandschutzeinrichtungen - Fusion der 3D lokalisierten Brandschutzeinrichtungen mit der Karte des Roboters
Beitrag des Teilprojekts B	Das Ziel des Teilprojektes B ist die erfolgreiche Identifizierung und Auswahl von wiederkehrenden Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im Bereich der Krankenhaustechnik, die operative Prozessintegration sowie die Bewertung der qualitativen und quantitativen Mehrwerte. - Identifizierung der Kontroll- und Sicherheitsaufgaben - Konzeptentwicklung für den Anwendungsfall Krankenhaus

1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele: Gesamtprojekt
Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt A
Stabile Erkennung von Brandschutzeinrichtungen mittels KI (z.B. Feuerlöscher)
Fusionierung von Sensoren zur 3D Lokalisierung der erkannten Brandschutzeinrichtungen und mit der Karte des Roboters
Automatische Protokollierung der Kontrollaufgaben (in Echtzeit) gemäß Gesetzgebung
Erfolgreicher Proof-of-Concept und Evaluierung im Rahmen der Pilotphase
Erstellung eines Leitfadens zur datenschutzkonformen Implementierung der Bilderkennungstechnologie
Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt B
Identifizierung wiederkehrender Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im Bereich Krankenhaustechnik
Entwicklung eines Anforderungskataloges (Häufigkeit/Intervalle, Zeitpunkte, Detaillierungsgrad etc.) für die KI-gestützte Bilderkennung aus Praxissicht
Entwurf einer Routenplanung (für alle eingesetzten Serviceroboter im Krankenhaus) inkl. Fahrten für Sicherheitskontrollen unter Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben und Kundenanforderungen
Reduzierung der Arbeitsbelastung und Nachweis der Wirtschaftlichkeit (Ermittlung der Prozesskosten)
Quantifizierung der Verbesserung von Sicherheit und Effizienz im Gesundheitswesen

1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Es gibt mehrere Roboterplattformen für Sicherheits- und Überwachungsaufgaben. Diese werden häufig im Outdoor-Bereich eingesetzt, etwa zum Schutz von Industriegeländen vor Einbruch wie beim RB Watcher oder für Kontroll- und Inspektionsgänge in Industrieanlagen wie bei ANYmal Robotics. Auch die Plattform Spot von Boston Dynamics wird für Inspektionsaufgaben und zur Erkennung mechanischer Schäden an Gebäuden genutzt. Durch seine hohe Mobilität kann Spot verschiedenste Geländearten bewältigen und mit unterschiedlichen Sensoren für spezifische Funktionen ausgestattet werden. In Verbindung mit fortschrittlichen KI-Funktionen ist Spot damit ein wertvolles Werkzeug für industrielle und forschungsbezogene Anwendungen.

Bei diesen Beispielen handelt es sich jedoch um Lösungen, deren primäre Aufgabe die Überwachung eines Geländes oder die Analyse eines Bereichs beziehungsweise von Anlagen ist. Im vorliegenden Projekt ist das Ziel hingegen, bereits vorhandene Serviceroboter, deren Hauptaufgaben beispielsweise im Transport von Gütern oder in der Reinigung liegen, mit einer modularen Servicebox auszustatten. Dadurch sollen zusätzlich Kontroll- und Sicherheitsaufgaben übernommen sowie Brandschutzgegenstände erkannt werden. Zur Erreichung dieses Ziels sind Weiterentwicklungen in den Bereichen Lokalisierung und Supervised Segmentation erforderlich.

Für eine stabile Navigation und Routenplanung ist in der mobilen Robotik eine zuverlässige Lokalisierung notwendig. Hierfür wurden in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene Verfahren entwickelt, darunter landmarkenbasierte Methoden sowie Simultaneous Localization and Mapping Ansätze, die Karten auf Basis von 2D oder 3D Laserscandaten erzeugen. Visuelle SLAM Methoden nutzen stattdessen RGB-Kameradaten, um Karten zu erstellen und eine Lokalisierung innerhalb dieser Karten zu ermöglichen. In der Regel werden dabei Sensoren wie IMUs, GPS, Odometrie und Laserscanner kombiniert. Diese Verfahren dienen jedoch vor allem der Lokalisierung und vermitteln dem Roboter noch kein umfassendes Verständnis seiner Umgebung.

Aus diesem Grund wurden semantische Karten entwickelt, die zusätzliche Informationen enthalten und dem Roboter ein Umgebungsverständnis ermöglichen. Eine häufig genutzte Form sind objektbasierte semantische Karten. Hierbei werden für den Anwendungsfall relevante Objekte mit RGB-Kameras und neuronalen Netzen erkannt, relativ zum Roboter verortet und verfolgt. Darauf aufbauend können weitere Informationen wie ein Szenenverständnis ergänzt werden. Darüber hinaus gibt es temporale semantische Karten, die Veränderungen über die Zeit abbilden, sowie hierarchische semantische Karten, die Beziehungen zwischen Entitäten modellieren. Solche Karten können unter anderem die Lokalisierungsgenauigkeit verbessern, die Aufgabenplanung unterstützen, die Navigation erweitern und Überwachungsfunktionen in bestehende mobile Robotersysteme integrieren.

Die semantische Segmentierung ist eine Computer Vision Technik, bei der ein Bild in mehrere Segmente unterteilt wird und jeder Pixel ein Klassenlabel erhält. Im Unterschied zur Objekterkennung ermöglicht sie damit ein besonders präzises Verständnis des Bildinhalts und der räumlichen Verteilung. Im Kontext autonomer mobiler Roboter ist sie daher besonders relevant für Navigation und Objekterkennung. DINOv2 ist ein selbstüberwachtes Lernmodell der Computer Vision, das auf Vision Transformern basiert. Durch selbstüberwachtes Lernen kann das Modell visuelle Informationen effizient verarbeiten, ohne auf umfangreich gelabelte Daten angewiesen zu sein. Dies verbessert die Anpassungsfähigkeit und macht DINOv2 zu einer vielseitigen Grundlage für verschiedene Vision Anwendungen. Für die Bildsegmentierung sind dabei insbesondere die Kombination mit Ground DINO sowie die Nutzung eines geeigneten Headers, etwa eines linearen Klassifikators, von Bedeutung.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn des Projekts wurden im ersten Arbeitspaket Anforderungsworkshops im Partnerkrankenhaus des St. Franziskus-Hospitals Münster durchgeführt. Gemeinsam mit den Anwenderinnen und Anwendern aus Arbeitsschutz, Gebäudetechnik und Logistik wurde erfasst, welche Gegenstände durch die Bilderkennung identifiziert werden müssen. Außerdem wurden die bereits vorhandenen Softwaresysteme des Störmeldesystems vorgestellt und in die weiteren Überlegungen einbezogen.

Auf dieser Grundlage entwickelten die beiden Projektpartner gemeinsam ein technisches Konzept für das weitere Vorgehen. Im nächsten Schritt wurden auf einer Pflegestation Videoaufnahmen erstellt. Diese dienten dazu, die KI zu trainieren, indem die erkannten Gegenstände in den Bildern annotiert wurden. Parallel dazu wurde ein Konzept zur Lokalisierung und Kartierung erarbeitet.

Nach Abschluss der Annotation und der ersten Überprüfung der KI Bildverarbeitung wurde das System in einer Laborumgebung am Fraunhofer IML getestet. Dabei konnten wichtige Erkenntnisse für die weitere technische Umsetzung gewonnen werden. Anschließend wurde die Pilotphase vorbereitet. Dazu gehörten der technische Aufbau des Roboters mit den erforderlichen Systemen sowie die Erstellung eines Drehbuchs mit den zu prüfenden Anwendungsfällen.

In der Pilotphase wurde der Roboter auf einer Pflegestation im Partnerkrankenhaus eingesetzt und es wurde weiteres Bildmaterial aufgenommen. Dieses Material wurde mit der KI ausgewertet, um die Erkennungsleistung unter realen Bedingungen zu überprüfen. Wenn sich im Verlauf zeigte, dass einzelne Ansätze noch nicht die gewünschte Genauigkeit erreichten, wurden diese angepasst und in alternativen technischen Umsetzungen weiterverfolgt. So konnte das Verfahren schrittweise erprobt und verbessert werden.

Zum Ende des Projekts wurde zudem eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Dabei wurde das Potenzial zur Entlastung des Fachpersonals durch den Einsatz des Systems näher untersucht. Im Mittelpunkt stand die Frage, in welchem Umfang Kontrollgänge reduziert und dadurch Arbeitszeit eingespart werden können. Auf dieser Grundlage wurden auch mögliche Einsparungen bei den Personalkosten berechnet. Die Ergebnisse dienten dazu, den praktischen und wirtschaftlichen Nutzen der entwickelten Lösung abschließend zu bewerten.

1.3 Ergebnisse des Vorhabens

1.3.1. Wesentliche Ergebnisse

Ein wesentliches wissenschaftlich technisches Ergebnis des Projekts ist die Erprobung der Bilderkennung zur Identifizierung der zuvor definierten Gegenstände im klinischen Umfeld. Dabei konnte gezeigt werden, dass die eingesetzten Verfahren grundsätzlich geeignet sind, relevante Objekte in Bilddaten zu erkennen und für die weitere Verarbeitung bereitzustellen.

Ein weiteres zentrales Ergebnis ist die Verknüpfung der Bilderkennung mit dem Layout der Pflegestation. Dadurch konnte nicht nur erkannt werden, welche Gegenstände vorhanden sind, sondern auch an welcher Position innerhalb der Station sie sich befinden. Dies stellt eine wichtige Grundlage für die Durchführung von Kontroll- und Sicherheitsaufgaben durch mobile Robotersysteme dar.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung wurde damit bis in wesentlichen Teilen erreicht. Insbesondere die technische Machbarkeit der Bilderkennung und der räumlichen Zuordnung konnte nach-

gewiesen werden. Gleichzeitig hat das Projekt auch gezeigt, dass für einen stabilen und dauerhaft zuverlässigen Einsatz im Realbetrieb weitere Entwicklungsarbeit notwendig ist. Dies betrifft vor allem die Robustheit unter wechselnden Umgebungsbedingungen sowie die weitere Optimierung der Erkennungsgenauigkeit.

Zu den wichtigen Erfahrungen aus dem Projekt gehört, dass die enge Abstimmung mit den Anwenderinnen und Anwendern im Krankenhaus entscheidend für die Auswahl relevanter Anwendungsfälle und Gegenstände war. Ebenso wurde deutlich, dass die Übertragung von im Labor funktionierenden Ansätzen in eine reale Klinik Umgebung mit zusätzlichen technischen und organisatorischen Anforderungen verbunden ist. Diese Erkenntnisse sind ein wichtiges Nebenergebnis des Projekts und bilden eine wertvolle Grundlage für weitere Entwicklungsarbeiten.

1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Projekt wurde intensiv mit dem St. Franziskus-Hospital Münster als Anwendungspartner zusammengearbeitet. Das Krankenhaus stellte die Infrastruktur hinsichtlich der Pflegestation für die Pilotierung zur Verfügung. Zudem wurde das Projekt hinsichtlich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter anderem mit Daten des Krankenhauses ermittelt. Die Kommunikation mit den Robotikherstellern zum Beispiel von Reinigungsrobotern wurde innerhalb der Projektlaufzeit nicht konkretisiert. Nach Ablauf des Projektes werden Gespräche mit Robotikherstellern intensiviert und die entwickelten Arbeiten vorgestellt.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Durchgeführter Arbeitsplan

Arbeitspaket	Partner	abgeschlossen	nicht abgeschlossen	nicht durchgeführt
1 Anforderungsanalyse & Konzeptionierung		☒	☐	☐
1.1 Herleitung und Priorisierung der Kontroll- und Sicherheitsaufgaben und Gesamtkonzept	FACT GmbH	☒	☐	☐
1.2 Übertragung der Anforderungen in das technische Konzept	Fraunhofer IML	☒	☐	☐
2 Lokalisation und Kartierung		☒	☐	☐
2.1 Entwicklung Lokalisationskonzept	Fraunhofer IML	☒	☐	☐
2.2 Erweiterung der Karte durch semantische Informationen	Fraunhofer IML	☒	☐	☐
3 Datengenerierung und Anlernen der KI-Bildverarbeitung		☒	☐	☐
3.1 Datengenerierung	FACT GmbH	☒	☐	☐
3.2 Anlernen der KI-Bildverarbeitung	Fraunhofer IML	☒	☐	☐
4 Pilotierung und Verwertungsstrategie		☒	☐	☐
4.1 Labortest und wissenschaftliche Verwertung	Fraunhofer IML	☒	☐	☐
4.2 Feldtest im Krankenhaus und Geschäftsmodellentwicklung	FACT GmbH	☒	☐	☐

Arbeitspaket 1 Anforderungsanalyse & Konzeptionierung

Im Arbeitspaket 1 wurden die fachlichen, organisatorischen und technischen Grundlagen für den Einsatz des Serviceroboters im Krankenhaus geschaffen. Hierzu wurden geeignete Kontroll- und Sicherheitsaufgaben identifiziert, priorisiert und in einem Anforderungskatalog strukturiert zusammengeführt. Auf dieser Basis wurden die Anforderungen in ein technisches Konzept überführt, das die Grundlage für die weiteren Entwicklungsarbeiten im Projekt bildet. Die nähere Beschreibung der durchgeführten Arbeiten erfolgt in den nachfolgenden Unterarbeitspaketen 1.1 und 1.2.

Arbeitspaket 1.1 Herleitung und Priorisierung der Kontroll- und Sicherheitsaufgaben und Gesamtkonzept

Im Unterarbeitspaket 1.1 wurden die fachlichen Grundlagen für den späteren Einsatz des Serviceroboters im Krankenhaus geschaffen. Zunächst wurde die bestehende Situation in relevanten Bereichen wie beispielsweise Stationen- und Funktionsbereichen, Technikräumen und Fluren des teilöffentlichen St. Franziskus-Hospitals analysiert. Teil dessen war unter anderem die Begleitung der Experten im Arbeitsalltag, um die Prozesse besser zu verstehen. Auf dieser Basis

wurden in Abstimmung mit den beteiligten Fachbereichen in mehreren Gesprächen und Workshops geeignete Kontroll- und Sicherheitsaufgaben identifiziert und mit Hilfe einer Relevanzkriterienmatrix bewertet sowie priorisiert. Neben der Durchführungshäufigkeit wurde ebenfalls bewertet, ob die jeweiligen Aufgaben gesetzlich gefordert und/oder sicherheitsrelevant sind. Dazu wurde neben verschiedenen Betriebsvorschriften der EU-Rahmenrichtlinie für Arbeitsschutz, der DIN EN ISO 45001, der VDI 3810-1 und VDI 6022-1 beispielsweise auch der GEFMA Bußgeldkatalog im FM (918) gesichtet und in die Überlegungen miteinbezogen.

Ergänzend wurde ein Anforderungskatalog aus Anwendersicht erarbeitet. Dieser umfasste unter anderem Anforderungen an Prüfinhalte, Kontrollhäufigkeiten, Dokumentation und die Einbindung in bestehende Abläufe. Parallel dazu wurde ein Konzept für die Integration der Roboterrückmeldungen in bestehende Unternehmenssysteme erarbeitet, um erkannte Auffälligkeiten künftig strukturiert weiterverarbeiten zu können. Somit konnten Kommunikationswege festgelegt werden.

Liste der identifizierten Sicherheitsgegenstände:

Typ	Art
Feuerlöscher	Vorhandensein, Zugänglichkeit, Beschädigung
Fluchtwegeplan	Vorhandensein, Sichtbarkeit, Beschädigung
Rettungsleiter	Vorhandensein, Zugänglichkeit, Beschädigung
Fluchtwegeschilder	Vorhandensein, Sichtbarkeit, Funktion (an/aus)
Licht an/aus	Vorhandensein, Sichtbarkeit, Funktion (an/aus), Helligkeit
Rauchabzug-Schalter	Vorhandensein, Sichtbarkeit, Funktion (an/aus)
Rauchmelder mit Schild	Vorhandensein
Brandschutztür	Funktionsfähigkeit, Zugänglichkeit, Geschlossen/offen
Fenster	Geschlossen/offen
Flure / Fluchtwege	Zugänglichkeit

Arbeitspaket 1.2 Übertragung der Anforderungen in das technische Konzept

Im Unterarbeitspaket 1.2 wurden die fachlichen Anforderungen systematisch in technische Anforderungen überführt. Hierzu wurden die Nutzeranforderungen strukturiert aufgenommen, relevante Brandschutz- und Sicherheitsobjekte im Krankenhausumfeld erfasst und hinsichtlich ihrer technischen Erkennbarkeit beschrieben. Auf dieser Grundlage wurde ein technisches Konzept erarbeitet und in das Gesamtkonzept des Vorhabens integriert.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse konnten erste Annahmen zu geeigneten Gebäudebereichen sowie zu den damit verbundenen potenziellen Pilotstationen im St. Franziskus-Hospital abgeleitet werden. Berücksichtigt wurde in Abstimmung mit dem Betriebsrat und der MAV (Mitarbeitervertretung im Krankenhaus) die Zutrittsberechtigung für die Pilotstation.

Arbeitspaket 2 Lokalisation und Kartierung

Im Arbeitspaket 2 wurden die technischen Voraussetzungen für die räumliche Verortung sicherheitsrelevanter Objekte geschaffen. Hierzu wurden Verfahren zur Lokalisierung und Kartierung entwickelt und um semantische Informationen ergänzt. Damit wurde die Grundlage dafür gelegt, erkannte Objekte im Krankenhaus positionsbezogen zu erfassen und für die weitere Projektarbeit nutzbar zu machen.

Arbeitspaket 2.1 Entwicklung Lokalisationskonzept

Im Unterarbeitspaket 2.1 wurde ein Konzept zur Lokalisierung und 3D-Kartierung des Serviceroboters innerhalb der Krankenhausumgebung entwickelt. Als technische Grundlage wurde die 3D-Mapping-Technologie MOLA SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ausgewählt und in das Gesamtsystem integriert. Zur Steigerung der Genauigkeit und Robustheit der Lokalisierung wurde eine Sensorfusion aus Tiefendaten, Odometrie- und IMU-Daten (Inertial Measurement Unit) umgesetzt.

Als Sensorhardware kam eine Orbbec Femto Mega Kamera zum Einsatz. Diese Kamera zeichnet sich dadurch aus, dass sie sowohl die für die indoor-taugliche 3D-Lokalisierung erforderlichen Tiefendaten liefert als auch gleichzeitig für die RGB-basierte Bilderkennung (vgl. Arbeitspaket 3) genutzt werden kann. Durch diese Doppelnutzung einer einzigen, kostengünstigen Kamera für zwei zentrale Funktionen – Lokalisierung/Kartierung und Objekterkennung – konnte der Anspruch des Projekts erfüllt werden, bestehende Serviceroboter ohne aufwändige und kostenintensive Spezialhardware um zusätzliche Fähigkeiten zu erweitern.

Durch die Kombination aus Sensorfusion und der Orbbec Femto Mega Kamera kann der Roboter zum einen präzise im dreidimensionalen Raum lokalisiert werden, zum anderen wird eine 3D-Karte der Umgebung erstellt, die als räumlicher Bezugspunkt für die weitere Verarbeitung dient. Diese Karte bildet die notwendige Grundlage, um im weiteren Projektverlauf (Arbeitspaket 2.2 sowie Arbeitspaket 3) erkannte Sicherheits- und Brandschutzobjekte positionsgenau zu verorten und mit der Umgebung des Krankenhauses in Beziehung zu setzen.

Die entwickelte Lokalisierungslösung wurde erfolgreich in der Laborumgebung des Fraunhofer IML getestet und bildete die technische Basis für die anschließende Integration semantischer Informationen (Arbeitspaket 2.2) sowie für die spätere Fusion mit der 3D-Objekterkennung (Arbeitspaket 3).

Arbeitspaket 2.2 Erweiterung der Karte durch semantische Informationen

Im Unterarbeitspaket 2.2 wurde die im vorangegangenen Arbeitspaket entwickelte 3D-Karte um semantische Informationen erweitert, um erkannte Sicherheits- und Brandschutzobjekte positionsgenau in die Umgebungskarte zu integrieren. Hierzu wurden die 2D-RGB-Bilddaten aus der KI-Bilderkennung mit den Tiefendaten der Orbbec Femto Mega Kamera fusioniert, sodass die im 2D-Bildraum erkannten Objekte in den dreidimensionalen Raum projiziert werden konnten.

Auf dieser Grundlage wurde eine Segmentierung der 3D-Daten vorgenommen. Für jedes klassifizierte Objekt wurden mittels Principal Component Analysis (PCA) der Mittelpunkt, die Pose (3D-Mittelpunkt mit Orientierung) sowie eine vereinfachte 3D-Bounding-Box berechnet. Dadurch konnten Konturen, Position und Ausrichtung der Objekte im Raum bestimmt werden. Die vereinfachte Volumendarstellung durch die Bounding-Box ermöglicht zudem eine rechnerisch effiziente Bestimmung von Abstandsmaßen, beispielsweise zur Überprüfung von Mindestabständen im Rahmen von Brandschutzregeln.

Die so gewonnenen 3D-Objektinformationen wurden anschließend mit der im Arbeitspaket 2.1 erstellten 3D-Karte fusioniert. Durch die kontinuierliche Sensorfusion aus Tiefendaten, Odometrie und IMU-Daten konnte sichergestellt werden, dass die erkannten Objekte dauerhaft und korrekt lokalisiert und in Bezug zur Umgebungskarte des Roboters gesetzt werden. Damit verfügt die Karte nicht mehr nur über geometrische, sondern auch über semantische Informationen zu vorhandenen Sicherheitsobjekten und deren exakter Position, Orientierung und Ausdehnung im Raum.

Diese semantisch erweiterte Karte bildet die zentrale Datengrundlage für die im Arbeitspaket 3 entwickelte Wissensrepräsentation (Knowledge Graph) sowie für die automatisierte Überprüfung von Brandschutzregeln, da die Live-Positionsinformationen der erkannten Objekte direkt mit den im Knowledge Graph modellierten Anforderungen (z.B. Mindestabstände, Kennzeichnungspflichten) verknüpft werden können.

Arbeitspaket 3 Datengenerierung und Anlernen der KI-Bildverarbeitung

Im Arbeitspaket 3 wurden die Voraussetzungen für die KI-gestützte Bilderkennung geschaffen. Hierzu wurden die erforderlichen Bilddaten erhoben, aufbereitet und für das Training der KI nutzbar gemacht. Auf dieser Grundlage wurde die Bildverarbeitung entwickelt und für die Erkennung relevanter Objekte vorbereitet.

Arbeitspaket 3.1 Datengenerierung

Im Unterarbeitspaket 3.1 wurden die Grundlagen für das Training der KI-Bildverarbeitung geschaffen. Hierzu wurden relevante Merkmale und Rahmenbedingungen für die Datenerhebung festgelegt, Bilddaten im Krankenhausumfeld erfasst sowie die Daten aufbereitet, vorklassifiziert und strukturiert in Trainings-, Validierungs- und Testdaten überführt. Bereits >4.000 vorhandene Bilddateien von Gegenständen wie Feuerlöschern etc. wurden gesichtet und im Training berücksichtigt. Um noch bessere Ergebnisse zu erzielen, wurden gemeinsam vor Ort weitere Daten in Form von Videosequenzen erzeugt, vorsortiert und gemäß den Anforderungen aufbereitet. Darüber hinaus wurden die konzeptionellen Voraussetzungen für die spätere IT-Anbindung geschaffen.

Arbeitspaket 3.2 Anlernen der KI-Bildverarbeitung

Im Unterarbeitspaket 3.2 wurde die KI-Bildverarbeitung auf Grundlage der bereitgestellten Daten entwickelt und trainiert. Hierzu wurden die relevanten Objekte und Szenarien für die Bilderkennung festgelegt, die Datenhaltung und das Labeling vorbereitet sowie das geeignete neuronale Netz ausgewählt und trainiert.

Für die Vorannotation der Trainingsdaten wurde das Foundation Model SAM (Segment Anything Model) in Kombination mit der Annotationsumgebung CVAT eingesetzt, wodurch die Annotation der Bilddaten durch eine automatisierte Vorsegmentierung erheblich beschleunigt werden konnte. Für die eigentliche Objekterkennung wurde ein neuronales Netz der Klasse YOLOv11 zur Instance Segmentation trainiert. Das trainierte Modell ist in der Lage, relevante Objekte robust im 2D-Bildraum zu klassifizieren und zu segmentieren, und läuft dabei direkt auf der im Roboter verbauten Edge-Hardware mit einer Verarbeitungsgeschwindigkeit von rund 30 Bildern pro Sekunde.

Auf dem zurückgehaltenen Testdatensatz konnte pro Frame eine Erkennungsrate von über 90% erreicht werden. Im anschließenden Feldversuch, der in einem anderen, neueren Krankenhausbereich stattfand, der so nicht in den Trainingsdaten enthalten war, fiel die Erkennungsrate mit rund 80% pro Einzelbild etwas geringer aus. Ursächlich hierfür war insbesondere, dass die dort

angetroffenen Objekte teils deutlich von den Trainingsdaten abwichen – so unterschieden sich beispielsweise Typen von Brandschutztüren, die eingesetzten Wagen sowie die durch Wandbemalungen (z.B. Tiermotive auf der Kinder- und Jugendstation) veränderte Umgebungsgestaltung von den ursprünglich erfassten Trainingsszenarien. Eine Erkennungsrate von rund 90% ist dabei für den praktischen Einsatz bereits gut geeignet: Da das System die Umgebung nicht nur einmalig, sondern fortlaufend mit etwa 20 Bildern pro Sekunde auswertet, während sich der Roboter durch die Gänge bewegt, steht für jedes Objekt eine Vielzahl an Einzelaufnahmen aus unterschiedlichen Blickwinkeln zur Verfügung. Durch die Kombination mehrerer solcher Aufnahmen lässt sich die Zuverlässigkeit der Erkennung auf nahezu 100% steigern, da ein Objekt, das auf einem einzelnen Bild eventuell nicht erkannt wird, mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einem der nachfolgenden Bilder trotzdem zuverlässig identifiziert wird. Es ist zudem davon auszugehen, dass durch die Ergänzung vergleichsweise wenig zusätzlicher, auf die jeweilige Zielumgebung abgestimmter Trainingsdaten die Erkennungsgenauigkeit pro Einzelbild noch weiter gesteigert werden könnte.

Um eine Grundlage für das Erkennen komplexer Regeln und Zusammenhänge auf den Stationen zu schaffen und mithilfe der KI-Bildverarbeitung Verstöße überprüfen zu können, wurde ein Knowledge Graph für Brandschutzregeln auf den Krankenhausfluren modelliert. Die Modellierung erfolgte automatisiert aus Dokumenten und natürlichsprachlichem Domänenwissen mittels großer Sprachmodelle (LLMs, u.a. Qwen2.5 und GPT-4) und wurde technisch mit der Graphdatenbank Neo4j umgesetzt. Dafür wurden Projektknoten bestimmt (z.B. Objekte wie Feuerlöscher, Piktogramme, Brandschutztüren etc.) und über sogenannte Kanten (z.B. „muss frei sein von", „muss positioniert sein neben", „muss gekennzeichnet sein durch") miteinander in Beziehung gesetzt. Ein zentraler Vorteil dieses Ansatzes ist, dass der Knowledge Graph fortlaufend anhand von Live-Informationen aus der 3D-Objekterkennung aktualisiert werden kann und Regeländerungen einfach über natürlichsprachliche Eingaben vorgenommen werden können, ohne dass eine Anpassung der zugrunde liegenden Programmierung erforderlich ist.

Für die eigentliche Auswertung der im Knowledge Graph modellierten Brandschutzregeln wurde ein kompaktes Sprachmodell (Qwen2.5 mit ca. 3 Milliarden Parametern, quantisiert) eingesetzt. Der Knowledge Graph wird dem Modell in strukturierter Form als Kontext übergeben, wodurch das System auch komplexe, mehrstufige Regeln nachvollziehbar überprüfen und automatisch begründen kann. So konnte beispielsweise anhand einer strukturierten Anfrage zur korrekten Anbringung von Piktogrammen erfolgreich der Verstoß identifiziert werden, dass Piktogramme im Abstand von einem Meter neben Feuerlöschern angebracht sein müssen. Die dabei generierte Begründung kann automatisiert per E-Mail versendet oder in ein bestehendes Ticketsystem eingebettet werden.

Ein zentrales Ergebnis dieses Unterarbeitspakets ist, dass sowohl die Bildverarbeitung (YOLOv11) als auch das für das Reasoning eingesetzte kompakte Sprachmodell (Qwen2.5, quantisiert) direkt auf der im Serviceroboter verbauten Edge-Hardware lauffähig sind. Dadurch konnte gezeigt werden, dass die gesamte Verarbeitungskette – von der Objekterkennung über die 3D-Lokalisierung bis hin zur Regelauswertung mittels Knowledge Graph und LLM-Reasoning – ohne Anbindung an externe Server oder Cloud-Infrastruktur direkt auf dem Roboter ausgeführt werden kann. Dies erfüllt eine zentrale Projektanforderung, die Lösung mit kostengünstiger, roboterintegrierter Hardware realisierbar zu machen, und stellt zugleich einen wichtigen Vorteil im Hinblick auf Datenschutz und Echtzeitfähigkeit dar.

Abbildung 1: KI-Bildverarbeitung am Beispiel der Aufnahmen im Pilotkrankenhaus

Arbeitspaket 4 Pilotierung und Verwertungsstrategie

Im Arbeitspaket 4 wurden die entwickelten Lösungen unter Praxisbedingungen erprobt und im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit bewertet. Dazu wurden die Pilotierung im St. Franziskus-Hospital Münster vorbereitet und begleitet, Ergebnisse aus den Labortests in die weitere Planung einbezogen sowie Verwertungsüberlegungen fortgeführt.

Arbeitspaket 4.1 Labortest und wissenschaftliche Verwertung

Bevor der Feldtest im Krankenhaus durchgeführt werden konnte, wurden zunächst umfangreiche Labortests am Fraunhofer IML durchgeführt. Hierzu wurde ein Kameraaufbau in eine bestehende Roboterplattform integriert, wobei sowohl das Kamerasystem als auch die zusätzlich benötigte Hardware bewusst kostengünstig ausgewählt wurden. Ein zentrales Projektziel war es, nachzuweisen, dass bereits mit preiswerten Zusatzkomponenten eine bestehende Roboterplattform um zusätzliche Aufgaben erweitert werden kann, ohne dabei auf dedizierte und kostenintensive Spezialhardware angewiesen zu sein.

Die in der Anwendungshalle des Fraunhofer IML durchgeführten Tests lieferten wertvolle Erkenntnisse darüber, welche Objekte durch das System zuverlässig identifiziert werden können. Dabei konnte unter anderem erfolgreich nachgewiesen werden, dass Feuerlöscher als Brandschutzeinrichtungen stabil erkannt werden. Die weiterführende Anforderung, zusätzlich das Prüfdatum der Feuerlöscher automatisch auszulesen, erwies sich hingegen als technisch nicht realisierbar. Die aufgedruckten Informationen sind zu kleinformatig, als dass die eingesetzte Hardware mit ihrer Kameraauflösung eine zuverlässige Erkennung hätte gewährleisten können.

Hinsichtlich der wissenschaftlichen Verwertung wurden die erzielten Ergebnisse bereits in der Fachzeitschrift *KU Gesundheitsmanagement* veröffentlicht. Darüber hinaus befindet sich derzeit eine weitere wissenschaftliche Publikation in Vorbereitung, in der die Projektergebnisse einem breiteren Fachpublikum zugänglich gemacht werden sollen.

Arbeitspaket 4.2 Feldtest im Krankenhaus und Geschäftsmodellentwicklung

Im Unterarbeitspaket 4.2 fand die Pilotierung im St. Franziskus-Hospital Münster auf der Kinder- und Jugendstation unter Realbedingungen statt. Hierfür wurde im Vorfeld ein strukturiertes Drehbuch für die Pilotphase erstellt, in dem die relevanten Testszenarien und Abläufe festgelegt sowie Ausgangssituation, Ziel und Trigger des jeweiligen Szenarios definiert wurden. Im Mittelpunkt

standen insbesondere Use Cases aus dem Bereich Brandschutz und Fluchtwegesicherheit, darunter fehlende oder falsch platzierte Feuerlöscher, verdeckte bzw. fehlende Piktogramme, blockierte Fluchtwege, versperrte Brandschutztüren, verdeckte Fluchtwegepläne sowie nicht beleuchtete Fluchtwegeschilder. Eine Herausforderung ergab sich aus der Umgebungsgestaltung auf der Kinder- und Jugendstation, da die Wände auf den Fluren mit Tiermotiven gestaltet sind. Es war zu berücksichtigen, dass diese visuellen Elemente die KI-gestützte Bilderkennung potenziell beeinflussen bzw. zu Irritationen bei der Objekterkennung führen könnten (siehe Abbildung 2). Durch entsprechende Anpassungen konnten die vorgesehenen Testszenarien verlässlich durchgeführt werden.

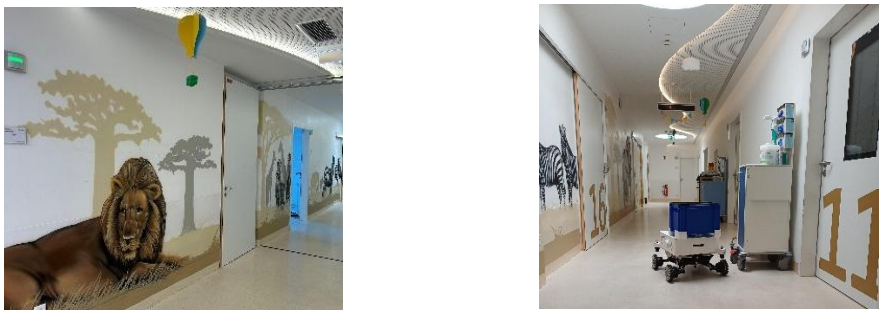

Abbildung 2: Flur Kinder- und Jugendstation St. Franziskus-Hospital Münster

Die Pilotphase hat gezeigt, dass der entwickelte Ansatz unter realen Bedingungen grundsätzlich funktionsfähig ist, zugleich jedoch weitere Optimierungen sowie eine abgestimmte Prüfung der Kompatibilität mit konkreten Serviceroboterplattformen erforderlich sind, um einen belastbaren Einsatz im klinischen Alltag zu ermöglichen.

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde untersucht, inwieweit der Einsatz des Serviceroboters zur Entlastung des Personals bei wiederkehrenden Kontroll- und Sicherheitsaufgaben beitragen kann. Dabei zeigte sich, dass technische Kontrollgänge zur Betriebssicherheit in ausgewählten Bereichen reduziert werden können und hierdurch zeitliche Ressourcen freigesetzt werden. Zugleich ermöglicht das System die Erfassung und Weiterleitung sicherheitsrelevanter Informationen in Echtzeit, die im bisherigen Betriebsablauf mitunter verzögert erkannt würden oder unberücksichtigt blieben. Die Ergebnisse bilden eine wesentliche Grundlage für die Bewertung des praktischen Nutzens.

Diese im Projekt bereits gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass sich aus den entwickelten Ansätzen zahlreiche konkrete Vorteile ableiten lassen, insbesondere im Hinblick auf die Unterstützung bei der Durchführung wiederkehrender Kontrollaufgaben, die zeitnahe Erfassung sicherheitsrelevanter Informationen sowie die in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung belegbaren Einsparungspotenziale bei technischen Kontrollrundgängen. Eine belastbare Darstellung in Größenordnungen ist zum jetzigen Zeitpunkt nur eingeschränkt möglich, da die Erprobung im Rahmen einer Pilotphase erfolgte, noch keine hinreichend umfangreichen Erfahrungswerte aus dem Regelbetrieb vorliegen und präventive Effekte grundsätzlich schwerer quantitativ zu erfassen sind. Vor diesem Hintergrund kann die Quantifizierbarkeit im Sinne einer nachweisbaren Verbesserung der Sicherheit derzeit noch nicht belegt werden. Unabhängig davon soll die Bewertung in den kommenden Monaten weiterverfolgt werden, sobald sich hierfür im praktischen Betrieb bei der FACT GmbH zusätzliche Möglichkeiten ergeben. Darüber hinaus zeigt die im Projekt erstmals geschaffene Echtzeit-Berichterstattung ein weitergehendes Potenzial für zusätzliche Anwendungsfälle in anderen Bereichen, beispielsweise für anlassbezogene Reinigungsprozesse oder vergleichbare operative Unterstützungsleistungen.

2.2 Erreichte Meilensteine

Meilensteine Gesamtprojekt

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
Gesamtkonzept und Anforderungskatalog: Erfolgreiche Niederschrift des Gesamtkonzeptes für das Projektvorhaben und Identifikation der notwendigen Anforderungen, die mindestens zu 80% erfüllt werden können.	2	4	4	erreicht
Evaluierung der Pilotphase: Erfolgreiche Durchführung von mindestens 75% der identifizierten Anwendungsfälle.	5	15	18	Entwicklungszeit und Koordination der Terminabsprache hat zu Verzögerungen des Meilenteins geführt

Meilensteine Teilprojekt A

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
100% der ausgewählten Use Cases werden in das technische Konzept integriert.	3	8	8	erreicht
Die Mean Accuracy der Segmentierung soll mindestens 80% erreichen.	4	14	15	erreicht

Meilensteine Teilprojekt B

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
Identifizierung der Kontroll- und Sicherheitsaufgaben: Erfolgreiche Identifikation von mindestens 10 Anwendungsfällen, die dazu beitragen die Sicherheit im Krankenhaus zu erhöhen und das Personal im Rahmen der (Einzel-)Tätigkeit mindestens um 60% entlasten. Darüber hinaus Steigerung der Kontrollmaßnahmen um mindestens 2 Use-Cases zum Ausgangszeitpunkt.	1	2	3	Planabweichend, da mehrere Rücksprachen mit unterschiedlichen Personengruppen zur Ermittlung der Anforderungen notwendig waren.
Geschäftsmodell: Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Entwicklung von mindestens drei sinnvollen KPIs zur Erfolgsmessung.	6	17	17	erreicht

2.3 Erreichte Ergebnisse

2.3.1 Erreichung der Gesamtziele

Gesamtziel des Innovationssprints	Das Ziel ist die Weiterentwicklung von bestehenden Servicerobotern zur Durchführung zusätzlicher Nebentätigkeiten, während der Verrichtung der Haupttätigkeit (z.B. Transport, Reinigung, etc.). Das Einsatzgebiet soll demnach auf die Übernahme von Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im teilöffentlichen Raum (Feldtest: Krankenhaus)	Die ursprünglichen Ziele des Gesamtprojektes wurden nahezu vollständig erreicht. Es konnte erfolgreich gezeigt werden, dass bestehende Serviceroboter durch eine modulare KI-gestützte Bilderkennung grundsätzlich um Kontroll- und Sicherheitsaufgaben erweitert werden können. Zugleich

	erweitert werden, indem durch die Entwicklung einer modular einbaubaren KI-gesteuerten Bilderkennung am Roboter beispielsweise das Vorhandensein von Feuerlöschern oder die Freihaltung von Fluchtwegen überprüft und gemeldet werden kann.	wurde deutlich, dass für einen alltagstauglichen Einsatz eine weitergehende Optimierung der Bilderkennung unter Praxisbedingungen erforderlich ist. Darüber hinaus ist die Kompatibilität mit konkreten Herstellern und bestehenden Serviceroboterplattformen in einem nächsten Schritt weiter abzustimmen und zu prüfen.
Beitrag des Teilprojekts A	Das Ziel des Teilprojektes A ist die technische Entwicklung der Bildverarbeitung zur Erkennung der Umgebung im Raum und Identifizierung der Sicherheitsobjekte (z.B. Feuerlöcher). - Stabile Erkennung von Brandschutzeinrichtungen (z.B. Feuerlöscher) mittels Künstlicher Intelligenz - Fusionierung von Sensoren zur 3D Lokalisierung der erkannten Brandschutzeinrichtungen - Fusion der 3D lokalisierten Brandschutzeinrichtungen mit der Karte des Roboters	Die im Antrag definierten Arbeitsziele des Teilprojekts A wurden im Projektverlauf weitgehend erreicht. Die stabile Erkennung von Brandschutzeinrichtungen mittels KI konnte erfolgreich demonstriert werden – Feuerlöscher wurden zuverlässig identifiziert. Dabei zeigte sich jedoch, dass kleinere Objekte sowie feine Details, wie das Prüfdatum auf einem Feuerlöscher, mit der eingesetzten kostengünstigen Kamerahardware nicht zuverlässig erkannt werden konnten. Dies stellt einen konkreten Ansatzpunkt für eine hardwareseitige Weiterentwicklung dar, schränkt den grundsätzlichen Proof-of-Concept jedoch nicht ein. Die Fusionierung der Sensordaten zur 3D-Lokalisierung der erkannten Objekte sowie deren Integration in die Roboterkarte wurden ebenfalls erfolgreich umgesetzt. Insgesamt konnten die gesetzten Projektziele im Wesentlichen erreicht werden.
Beitrag des Teilprojekts B	Das Ziel des Teilprojektes B ist die erfolgreiche Identifizierung und Auswahl von wiederkehrenden Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im Bereich der Krankenhaustechnik, die operative Prozessintegration sowie die Bewertung der qualitativen und quantitativen Mehrwerte. - Identifizierung der Kontroll- und Sicherheitsaufgaben - Konzeptentwicklung für den Anwendungsfall Krankenhaus	Die Ziele des Teilprojektes B wurden nahezu vollständig erreicht. Wiederkehrende Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im Bereich der Krankenhaustechnik konnten erfolgreich identifiziert, priorisiert und für den Anwendungsfall Krankenhaus konzeptionell aufbereitet werden. Darüber hinaus wurden die Grundlagen für die operative Prozessintegration sowie die Bewertung qualitativer und quantitativer Mehrwerte erarbeitet. Ergänzend hat sich gezeigt, dass in Bezug auf die Erkennung kleinteiliger Detailinformationen, insbesondere von Prüfplaketten oder kleinformatigen Datumsangaben auf Fluchtwegeplänen weiteres Entwicklungspotenzial besteht. Eine entsprechende Weiterentwicklung würde die praktische Anwendbarkeit des Systems zusätzlich erhöhen und den Funktionsumfang weiter ausbauen.

2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele: Gesamtprojekt	**Erfüllung**
Geplante konkrete Arbeitsziel: Teilprojekt A	**Erfüllung**
Stabile Erkennung von Brandschutzeinrichtungen mittels KI (z.B.	erfüllt

Feuerlöscher)	
Fusionierung von Sensoren zur 3D Lokalisierung der erkannten Brandschutzeinrichtungen und mit der Karte des Roboters	erfüllt
Automatische Protokollierung der Kontrollaufgaben (in Echtzeit) gemäß Gesetzgebung	nicht vollständig erfüllt
Erfolgreicher Proof-of-Concept und Evaluierung im Rahmen der Pilotphase	erfüllt
Erstellung eines Leitfadens zur datenschutzkonformen Implementierung der Bilderkennungstechnologie	erfüllt
Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt B	**Erfüllung**
Identifizierung wiederkehrender Kontroll- und Sicherheitsaufgaben im Bereich Krankenhaustechnik	erfüllt
Entwicklung eines Anforderungskataloges (Häufigkeit/Intervalle, Zeitpunkte, Detaillierungsgrad etc.) für die KI-gestützte Bilderkennung aus Praxissicht	erfüllt
Entwurf einer Routenplanung (für alle eingesetzten Serviceroboter im Krankenhaus) inkl. Fahrten für Sicherheitskontrollen unter Berücksichtigung gesetzlicher Vorgaben und Kundenanforderungen	erfüllt
Reduzierung der Arbeitsbelastung und Nachweis der Wirtschaftlichkeit (Ermittlung der Prozesskosten)	erfüllt
Quantifizierung der Verbesserung von Sicherheit und Effizienz im Gesundheitswesen	nicht erfüllt

2.4 Verwertung

2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die im Förderantrag beschriebene Verwertungsstrategie sah vor, die entwickelte Technologie über zwei wesentliche Hebel in den Markt zu überführen. Zum einen sollte die FACT GmbH als Anwendungspartner die nutzerspezifische Gestaltung des Systems begleiten und über ihre Kundenbasis im Krankenhausbereich einen direkten Transferkanal bereitstellen. Zum anderen sollten Gespräche mit Unternehmen im Bereich Robotik, insbesondere Herstellern von Reinigungs- und Transportrobotern, geführt werden, um die Forschungsergebnisse für eine breitere Vermarktung zu erschließen. Als zentrales Demonstrationsprojekt war ein Pilottest im St. Franziskus-Hospital Münster vorgesehen.

Die grundsätzliche Verwertungslogik hat sich im Projektverlauf bewährt und bleibt weiterhin gültig. Der Feldtest im St. Franziskus-Hospital Münster wurde erfolgreich durchgeführt und lieferte wertvolle Erkenntnisse für die Weiterentwicklung des Systems. Damit konnte die pilothafte Nutzbarkeit unter realen Bedingungen nachgewiesen werden. Die im Projekt identifizierten technischen Grenzen, insbesondere bei der Erkennung kleiner Objekte und feiner Details, machen deutlich, dass für eine vollständige Marktreife eine hardwareseitige Weiterentwicklung notwendig ist.

Ein wesentliches Ergebnis des Projektes ist sein Modellcharakter. Die entwickelte Lösung ist nicht auf einen einzelnen Anwendungsfall oder ein einzelnes Krankenhaus beschränkt. Da Brandschutzkontrollen und Sicherheitsbegehungen gesetzlich vorgeschrieben und in nahezu allen öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäusern, Pflegeheimen und Bürogebäuden erforderlich sind, ist das Anwendungspotenzial breit. Die FACT GmbH kann die erprobte Lösung als Tochterunternehmen der St. Franziskus-Stiftung Münster auf weitere Häuser der Stiftung ausrollen und so einen direkten Multiplikatoreffekt erzielen. Parallel dazu werden die Gespräche mit Herstellern von Reinigungs- und Transportrobotern, insbesondere Pudu Robotics und Tennant,

fortgeführt, um die entwickelte Sensorbox als modulare Erweiterung in bestehende Produktlinien zu integrieren. Die im Antrag angestrebte Schnittstelle zur CAFM-Software waveware der Loy & Hutz Group, über die Kontrollergebnisse direkt in bestehende Facility-Management-Prozesse übertragen werden sollen, konnte im Projektzeitraum noch nicht realisiert werden und ist als konkreter nächster Schritt nach Projektende vorgesehen. Die wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse wurde bereits durch eine Veröffentlichung in der Fachzeitschrift KU Gesundheitsmanagement eingeleitet. Eine weitere wissenschaftliche Publikation befindet sich derzeit in Vorbereitung, um die erzielten Erkenntnisse einem breiteren Fachpublikum zugänglich zu machen.

2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens

Seit Projektbeginn haben sich sowohl der wissenschaftlich-technische Stand als auch die gesellschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen in relevanten Bereichen weiterentwickelt, die im Folgenden in Abgrenzung zum Ausgangsstand des Projektes dargestellt werden.

Im Bereich der KI-gestützten Objekterkennung und semantischen Segmentierung hat sich die Entwicklung leistungsfähiger Basismodelle wie DINOv2 und verwandter Vision-Transformer-Architekturen im Projektzeitraum weiter beschleunigt. Insbesondere die Verfügbarkeit vortrainierter Modelle mit verbesserter Generalisierungsfähigkeit hat dazu beigetragen, dass Trainingsaufwände für spezifische Anwendungsfälle reduziert werden konnten. Dies wirkte sich positiv auf die Entwicklungsgeschwindigkeit im Teilprojekt A aus, da auf eine breitere Basis vorhandener Modellarchitekturen zurückgegriffen werden konnte.

Parallel dazu hat der Markt für Serviceroboter im Gesundheitswesen im Projektzeitraum weiter an Dynamik gewonnen. Mehrere Hersteller von Transport- und Reinigungsrobotern haben ihre Produktportfolios um modulare Erweiterungsoptionen ausgebaut, was die im Projekt verfolgte Strategie einer modular anzubringenden Sensorbox zusätzlich bestätigt und die Anschlussfähigkeit der Projektergebnisse an kommerzielle Plattformen erhöht.

Hinsichtlich der regulatorischen Rahmenbedingungen ist festzustellen, dass die Anforderungen an den Datenschutz beim Einsatz von Bilderkennungssystemen in öffentlichen und halböffentlichen Gebäuden weiterhin ein zentrales Thema darstellen. Die im Projekt vorgesehene Erstellung eines Leitfadens zur datenschutzkonformen Implementierung der Bilderkennungstechnologie gewinnt vor diesem Hintergrund zusätzlich an Relevanz, da sowohl auf europäischer Ebene als auch national die Diskussion über den Einsatz von KI-basierten Überwachungssystemen intensiver geworden ist. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die entwickelte Lösung von Beginn an datenschutzkonform zu gestalten und entsprechende Nachweise zu erbringen.

Insgesamt haben die beschriebenen Entwicklungen die Durchführung des Projektes positiv beeinflusst und bestätigen die grundsätzliche Ausrichtung der gewählten Verwertungsstrategie. Die gestiegene Marktdynamik im Bereich Serviceroboter sowie die zunehmende Sensibilisierung für datenschutzkonforme KI-Lösungen erhöhen gleichermaßen den potenziellen Nutzen der Projektergebnisse für weitere Anwendungspartner über den unmittelbaren Krankenhauskontext hinaus.

2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Erfolgte Veröffentlichungen:

- Marcus Hintze, Sebastian Hoose, Nadine van Wüllen, Sven Merschmeier; Zusatzaufgaben für Transportroboter, KU Gesundheitsmanagement, 09/26.
- Sven Merschmeier; Vortrag im Rahmen der FMplus Messe an der FH-Münster, 05/26

Unternehmensinterne Berichterstattung:

- KI-Forum St. Franziskus-Stiftung Münster, 07/25
- Betriebsversammlung der FACT GmbH, 08/25
- Führungskräftetagung der St. Franziskus-Stiftung Münster, 09/25
- Jahrestagung FACT GmbH, 03/26

Geplante Veröffentlichungen:

- Fachzeitschrift: Facility Management
- Fachzeitschrift: Der Brandschutzbeauftragte
- Digitaler Newsletter der FACT GmbH (ca. 650 Bestandskunden im E-Mail Verteiler)

2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Fraunhofer IML

Die in Teilprojekt A durchzuführenden komplexen und umfassenden Tätigkeiten waren mit personellen, technischen und wissenschaftlichen Risiken verbunden, die durch die Grundfinanzierung nicht gedeckt wurden. Insbesondere die Entwicklung der semantischen Segmentierung und die hardwareseitige Gestaltung stellten ein hohes wissenschaftliches Risiko dar. Das Projekt war nur durch die DATIpilot Förderung vom BMBF realisierbar.

FACT

Für die FACT GmbH, als Dienstleister im Gesundheitswesen, waren die Fördergelder für den zu leistenden Personaleinsatz von entscheidender Bedeutung. Obwohl die Entwicklung und Implementierung innovativer Technologien langfristig dazu beitragen kann Personal zu entlasten und effizienter einzusetzen, konnte das Projekt ohne Zuwendung nicht durchgeführt werden. Ohne die bereitgestellten Mittel war es FACT in diesem Umfang nicht möglich, in zukunftsweisende Projekte dieser Art zu investieren. Der Grad der F&E-Leistung ging über die bisher üblichen firmeninternen Leistungen hinaus, es standen keine Eigenmittel zur Verfügung und eine Refinanzierung des Personals musste gewährleistet sein: Einerseits stellte der Fachkräftemangel in der Gesundheitsbranche eine Herausforderung dar und andererseits basiert das Geschäftsmodell des Unternehmens primär auf (dem operativen) Personaleinsatz in allen Geschäftsbereichen (von der Beratung bis zu den Wirtschaftsdiensten).