

Ulmer Zentrum zur Erforschung und Evaluation der Mensch-Roboter-Interaktion im öffentlichen Raum (ZEN-MRI)

Förderkennzeichen 16SV8929

Johannes Maria Kraus¹, Franziska Babel², Martin Baumann³, Kathrin Pollmann⁴,
Daniel Ziegler⁵, Siegfried Hochdorfer⁶, Petra Grimm⁷, Tobias Keber⁸
und Marius Pawlak⁹



^{1 2 3} Universität Ulm
Helmholtzstr. 16
89081 Ulm

^{4 5} Fraunhofer IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

⁶ Adlatus Robotics GmbH
Nicolaus-Otto-Straße 4
89079 Ulm

^{7 8} Hochschule der Medien
Nobelstraße 10
70569 Stuttgart

⁹ Stadt Ulm
Marktplatz 1
89073 Ulm

15.1 Ziele des Kompetenzzentrums

15.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Anwendungsdomäne und Zielsetzung: *Evaluation der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) im öffentlichen Raum zur Ableitung, Weiterentwicklung und Bewertung verschiedener Auslegungen von Roboterverhalten und –interaktionsstrategien sowie Maßnahmen zur Integration von Robotern im öffentlichen Raum unter Berücksichtigung psychologischer, sozialer, ethischer, rechtlicher und Sicherheitsanforderungen.*

In den kommenden Jahren können Serviceroboter/Assistenzroboter vermehrt Aufgaben wie Reinigung und Transport im öffentlichen Raum übernehmen (Salvini et al. 2010). Entsprechend liegt in dieser Domäne ein hohes wirtschaftliches Wachstumspotenzial (Kapitel 15.4.1). Die Besonderheit des Einsatzes von Robotern im öffentlichen Raum (z. B. Fußgängerzone) besteht darin, dass sie ihre Aufgabe im Umfeld von Personen ausführen, die nicht an der eigentlichen Aufgabe des Roboters beteiligt sind und keinen direkten Nutzen aus den Robotern ziehen. Deshalb müssen die Roboter, um ihre Aufgabe effizient und sicher durchführen zu können, nicht nur mit ihren menschlichen Teampartner*innen, sondern auch mit diesen unbeteiligten Passant*innen interagieren. Dies umfasst bspw. die Kommunikation ihrer Aufgabe und die Abstimmung der Wegplanung.

Die Roboter treten damit als neue technische Agenten in ein etabliertes, funktionierendes System des sozialen Miteinanders ein, in dem Menschen aufeinander reagieren, miteinander kommunizieren und kooperieren. Die Gesellschaft steht vor der Herausforderung, die neuen Agenten in dieses System zu integrieren. Aktuell befinden wir uns noch am Anfang dieses Prozesses. Erste Roboter sind nun in einem technischen Entwicklungsstadium, das es erlaubt, sie in komplexen öffentlichen Szenarien einzusetzen.

In ersten Beobachtungsstudien zur MRI in der Öffentlichkeit (z. B. im Projekt RobotKoop) finden sich u.a. die im Beispielszenario beschriebenen Herausforderungen wieder: aufgrund von fehlender Transparenz des Roboterhaltens für die umstehenden Personen kommt es zu Missverständnissen, Angst und Befürchtungen (z. B., dass

sich ein Roboter unkontrolliert und gefährdend bewegt). Teilweise reagieren sie deshalb mit Unverständnis, fehlender Akzeptanz oder gar Aggression auf die Roboter (Babel et al., under review b). Um eine reibungslose Integration der Roboter in das öffentliche Leben zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit, dass in der Gestaltung der MRI solche potenziellen Probleme adressiert und minimiert werden und auch insbesondere für jene Personen, die gerade nicht die Nutzenden dieser Systeme sind, eine positive User Experience angestrebt wird. Darüber hinaus müssen für eine erfolgreiche Einbindung der Roboter in den öffentlichen Raum auch die Regeln des sozialen Miteinanders um Regeln zur Interaktion zwischen Robotern und Menschen ergänzt werden (beispielsweise Gesetze, Datenschutz, Sicherheitsnormen, soziale Normen, Vorschriften). Aus bisheriger Forschung, u.a. im Projekt RobotKoop, lassen sich bereits einige psychologische, soziale, ethische und rechtliche Anforderungen ableiten. So sollten Roboter im „shared space“ des geteilten, öffentlichen Raumes ihre Aufgabenerledigung transparent kommunizieren und ggf. mit Personen im Umfeld abstimmen. Das Roboterverhalten sollte schädigungsfrei, vorhersehbar und für das Umfeld störungsminimierend gestaltet sein. Die implementierten Interaktionsstrategien sollten akzeptanzfördernd, vertrauenswürdig, intuitiv und gleichzeitig nicht angst- oder stresserzeugend sein. Insgesamt sollte sich so ein **harmonisches Miteinander zwischen Mensch und Roboter** im öffentlichen Raum ergeben, das beim Menschen individuelles Wohlbefinden, eine effiziente und nachhaltige Aufgabenerledigung der Roboter und eine Berücksichtigung ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen gewährleistet.

Das Diagramm stellt das Kompetenznetzwerk ZEN MRI dar, das sich um die Evaluation der MRI im realen Einsatzort in der Umer Innerstadt konzentriert. Im Zentrum steht die Kölner Dom-Fassade mit einer Person im Vordergrund. Um dieses Zentrum herum sind verschiedene Bereiche angeordnet:

- Oben:** Mensch-Roboter Koexistenz
 - Befürchtungen
 - Unverständnis
 - Aggression
 - Angst
- Rechts:** Interaktionsstrategien
 - Kommunikation
 - Begegnung
 - Adaptivität
- Unten rechts:** Faktor Roboter
 - Aufgabenerfüllung
 - Anpassungsfähigkeit
- Unten:** Effizienz
 - Wirtschaftlichkeit
 - Ethische und rechtliche Aspekte
- Unten links:** Evaluation
 - Anpassungsfähigkeit
 - Ethische und rechtliche Aspekte
- Links:** Faktor Mensch
 - Anpassungsfähigkeit
 - Ethische und rechtliche Aspekte
- Oben links:** Menschliches Verhalten
 - Verhalten
 - Adaptation
 - Vertrauen

In der Mitte sind Logos von P, DB, dm, EBU, XIDE und FRAK zu sehen. Ein großer Textbogen am unteren Rand lautet "Evaluation der MRI im realen Einsatzort in der Umer Innerstadt".

Konkret werden im Projekt schwerpunktmäßig drei **ausgereifte, teilweise marktreife Roboter** der Firma Adlatus Robotics GmbH adressiert (Abb. 15.1) und deren Einbettung in das städtische Leben auf öffentlichen Plätzen (z. B. in der Fußgängerzone) und im halböffentlichen Bereich (u.a. im Bahnhof) in einem **Testfeld mit mehreren Testflächen in der Ulmer Innenstadt** untersucht. Im Projekt kommt ein Multimethodenansatz in einer Serie von empirischen Feldstudien und qualitativen Erhebungen zum Einsatz.

Das Projekt verfolgt hierbei Forschungsziele auf der Individual- und der Systemebene. Auf der **Individualebene** wird die individuelle Reaktion der Passant*innen und Nutzer*innen auf den Roboter und die resultierende MRI erforscht. Hierbei werden auch **längsschnittliche Untersuchungen** angestrebt, um die langfristige Entwicklung der Beurteilung abzubilden. Auf der **Systemebene** erfolgt eine gesamtheitliche Betrachtung der Einführung und Einbettung des Roboters in das soziale Miteinander im öffentlichen Raum unter Einbezug der Perspektiven aller Interessensgruppen. Zudem wird eine ethische und rechtliche Analyse der MRI und der Einbettung von Robotern im öffentlichen Bereich durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen im Projektverlauf zur iterativen Weiterentwicklung der MRI und zur Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Einbettung der Roboter in das Sozialsystem. Die Projektergebnisse zielen somit auf das Verstehen und die Beschreibung der Wirkung von Robotern im öffentlichen Bereich ab sowie auf eine Ableitung von Maßnahmen auf der Individual- und Systemebene zu deren Integration in das öffentliche Leben. Hierbei sind neben subjektiven Variablen wie Akzeptanz und Vertrauen die sichere, ethische, rechtssichere und gesellschaftlich gewinnbringende Eingliederung der Roboter zentral.

15.1.2 Thema des Verbundprojektes und Problembeschreibung

Beispielszenario Passantin: Maria, 53, Berufspendlerin: *„Als ich letztes Jahr am Hauptbahnhof zum ersten Mal einen Roboter den Boden putzen gesehen habe, war ich aufgeregt und neugierig. Sieht er mich? Wird er mich anfahren? Leute blieben stehen, andere sprangen absichtlich vor ihn. Auch ich untersuchte den Roboter genauer. Seitdem ist viel passiert. Erst gab es oft Missverständnisse, weil es unklar war, wohin die Roboter fahren. Die Leute sind teilweise erschrocken oder hatten Angst. Heute ist die Aufregung fast verschwunden. Die Roboter machen sich bemerkbar, wenn es ein*

Problem gibt und man geht halt kurz zur Seite. Heute möchte ich von einem Roboter, dass er mich nicht stört, aber ich versuche auch, ihm nicht im Weg zu stehen. Besonders schätze ich an den Bots, dass sie mir nachts dabei helfen können, sicher nach Hause zu kommen, wenn ich ein mulmiges Gefühl dabei habe durch die Stadt zu laufen. Ich kann dann einen Adlatus CR700 per Smartphone-App kurzfristig mieten und gegen einen kleinen Preis begleitet er mich auf der kritischen Strecke, leuchtet mir den Weg aus und spielt eine beruhigende Melodie, die auch anderen zeigt, dass er mich begleitet.“

Das Ziel dieses Kompetenzzentrums ist, die Vision von intelligenten, interaktionsfähigen Robotern voranzutreiben, die sich als **soziale, vertrauenswürdige und rücksichtsvolle Agenten in das soziale Miteinander im öffentlichen Raum einfügen**. Diese Roboter schaffen einen Interessensausgleich mit den Passant*innen und lösen durch ihre Anwesenheit positive Gefühle aus. Das Zusammentreffen mit ihnen ist sicher und durch innovative Zusatzfunktionen bereichernd. Die Roboter sind **praktische Normalität** und sind aus der Fußgängerzone und anderen öffentlichen Orten nicht mehr wegzudenken. Für ihren Einsatz können sich Städte und Kommunen auf klare Sicherheitsnormen sowie Richtlinien in Bezug auf Normen, Gesetzgebung und Haftungsfragen verlassen. Um die finanzielle Schwelle für den Einsatz dieser Roboter niedrig zu halten, existieren Geschäftsmodelle, die eine flexible und dynamische Anschaffung erlauben.

Um der Erreichung dieser Vision ein deutliches Stück näher zu kommen, werden im Kompetenzzentrum eine Reihe von **realitätsnahen Evaluationsstudien in einem Testfeld in der Ulmer Innenstadt** durchgeführt und deren Erkenntnisse in qualitativen Studien unter Beteiligung verschiedener Interessengruppen weiter spezifiziert. Hierbei soll eine Bandbreite von verschiedenen Auslegungen des Roboterhaltens (Geschwindigkeit, Abstand, etc.) und Interaktionsstrategien, die u.a. im Projekt Robot-Koop, NIKA und verwandten Projekten entwickelt wurden, an verschiedenen Orten der realen Aufgabenausführung von Servicerobotern im öffentlichen Raum evaluiert werden. Darüber hinaus sollen Maßnahmen auf Systemebene zur Integration der Roboter im öffentlichen Raum abgeleitet, umgesetzt und evaluiert werden.

Die Evaluationskriterien sollen die Vielfältigkeit der Auswirkungen widerspiegeln, die mit der Verbreitung der Robotik zusammenhängen. Entsprechend der interdisziplinären Zusammensetzung des Kompetenzzentrums sollen neben Erwartungen, Akzeptanz, Ängsten und anderen spontanen subjektiven Beurteilungen, das psychische Wohlbefinden (z. B. Stress), die gesellschaftliche Bedeutung sowie Effizienz, Nachhaltigkeit und Kriterien zur Sicherheit, Ethik und Rechtskonformität evaluiert werden.

Hierbei wird in einer Reihe von Feldstudien sowohl die **kurzfristige Wirkung der Roboter beim erstmaligen Zusammentreffen als auch die langfristige Entwicklung der Beurteilung und der Integration der Roboter in das soziale System untersucht**. Weiterhin soll untersucht werden, welche Konflikte zwischen Menschen und Robotern in der Öffentlichkeit entstehen und wie diese effizient und akzeptabel gelöst werden können. Insbesondere sollen die Bedürfnisse von vulnerablen Personengruppen (z. B. Kinder oder körperlich beeinträchtigte Menschen) berücksichtigt werden. Aus diesen Untersuchungsschwerpunkten ergeben sich zehn zentrale Forschungsziele des Kompetenzzentrums, die auf den folgenden vier Ebenen angeordnet sind:

1. Methodenentwicklung

Forschungsziel 1: *Ableitung von gesamtheitlichen, interdisziplinären Evaluationskriterien, -metriken und Benchmarks*

Forschungsziel 2: *Entwicklung von interdisziplinären, integrierten Forschungsmethoden sowie Definition und Realisation von Testszenarien im Anwendungsfeld der Roboter im öffentlichen Raum*

2. Individualebene: Passant*innenreaktionen und Optimierung der MRI

Forschungsziel 3: *Untersuchung des Ist-Zustandes verfügbarer MRI-Strategien sowie Ableitung von Mindestanforderungen an die MRI und von entsprechenden Benchmarks im öffentlichen Raum*

Forschungsziel 4: *Evaluation der kurz- und langfristigen Wirkung verschiedener Gestaltungsparameter der MRI im öffentlichen Raum und deren iterative Weiterentwicklung, Ergebnisintegration (u.a. Kriterienkataloge und evaluierbare Benchmarks) und Erstellung einer Datenbank*

3. Systemebene: Einbettung der Roboter im öffentlichen Raum

Forschungsziel 5: *Akzeptable und sichere Einbindung des Roboters in das soziale Miteinander des öffentlichen Raumes*

***Forschungsziel 6:** Bewertung und Adressierung ethischer, rechtlicher und sozialer Herausforderungen mit Hilfe des Ethics-by-Design-Ansatzes im gesamten Projektverlauf*

4. **Beforschung von Fokusthemen**

***Forschungsziel 7:** Untersuchung von rechtlichen Fragestellungen in der Erforschung der MRI im öffentlichen Raum (insb. Sicherheit, Datenschutz, Datensicherheit, Haftungs- und Verkehrsrecht)*

***Forschungsziel 8:** Anreicherung des Verständnisses von kritischen Situationen mit Passant*innen und weiteren Umstehenden sowie Erforschung und Ableitung von Lösungsansätzen*

***Forschungsziel 9:** Untersuchung der Entwicklung von Einstellungen zu Robotern, Ängsten vor und Vertrauen in Serviceroboter im kurz- und langfristigen Zeitverlauf*

***Forschungsziel 10:** Ableitung innovativer Zusatzleistungen und Dienste zum wirtschaftlichen Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum*

15.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums ZEN-MRI

Das Kompetenzzentrum zur Evaluation der MRI im öffentlichen Raum in Ulm zielt auf eine realistische und einsatznahe Untersuchung des Zusammenspiels zwischen Menschen und Robotern im öffentlichen Raum ab. Der grundlegende Forschungsansatz ist der eines **Realwelt-Labors**, in dem einsatzfähige, mit einer realen Kompetenz ausgestattete Roboter in das bestehende Sozialgefüge eines öffentlichen Raums eingefügt werden. Um dieses Ziel zu realisieren, wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie in enger Zusammenarbeit mit der Stadt Ulm ein dynamisch und ad-hoc beispielbares Testfeld mit mehreren Testflächen entwickelt, welches eine nahtlose Einbindung der Roboter in das Sozialgefüge der Ulmer Fußgängerzone erlaubt. Die Testflächen bilden innerhalb der Stadt Ulm ein Netzwerk, welches sieben Testflächen miteinander verbindet. Diese verfügen jeweils über einzigartige, sich gegenseitig ergänzende Charakteristika, die die Umsetzung der verschiedenen geplanten Erhebungsmethoden erlauben. Die Testflächen werden in Kapitel 15.3.1 im Detail beschrieben.

Im Kompetenzzentrum werden schwerpunktmäßig **drei Roboter der Firma Adlatus GmbH** untersucht (s. Tabelle 13.7), die entweder im marktreifen Zustand sind und

bereits seit mehreren Jahren ausgeliefert werden (CR700 und LR200) oder in einem einsatzfähigen Prototypenzustand sind (SR1300). Der CR700 ist ein Bodenreinigungsroboter, der vollautonom die Nassreinigung von Bodenflächen übernimmt. Der SR1300 ist ein vollautonomer Kehrroboter, der für die großflächige Grobreinigung des Bodens im Außenbereich entwickelt wurde. Der Roboter verfügt zusätzlich über die Möglichkeit zur manuellen Steuerung. Der LR200 ist ein Logistikroboter, der ursprünglich für den Einsatz in der Industrie entwickelt wurde und der nun im Einsatz im öffentlichen Bereich untersucht wird.




Roboter	Logistikroboter LR200	Reinigungsroboter CR700	Autonomer Kehrroboter SR1300
			
Maße	83,5 x 105 x 26 cm	100 x 80 x 98 cm	156 x 101 x 130 cm
Gewicht	leer 95kg / max. 200 kg	max. 300 kg	max. 448 kg
Geschwindigkeit	von 0,3 bis max. 0,8 m/s, kontinuierlich einstellbar	von 0,3 bis max. 0,8 m/s, kontinuierlich einstellbar	bis max. 1,97 m/s, kontinuierlich einstellbar
Entwicklungsstadium	marktreif	marktreif	Einsatzfähiger Prototyp

Tabelle 15.1: Im Kompetenzzentrum werden schwerpunktmäßig drei Roboter der Firma Adlatus GmbH untersucht.

Zudem wird im Projekt der **Roboter Lio** (UUHF) als Demonstrator dienen und die produzierende Firma F&P Robotics (assoziiierter Partner) wird ihre technische und Anwendungsexpertise einbringen. Der Serviceroboter Lio besteht aus einer fahrbaren Plattform mit einem Display als Statusanzeige und einem Arm mit sechs Freiheitsgraden und einem Greifer am Ende des Arms. Der Roboter ist für die körpernahe MRI ausgelegt und wurde bereits in RobotKoop



Abbildung 15.2: Zusätzlich eingesetzte Roboter (v.l.: Lio, Navel, Pepper).

für verschiedene Nutzerstudien eingesetzt. Des Weiteren steht der im RA2-Projekt VI-VA entwickelte humanoide **Roboter Navel** als Demonstrator und Anschauungsobjekt für die Durchführung der geplanten qualitativen Studien zur Verfügung. Zudem steht der humanoide **Roboter Pepper** (SoftBanks) als Demonstrator zur Verfügung, der

bereits in der Stadtbibliothek Ulm eingesetzt wird. (s. Abb. 15.2).

Beim Einsatz von Robotern in den neuen Anwendungsfeldern im öffentlichen Raum treffen verschiedene Akteure aufeinander, die jeweils unterschiedliche Perspektiven einnehmen und damit unterschiedliche Bedürfnisse und Kriterien für eine erfolgreiche Integration der Roboter anlegen. Im Folgenden werden diese Interessengruppen als **Stakeholder** betitelt und umfassen schwerpunktmäßig die in Abb. 15.3 und 4 dargestellten Personengruppen. Um diese Perspektiven mit ihren jeweiligen An- und Herausforderungen im Projekt balanciert zu berücksichtigen wird zur Erforschung der Forschungsfragen ein **Mehrebenenansatz** gewählt, der die Herausforderungen auf Individualebene der Passant*innen und Teampartner*innen mit der Systemperspektive der verantwortlichen Technikeinsetzer*innen und der Roboterhersteller verknüpft (Abb. 15.3). Durch diesen Mehrebenenansatz und die Kombination von kurz- und langfristigen Erhebungsmethoden geht das Projekt weit über eine reine ad-hoc Momentaufnahme der Individualreaktion hinaus und ermöglicht so eine umfassende Analyse und Erarbeitung von Lösungsansätzen der gesellschaftlichen Herausforderungen des Eintritts in das Zeitalter der Koexistenz von Menschen und Robotern im öffentlichen Raum.



Abbildung 15.3: Integrierte Stakeholdergruppen auf Individual- als auch Systemebene.

Hierbei wird über den Projektverlauf ein **Methodenmix** eingesetzt, in dem sich qualitative und quantitative Ansätze gegenseitig ergänzen (s. Abb. 15.4). Hierbei zielen diese Methoden auf die verschiedenen Ebenen der Fragestellungen und Lösungsansätze, die in dem Projekt adressiert werden, ab. Außerdem werden **neue Methoden zur Einbindung der Stakeholder und der Öffentlichkeit** entwickelt (Stakeholderlabs, RobotMuseum), um die Teilhabe der Bevölkerung am Integrationsprozess zu gewährleisten. Die angewendeten Methoden werden in Kapitel 15.3.2 ausführlich erläutert.

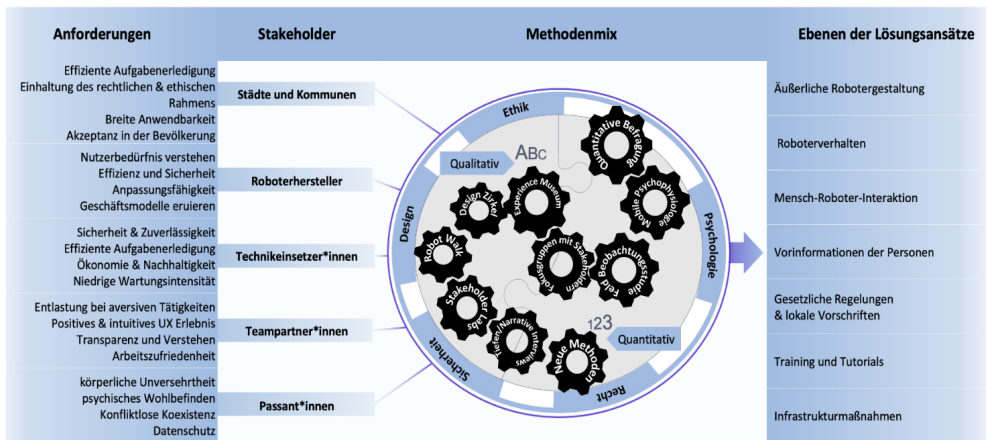


Abbildung 15.4: Übersicht über Stakeholder, deren Anforderungen, Methodenmix und die Ebenen der Projektergebnisse.

Durch die Kombination der verwendeten Methoden in den geplanten Studien, der interdisziplinären Expertise des Kompetenzzentrums, der Erforschung der MRI am realen Einsatzort mit ausgereiften Robotern, deren iterativen Optimierung und unter Beteiligung verschiedener Stakeholder sowie der iterativen Optimierung des Robotereinsatzes, der Sicherheit und der Robotergestaltung ermöglicht es das Vorgehen des beantragten Projektes neuartige Ergebnisse sowohl auf der **Individual- als auch auf der Systemebene** zu produzieren. Insbesondere werden im Rahmen des Projektes auf der Grundlage der erhobenen Daten konkrete Lösungsansätze für einen sicheren, effizienten und aus Sicht der Passant*innen als subjektiv angenehm und positiven Robotereinsatz abgeleitet (Abb. 15.3). Dieser bedarf einer kontextsensitiven, transparenten, komfortablen und vorhersehbaren Interaktion - sowohl in sicherheitsbezogener, rechtlicher, wie in ethischer Hinsicht. Dazu gehört zum Beispiel, dass der Mensch stets in der Lage ist, das Verhalten des Roboters zu verstehen, die Situation adäquat einzuschätzen und ein angemessenes Vertrauen in die MRI zu entwickeln. Ebenfalls ist sicherzustellen, dass Menschen nicht aufgrund individueller oder gesellschaftlicher Eigenschaften diskriminiert oder in Bezug auf eine erfolgreiche Interaktion benachteiligt werden. Neben diesen ethischen und sozialen Implikationen, die bei der MRI berücksichtigt werden müssen, eröffnen sich auch weitreichende, bisher nicht gelöste rechtliche Fragestellungen, die es zu berücksichtigen gilt. Das betrifft neben datenschutz- und -sicherheitsrechtlichen Fragestellungen insbesondere Aspekte

des Verkehrsrechts, Haftungsrechts (bspw. in Unfallsituationen), Versicherungsrechts sowie die Frage, wie sich autonome (Roboter-)Systeme zu verhalten haben.

Zusätzlich verfolgt das Projekt eine Reihe von **wissenschaftlich-methodischen Entwicklungszielen**, welche als methodische Grundlagen auf Forschungsprojekte der Interaktion von Mensch und Technik (insbesondere Roboter) im Anwendungsfeld übertragbar sind. Weiterhin werden im Projekt eine Reihe von Fokusthemen bearbeitet, die den Erfolg der Einbindung von Robotern im öffentlichen Raum in besonderer Weise beeinflussen. Die konkreten Projektziele auf den vier Ebenen (Methodenentwicklung, Individualebene, Systemebene und Fokusthemen) werden im Kapitel ?? überblicksartig dargestellt.

15.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

15.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Stand der Technik des Robotereinsatzes im öffentlichen Raum

Roboter werden aktuell weitestgehend in der Industrie oder im privaten Haushalt in geschlossenen Räumen bzw. abgegrenzten Bereichen eingesetzt. Im öffentlichen Raum sind Roboter nur in geringer Stückzahl in Form von Servicerobotern vertreten. Sie werden hauptsächlich für Liefer-, Reinigungs-, Security oder Informations- / Wegweiser-Aufgaben eingesetzt. Erste Entwicklungen in der Reinigungsrobotik reichen bis in die 90er Jahre zurück. In Deutschland waren daran unter anderem die Firmen Hako, Siemens in Kooperation mit Hefter und Kärcher beteiligt. Die Roboter basierten typischerweise auf handelsüblichen Reinigungsgeräten, die mit Ultraschallsensoren und einer entsprechenden Steuerungssoftware zur autonomen Navigation ausgestattet wurden. Aufgrund des damals noch unzureichenden Kosten-Nutzen-Verhältnisses konnte jedoch keines der entwickelten Systeme den Weg zum Markt finden. Aktuell vorhandene Produkte für die Bodenreinigung sind vor allem für das Reinigen größerer, ebener Flächen konzipiert, die sie wischen, kehren oder staubsaugen können. Dabei ähneln sie in ihrer Größe und Form oft den bislang eingesetzten Standardreinigungsmaschinen. Bei manchen Produkten fehlen die Griffe oder Sitze für die Bedienung per

Hand, andere sind für den manuellen wie autonomen Betrieb ausgelegt. Ausgestattet mit Steuerungen zur Navigation sowie Sensoren wie Ultraschall oder Laserscannern, um ihre Umgebung und Hindernisse zu erkennen, bewegen sich die Roboter selbstständig im vorgegebenen Reinigungsbereich. So können sie auch belebtere Umgebungen wie z. B. Bahnhöfe im Alltag ohne Risiko reinigen, sind aber in ihren Möglichkeiten zur Interaktion mit der Umgebung erheblich eingeschränkt und verfügen kaum über selbst rudimentäre Strategien zur MRI. Auch im Bereich der Liefer-/Logistikroboter sind mittlerweile einsatzfähige Prototypen für den Einsatz im öffentlichen Raum vorhanden. Während Logistikroboter in geschlossenen Bereichen (e.g. in Lager- oder Fabrikgebäuden) schon breite Verwendung finden, werden sie im öffentlichen Raum noch nicht in der Breite kommerziell eingesetzt. Hinderungsgründe sind hier vornehmlich die deutlich komplexeren Herausforderungen an die Roboternavigation und an die MRI mit Laien im öffentlichen Raum sowie ungelöste Fragen der Einbindung solcher Systeme in das öffentliche Sozialsystem.

Stand der Forschung zur MRI im öffentlichen Bereich

Bisher hat sich der Anwendungskontext von Robotern im täglichen Leben weitestgehend auf die häusliche Umgebung konzentriert (Fink et al. 2011, 2013, Leite et al. 2013). Aktuell nehmen aber bereits einige Use Cases des Einsatzes von Servicerobotern in öffentlichen Orten wie Bahnhöfen und Einkaufszentren Gestalt an. Hier ergeben sich neue Herausforderungen bspw. durch überfüllte Räume, in denen unerfahrene Passant*innen mit autonomen Servicerobotern spontan und teilweise mit Unbehagen und Misstrauen interagieren (Chadalavada et al. 2015, Matthews et al. 2019, Hayashi et al. 2007). Außerdem interagieren auch vulnerable Personengruppen (z. B. Senioren, Kleinkinder, seh- oder geheingeschränkte Personen) mit den Robotern. Gerade in diesem Anwendungskontext ist daher die **Nutzerakzeptanz- und ein angemessenes Maß an Vertrauen**, welches sich mit der tatsächlichen Leistung des Systems deckt (Lee and Moray 1994, Muir 1987) von enormer Wichtigkeit. In zahlreichen Forschungsarbeiten wurde bereits die Bedeutsamkeit von Akzeptanz und Vertrauen für eine erfolgreiche MRI gezeigt (z. B. Beer et al. 2011, Hancock et al. 2011, Kraus 2020), jedoch wurden die genauen psychologischen Prozesse und die Entwicklung dieser psychologischen Variablen bei der MRI im öffentlichen Raum noch nicht vollumfänglich untersucht. Ansatzpunkte finden sich aber in der bestehenden Forschung zur MRI

von Laien in der Öffentlichkeit, die seit etwa zwei Jahrzehnten beforscht wird (Jensen et al. 2005, Sabanovic et al. 2006, Shiomi et al. 2006, Thrun et al. 2000). Aufgrund der zunehmenden Realitätsnähe der adressierten Use Cases erfährt das Thema in den letzten Jahren eine stärkere Aufmerksamkeit (Abrams et al. 2021, Jung and Hinds 2018, Rosenthal-von der Pütten et al. 2020, Thunberg and Ziemke 2020). Bisher wurden die menschlichen Reaktionen auf Roboter in der Öffentlichkeit durch beobachtende Nutzerstudien u.a. in Stadtzentren (Rosenthal-von der Pütten et al. 2020, Weiss et al. 2011), Einkaufszentren (Doering et al. 2015, Tonkin et al. 2017), Flughäfen (Joosse 2017, Tonkin et al. 2018) und Bahnhöfen (Hayashi et al. 2007, Thunberg and Ziemke 2020) untersucht.

Während in solchen Studien zwar anekdotisch die Reaktionen der Passant*innen gesammelt wurden, gehen die Ergebnisse kaum über Zustandsbeschreibungen hinaus. So beschreiben Hayashi et al. (2007) die häufigsten Reaktionen als Ignorieren oder kurzes Bemerken. In der Mehrzahl der Feldstudien wurden die Gründe für die unterschiedlichen Reaktionen nicht ausreichend erforscht. Bislang fehlen zudem Studien, die systematisch eine Untersuchung der kurz- und langfristigen Reaktionen der Passant*innen auf Roboter im öffentlichen Raum, deren Verhaltensweisen und Interaktionsmuster mit ELSI-Kriterien kombinieren. Weiterhin wurde bisher noch nicht vollumfänglich untersucht, wie ein robotisches System in die Öffentlichkeit eingeführt werden sollte, damit dies zu einer erfolgreichen Integration des autonomen robotischen Systems in ein soziotechnisches Netzwerk führt und von allen Stakeholdergruppen akzeptiert wird. Die unterschiedlichen Perspektiven der verschiedenen Stakeholder wurden dabei noch nicht ausführlich untersucht, sondern fanden eher theoretische Erwähnung in Überblicksarbeiten (Salvini et al. 2010, Wirtz et al. 2018). So nennen Salvini et al. (2010) drei Ebenen, die für die Akzeptanz von Servicerobotern relevant seien: Passant*innen, Teamkolleg*innen und die rechtliche Ebene. An diesen Forschungslücken setzt das beschriebene Kompetenzzentrum an und erweitert den Forschungsstand u.a. wie folgt:

1. Die Roboter werden wiederholt und unter multidisziplinärer Perspektive mit einem Methodenmix in dem praktischen Setting ihrer Anwendung mit naiven Passant*innen untersucht.
2. Es werden Beobachtungen mit der Erfassung der psychologischen Wirkung (wie z. B. Vertrauen und emotionale Reaktionen) sowie von psychophysiologischen

und Verhaltensdaten kombiniert.

3. Die geplanten Studien zielen mit längsschnittlichen Studiendesigns auf die Erforschung der Entwicklung der Beziehung zwischen Menschen und Robotern wie Gewöhnung oder Vertrautheit ab.
4. Die Untersuchung mobiler Roboter erlaubt eine Analyse räumlicher Konflikte (z. B. Kollisionen, Ausweichen) und die Ergänzung fehlender Sicherheitsstandards für den öffentlichen Bereich.
5. Verschiedene Stakeholderperspektiven werden durch die Beteiligung von beispielsweise Technikeinsetzer*innen und Teampartner*innen eingebunden.

Stand der Forschung zu Sicherheits- und Rechtsfragen beim Robotereinsatz im öffentlichen Raum

Die im Rahmen des Forschungsprojekts aufgeworfenen Rechtsfragen sind vielfältig und betreffen unterschiedliche Akteur*innen. Die Herausforderungen sind partiell deckungsgleich mit denjenigen des autonomen- bzw. hochautomatisierten Fahrens, sodass Erfahrungen aus dem erfolgreich abgeschlossenen Forschungsprojekt KoFFI genutzt werden können (Keber and Klink-Straub 2020). Die Rechtsfragen reichen mit Blick auf die eingesetzten autonomen Assistenzroboter vom Produktsicherheitsrecht (durch das ProdHaftG adressierte Roboterhersteller) über weitergehende haftungsrechtliche Fragen (bspw. den Technikeinsetzer*innen ist die Unzuverlässigkeit eines Sensors bekannt, sie handeln aber nicht) bis hin zum Versicherungsrecht (bspw. durch die Betreiberhaftpflichtversicherung erfasste Szenarien; z. B. Borges 2018, Zech 2016). Besondere Relevanz haben beim Einsatz der autonomen Systeme das Datenschutzrecht und Fragen der Datensicherheit („IT-Security“). Die genannten Bereiche wurden in anderen Forschungsprojekten z. T. bereits (abstrakt) adressiert (vgl. Hartwig et al. 2020). In diesem Forschungsprojekt geht es in AP 9 indes vor allem darum, den konkreten Einsatz in durchgängig interdisziplinärer Abstimmung zu begleiten (Monitoring) und Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der Technik zu formulieren (z.B. privacy by design und by default, Art. 25 DSGVO; vgl. Keber and Keppeler 2020). In diesem Sinne adressiert das Projekt auch die Weiterentwicklung bislang fehlender **Sicherheitsstandards** für den Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum.

Stand der Forschung zu der ethischen Einbindung von Robotern im öffentlichen Raum

Die Ethik und Technikfolgenabschätzung wird sich im Projekt zunächst auf die MRI konzentrieren, und so Fragen nach der Verantwortung und dem Vertrauen, die im Zuge der Roboterethik (Lin et al. 2012, Loh 2019) und der Maschinenethik (Misselhorn 2018, Rath 2019) entstehen, vordergründig behandeln. Dabei wird die Forschung auch an die Debatte rund um die Entwicklung einer vertrauenswürdigen KI angebunden (Marcus and Davis 2019) und soll im Projekt weiterentwickelt werden. Die soziale Akzeptanz von Robotern wird zukünftig auch von Anforderungen an nachhaltige Produktion und nachhaltigen Einsatz sowie gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Langzeitfolgen (z. B. Veränderte Arbeitsbedingungen) abhängig sein. Es sollte demnach ein holistischer Begriff von Nachhaltigkeit (Duboc et al. 2019) im Projekt entwickelt werden. Die empirischen Ergebnisse aus den Befragungen sollen dazu dienen ein tieferes Verständnis hinsichtlich gemeinsam verwendeter Begrifflichkeiten zu erlangen, um deren Adressierung tatsächlich zu ermöglichen (Ethik des Designs; Parsons 2016). Diese Problematik, die z.B. auch in Studien zum automatisierten Fahren (Maurer et al. 2018) oder zur Privatheit (Hadar et al. 2018) deutlich wurde, ist im Bereich der Robotik noch nicht ausreichend erforscht und soll im Projekt untersucht werden. Nicht zuletzt müssen die Projektergebnisse auch im Einklang mit bereits vorhandenen ethischen Leitlinien und Kodizes stehen, wie den Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI der Europäischen Union (Europäische Kommission 2019) oder von Chatila and Havens (2019). Zudem muss überprüft werden, ob detaillierte ethisch-normative Vorgaben für den Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum notwendig sind.

15.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Aufbau auf Ergebnissen der RA2-Projekte RobotKoop und NIKA sowie des BMBF-Projektes KoFFI

Die Akteure haben in der Vergangenheit schon in öffentlich geförderten Projekten eng zusammengearbeitet und können so auf ein etabliertes gemeinsames Arbeiten aufbauen. Zudem haben alle Partner bereits ausführliche Erfahrungen in der Planung, Umsetzung, Durchführung und Auswertung in den in dem Projekt geplanten Methoden im Bereich der MRI sammeln können. Durch die Arbeit in den Projekten der Förderreihe RA2 kann das Projekt auf zahlreiche Vorarbeiten aufbauen. So stand der CR700 bereits im Fokus des Projektes RootKoop, was u.a. in verschiedenen Veröffentlichungen mündete

(z.B. Babel et al. 2022a, Blankenbach et al. 2021). Zudem sind für den Roboter bereits verschiedene kritische Situationen beschrieben sowie Metriken zur Evaluation abgeleitet, auf denen die Entwicklung des Evaluationsmodells und der Metriken aufbauen kann. Es wurde bereits eine Reihe von Dialogmuster und Projektionen (RobotKoop) sowie Patterns (NIKA) entwickelt und abgetestet, die als Ausgangspunkt für die MRI im Projekt genutzt werden können. Auch im Rahmen des BMBF-Projektes KoFFI konnten UUHF und IDE gemeinsame Erfahrung in der Erforschung der Interaktion mit automatisierter Technik im Anwendungsfeld des automatisierten Fahrens sammeln, die jetzt in die Planung und Umsetzung des Kompetenzzentrums einfließt. Darüber hinaus wurden die untersuchten Roboter schon auf einigen der Testfelder eingesetzt und vorgetestet. So wurde am Bahnhof Ulm in RobotKoop erfolgreich eine kombinierte Beobachtungs- und Interviewstudie durchgeführt (Abb. 15.5; Babel et al., under review a), in der sich Herausforderungen zeigten, die nun im Kompetenzzentrum gezielt als Fokusthemen behandelt werden (z.B. Wegkonflikte, Robot Bullying). Auch in den Sedelhöfen wurden bereits Voruntersuchungen mit dem CR700 durchgeführt. Hier wird der Roboter aktuell schon von der Stadt Ulm regelmäßig in Kooperation mit ADL vorgetestet – ebenso wie am Bahnhof Ulm und im Parkhaus an der Neuen Mitte.



Abbildung 15.5: Nutzerreaktionen aus der Beobachtungsstudie des RA2 Projekts und bestehende Infrastruktur in Ulm.

Einsatzfähige Roboter mit entwickelter Funktionalität und hoher Technologiereife

Ein entscheidender Vorteil ist die fortgeschrittene Technologiereife der untersuchten robotischen Systeme (siehe 1.3), die einen schnellen Einsatz in Projektstudien im

realen Betriebsszenario ermöglicht. Da die grundlegenden autonomen Funktionen der Roboter entwickelt sind, kann so der Fokus auf der Bewertung und iterativen Anpassung der Interaktionsstrategien im menschenzentrierten Designprozess gelegt werden. Die Roboter werden im Kompetenzzentrum an ihrem Einsatzort mit verschiedenen Methoden untersucht (Kap. 15.3.2). Durch unterschiedliche Roboter wird das Abtesten einer Bandbreite an Interaktionsszenarien ermöglicht. Da direkt mit dem Hersteller zusammengearbeitet wird, sind Anpassungen der Roboter schnell und effizient zu realisieren und dem Projekterfolg stehen keine Einschränkungen durch Schutzrechte und Patente entgegen.

Regionales Projekt mit einsatzrealistischem, dynamischen Testflächen-Netzwerk

Alle Projektpartner sind in einem engen, regionalen Radius (Ulm und Stuttgart) ansässig, so dass eine flexible Zusammenarbeit in einem langfristigen Testfeld im realen Umfeld des Robotereinsatzes gewährleistet ist. Das Testfeld des Kompetenzzentrums besteht im Schwerpunkt aus einer Reihe von sieben Testflächen, die entlang der Fußgängerzone der Stadt Ulm angeordnet sind (Abb. 15.6). Die Testflächen erfüllen unterschiedliche Anforderungen und erlauben so die Anwendung eines breiten Spektrums von Untersuchungsmethoden (siehe 3.2). Die Testflächen können dynamisch und ad-hoc bespielt werden. Es ist hierbei möglich Teilflächen in den Testflächen abzusperren oder abzuschirmen. Die **öffentlichen** Bereiche in der Fußgängerzone erlauben es, realistische Erhebungen und Beobachtungen durchzuführen, die gegenüber Laborstudien zusätzliche Aspekte wie Gruppeninteraktionen und wiederholte MRI umfassen. Schließlich erlauben die Testflächen in geschlossenen Räumen die kontrollierte Durchführung von experimentellen Studien und qualitativen Methoden.

Nutzereinbindung und Kombination wissenschaftlich fundierter Methoden

Im Projekt wird eine Vielzahl von erprobten Forschungsmethoden eingesetzt, die nach wissenschaftlichen Kriterien verwendet und weiterentwickelt werden. Dies umfasst unter anderem die Implementierung eines menschenzentrierten Entwicklungsprozesses sowie eines Ethics by Design-Ansatzes. Diese werden durch neuentwickelte qualitative und quantitative Erhebungsverfahren ergänzt (s. Kap. 15.3.2). Hierdurch wird eine Kombination aus einer breiten Evaluation des Ist-Zustandes der MRI und einer tiefgehenden Adressierung von Fokusthemen ermöglicht.

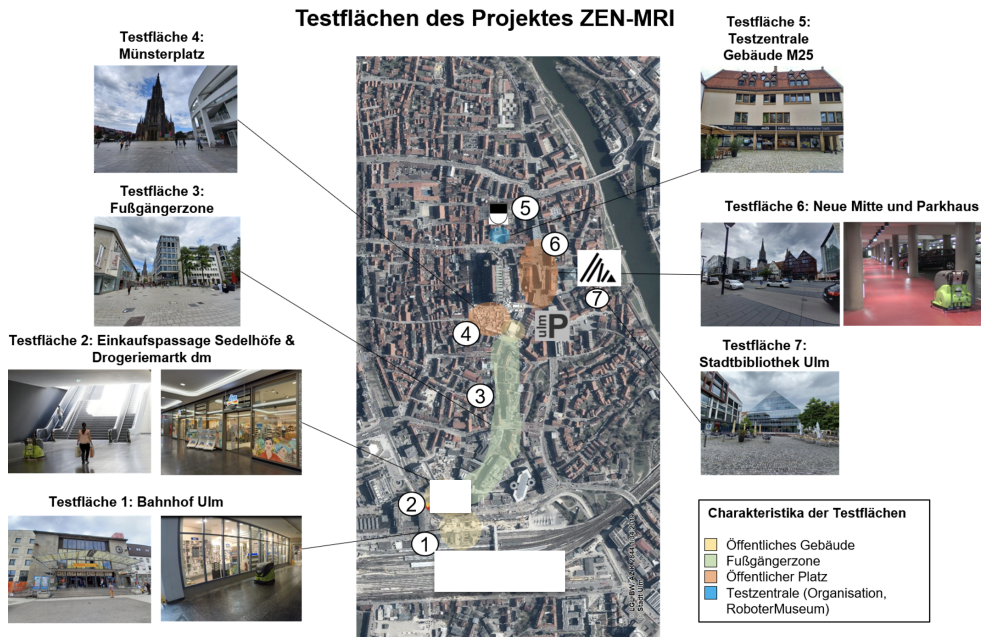


Abbildung 15.6: Testflächen des Projektes ZEN-MRI in der Ulmer Innenstadt.

Iterativer Ansatz zur Optimierung der MRI unter Mitwirkung des Roboterherstellers

Gleichzeitig werden in einem iterativen, menschenzentrierten Prozess sowohl die gesellschaftliche Einbettung der Roboter in das Sozialsystem des öffentlichen Raumes, als auch die Gestaltung des Verhaltens und der Interaktion der Roboter auf Grundlage der erhobenen Daten sowie identifizierten Anforderungen optimiert und weiterentwickelt. Verschiedene Auslegungen der Parameter des Roboterhaltens und der MRI können so direkt im Feld abgetestet und angepasst werden und so in ein Gesamtinteraktionskonzept überführt werden. Hierbei erlaubt die direkte Zusammenarbeit mit dem Hersteller der drei evaluierten Roboter im Projekt die kontinuierliche Weiterentwicklung und Evaluation der Interaktionsstrategien der Roboter.

Adressierung ethischer und rechtlicher Fragestellungen im gesamten Projektverlauf

Aktuelle Entwicklungen in der Robotik (Loh 2019) und insbesondere der Einsatz von Robotern im öffentlichen Bereich werfen **ethische Fragen** auf, beispielsweise

wie es gelingen kann, dass Roboter ethischen Handlungsprinzipien folgen bzw. diese “erlernen” können (Grimm et al. 2019). Aus rechtlicher Sicht stellen sich neben **Datenschutz-** (z. B. Schrahe and Städter 2020) **u.a. auch Haftungsfragen** (z. B. Klingbeil 2019). Um diese Bedenken frühzeitig anzugehen, sollen ethische und rechtliche Fragestellungen und Werte bereits im Design-Prozess berücksichtigt werden (Ethikrat 2020). Dies kann, nach bestehenden ethischen Kodizes etc. (Chatila and Havens 2019) insbesondere durch „integrierte Forschung“ (Kuhnert and Grimm 2020) gelingen, die in diesem Projekt durch den *Ethics by Design/Privacy by Design-Ansatz* umgesetzt wird. Insbesondere soll im Projekt die Frage beantwortet werden, welche ethischen Anforderungen an die Gestaltung von Assistenzrobotern im öffentlichen Raum sowie deren Integration in das soziale Miteinander zu stellen sind und wie deren Einhaltung im Designprozess adressiert und evaluiert werden kann. Zudem wird untersucht, inwiefern bestehende ethische Normen und Kodizes durch den Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum herausgefordert werden. Darüber hinaus werden aus rechtlicher Perspektive der Robotereinsatz aus sicherheits-, datenschutz- und haftungsrechtlicher Perspektive erforscht und für diese Bereiche Rechtsgutachten angefertigt und die entwickelten Lösungen bewertet. Darüber hinaus werden im Projekt auch die forschersischen Herausforderungen bei der Untersuchung der MRI im öffentlichen Raum aus ethischer und rechtlicher Perspektive beleuchtet. Wegen des spezifischen Einsatzgebiets der Roboter in diesem Projekt stellen sich hier Fragen zur Verkehrssicherheit und zur Verkehrssicherung (Absperrung und Überwachung des Testfelds; „Safety“). Schließlich berühren die Befragung und Beobachtung der Probanden im Testfeld abermals datenschutzrechtliche Fragen (Einwilligung für Bildaufnahmen der Passant*innen). Um diesen Herausforderungen im Forschungsprozess des Kompetenzzentrums angemessen begegnen zu können, wird ein fortlaufendes ethisches und rechtliches Monitoring in den Projektverlauf implementiert.

15.2.3 Risikodarstellung

Für die Realisierung des Projekts sind umfangreiche Ressourcen für die Entwicklung, Umsetzung und Evaluation notwendig. Öffentlichen Einrichtungen wie der Universität Ulm ist es nicht möglich, solche Forschungs- und Entwicklungsleistungen vorzufinanzieren. Aus Perspektive der Stadt Ulm ist das Thema des Projektes nicht im normalen

Verwaltungsalltag zu klären. Die Einführung dieser technischen Lösungen erfordert eine breite Einbindung der Bürgerschaft, um über Risiken, Kosten und Möglichkeiten zu informieren. Ohne die im Kompetenzzentrum beantragten Ressourcen ist weder die Beschaffung der technischen Lösungen, noch die Einbindung der Bürgerschaft möglich. Zudem ergeben sich für die Erforschung der MRI im öffentlichen Raum mögliche Risiken, die im Projekt durch entsprechende Maßnahmen adressiert werden, die nur bei einer entsprechenden Förderung des Kompetenzzentrums realisierbar sind. Diese werden im Folgenden aufgezählt:

Datenschutz kollidiert mit den Forschungszielen: im Projekt wird das Thema Datenschutz bei der Erforschung der MRI im öffentlichen Raum (beispielsweise durch Feldbeobachtungen) durch den Einbezug der juristischen Perspektive des IDE gezielt adressiert und ein Ausgleich zwischen Forschungsinteresse und Persönlichkeitsrechten in der Entwicklung einer entsprechenden Richtlinie geschaffen, die im Transferprojekt RimA eingebracht wird (s. APs 4 und 9). Die Methodenpluralität des Ansatzes stellt derzeit sicher, dass bei rechtlich bedingtem Wegfall einzelner Datenquellen alternative Datenquellen zur Verfügung stehen.

Fehlende oder eingeschränkte Nutzer*innenakzeptanz der entwickelten Lösungen: durch den iterativen Designprozess besteht die Möglichkeit, auf eine eingeschränkte Nutzer*innenakzeptanz zu reagieren. Durch den Einbezug sehr unterschiedlicher Personengruppen wird eine hohe Übertragbarkeit gewährleistet.

Abgeleitete Anforderungen an die MRI sind aus technischer Sicht nicht implementierbar: durch die Beteiligung des Herstellers der untersuchten Roboter wird im Projektverlauf eine realistische Einschätzung der Umsetzbarkeit der entwickelten Lösungen gewährleistet.

Fehlender Realismus und Übertragbarkeit der Studienergebnisse auf den realen Einsatz von marktreifen Robotern im öffentlichen Bereich (externe Validität):

die Übertragbarkeit und externe Validität wird mit dem beschriebenen Ansatz maximiert und stellt somit einen klaren Vorteil gegenüber Ansätzen dar, die Roboter ausschließlich in räumlich und situativ abgeschlossenen Laborsettings untersuchen. Die untersuchten Roboter im Projekt sind bereits auf dem Markt oder im einsatzfähigen Prototypenstadium und können mittelfristig autonom eingesetzt werden. Durch die Systemperspektive werden zugleich alle Maßnahmen eruiert, die zusammenspielen müssen, damit der Robotereinsatz in der Praxis erfolgreich sein kann.

Sicherheit der Studiendurchführung und des Robotereinsatzes: diese wird maximiert durch geringe Geschwindigkeit und Sensorik, die Kollisionen zuverlässig vermeidet, sowie durch Notaus-Schalter sowohl direkt an den Robotern als auch ferngesteuert durch Verantwortliche, die den Roboter jederzeit im Auge behalten.

Eingeschränkte Übertragbarkeit der Ergebnisse des Kompetenzzentrums in die praktische Roboterentwicklung und wirtschaftliche Umsetzung von Businessmodellen: durch die direkte Einbindung sowohl der Perspektive mehrerer Roboterhersteller als auch Technikeinsetzer*innen wird eine hohe Praxisrelevanz und Übertragbarkeit der im Kompetenzzentrum entwickelten Lösungen sichergestellt.

15.3 Wissenschaftliche & technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

15.3.1 Organisatorische und Technische Umsetzung

Zusammenarbeit mit der Stadt Ulm

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie konnte die Stadt Ulm mit ihren verschiedenen Abteilungen als ein zusätzlicher Konsortialpartner gewonnen werden. Die Stadt Ulm unterstützt die Projektziele sowohl ideell als auch praktisch, was sich insbesondere in der flexiblen Bereitstellung von Testflächen und der umfassenden Organisation des Testfeldes niederschlägt. Die Stadt Ulm erlaubt durch ihre Eigenbetriebe zudem eine leichtere Einbindung von Stakeholdergruppen (z.B. Entsorgungsbetriebe Ulm (EBU), die für die Reinigung des öffentlichen Raums zuständig sind). Dasselbe gilt für die bei

der Stadt angesiedelte Verkehrsbehörde, welche die Themen Verkehrssicherheit und Sondernutzungsgebühren im öffentlichen Raum verwaltet. Mit der Parkbetriebsgesellschaft Ulm (PBG GmbH) verfügt die Stadt Ulm über eine Tochtergesellschaft, die bereits Reinigungsroboter in Parkhäusern einsetzt und hier wertvolle Erfahrungen in das Projekt einbringen kann. Zusätzlich verfügt die Stadt Ulm als Gesellschafterin über ein enges Verhältnis zu den Stadtwerken Ulm/Neu-Ulm (SWU GmbH), die als Kooperationspartner herangezogen werden. Zudem besteht ein bewährtes Netzwerk zu den jeweiligen Betreibergesellschaften der Deutschen Bahn (z. B. Station und Service), die wiederum assoziierter Partner des Projektes ist. Des Weiteren übernimmt die Stadt Ulm mit ihrer bestehenden Infrastruktur die Leitung der Öffentlichkeitsarbeit im Projekt und verantwortet die Organisation und Durchführung von Bürgerinformationen und Fachkonferenzen. Für die Öffentlichkeitsarbeit wird ein Kommunikationskonzept inklusive Homepage und Einsatz von Social Media erarbeitet und durch die Stadt Ulm umgesetzt.

Das Testfeld des Kompetenzzentrums ZEN-MRI in der Stadt Ulm

Die Stadt Ulm stellt außerdem ein **Netzwerk von dynamisch nutzbaren Testflächen** zur Verfügung, auf welchen der Großteil der Studien im beantragten Kompetenzzentrum stattfinden wird (Abb. 15.6). Das aus sieben Testflächen bestehende Testfeld erstreckt sich vom Bahnhof Ulm bis zum Münsterplatz und mündet in einer Innenraum-Testfläche im städtischen Gebäude M25. Auf den Testflächen 1-7 können die Roboter an ihrem “natürlichen” Einsatzort sowohl kurz- als auch langfristig mit den dargestellten Methoden erforscht werden. Hierbei erlauben die Örtlichkeiten sowohl die Umsetzung von quantitativen Beobachtungs- und Befragungsstudien (als Beobachtungstestflächen), als auch die tiefergreifende Erforschung von spezifischen Themenschwerpunkten in Interviews oder Fokusgruppen mit Vertreter*innen der verschiedenen Stakeholdergruppen. Im Rahmen der durchgeführten Studien können in den Testflächen in der Fußgängerzone je nach Datenschutzerfordernissen der gewählten Methoden flexibel Räume abgesperrt und abgetrennt werden. Narrative Interviews und Fokusgruppen können im geschlossenen Rahmen im Gebäude M25 durchgeführt werden. Es verfügt über einen repräsentativen Fokusgruppenraum, sowie die Möglichkeit zur Unterbringung von Robotern und Equipment. Zusätzlich stehen Lagerflächen bei der PBG im Parkhaus, am Bahnhof und in den Sedelhöfen zur Verfügung. Darüber hinaus kann bedarfsgemäß auch die Infrastruktur von UUFH und ADL zur Studiendurchführung

genutzt werden. Im Folgenden werden die Testflächen näher erläutert.

Testfläche 1 ist der **Bahnhof Ulm**, ein öffentlicher Ort mit viel Publikumsverkehr (ca. 40.000 Reisende pro Tag). Hier können Studien im überdachten Raum stattfinden. **Testfläche 2** befindet sich in der **unterirdischen Einkaufspassage** der Sedelhöfe, welche den Bahnhof Ulm mit der Innenstadt verbindet. Hier befindet sich auch eine DM-Filiale, die als Ausgangspunkt für den Logistikroboter genutzt werden kann. Die Roboter führen hier ihre Aufgaben in einem relativ engen Durchgang aus, sodass es zu vergleichsweise häufigen Wegkonflikten kommt, die hinsichtlich ihrer Wahrnehmung, Verursachung und Auflösung evaluiert werden. Hier besteht Zugriff auf einen abschließbaren Raum, der für die Lagerung von Technik und für ad-hoc Interviews genutzt werden kann. **Testfläche 3** befindet sich in der engumbauten, schlauchartigen Ulmer **Fußgängerzone** zwischen Bahnhof und Münsterplatz. Hier können durch den linearen Charakter typischer Laufwege mehrere Teststationen miteinander verbunden und von den Proband*innen nacheinander abgelaufen werden. Dies erlaubt die kombinierte Betrachtung unterschiedlicher Roboter, Interaktionsformen und den Einsatz unterschiedlicher Erhebungsmethoden. **Testfläche 4** ist der große, offene **Münsterplatz** am Ende der Fußgängerzone. Dieser erlaubt einen sehr hohen Freiheitsgrad in der Studiengestaltung. So können beispielsweise auch komplexe und großflächige Testszenarien - auch unter Beteiligung mehrerer Roboter - realisiert werden. Auf dem Münsterplatz können zudem flexibel Aufbauten und Abtrennungen umgesetzt werden. **Testfläche 5** besteht aus mehreren flexibel und dynamisch nutzbaren Räumen im **Gebäude M25**. Hier werden die meisten qualitativen Studien mit mehreren Personen stattfinden (z. B. Fokusgruppen, ExperienceLab, Robotermuseum, Design-Workshops). **Testfläche 6** besteht aus der sogenannten **„Neue Mitte“**, die links vom Münsterplatz einen kleinen Platz bildet, der für Informationsstände oder Befragungen genutzt werden kann. Hier gelangt man in das beschriebene Parkhaus (siehe 2.2). **Testfläche 7** besteht aus der **Stadtbibliothek Ulm**, in deren Eingangsbereich der humanoide Roboter "Pepper" eingesetzt wird. Hier sollen insbesondere Übergabesituationen mit dem Lieferroboter in Testszenarien abgebildet werden.

15.3.2 Methoden und Ansätze

Multiple Perspektiven: verschiedene Stakeholder, Disziplinen und Entwicklungsebenen

Die zu untersuchenden Forschungsfragen können in dem anvisierten Kompetenzzentrum durch die kombinierte, interdisziplinäre Expertise der Konsortialpartner und der unten beschriebenen Methodenkombination zugleich auf mehreren Ebenen und Perspektiven beforscht werden. So werden in den verschiedenen Studien Fragestellungen aus **ethischer, juristischer, sicherheitsbezogener, psychologischer und design-technischer Perspektive** gestellt und beantwortet. Auf diese Weise wird im Kompetenzzentrum die Erforschung und die Optimierung des komplexen Zusammenspiels der **System- und der Individualperspektive** im realen Einsatz von Robotern im öffentlichen Bereich ermöglicht. So werden neben der kurz- und langfristigen Reaktion der Individuen, in deren Umfeld die Roboter ihre Aufgaben ausführen (Individualebene), auch die Veränderungen und Anpassungsnotwendigkeiten des umschließenden sozialen Systems (Systemebene) adressiert. Die beschriebenen Forschungsfragen werden innerhalb des Kompetenzzentrums in mehreren Iterationen durch eine Kombination verschiedener Erhebungsmethoden untersucht. Zunächst wird nun der iterative Ablauf der durchgeführten Studien beschrieben und hiernach die eingesetzte Methodenkombination.

Studienplanung und Menschenzentrierter Designprozess (s. auch Arbeitsplan)

Im Zentrum des Projektes steht die menschenzentrierte Entwicklung, Umsetzung und iterative Testung des multimodalen Interaktionskonzeptes der robotischen Systeme und deren Einführung und Integration in das Sozialsystem des öffentlichen Raumes in drei geplanten Wellen von Evaluationsstudien. Diese Studienwellen bestehen aus einer Kombination von Methoden, verwenden und verfeinern die Metriken und verfolgen die Adressierung aller Fragestellungen im Projekt. Zusätzlich werden zwischen den Evaluationswellen im Sinne einer frühzeitigen und engmaschigen Nutzereinbindung zur Realisierung des iterativen Designprozesses in den APs 5 und 6 kleinere, fokussierte Nutzerstudien durchgeführt. Zudem werden zur tiefergehenden Bearbeitung der Fokusthemen Schwerpunktstudien im Projektverlauf durchgeführt (siehe Abb. 15.7). Konkret ist der folgende zeitliche und inhaltliche Ablauf der verschiedenen Erhebungen im Projekt geplant:



Abbildung 15.7: Zeitlicher Ablauf der Evaluationsstudien.

Vor Welle 1: Bevor die erste Welle der Evaluationsstudien stattfindet, werden die Fragestellungen präzisiert und Studiendesigns unter Verwendung der zur Beantwortung der Fragestellung am besten geeigneten Methodenkombination, Testszenarien und Metriken zur realistischen Untersuchung der MRI abgeleitet.

1. Welle – Erfassung des Ist-Zustandes (Q4 2022): Auf der Grundlage der Vorarbeiten der RA2-Projekte RobotKoop und NIKA wird zunächst die bestehende Auslegung der im Projekt untersuchten Roboter in der ersten Phase des Projektes in Feldstudien untersucht. Hierbei werden Passant*innen ad-hoc zu ihren Reaktionen auf die Roboter befragt und interviewt, um in der ersten Erhebungswelle den Ist-Zustand der vom Roboter angewandten Interaktionsstrategien zu erfassen (Ist das Verhalten des Roboters verständlich für die Passant*innen? Welche Probleme treten auf?). Ergänzend werden identifizierte Problembereiche der Fokusthemen zusätzlich durch qualitative Methoden wie Fokusgruppen und Interviews angereichert.

Zwischen Welle 1 und 2: Basierend auf den Erkenntnissen aus den Studien in Welle 1 zu Interaktionsproblemen und den abgeleiteten Anforderungen werden die Testszenarien, das Roboterverhalten sowie die MRI weiterentwickelt (u.a. auch mittels zusätzlicher Schwerpunktstudien zu den Themen Akzeptanz und Vertrauen). Zudem werden erste Konzepte für die Einbindung der Roboter in den öffentlichen Raum und innovative Zusatzfunktionen der Roboter entwickelt.

2. Welle – Zwischenevaluation (Q4 2023): In der zweiten Welle der Evaluation werden die in der Zwischenzeit implementierten Weiterentwicklungen der MRI und des Roboterhaltens sowie die abgeleiteten Maßnahmen der Robotereinbindung mithilfe der Methodenkombination aus Welle 1 erneut evaluiert.

Zwischen Welle 2 und 3: Auf der Grundlage der Ergebnisse aus Welle 2 werden weitere Optimierungen an MRI, Roboterhalten und den entwickelten Maßnahmen vorgenommen. Innovative Zusatzfunktionen und Businessmodelle werden in Co-Creation Workshops, in denen neue Nutzungsszenarien für die drei Projektroboter eruiert werden, sowie Elementen der UXellence Toolbox weiterentwickelt. Außerdem wird die Langzeitwirkung des Interaktionskonzeptes untersucht, um mögliche Veränderungen der relevanten Variablen über die Zeit zu beobachten (von der ersten Interaktion bis hin zur Gewöhnung) und die Interaktionskonzepte der Roboter entsprechend anzupassen.

3. Welle – Summative Evaluation (Q4 2024): In Evaluationswelle 3 werden die neuerlichen Anpassungen der MRI, des Roboterhaltens sowie der abgeleiteten Maßnahmen der Robotereinbindung abschließend evaluiert.

Nach Welle 3: Im Anschluss werden **Benchmarks** zur erfolgreichen Einbindung von Robotern im öffentlichen Raum abgeleitet. Zudem werden die abgeleiteten Weiterentwicklungen der Interaktionskonzepte und Maßnahmen zur Integration der Serviceroboter sowie die weiteren Projektergebnisse zusammengefasst und veröffentlicht.

Die genauen Stichprobengrößen der einzelnen Studien werden unter Berücksichtigung der genauen Fragestellungen mit Hilfe von Poweranalysen a priori berechnet und in AP2 überprüft. Als grober Rahmen wird davon ausgegangen, dass in den Wellen der Evaluationsstudien in den quantitativen Befragungen (Beobachtung, Fragebögen, Abstandsmessung, psychophysiologische Methoden) Teilnehmende im Bereich von $N = 150 - 300$ Personen erhoben werden und in den einzelnen qualitativen Methoden in jeder Welle zwischen $N = 50 - 150$ Proband*innen. Die Design-Nutzerstudien umfassen jeweils zwischen $N = 10 - 40$ Personen und die Schwerpunktstudien zwischen $N = 30 - 200$ Personen je nach Fragestellung.

Die quantitativen Methoden werden durch qualitative Methoden wie **Fokusgruppen und Tiefen- und narrative Interviews** komplementiert, welche es erlauben, zu verschiedenen Fokusthemen tiefgreifende Einblicke in die Bedürfnis- und Erlebenswelt der Menschen im Zusammenhang mit dem Robotereinsatz im öffentlichen Raum zu eruieren. Fokusgruppen sind hierbei moderierte Gruppendiskussionen mit verschiedenen Stakeholdern. Dies wird ergänzt durch die im Kompetenzzentrum neu entwickelte Methode des sogenannten **“RobotWalk”**, bei dem Proband*innen verschiedene Testzonen in der Fußgängerzone nacheinander ablaufen und dort mit verschiedenen Robotern interagieren und anschließend interviewt werden. Hierdurch wird die Untersuchung der kurzfristigen Entwicklung der Reaktionen in der Gewöhnungsphase ermöglicht. Für den menschenzentrierten Designprozess wird der Ansatz des **Design Thinking** gewählt, der die Prozesse des Verstehens und des Beobachtens der Nutzer*innen adressiert und der Ideenfindung und des Entwickelns und Testens von Prototypen dient. In einem **menschenzentrierten Co-Creation Designansatz** werden zugleich Anforderungen hinsichtlich des subjektiven Wohlbefindens, der Nutzerfreundlichkeit und der persönlichkeitsrechtlichen Interessenlage, aber auch der Effektivität und Sicherheit abgeleitet, implementiert und evaluiert. Hierbei kommen unter anderem Fokusgruppen, Storyboards und die Essential Use Case Methode (Beschreibung des Roboterhaltens in zentralen Anwendungsfällen) zum Einsatz, um die typische Nutzung eines Serviceroboters im öffentlichen Bereich zu verstehen und Probleme zu identifizieren. Zur Einbindung der Bürgerschaft werden in den Räumen des M25 im **“RobotMuseums”** Roboter erlebbar gemacht. Passant*innen werden eingeladen die Roboter zu explorieren und dann an Tablets zu bewerten. Eine Teilstichprobe bekommt zudem die Möglichkeit deren Wahrnehmung in Fokusinterviews detailliert zu erläutern.

Um die systemische Perspektive zu erforschen, werden zusätzlich eine Reihe von Stakeholdern im Projektverlauf wiederholt in **“StakeholderLabs”** an Fokusgruppen, Workshops und Nutzerstudien teilnehmen. Die StakeholderLabs sind somit ein Tool, um die Stakeholdergruppen über die Projektphasen kontinuierlich einzubinden und so eine Beurteilbarkeit der fortlaufenden Weiterentwicklungen im Projekt zu gewährleisten. So können zentrale Themen der Stakeholder identifiziert werden, die dann in das Evaluationsmodell aufgenommen und in unterschiedlichen Studien des

Kompetenzzentrums näher betrachtet werden. Zusätzlich werden unter Beteiligung von Stakeholdern **Designzirkeln** durchgeführt, bei denen zusammen mit Designer*innen problemorientierte Lösungs- und Designansätze auf den verschiedenen Projektebenen entwickelt werden. Dies erlaubt die Entwicklung und Ableitung von Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz und Effektivität des Robotereinsatzes im öffentlichen Raum unter Beachtung ethischer und (daten-)rechtlicher Prinzipien.

Ethics by Design

Der hier angestrebte ganzheitliche Forschungsansatz legt einen Schwerpunkt auf ethisches Monitoring über die gesamte Projektlaufzeit (= Ethics by Design). Der fachübergreifend angelegte Ethics by Design-Prozess begleitet die verschiedenen Phasen der Projektpartner*innen und bezieht dabei jeweils umfangreiche Anforderungsanalysen sowie rechtliche, soziale und ethische Analysen der MRI und ihrer situativen Kontexte (Personen, Räume, Gefühle uvm.) sowie empirische Analysen mit ein. Um dies zu leisten, werden qualitativ angelegte, empirische Untersuchungen durchgeführt. Es wird mit episodischen und narrativen Gesprächen gearbeitet, da sich mittels dieser Methoden ein Bezug zum alltäglichen Erleben und Wahrnehmen herstellen lässt. Zusätzlich wird der Capabilities-Approach eingesetzt, um das Erleben der Maschinen- bzw. Roboterinteraktion im Alltag und die Frage nach evtl. notwendigen Fähigkeiten zu behandeln.

Rechtliches Monitoring sowie sicherheits- und datenschutzrechtliche Bewertung der Servicerobotik im öffentlichen Raum

Die im Rahmen des Projekts eingesetzten Roboter der Firma Adlatus Robotics GmbH operieren mit Blick auf die „Wahrnehmung“ ihrer Umwelt und der Detektion von Hindernissen zunächst auf Basis von 2-D-LiDAR-Sensorik. Die hierbei anfallenden Daten („Hindernis voraus“) haben grundsätzlich keinen Personenbezug (das Hindernis kann irgendeine Person, Tier oder Gegenstand sein). Im Laufe des Projekts könnte sich allerdings Nachbesserungsbedarf mit Blick auf den verkehrssicherheitsrechtlich gebotenen Kollisionsschutz ergeben. Das gilt namentlich für Begegnungen des Roboters mit kleinen Kindern, einem Szenario, das nur sehr bedingt in vor Zulassung der Roboter durchgeführten Standardprüfverfahren abgebildet wird. Auch der Einsatz der Assistenzroboter bei starkem Regen, Nebel, Rauch oder bei Vorhandensein von transparenten Hindernissen (bei Hinderniserkennung allein auf Basis von LIDAR dürfte der Roboter in diesen Szenarien nicht eingesetzt werden) bedarf das System über LIDAR hinausgehende Sensorik zur Umwelterkennung, was sich technisch durch den Einsatz von Kamerasystemen lösen lässt. Jene, der Sicherheit („Safety“) des Roboters geschuldete Technik wirft aber datenschutzrechtliche Fragen auf, welche vom Auflösungsgrad der durch das System verarbeiteten Bilder abhängig ist. Namentlich die in vielen Systemen eingesetzte Full-HD-Videoauflösung von 1.920 x 1.080 Pixeln führt zur Identifizierbarkeit betroffener Personen und folglich zu weitreichenden datenschutzrechtlichen Implikationen (DSGVO). Das Spannungsverhältnis in Gestalt einer möglichst umfassenden Datenerhebung aus Perspektive der „Safety“ versus möglichst datenminimale Verarbeitung aus Perspektive der informationellen Selbstbestimmung der betroffenen Passanten muss daher in enger Abstimmung der APs 4 und 9 laufend neu austariert werden. Je nach Ergebnis der im APs 3 und 4 gewonnenen Erkenntnisse zu Vertrauen, Akzeptanz und Ängsten und dem präferierten Individualisierungsgrad ergeben sich zusätzlich interdisziplinärer Abstimmungsbedarfe mit durch den Datenschutz geschützte Rechtsgüter.

15.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

15.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten: Dieses Projekt bietet durch die Integration unterschiedlicher methodischer Ansätze, durch umfangreiche Feldstudien mit realen Robotern im öffentlichen Raum, deren Ergebnisse in psychologischen Prozessmodellen und einem Anforderungs- und Metrikenkatalog zusammengefasst werden, einen erheblichen Fortschritt zum augenblicklichen State of the Art im Bereich der Forschung zur MRI und Implementierung von sozialer Robotik, Service- und Assistenzrobotik. Dies wird sich in Artikeln in renommierten Fachzeitschriften (inklusive Open Access), sowie in Form von Beiträgen auf führenden, internationalen und nationalen wissenschaftlichen Konferenzen materialisieren. Die innovativen wissenschaftlichen und methodischen Fragestellungen des Projekts bieten ausgezeichnete Möglichkeiten für Dissertationen sowie für studentische Qualifikationsarbeiten (Master- und Bachelorarbeiten). Die Ergebnisse dieses Projekts bilden eine ausgezeichnete Basis für die beteiligten Forschungspartner erfolgreich Nachfolgeprojekte zu akquirieren und sich als Größe im Bereich der MRI international zu etablieren. Zusätzlich wird ein Rechtsgutachten zur Absicherung der datenschutzrechtlichen Herausforderungen bei der Durchführung von Studien zur Untersuchung einer realistischen MRI im öffentlichen Raum erstellt und veröffentlicht. Die Erkenntnisse, die im Rahmen des Projekts gewonnen werden, können auch in andere Anwendungsdomänen transferiert werden.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten: Auf dem noch übersichtlichen Markt der professionellen Servicerobotik ist ein schnelles Wachstum zu beobachten. Das Marktvolumen stieg 2019 auf 11,2 Mrd. \$ und erreichte 2020 13,9 Mrd. \$ (International Federation of Robotics 2020). Bis 2023 rechnen Prognosen mit einem Marktvolumen von 27,7 Mrd. \$ und einer jährlichen Wachstumsrate von 26%. Auch im öffentlichen Raum, der den zweitgrößten Absatzmarkt der professionellen Servicerobotik darstellt, werden Roboter immer häufiger eingesetzt (2019 um 44 %). 2019 wuchs der Umsatz um 42 % (International Federation of Robotics 2020). Die Bearbeitung der in ZEN-MRI adressierten Forschungsziele stellt damit einen erheblichen Beitrag dar, die Technologieführung

deutscher Unternehmen zu erhalten und auszubauen.

Die Projektergebnisse ermöglichen seitens ADL und deren Marktbegleiter den Auf- und Ausbau von Know-how zur MRI im öffentlichen Bereich. Die öffentlich zugänglichen Projektergebnisse stehen allen Roboterherstellern zur Verfügung und können direkt in die Weiterentwicklung bspw. vorhandener Reinigungs-, Liefer-, Wartungs-, Mähroboter oder Roboter im Beherbergungs- oder Securitybereich einfließen und so deren Einsatzspektrum erweitern. Zudem wird die Robustheit des Robotereinsatzes im öffentlichen Raum durch die Forschungsergebnisse deutlich verbessert. Zum einen werden durch die im Projekt erarbeiteten Begleitmaßnahmen der Robotereinführung kritische Reaktionen der Passant*innen eingedämmt, was langfristig die Akzeptanz der Anwesenheit und Aufgabenausführung der Roboter erhöht. Zum anderen werden im Projekt dringend benötigte rechtliche, sicherheitsbezogene und ethische Rahmenbedingungen weiter erforscht und deren Implementierung vorangetrieben. Darüber hinaus schafft das Kompetenzzentrum ein Methodenspektrum und Instrumentarium, die Hersteller dabei unterstützen ihre Roboter im öffentlichen Bereich leichter einsetzbar zu machen und neue Märkte zu erschließen. Nach Beendigung des Forschungsprojekts wird ADL die Projektergebnisse in eine serientaugliche Technologie überführen und in zukünftige Serviceroboter übernehmen (nationaler und internationaler Markt). Die in diesem Projekt erarbeiteten Ansätze und Lösungen erleichtern ADL eine Ausweitung der eigenen Produktpalette auf andere Anwendungsgebiete (z. B. Lieferungs- und Securitybereich). Dies wird erheblich dazu beitragen, die bisherige Marktposition von ADL national wie international zu festigen und auszubauen. Angesichts der beschriebenen Wachstumsprognosen für den Einsatzbereich dieser Roboter werden damit die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für aus dem Projekt entstehende Produkte, Produktweiterentwicklungen und innovative Dienstleistungen als sehr hoch angesehen.

15.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Nach Abschluss des Projekts gilt es durch die Schaffung einer langfristigen, sich selbst erhaltenden Organisationsform, die im Projekt erzielten Ergebnisse, Erfahrungen und Kompetenzen langfristig zugänglich zu machen und in der Praxis anzuwenden. Dieser Prozess zielt ausgehend vom Projektkonsortium auf die Schaffung eines langfristigen Ökosystems ab, welches Roboterhersteller, Anwender*innen (z. B. Städte

und Kommunen; Wirtschaftsunternehmen) und von Personengruppen, die mit Robotern im öffentlichen Raum interagieren, verbindet. Diese Nachfolgeorganisation, deren Aufbau in zwei Stufen geplant ist, soll durch das Angebot von Tools, Beratungs- und Dienstleistungen die Einführung und den Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum unterstützen und erleichtern.

In **Stufe 1** wird zunächst die Struktur der Nachfolgeorganisation zur Fortsetzung der Arbeit des Kompetenzzentrums entwickelt. Dies könnte am Ende dieser ersten Stufe in die Gründung eines Vereins, eines virtuellen Zentrums bis hin zur Gründung einer GmbH als Träger der gemeinsamen Aktivitäten führen. Ziel ist es, dass alle Partner weiterhin langfristig zusammenarbeiten und die gewonnene Expertise gemeinsam dazu nutzen, die Einbindung von Robotern im öffentlichen Raum zu erleichtern und zu fördern. Hierzu wird zunächst das bestehende Ökosystem durch die Integration weiterer Partner (u.a. Roboterhersteller*innen und Technikeinsetzer*innen) erweitert (die teilweise auch schon in die qualitativen Erhebungen während der regulären Projektlaufzeit involviert sind) und verstetigt. Die Verstetigung soll unter anderem durch regelmäßigen Austausch, Workshops und gemeinsam gestellte Förderanträge stattfinden. Parallel dazu werden die Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitspaketen des Kompetenzzentrums ZEN-MRI (z. B. die gesammelten Daten, die entwickelten Methoden, Benchmarks, abgeleiteten Gestaltungsempfehlungen, Rechtsgutachten) in eine Form überführt, die als praxistaugliche, allgemeine Leitfäden und Tools für die Implementierung von Robotern im öffentlichen Raum für die genannten Interessengruppen dienen können. Zudem werden Dienstleistungsangebote und Beratungsleistungen definiert, die den Interessengruppen dann in Stufe 2 auch direkt auf dem Markt angeboten werden. Ziel ist es hierbei die Tools und Angebote so weiterzuentwickeln und zu verallgemeinern, dass sie auch für andere Roboteraufgaben im öffentlichen Raum und für andere Anwendungsszenarien anwendbar sind. Stufe 1 der Verstetigung des Kompetenzzentrums erfolgt idealerweise durch die Verlängerung des Kompetenzzentrums durch eine Förderung des BMBF.

In **Stufe 2** nimmt die Nachfolgeorganisation ihre Arbeit auf. Die erarbeiteten Materialien werden der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und das Beratungs- und Dienstleistungsangebot öffentlich angeboten. Der Ausbau des Ökosystems wird offensiv vorangetrieben. Ziel ist es, in dieser Stufe Roboterhersteller*innen und Einsetzer*innen

(z. B. Gemeinde und Städte) durch die Anwendung der Methoden, die im Kompetenzzentrum entwickelt und in Stufe 1 verallgemeinert wurden, konkret bei der Einführung von Robotern im öffentlichen Bereich zu unterstützen. Durch die Akquise von Beratungsprojekten wird eine stetige Weiterfinanzierung der Nachfolgeorganisation ermöglicht und die Zusammenarbeit und ein Methodentransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft langfristig gesichert. Auf diese Weise wird eine Versteigerung der Arbeit des Kompetenzzentrums ermöglicht und die gewonnenen wissenschaftlichen und praktischen Kenntnisse können nutzbar gemacht und angewendet werden. Neben dieser hauptsächlich anwendungsorientierten Perspektive soll zusätzlich auch die Weiterbearbeitung der im Projekt adressierten Fragestellungen vorangetrieben werden, um sowohl wissenschaftlich als auch im Rahmen der angebotenen Beratungsleistungen eine fortlaufende Aktualität der verwendeten Methoden und des angewandten Wissens sicherzustellen.

15.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

15.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Die **Abteilung Human Factors der Universität Ulm** (Prof. Martin Baumann) beschäftigt sich mit der Interaktion von Menschen mit Technik. Ziel ist es hierbei, psychologische Theorien der Mensch-Technik-Interaktion zu entwickeln, empirisch zu validieren und die so gewonnenen Erkenntnisse in die Entwicklung von Gestaltungskonzepten und Nutzerschnittstellen einfließen zu lassen. Dabei spielen Fragestellungen zur Optimierung von User Experience, Usability, Akzeptanz und Vertrauen eine zentrale Rolle. Entsprechend liegt die Expertise in der wissenschaftlichen Entwicklung von Methoden und der Umsetzung von Studiendesigns, der Durchführung von Nutzerstudien und deren Auswertung und Veröffentlichung. Prof. Baumann war/ist bereits in einer Reihe von öffentlich geförderten Projekten aktiv und führend tätig, z. B. in den BMBF-Projekten RobotKoop (RA2 Ausschreibung), ZEN MRI (Phase 1), KoFFI, CA-DJapanGermany, im Projekt SituWare (BMW) oder in den EU-Projekten interactIVe, D3CoS und AutoMate. In diesen und weiteren öffentlich geförderten Projekten haben die Mitarbeiter der Abteilung vielfältige Erfahrungen im Aufbau und der Organisation von interdisziplinären Forschungsprojekten und deren Projektmanagement gesammelt.

Es bestehen zahlreiche Kontakte und Kooperationen zu anderen Forschungseinrichtungen, Roboterherstellern und Robotereinsatzern, die auch über den Kreis der bisher aufgelisteten assoziierten Partner in die Arbeit des Kompetenzzentrums ZEN-MRI einbezogen werden (z.B. in den qualitativen Methoden). Die Forschungsschwerpunkte der Abteilung liegen innerhalb der Kernthemen des beantragten Kompetenzzentrums, in denen die Abteilung eine Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen vorweisen kann. Insbesondere konnte die Abteilung bereits fundierte Erfahrungen mit der Anwendungsdomäne und Thematik sowie der Methode und Praxis der Erforschung der Interaktion mit Robotern im öffentlichen Raum im Rahmen des RA2- Projektes Robot-Koop sammeln, welches u.a. die Entwicklung von kooperativen Interaktionsstrategien im öffentlichen Raum adressierte und zu mehreren hochrangigen wissenschaftlichen Publikationen in dem Feld führte (z. B. Initialreaktion auf autonome Roboter (Miller et al. 2020, Babel et al. 2022b); akzeptierte und vertrauenswürdige (Miller et al. 2021, Kraus et al. 2020); verbale und non-verbale Interaktionsstrategien (Babel et al. 2021). Darüber hinaus sind aktuell mehrere Publikationen zu den Themenbereichen a) psychologischer Einflussfaktoren auf die MRI, b) Interaktionsstrategien von Robotern und c) Reaktionen auf Roboter im öffentlichen Raum in Vorbereitung. Basierend auf den Ergebnissen wurde ein **Rahmenmodell** für eine akzeptable und vertrauenswürdige MRI, ein **Anforderungskatalog** mit Gestaltungsempfehlungen für akzeptable und vertrauenswürdige Interaktionsstrategien im privaten und öffentlichen Raum, sowie eine Sammlung von **Metriken und Benchmarks** entwickelt, welche als Grundlage für das Kompetenzzentrum dienen. Besonders ist hierbei auf eine Beobachtungsstudie am Hauptbahnhof in Ulm zu verweisen, die im Rahmen des Projektes zusammen mit dem Projektpartner der ADLATUS GmbH und dem assoziierten Partner der DB Services durchgeführt wurde. Hierbei konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich der initialen Reaktion von Laien/Passanten auf einen autonomen Reinigungsroboter im öffentlichen Raum gewonnen werden (z. B. Verhalten, Emotionen und Ängste). **Die Beobachtungsstudie am Hauptbahnhof in Ulm dient hierbei als Grundlage für weitere längsschnittliche Studien im öffentlichen Bereich und zeigt die Machbarkeit einer solchen Evaluation unter realen Bedingungen.**

Das noch junge Unternehmen **ADLATUS Robotics GmbH** hat seit seiner Gründung im Jahr 2015 den Adlatus CR 700 Reinigungsroboter auf den Markt gebracht. Mit „Adlatus Teams 2020“, einer durch KI gestützten Mensch-Maschinen-Schnittstelle, die aus einem menschlichen Facility Manager und seinen autonomen Roboterassistenten ein Team schmiedet, gewann die Firma den Purus Innovation Award 2019. Durch intelligente Vernetzung der Systeme können umfangreiche Reinigungsaufgaben von variablen Reinigungsflotten übernommen werden. Dies kann, vor allem in großen Reinigungsbereichen, zu einer extremen Steigerung der Produktivität führen. Adlatus Teams ermöglicht eine effiziente Arbeitsaufteilung: Die Roboter übernehmen weitgehend selbständig zeitraubende und kräftezehrende Arbeiten, das menschliche Teammitglied überwacht die Abläufe und kann sich auf die Aufgaben konzentrieren, die von Robotern nicht eigenständig ausgeführt werden können. Die Jury lobte, dass Adlatus Teams angesichts des Fachkräftemangels die Rolle des Menschen aufwertet und so zur Wahrnehmung der Reinigungsbranche als ein zukunftsorientiertes Arbeitsfeld beiträgt. Des Weiteren ist ADLATUS Robotics am RA2-Projekt RobotKoop beteiligt, in dem mit **UUHF**, der **Stadt Ulm**, **DB** und **DM** kooperiert wurde. Hierbei wurde in Absprache mit der **Stadt Ulm** der Reinigungsroboter CR700 bereits auf drei Testflächen des Kompetenzzentrums eingesetzt, um die Machbarkeit des Einsatzes zu prüfen: am Bahnhof und den Sedelhöfen, sowie in einem Parkhaus. Diese Erfahrungen zum Einsatz von Servicerobotern in der Praxis können daher in das Kompetenzzentrum eingebracht werden.

Das **Team User Experience des Fraunhofer IAO** (Forschungsbereich Mensch-Technik-Interaktion, Leitung: Dr. Matthias Peissner) erforscht aktuelle Fragestellungen zur Schaffung positiver UX, einer menschenzentrierten Digitalisierung von Produkten und Services und die Entwicklung von Methoden zur Einbindung von Stakeholder*innen. Dabei kann das Team auf langjährige Erfahrungen in Forschungs- und Industrieprojekten zurückblicken. Für ZEN-MRI sind u.a. die einschlägigen Vorarbeiten und Fachkenntnisse in den Gebieten Usability Engineering (Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Usability / 2018-2020, BMWi; Prosperity4All / 2014-2018, EU), User Experience (Design4Xperience / 2014-2016, BMWi) und Nutzerakzeptanz (MOMENTUM / 2018, BMBF) relevant. Im Projekt NIKA (2018-2021, BMBF) wurde eine umfassende Expertise in der MRI aufgebaut. Das Fraunhofer IAO hat bereits

viele große Konsortien geleitet und ist als Forschungseinrichtung für angewandte Wissenschaft erfahren im Transfer von Wissen aus der Forschung in die Praxis mit Industriepartnern. Im vorliegenden Projekt bringt das IAO die Expertise zur systematischen Konzeption von interaktiven Roboter-Verhaltensweisen, zu UX-Tools, der menschenzentrierte Arbeitsweise und Methodenkompetenz ein.

Das **Institut für Digitale Ethik der Hochschule der Medien Stuttgart** (Leitung Prof. Dr. Grimm, Prof. Dr. Keber und Prof. Dr. Zöllner) verfolgt das Ziel eines integrierten Forschungsansatzes, der Ethik und Recht schon im Entwicklungsprozess adressiert. Der narrative Ethics by Design-Ansatz wurde bereits in mehreren Verbundprojekten erforscht. Das IDE hat bei zahlreichen interdisziplinären Forschungsprojekten mitgewirkt, u.a. DigitalDialog 21 (DD//21) und KOFFI (BMBF). Im BMBF-Projekt ELSI-SAT entwickelte das IDE ein automatisiertes ELSI-Screening- und Assessment-Tool für MTI-Forschungsvorhaben. Im Reclam-Band "Digitale Ethik. Leben in vernetzten Welten"(Grimm et al. 2019) wurden u.a. Pflegeroboter untersucht. Petra Grimm ist Mitglied des Institute for Applied Artificial Intelligence der HdM. Aus rechtlicher Perspektive (Prof. Dr. Keber) steht der Privacy-by Design-Grundsatz im Vordergrund.

Die **Stadt Ulm** ist im Rahmen der kommunalen Pflicht- und freiwilligen Aufgaben in einer Vielzahl an Themenfeldern tätig. Ein Schwerpunkt in den vergangenen Jahren lag dabei auf Projekten für eine nachhaltige, zukunftsorientierte Stadtentwicklung. Entsprechende Vorerfahrungen wurden dabei im seit 2015 betriebenen und vom BMBF geförderten Projekt Zukunftsstadt Ulm 2030 gesammelt. Hier geht es um die Entwicklung einer nachhaltigen, digitalen Stadt, wobei an erster Stelle die Einbindung der Bürgerschaft steht, gleichzeitig wird besonderes Augenmerk auf die Einbindung von Wissenschaft und Wirtschaft gelegt. Die aktuell dritte Phase steht unter dem Motto "Nachhaltig digital mitgestalten - Internet der Dinge für ALLE". Mit dem vom Land Baden-Württemberg geförderten Projekt SZukunftskommune@bw" wurden solch nachhaltige technische Lösungen konkret für ein Stadtquartier entwickelt. Im Mittelpunkt hier steht der Aufbau einer offenen Datenplattform, die als Grundlage für technische Lösungen für die Menschen im Stadtquartier herangezogen werden kann. Mit dem seit 2019 laufenden Projekt Ulm4CleverCities im Rahmen des Förderprogramms Smart City made in Germany des Bundesinnenministeriums wurde ein weiteres Puzzleteil für die Erarbeitung einer Smart City-Strategie für die Stadt und sich

daraus ergebenden konkreten Stadtentwicklungsmaßnahmen hinzugefügt. Als Beispiele für Verbundprojekte ist zum einen das Projekt "5G RettungsbürgerInäus dem 5G-Innovationsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und Digitalisierung zu nennen. Hier liegt der Schwerpunkt auf die Erarbeitung eines Konzepts für den Einsatz von 5G im Feuerwehr- und Rettungswesen, dazu sollen Demonstratoren erarbeitet werden. Partner im Projekt sind neben zwei Landkreisen, die Fraunhofergesellschaft und verschiedene Unternehmen. Auch die Projekte ICT4CART und LUKAS können als Beispiele angeführt werden. In beiden Fällen stellt die Stadt Flächen zur Verfügung, agiert als Unterauftragnehmer der Universität oder ist als assoziierter Partner für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

15.5.2 Funktion der Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette

Um das Ziel, ein Verständnis über die Herausforderungen bei der Einführung von Robotern im Bereich des öffentlichen Lebens zu erlangen, verwendet das Projekt ZEN-MRI einen **menschenzentrierten Designprozess** (s. Kap. 15.3.2) sowohl auf individueller als auch systemischer Ebene (s. Arbeitsplan im Anhang). APs 1,2 und 11 bilden den organisationalen und methodischen Rahmen des Projektes. APs 3 - 6 stellen die elementare Struktur des menschenzentrierten Designprozesses dar. APs 3 und 4 beziehen sich hierbei auf die Datenerhebung in Nutzerstudien und APs 5 und 6 auf die Ergebnisimplementierung. Die Fokusthemen werden in APs 7 - 10 untersucht und bringen Fragestellungen in AP 3 und 4 ein und verwerten in Zusammenarbeit mit APs 5 und 6 die Ergebnisse zur Beantwortung ihrer Fragestellungen. In jeder Phase des Projektes findet eine enge Absprache und Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern statt. Diese enge Zusammenarbeit wird auch durch die Implementierung des menschenzentrierten Designprozesses und den an diesem orientierten Austausch der Arbeitspakete im Arbeitsplan gefördert. Durch die Struktur des Arbeitsplanes wird die Kooperation bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Studien sowie bei der Umsetzung der Studienergebnisse gefördert. So können zum Beispiel die Fokusthemen ohne enge Kooperation mit den APs zur Datenerhebung und Ergebnisimplementierung ihre Ziele nicht erreichen. Die Zusammenarbeit und die Rolle jedes Partners in der Umsetzungskette hierbei werden im Folgenden beschrieben (s. auch Arbeitsplan im Anhang für eine detaillierte Darstellung).

UUHF, Leitung der APs 1 (Projektorganisation), 2 (Evaluationsmodell), 3 (Evaluationsstudien), 7 (Fokusthema Angst und Vertrauen) und 11 (Dissemination & Benchmarking): UUHF hat die Konsortialleitung und organisiert in diesem Rahmen die Konsortialtreffen, ist Ansprechpartner für alle Partner und verfolgt die Einhaltung des Arbeitsplans und der Projektziele (Leitung AP1). Außerdem organisiert UUHF in enger Zusammenarbeit mit ULM das Testfeld und die Nutzerstudien. Hier findet eine Unterbeauftragung von städtischen Stellen statt, welche die tagtäglichen Auf- und Abbauarbeiten sowie die Absperrung und Absicherung der Testflächen übernehmen. UUHF erstellt ein Evaluationsmodell, auf Basis dessen Metriken abgeleitet und neue Erhebungs- und Evaluationsmethoden entwickelt werden (Leitung AP2). In diesem Bereich wird u.a. auch eine App zur längsschnittlichen Untersuchung der MRI im öffentlichen Raum im Auftrag von UUHF entwickelt. Die Nutzerstudien (Leitung AP3) werden in Absprache mit allen Partnern und unter Einbezug der Fragestellungen aller Arbeitspakete geplant. Dabei beforscht UUHF schwerpunktmäßig psychologische Prozesse des Vertrauens, der Akzeptanz, der Angst und der Einstellungen gegenüber Servicerobotern im öffentlichen Raum und bringt das Vorwissen aus RobotKoop ein (Leitung AP 7). Die erhobenen Daten der Nutzerstudien werden von UUHF aufbereitet und die Ergebnisse allen Projektpartnern zum Einbringen in die jeweiligen Arbeitspakete zur Verfügung gestellt. Auf dieser Basis können die Partner die Gestaltungsempfehlungen (IAO) und die Interaktionsstrategien (ADL) anpassen. Insbesondere arbeiten auf dieser Grundlage auch UUHF und ADL bilateral zusammen, um die Informationen, die Stakeholder vor dem Robotereinsatz erhalten, zu gestalten. Schließlich verantwortet UUHF die Integration sowie wissenschaftliche als auch öffentlichkeitswirksame Verwertung der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse und arbeitet insbesondere bei letzterem mit ULM zusammen. UUHF leitet diesbezüglich AP 11, unter welches auch die Ableitung und das Zurverfügungstellung von verallgemeinerbaren Benchmarks fällt.

ADL, Leitung der APs 6 (Adaption und Integration der Roboter) und AP8 (kritische Situationen): ADL bringt die beschriebenen Reinigungs- und Lieferroboter in das Kompetenzzentrum ein. ADL realisiert fortlaufend die Wartung und technische Betreuung des Robotereinsatzes in den Nutzerstudien (AP3). Der Fokus von ADL im Kompetenzzentrum liegt in der technischen Umsetzung und Weiterentwicklung

der Interaktionskonzepte, die im Projekt abgeleitet und entwickelt werden. ADL sorgt dafür, dass die Roboter und das jeweils implementierte Interaktionskonzept einsatzbereit sind. ADL passt auf Basis der unter Beteiligung aller Partner erarbeiteten Studienergebnisse und Outputs aus den Arbeitspaketen 3-5 das Roboterverhalten und -interaktion iterativ an (AP 6). Basierend auf den Ergebnissen der Nutzerstudien untersucht und implementiert ADL Lösungsansätze für kritische Situationen (Leitung AP 8). Auch werden in enger Kooperation mit dem IDE rechtliche, datenschutz- und sicherheitsbezogene Fragestellungen in eine praktische Umsetzung in den Robotern überführt. Hierbei implementiert ADL die identifizierten Anforderungen aus den Studien in die technische Umsetzbarkeit der Interaktionsstrategien und ermöglicht einen sicheren und robusten Robotereinsatz unter Realbedingungen (z. B. Menschenmengen, Schnee, Regen). Des Weiteren kooperiert ADL mit dem IAO, um innovative Dienste (z. B. Zusatzfunktionen der Reinigungsroboter) und deren Wirtschaftlichkeit zu designen, unter Beteiligung von UUHF und IDE zu evaluieren und unter Beteiligung von ULM zu implementieren. Zudem bringt ADL weitere potenzielle Anwender in die Forschungsarbeiten ein.

IAO, Leitung APs 5 (Gestaltungsempfehlungen) und 10 (Zusatzfunktionen): Das Fraunhofer-Institut IAO bringt Vorarbeiten und Fachkenntnisse in den Gebieten Usability Engineering, User Experience, Nutzerzentrierter Entwicklung sowie zur Gestaltung von generischen Interaktionsstrategien in der sozialen MRI (Projekt NIKA) in das Kompetenzzentrum ein. Zunächst bringt das IAO seine Erfahrungen der User Experience und des Usability Engineerings in die Nutzerstudien in AP 3 und 4. Das IAO leitet AP 5 zur Ableitung der Interaktionsstrategien den Interaktionsstrategien. Die Entwicklung erfolgt im engen Austausch mit allen Fokuspunktthemenleiter und auf der Grundlage der Studien aus den APs 3 und 4. Hierbei werden ESLI Themen in Kooperation mit dem IDE im Ethics by Design Ansatz sowie die Anforderungen an eine vertrauenswürdige und Angst mindernde Interaktion aus Perspektive von UUHF in die Gestaltung der MRI einbezogen. Zudem erforscht das IAO als Fokusthema die innovativen Zusatzfunktionen (Leitung AP 10) in enger Kooperation mit UUHF, ULM und ADL, wobei UUHF Feedback zum menschenzentrierten Design der Interaktionsstrategien gibt und ADL für die technische Machbarkeit und Umsetzung der Strategien verantwortlich ist.

IDE, Leitung APs 4 (Ethics by Design) und 9 (Rechtsfragen): Das IDE unternimmt projektbegleitend das ethische (Prof. Dr. Petra Grimm) und rechtliche Monitoring (Prof. Dr. Tobias Keber) des Projektes. Hierdurch wird gewährleistet, dass potentielle ethische Bedenken und rechtliche Problemstellungen frühzeitig und kontinuierlich während des ganzen Projektes berücksichtigt werden (Leitung APs 4 und 9). Dies umfasst u.a. die Sensibilisierung aller Projektpartner für ethische Fragen und wertebasierte Technikgestaltung. Zudem berät das IDE alle Projektpartner in rechtlichen und ethischen Fragen während des Projektes, die u.a. auch die Durchführbarkeit von Studien im öffentlichen Raum betreffen. Hier ist das IDE insbesondere bei der Planung der Studienumsetzung mit ULM und UUHF im engen Austausch. Die Erhebungen im Rahmen des Co-Creation-Ansatzes des Kompetenzzentrums tragen dabei zu einer "empirisch informierten Ethik" bei. Des Weiteren beinhaltet der Ansatz des IDE auch die These eines (wertebasierten) Ausfüllungsbedarfs rechtlicher Normen und Vorgaben (z. B. Datenschutz, Datensicherheit, Persönlichkeitsrechte), wobei Datenschutz- und Haftungsfragen besonders beim Servicerobotereinsatz im öffentlichen Bereich von hoher Relevanz sind (AP 9). Daher unterstützt das IDE die Stadt Ulm und UUHF intensiv bei der Vorbereitung und Durchführung der Nutzerstudien und nimmt Einfluss auf IAO und ADL bei der menschenzentrierten Gestaltung und der technischen Umsetzung der Interaktionsstrategien der Serviceroboter (APs 5 und 6). In AP8 unterstützt das IDE insbesondere ADL bei der Entwicklung von Lösungen kritischer Situationen. Außerdem berät das IDE ADL bei der ELSI-Integration der Serviceroboter in das öffentliche Zusammenleben (AP6) und das IAO bei der Gestaltung möglicher Zusatzfunktionen (AP10) hinsichtlich der Potenziale und der Grenzen des Servicerobotereinsatzes im öffentlichen Raum (Was darf ein Serviceroboter?).

ULM: Die Stadt Ulm wird im Rahmen des Projekts die benötigten Flächen im öffentlichen Raum bzw. in den dargestellten städtischen Räumlichkeiten zur Verfügung stellen. Soweit Genehmigungen notwendig sind, wird die Stadt bei der Herbeiführung unterstützend tätig sein. Als Hauptaufgabe übernimmt sie die Organisation des Testfeldes (AP 1) und der relevanten Infrastruktur und stimmt die Durchführung mit den involvierten Stellen ab (z. B. städtische Einheiten und Gesellschaften wie Ordnungsamt oder EBU). Des Weiteren wird durch die geschaffene Stelle sichergestellt, dass dem Projekt immer eine sprechfähige Vertretung der Stadt zur Verfügung steht. Zudem koordiniert die Stadt Ulm die Öffentlichkeitsarbeit des Kompetenzzentrums. Hier werden insbesondere

öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen organisiert sowie eine fortlaufende Pressearbeit sowie Einrichtung und Pflege einer Webpräsenz des Kompetenzzentrums (letzteres im Unterauftrag) realisiert. Zudem beteiligt sich ULM maßgeblich an der Akquise von Stakeholdern (Passant*innen, Teampartner*innen, Technikeinsetzer*innen). Bei der Bearbeitung der ELSI Themen arbeitet sie eng mit dem IDE und bei der Entwicklung und Abtestung von innovativen Zusatzfunktionen, Geschäfts- und Erwerbsmodellen mit dem IAO und ADL zusammen. Auf organisationaler Ebene besteht ein intensiver Austausch zwischen ULM, UUHF und ADL.

15.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie konnte eine Reihe von assoziierten Partnern für das Projekt gewonnen werden. Dies umfasst vor allem weitere Stakeholder, die den Einsatz von Robotern im öffentlichen Bereich verantworten sowie weitere Roboterpartner. Die **Robotereinsetzer*innen** stellen im Projekt ihre praktische Domänen- und Aufgabenperspektive zur Verfügung und stehen im engen Austausch mit den Konsortialpartnern, um den Realismus und die Übertragbarkeit der entwickelten Interaktionsstrategien und Maßnahmen zur Integration von Robotern im öffentlichen Bereich fortlaufend zu sichern. Hierfür stehen Mitarbeiter*innen der Anwendungspartner auch als Teilnehmer*innen der im Projektverlauf durchgeführten Erhebungen zur Verfügung. Zusätzlich unterstützen einige der assoziierten Partner das anvisierte Forschungsprojekt durch das Bereitstellen von Studieninfrastruktur und -fläche. Konkret haben die folgenden Organisationen ihr Interesse an und die Unterstützung für das Projekt ZEN-MRI durch einen Letter of Interest (siehe Anhang) zugesichert: Deutsche Bahn AG/DB Services, EBU (Stadtreinigung Ulm), Bibliothek Stadt Ulm, DM Drogeriemärkte und Ulmer Parkbetriebe. Die **Roboterhersteller**, die das Projekt ZEN-MRI als assoziierte Partner unterstützen erklären sich bereit ihre Technologie für Vortestungen der Auslegungen für die Studien im öffentlichen Raum, sowie als Stimuli für die zur Anwendung kommenden Methoden zur Verfügung stellen. Insbesondere stehen Mitarbeiter*innen der weiteren Roboterpartner auch als Teilnehmer*innen für die Durchführung von qualitativen Forschungsmethoden zur Verfügung und können so zu einer domänenübergreifenden Perspektive und einer erhöhten Übertragbarkeit der Ergebnisse des Kompetenzzentrums beitragen. Konkret liegen LOIs der Firmen F&P Robotics (Lio) und Navel Robotics vor.

15.5.4 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt RimA

Das Kompetenzzentrum ZEN-MRI wird sich mit seiner fachlichen Expertise entsprechend der Zielsetzungen des Transferprojektes RimA in alle Aktivitäten zur Vernetzung, dem Wissenstransfer zwischen und der nachhaltigen Leistungssteigerung der Kompetenzzentren (z.B. Wettbewerbe) einbringen. Dies umfasst u.a. die Beteiligung aller Projektpartner bei den Konsortialtreffen, der initiierten Community sowie den Workshops und Schulungen. Darüber hinaus werden Ergebnisse der verschiedenen Zielebenen wie Anforderungssammlungen, Rechtsgutachten, Interaktionsstrategien und Ableitungen für begleitende Informationen auf der vom Projekt RimA aufgesetzten Wissensplattform zur Verfügung gestellt. Dies beinhaltet beispielsweise auch Guidelines für die datenschutzkonforme Erforschung der MRI im öffentlichen und halböffentlichen Raum. Weiterhin wird ZEN-MRI durch die APs 2 und 11 die Entwicklung von roboterunabhängigen Metriken und Benchmarks unterstützen und die Expertise und Ergebnisse der Methodenentwicklungen in RimA einbringen. Zudem ist es geplant verbundübergreifende Fragestellungen zum Robotereinsatz im öffentlichen Bereich und Ansätze zur Integration von menschenzentrierten Entwicklungs- und Evaluationsprozessen einzubringen. Es werden mit den anderen Projekten gemeinsame wissenschaftliche Publikationen und die Organisation von Workshops und Symposien auf Konferenzen/Tagungen geplant. Weiterhin soll RimA als eine Austauschplattform mit externen Interessensgruppen wie Universitäten, Forschungseinrichtungen, StartUps und Unternehmen genutzt werden und diese Kontakte für die Vernetzung zur Verstärkung des Kompetenzzentrums zu nutzen. Zudem soll die Entwicklung von innovativen Geschäftsmodellen zum Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum in Zusammenarbeit mit RimA und den anderen geförderten Projekten geplant werden.

Literaturverzeichnis

- Anna MH Abrams, Pia SC Dautzenberg, Carla Jakobowsky, Stefan Ladwig, and Astrid M Rosenthal-von der Pütten. A theoretical and empirical reflection on technology acceptance models for autonomous delivery robots. In *Proceedings of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 272–280, 2021.
- Franziska Babel, Johannes Kraus, Linda Miller, Matthias Kraus, Nicolas Wagner, Wolfgang Minker, and Martin Baumann. Small talk with a robot? The impact of dialog content, talk initiative, and gaze behavior of a social robot on trust, acceptance, and proximity. *International Journal of Social Robotics*, 13(6):1485–1498, 2021.
- Franziska Babel, Johannes Kraus, and Martin Baumann. Findings from a qualitative field study with an autonomous robot in public: Exploration of user reactions and conflicts. *International Journal of Social Robotics*, pages 1–31, 2022a.
- Franziska Babel, Johannes Kraus, and Martin Miller, L und Baumann. Initial reactions and expectations of lay users towards autonomous service robots in public and private space. *Human Factors*, 2022b.
- Jenay M Beer, Akanksha Prakash, Tracy L Mitzner, and Wendy A Rogers. Understanding robot acceptance. Technical report, Georgia Institute of Technology, 2011.
- Karlheinz Blankenbach, Etienne Charrier, Franziska Babel, and Siegfried Hochdorfer. 42-3: Advanced HMIs and evaluation of various display techniques for autonomous robots in public spaces. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 52(1):583–586, 2021.
- Georg Borges. Rechtliche Rahmenbedingungen für autonome Systeme. *Neue Juristische Wochenschrift: NJW*, 71(14):977–982, 2018.
- Ravi Teja Chadalavada, Henrik Andreasson, Robert Krug, and Achim J Lilienthal. That’s on my mind! Robot to human intention communication through on-board projection on shared floor space. In *2015 European Conference on Mobile Robots (ECMR)*, pages 1–6. IEEE, 2015.

- Raja Chatila and John C Havens. The IEEE global initiative on ethics of autonomous and intelligent systems. In *Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Well-being with Autonomous and Intelligent Systems.*, pages 11–16. Springer, 2019.
- Nicola Doering, Sandra Poeschl, Horst-Michael Gross, Andreas Bley, Christian Martin, and Hans-Joachim Boehme. User-centered design and evaluation of a mobile shopping robot. *International Journal of Social Robotics*, 7(2):203–225, 2015.
- Leticia Duboc, Stefanie Betz, Birgit Penzenstadler, Sedef Akinli Kocak, Ruzanna Chitchyan, Ola Leifler, Jari Porras, Norbert Seyff, and Colin C Venters. Do we really know what we are building? Raising awareness of potential sustainability effects of software systems in requirements engineering. In *2019 IEEE 27th international requirements engineering conference (RE)*, pages 6–16. IEEE, 2019.
- Deutscher Ethikrat. Stellungnahme: Robotik für gute Pflege. *Deutscher Ethikrat*, pages 49–53, 2020.
- Europäische Kommission. Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI. https://elektro.at/wp-content/uploads/2019/10/EU_Ethikleitlinien-KI.pdf, 2019. [Letzter Zugriff: 17.08.2021].
- Julia Fink, Valérie Bauwens, Omar Mubin, Frédéric Kaplan, and Pierre Dillenbourg. People’s perception of domestic service robots: same household, same opinion? In *International conference on social robotics*, pages 204–213. Springer, 2011.
- Julia Fink, Valérie Bauwens, Frédéric Kaplan, and Pierre Dillenbourg. Living with a vacuum cleaning robot. *International Journal of Social Robotics*, 5(3):389–408, 2013.
- Petra Grimm, Tobias Keber, and Oliver Zöllner. *Digitale Ethik. Leben in vernetzten Welten: Reclam Kompaktwissen XL*. Reclam Verlag, 2019.
- Irit Hadar, Tomer Hasson, Oshrat Ayalon, Eran Toch, Michael Birnhack, Sofia Sherman, and Arod Balissa. Privacy by designers: software developers’ privacy mindset. *Empirical Software Engineering*, 23(1):259–289, 2018.

Peter A Hancock, Deborah R Billings, Kristin E Schaefer, Jessie YC Chen, Ewart J De Visser, and Raja Parasuraman. A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human factors*, 53(5):517–527, 2011.

M Hartwig, B Martin, and O Schumacher. *Rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von autonomen Robotern in Assistenzfunktionen: Studie im Rahmen des BMBF-Begleitprojekts ARAIG Teilvorhaben „Ethische und rechtliche Aspekte der Service-Robotik“*. IKEM, 2020.

Kotaro Hayashi, Daisuke Sakamoto, Takayuki Kanda, Masahiro Shiomi, Satoshi Koizumi, Hiroshi Ishiguro, Tsukasa Ogasawara, and Norihiro Hagita. Humanoid robots as a passive-social medium-a field experiment at a train station. In *2007 2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 137–144. IEEE, 2007.

International Federation of Robotics. Executive summary world robotics 2020 service robots. https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Service_Robots.pdf, 2020. [Letzter Zugriff: 17.08.2021].

Björn Jensen, Nicola Tomatis, Laetitia Mayor, Andrzej Drygajlo, and Roland Siegwart. Robots meet humans-interaction in public spaces. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(6):1530–1546, 2005.

Michiel Pieter Joosse. *Investigating positioning and gaze behaviors of social robots: people’s preferences, perceptions, and behaviors*. University of Twente, 2017.

Malte Jung and Pamela Hinds. Robots in the wild: A time for more robust theories of human-robot interaction, 2018.

T Keber and L Keppeler. Kommentierung Art. 25 DSGVO. In *DSGVO/BDSG*. C.F. Müller, 2020.

T Keber and J Klink-Straub. Aktuelle Gesetzeslage zum automatisierten Fahren – eine Rechtsvergleichung. *Neue Zeitschrift für Verkehrsrecht (NZV)*, 33, 2020.

Stefan Klingbeil. Schuldnerhaftung für Roboterversagen: Zum Problem der Substitution von Erfüllungsgehilfen durch Maschinen. *JuristenZeitung*, 74(14):718–725, 2019.

- Johannes Kraus, David Scholz, Dina Stiegemeier, and Martin Baumann. The more you know: trust dynamics and calibration in highly automated driving and the effects of take-overs, system malfunction, and system transparency. *Human factors*, 62(5): 718–736, 2020.
- Johannes Maria Kraus. *Psychological processes in the formation and calibration of trust in automation*. PhD thesis, Universität Ulm, 2020.
- Susanne Kuhnert and Petra Grimm. Die Zusammenarbeit von Industrie, Ethik und Wissenschaft im Forschungsverbund. In *Das geteilte Ganze. Horizonte Integrierter Forschung für künftige Mensch-Technik-Verhältnisse*, pages 241–261. Springer, 2020.
- John D Lee and Neville Moray. Trust, self-confidence, and operators’ adaptation to automation. *International journal of human-computer studies*, 40(1):153–184, 1994.
- Iolanda Leite, Carlos Martinho, and Ana Paiva. Social robots for long-term interaction: a survey. *International Journal of Social Robotics*, 5(2):291–308, 2013.
- Patrick Lin, Keith Abney, and George A Bekey. *Robot ethics: the ethical and social implications of robotics*. MIT Press Cambridge, MA, 2012.
- Janina Loh. *Roboterethik. Eine Einführung*. Berlin: Suhrkamp, 2019.
- Gary Marcus and Ernest Davis. *Rebooting AI: Building artificial intelligence we can trust*. Vintage, 2019.
- Gerald Matthews, Jinchao Lin, April Rose Panganiban, and Michael D Long. Individual differences in trust in autonomous robots: Implications for transparency. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50(3):234–244, 2019.
- Steffen Maurer, Rainer Erbach, Issam Kraiem, Susanne Kuhnert, Petra Grimm, and Enrico Rukzio. Designing a guardian angel: Giving an automated vehicle the possibility to override its driver. In *Proceedings of the 10th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications*, pages 341–350, 2018.

- Linda Miller, Johannes Kraus, Franziska Babel, Matthias Messner, and Martin Baumann. Come closer: Experimental investigation of robots' appearance on proximity, affect and trust in a domestic environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, pages 395–399. SAGE Publication, 2020.
- Linda Miller, Johannes Kraus, Franziska Babel, and Martin Baumann. More than a feeling—interrelation of trust layers in human-robot interaction and the role of user dispositions and state anxiety. *Frontiers in psychology*, 12:378, 2021.
- Catrin Misselhorn. Artificial morality. Concepts, issues and challenges. *Society*, 55 (2):161–169, 2018.
- Bonnie M Muir. Trust between humans and machines, and the design of decision aids. *International journal of man-machine studies*, 27(5-6):527–539, 1987.
- Patricia J Parsons. *Ethics in public relations: A guide to best practice*. Kogan Page Publishers, 2016.
- Matthias Rath. Zur Verantwortungsfähigkeit künstlicher „moralischer Akteure“. In *Maschinenethik*, pages 223–242. Springer, 2019.
- Astrid Rosenthal-von der Pütten, David Sirkin, Anna Abrams, and Laura Platte. The forgotten in HRI: Incidental encounters with robots in public spaces. In *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 656–657, 2020.
- Selma Sabanovic, Marek P Michalowski, and Reid Simmons. Robots in the wild: Observing human-robot social interaction outside the lab. In *9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2006.*, pages 596–601. IEEE, 2006.
- Pericle Salvini, Cecilia Laschi, and Paolo Dario. Design for acceptability: improving robots' coexistence in human society. *International journal of social robotics*, 2(4): 451–460, 2010.
- Dominik Schrahe and Thomas Städter. Gesundheits-Apps auf Rezept und Forschung mit Gesundheitsdaten. *Datenschutz und Datensicherheit-DuD*, 44(11):713–718, 2020.

- Masahiro Shiomi, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. Interactive humanoid robots for a science museum. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on human-robot interaction*, pages 305–312, 2006.
- Sebastian Thrun, Jamie Schulte, and Chuck Rosenberg. Interaction with mobile robots in public places. *IEEE Intelligent Systems*, pages 7–11, 2000.
- Sofia Thunberg and Tom Ziemke. Are people ready for social robots in public spaces? In *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 482–484, 2020.
- Meg Tonkin, Jonathan Vitale, Suman Ojha, Mary-Anne Williams, Paul Fuller, William Judge, and Xun Wang. Would you like to sample? Robot engagement in a shopping centre. In *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 42–49. IEEE, 2017.
- Meg Tonkin, Jonathan Vitale, Sarita Herse, Mary-Anne Williams, William Judge, and Xun Wang. Design methodology for the ux of HRI: A field study of a commercial social robot at an airport. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 407–415, 2018.
- Astrid Weiss, Nicole Mirnig, Roland Buchner, Florian Förster, and Manfred Tscheligi. Transferring human-human interaction studies to HRI scenarios in public space. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, pages 230–247. Springer, 2011.
- Jochen Wirtz, Paul G Patterson, Werner H Kunz, Thorsten Gruber, Vinh Nhat Lu, Stefanie Paluch, and Antje Martins. Brave new world: service robots in the frontline. *Journal of Service Management*, 29(5):907—931, 2018.
- Herbert Zech. Zivilrechtliche Haftung für den Einsatz von Robotern – Zuweisung von Automatisierungs- und Autonomierisiken. In *Intelligente Agenten und das Recht*, pages 163–204. Nomos, 2016.