

# Roboter – Interaktive, transparente und adaptive Lebensbegleiter (R-ITUAL)

Förderkennzeichen 16SV8585

Michael Herrnberger<sup>1</sup>, Victor Fäßler<sup>1</sup>, Alejandro Cardenas<sup>1</sup>, Sara Dirnagl<sup>1</sup>, Philippe Mauri<sup>1</sup>, Paul von Rügen<sup>1</sup>, Benjamin Stähle<sup>2</sup>, Markus Schneider<sup>2</sup>, Johannes Kraus<sup>3</sup>, Franziska Babel<sup>3</sup>, Johannes Steinle<sup>2</sup>, Florian Fischer<sup>2</sup>, Karsten Bohlmann<sup>4</sup>, Ivana Kruijff-Korbayova<sup>5</sup> und Christian Wilms<sup>5</sup>



## R-ITUAL



<sup>1</sup>TWT GmbH  
Science & Innovation  
Ernstthalenstraße 17  
70565 Stuttgart

<sup>2</sup>RWU - Hochschule  
Ravensburg-Weingarten  
Doggenriedstraße  
88250 Weingarten

<sup>3</sup>Universität Ulm  
Helmholtzstr. 16  
89081 Ulm

<sup>4</sup>ek-robotics GmbH  
Siemensstraße 3  
72766 Reutlingen

<sup>5</sup>Deutsches Forschungszentrum  
für Künstliche Intelligenz  
Trippstadter Straße 122  
67663 Kaiserslautern

### 11.1 Ziele des Kompetenzzentrums

Während Assistenzroboter (AR) funktionell bereits gut entwickelt sind, gelingt es ihnen derzeit oft noch nicht, menschliche Emotionen und Verhalten richtig zu interpretieren und somit sozial und situationsgerecht mit dem Nutzer zu interagieren. Wenn AR in unseren privaten Alltag einziehen sollen, müssen sie in der Lage sein, den Nutzerzustand und Nutzungskontext richtig zu deuten und ihre verbale und nonverbale Interaktionsstrategie darauf abzustimmen. Durch die Adaptation des AR-Verhaltens an Nutzer und Kontext wird ein positiver Effekt auf die User Experience, die Akzeptanz und das Vertrauen der Nutzer erwartet. Das in diesem Vorhaben vorgeschlagene Kompetenzzentrum dient der zielführenden, fachübergreifenden und strukturierte Befähigung solcher Eigenschaften von AR. In den folgenden Abschnitten wird, ausgehend von der Beschreibung der Hintergründe, auf die Anwendungsdomäne und Problembeschreibung näher eingegangen. Abschließend werden in diesem Kapitel die konkreten Ziele des Kompetenzzentrums genannt.

#### 11.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Die Entwicklung von Assistenzrobotern (AR) hat sich in den vergangenen Jahren zu einem wichtigen, dynamischen Feld entwickelt, beiderseits im Sinne der Produktentwicklung als auch in der verwandten Forschung. Häufig werden dabei primär funktionelle oder konzeptionelle Aspekte in einem Labor-ähnlichen bzw. von der Umwelt abgekapselten Umfeld betrachtet. Neben der funktionellen Service-Gestaltung spielt hierbei vor allem auch die intelligente Interaktion von AR mit dem Menschen eine zentrale Rolle. Der gesellschaftliche Nutzen der Aktivitäten ergibt sich durch die potenzielle Steigerung der Lebensqualität und die Erhöhung von Autonomie und Sicherheit aller sozialer Nutzer-Gruppen im Alltag. Der langfristige großflächige Einsatz von AR in der Gesellschaft kann aber nur dann erfolgreich sein und bei den Menschen ausreichend Akzeptanz erfahren, wenn der Betrieb von AR auch im häuslichen Umfeld unter realen Alltagsbedingungen erprobt und optimiert wird. Entscheidende und wegweisende Fragen sind hierbei: Wie kann sich der AR interaktiv in das tägliche Leben integrieren? Wie kann ein Onboarding-Prozess des AR ins Wohnumfeld der Menschen erfolgen? Wie können Akzeptanz und Nutzung eines AR

bei den Bewohnern, Besuchern und administrativ Angestellten maximiert werden? Was ist ein optimaler Mix aus autonomem Verhalten des AR und Steuerung des AR durch den Menschen als Service-Empfänger? Wie kann die User-Interaktion (UI) und User Experience (UX) entsprechend definiert und adaptiert werden? Wie adaptieren die Bewohner ihr eigenes Verhalten und die Umgebung an/für einen AR? Welche ethischen Implikationen sind zu beachten und wie können diese aufgelöst werden? Welche emotionale Bindung bauen die Bewohner zum AR auf und wie reagieren Sie auf einen Verlust desselbigen?

Die **psychologische Basis für eine erfolgreiche Zusammenarbeit** zwischen Menschen und AR sind Vertrauen Hancock et al. 2011 und Akzeptanz De Graaf and Allouch 2013. Die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse und Eigenschaften in der Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) ist dafür zentral. Beim Entgegenkommen kommt es außerdem zur nonverbalen MRI. Untersuchungen zeigen, dass die Wahrnehmung von Annäherung eines Roboters vom intraindividuellen Gesundheitsstatus abhängt und nonverbale MRI entsprechend bedeutsam für Vertrauen und Akzeptanz sind.

Die **Erkennung menschlicher Emotionen** ist Basis für die erwähnte adaptive MRI. Aktuell am Markt verfügbare Systeme (z.B. Pepper) sind bisher nur in der Lage, Basisemotionen zu erkennen. Um Emotionen feiner zu unterscheiden und adäquat zu reagieren, muss neben der Emotion selbst auch deren Ursache verstanden werden. Darüber hinaus ist die **Situationserkennung** auch für die Entscheidung über den proaktiven Beginn eines Dialogs zentral. Dies ist in unstrukturierten Umgebungen wie privaten Wohnungen herausfordernd. Nicht zuletzt ist auch die **Einsammlung von interaktionsbezogenen Erfahrungen** über eine längere Zeit und **Bezug nehmen** auf diese Erfahrungen für das Vertrauen und aufbauen einer Beziehung sehr wichtig.

Auch **interdisziplinäre ELSI-Reflexionen** hinsichtlich AR-Gestaltungsentscheidungen Anderson and Anderson 2007 bei einer iterativen Nutzereinbindung sind Voraussetzungen für deren spätere Akzeptanz Miller et al. 2017. Darüber hinaus erzeugen AR in den jeweiligen Anwendungsfeldern soziale Ordnungen, die für **Sozialraumdimensionen** relevant sind Deinet 2007.

Das Ziel von R-ITUAL ist der Aufbau eines Kompetenzzentrums, in dem die obigen

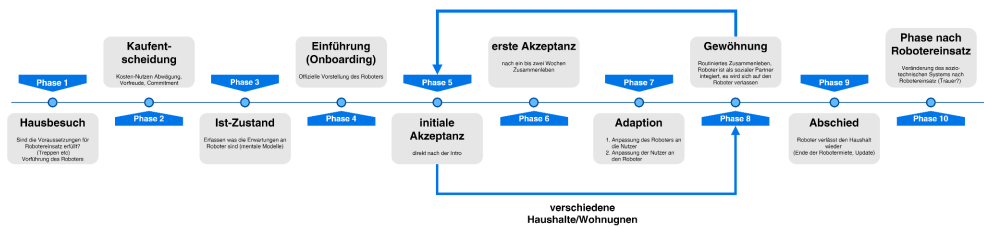


Abbildung 11.1: Akzeptanzphasen.

sowie verwandte Fragen innerhalb eines Testszenarios unter realen Alltagsbedingungen analysiert und beantwortet werden. Das Kompetenzzentrum strebt dabei vor allem die langfristige Führerschaft an, um die deutsche AR-Industrie anzutreiben bzw. zu katalysieren. Durch den gemeinsamen Transfer des Zentrums R-ITUAL sollen hierbei wichtige neue Impulse für die Forschung und Entwicklung geliefert, damit idealerweise eine Innovationsspirale entfacht werden. In R-ITUAL sollen dabei etablierte Interaktionsstrategien aus der Robotik in bestehende AR-Plattformen integriert, an verschiedene Nutzertypen und –zustände adaptiert und in Langzeitstudien evaluiert werden. Die übergeordnete Vision ist, dass das Kompetenzzentrum langfristig eine Führungsrolle in der Einsatzgestaltung und speziell Einführungsphase von AR im privaten Wohnumfeld einnimmt. Der Anwendungsfall des Mehrgenerationenhauses eignet sich auf Basis seiner Zielgruppen-übergreifenden und an sich bereits sozial breit ausgelegten Charakteristik in besonderer Form für den Aufbau des Kompetenzzentrums. Die Erkenntnisse daraus sollen später als Basis dienen für eine Erweiterung der Anwendungsdomänen auf Ansätze wie das Dorf oder die Stadt der Zukunft, aber auch allgemein größere Wohnkomplexe und die intelligente Digitalisierung der Städte mit neuen, teil-autonomen maschinellen Dienstleistungen.

### 11.1.2 Problembeschreibung & Thema des Verbundprojektes

Wenn AR in unseren privaten Alltag einziehen sollen, müssen sie in der Lage sein, den Nutzerzustand und Nutzungskontext richtig zu deuten und ihre verbale und nonverbale Interaktionsstrategie darauf abzustimmen. Speziell die Einführungsphase des AR in das soziale wie auch individuelle Umfeld stellt dabei eine kritische Herausforderung dar - sowohl für den Technologie-Provider als auch für den einzelnen Bewohner. In R-ITUAL sollen etablierte Interaktionsstrategien aus der Robotik und der Fahrzeugkabine

in bestehende AR-Plattformen integriert, an verschiedene Nutzertypen und –zustände adaptiert und in einer Langzeitstudie evaluiert werden. Der Fokus liegt auf der Untersuchung interaktionsrelevanter Parameter wie dem Maß an Proaktivität, das AR beim Initiieren eines Dialogs mit dem Nutzer zeigen, sowie ihrer Annäherungsdynamik und der Gestaltung der Sprachinteraktion. Die optimale Interaktionsstrategie wird anhand von theoretisch fundierten und im Nutzerprofil festgehaltenen Personenmerkmalen, in Echtzeit detektierten Emotionen sowie der Interpretation des aktuellen Kontextes bestimmt. Durch die Adaptation des AR-Verhaltens an Nutzer und Kontext wird ein positiver Effekt auf die UX, die Akzeptanz und das Vertrauen der Nutzer erwartet. Sozialwissenschaftlich fundiert wird R-ITUAL durch partizipative Forschungsmethoden, die potentielle Nutzer iterativ an der Spezifizierung von MRI-Szenarien sowie der Exploration von ELSI-Aspekten und Kontextfaktoren beteiligen. Auch die besonderen Anforderungen an Sicherheit, die durch den unkontrollierten Einsatzort und die Nähe zw. Mensch und Roboter entstehen, werden in einem normen- und kontextgerechten Sicherheitskonzept berücksichtigt. Ziel dieses Projektes ist es die Potenziale, Anforderungen und Herausforderungen zu untersuchen, die auftreten im Unterfangen den Roboter als einen Teil des Zusammenlebens im privaten Haushalt zu etablieren.

Das größte Potential entfalten AR in Kontexten mit unterschiedlichen Nutzern, die vielfältige Anforderungen an die Interaktion stellen. Deshalb und um die Generalisierbarkeit und Verwertbarkeit der Ergebnisse zu maximieren, sollen die AR an einer möglichst heterogenen Nutzergruppe mit unterschiedlichen Fähigkeiten, Bedürfnissen und Erwartungen erprobt werden. Ein Mehrgenerationenhaus (MGH) als sozialräumliches Setting entsprechend dem Leitbild der „Sorgenden Gemeinschaft“ der Demografiestrategie des BMI stellt ein ideales Anwendungsfeld dar, da es diverse Nutzertypen und MRI-Szenarien abbildet, Anforderungen an ein langfristiges Zusammenleben zw. Mensch u. Roboter stellt und eine hohe Übertragbarkeit auf andere Domänen gewährleistet. Um in unstrukturierten Umgebungen mit unterschiedlichsten Nutzern sinnvoll interagieren zu können, brauchen Roboter ein Verständnis ihres Gegenübers und ihrer Umgebung sowie die Fähigkeit, ihr Verhalten an sie anzupassen.

Dabei ist vorgesehen, dass der AR sich als unterstützender Partner in das bestehende Familiensystem einfügt. Hierbei soll der AR als ein freundlicher, vertrauenswürdiger, lernender und kooperativer Agent der, als ein Teil des Miteinanders im Haushalt, Aufgaben übernimmt und so für Entlastung und Entspannung sorgt.

Das Projekt visiert hierbei verschiedene Phasen an, die während des Beziehungsaufbaus als Grundlage des Entstehens des Miteinanders von Menschen und AR durchlaufen werden. Die Phasen des Beziehungsaufbaus stehen in einer zeitlichen Abfolge und dieser Prozess des Kennenlernens des AR und seinen Fähigkeiten bilden die Grundlage für das Zusammenspiel zwischen Menschen und AR zu einem spezifischen Betrachtungszeitpunkt. In diesem Prozess werden anhand der Informationen, die über den Roboter aufgenommen werden im Zusammenspiel mit bestehendem Wissen und Einstellungen der Nutzer\*innen mentale Modelle und Erwartungen über die Funktionalität und die Kompetenzen des AR aufgebaut (e.g. Kraus et al. 2020).

Diese über die Zeit aufgebauten Erwartungen beeinflussen dann wiederum zu einem gegebenen Zeitpunkt die Wahrnehmung und Bewertung des Erscheinungsbildes und der Handlungen eines Roboters. Zahlreiche Studien zeigen einen essentiellen Zusammenhang zwischen Vorerwartungen van Maris et al. 2017, Lauckner et al. 2014, Haring et al. 2013, Einstellungen Nomura et al. 2006, Syrdal et al. 2009, Tsui et al. 2010, Persönlichkeit Miller et al. 2021, und den gegebenen Informationen zu einem Roboter auf die Evaluation von Robotern und dem Interaktions- und Nutzungsverhalten gegenüber diesen Babel et al. 2021a, Tussyadiah et al. 2020.

In diesem Sinne untersucht das Projekt R-ITUAL im Längsschnitt den Prozess des Kennenlernens, der Vorstellung und Einführung in den Haushalt als ein Helfer der unterschiedlichen Aufgaben erledigt, die Gewöhnung und Etablierung des AR im familiären System und evaluiert die Anforderungen und Reaktionen der Menschen, die mit dem Roboter in diesen Phasen zusammenleben. Damit hebt sich R-ITUAL von bestehenden AR und Forschungsprojekten wie “Sympartner” oder “EmAsIn” ab, die überwiegend ältere und kranke Nutzer fokussieren.

In einem iterativen menschenzentrierten Prozess wird auf dieser Grundlage die Mensch-Roboter Interaktion in den verschiedenen Phasen optimiert und angepasst.

Zudem werden neben den Umsetzungsmöglichkeiten in der Nutzerschnittstelle auch Potenziale und Gestaltungsansätze für begleitende Maßnahmen zur Vorstellung und des Kennenlernens des Roboters eruiert.

Konkret werden in R-ITUAL folgende Forschungsfragen adressiert:

- Wie sieht die optimale Interaktion (Dialog, Annäherung, Gestik) zwischen Roboter und Mensch je nach affektivem Zustand, Nutzertyp und aktuelle Situation aus?
- Wie wirkt sich die gewählte Interaktionsstrategie auf die UX, das Vertrauen und die Akzeptanz der Nutzer aus?
- Von welchen individuellen Eigenschaften (z.B. Persönlichkeit, Vertrauensneigung, Alter, Technikkompetenz, etc.) hängt die richtige Interaktionsstrategie ab? Ist eine langfristige Nutzerprofilbildung notwendig und gewünscht? (ELSI: bspw. Nudging, Manipulation, Assistenz)
- Von welchen Kontextfaktoren hängt die richtige Interaktionsstrategie ab? Welche ethisch-moralischen Implikationen lassen sich mit dem Einsatz von AR mit unterschiedlichen sozialen Handlungszusammenhängen auf der Mesoebene ableiten? (ELSI: Sozialraumebenen)
- (Wie) kann erkannte interaktionsbezogene Nutzerfrustration als Feedback genutzt werden, um zukünftige Interaktionen anzupassen?
- Wie kann die für AR gültige Norm DIN EN ISO 13482 in einem ganzheitlichen Konzept in einer Privatwohnung implementiert werden? Welche erhöhten Anforderungen gelten an die Sicherheitstechnik im Roboter als auch für die Umgebung? Wie kann die sehr hohe Anzahl von Schutzfällen effizient, vorzugsweise automatisiert, getestet und validiert werden?
- Wie können innovative Geschäftsmodelle, z.B. Robots-As-A-Service (Raas), genutzt werden, um die Marktakzeptanz von Assistenzrobotern zu erhöhen?
- Wie können die ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen eines flächendeckenden Einsatzes von AR erfasst und ggf. kompensiert werden?
- Wie können die Wünsche und das Verhalten der Nutzer modelliert werden um möglichst proaktiv und intelligent handeln zu können? Welche Informationen über Umgebung und Nutzer sind hierzu nötig? Können anstehende Aufgaben vorhergesagt werden?

- Wie robust ist die Input-Erfassung im alltäglichen Leben? (ASR, NLU, Emotionserkennung) und wie aussagekräftig ist die erworbene Output Präsentation?
- Wie lässt sich die Stabilität des gesamten Systems beurteilen? Wie gut kommt das System wieder in Betrieb, im Fall von Ausfällen und wie viel technische Unterstützung ist benötigt?

R-ITUAL hat einen starken Bezug zu den Zielen der KMU-Innovationsoffensive IKT-Forschungsbereich Mensch-Technik-Interaktion (<https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1353.html>).

Wichtige Bezugspunkte sind im Folgenden dargestellt:

Forschungsbedarf	Beitrag von R-ITUAL
Der Technologiebereich „Mensch-Technik-Interaktion“ (MTI) adressiert diese neuartigen Technologien in einem interdisziplinären Forschungs- und Handlungsansatz (MTI-Forschungsprogramm). Die Förderung zielt darauf, an die Stelle einer starren und mechanischen Funktion eine natürliche und den menschlichen Sinnen entsprechende Interaktion zwischen Menschen und Technik zu setzen.	Die anvisierten adaptiven Interaktionsstrategien sowie das Onboarding sind eine natürliche Art der Interaktion, da hierdurch AR ermöglicht werden, die ohne direkte Eingaben vom Menschen eine Unterstützung anbieten und so spezifisch auf den Menschen eingehen können.
Das MTI-Forschungsprogramm folgt der Leitidee einer hilfsbereiten, nutzerorientierten, bedarfsgerechten [...] Technik.	Die Adaption an einen spezifischen Nutzerzustand und daraufhin angepasste Interaktionsstrategien ermöglicht eine nutzerorientierte, bedarfsgerechte Technik im AR-Bereich.
Das BMBF unterstützt mit der Fördermaßnahme industrielle Forschungs- und experimentelle Entwicklungsvorhaben zur Stärkung der Innovationsfähigkeit der kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland.	Durch die Zusammenarbeit zwischen TWT, den Universitäten und den Mehrgenerationenhäusern wird dem KMU TWT ermöglicht, innovative Ideen aus der Forschung in einen marktnahen Demonstrator zu überführen.

**Tabelle 11.1:** Forschungsbedarf.

### 11.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Das Kompetenzzentrum R-ITUAL wird wie weiter oben beschrieben das Onboarding, den intelligenten Betrieb sowie die darauf aufsetzende Adaption von AR-Funktionalität und Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) in einem umfassenden Ansatz in den Fokus setzen. Unabhängig von den allgemeinen wissenschaftlichen Aspekten soll aber primär die Anwendung im häuslichen, privaten Alltagsumfeld evaluiert werden - inklusive aller verbundenen technologischen, methodischen, infrastrukturellen, ethischen so-



wie sozialen Herausforderungen. Die wesentliche und für das zukünftige Business relevante Innovation wird dabei in der Erprobung und Evaluation von Methoden und Technologien bestehen, die ein intelligentes Onboarding, Betrieb und Adaption von AR im Wohnumfeld analysieren, optimieren und für verwandte Anwendungen einsatzfähig machen.

Das Kompetenzzentrum wird hierfür über seine verschiedenen Verbund- und assoziierten Partner mindestens folgende Kenntnisse einbringen - jeweils mit mindestens 3 Personenjahren Erfahrung (teils deutlich mehr) in relevanten Forschungs-, Dienstleistungs- und Produktentwicklungsprojekten:

- HW- und funktionelle Gestaltung von AR (bis zu 3 verschiedene Plattformen)
- Anforderungsanalyse und psychologisch-technische Bewertung von MRI im Robotik-Umfeld
- Aufbau von Learning- und Decision-Systems im Kontext autonome Navigation und Interaktion mit der Umwelt
- UX Design im Sinne intelligenter Führung von Sprachinteraktion mit Bezug auf die Situation sowie Kognition menschlicher Emotion
- Implementierung von agilen Methoden und Apps für komplexe, Disziplin-übergreifende Technologien inklusive zugehörigem Innovationsmanagement

Ziel ist dabei die Anwendung der beschriebenen Technologien auf ein Mehrgenerationenhaus als erstes exemplarisches, auf andere private/öffentliche Wohnräume übertragbares Testszenario. Ergänzend zu den Zielen aus Kapitel 11.1.1 sollen mit diesem Use-Case vor allem folgende Ziele betrachtet werden:

- Erforschung der Applikation von AR in einem Umfeld, in dem verschiedenste Altersgruppen zusammenleben und miteinander sozial interagieren: Es ist davon auszugehen, dass die Akzeptanz der AR auch von der Kommunikation der verschiedenen Bewohner untereinander abhängt. Jedoch haben z.B. Kinder, Studenten, Arbeitstätige im Dienstleistungssektor, Arbeitstätige im R&D-Sektor, Arbeitssuchende, Rentner und Pflegebedürftige teils stark abweichende Erwartungen und Reaktionen auf Verhalten, User-Interaktion und Funktionalität eines AR. R-ITUAL soll ein Leuchtturm-Projekt für eine erste Abschätzung der zugehörigen Herausforderungen sein.
- Zudem kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Menschen, die häusliche

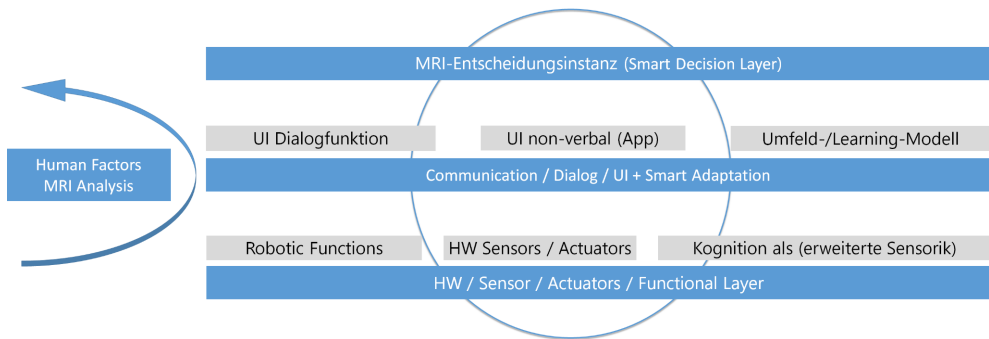
Infrastruktur, aber auch die Service-Provider bereits optimal vorbereitet sind auf die Aufnahme eines AR. Hierzu sollen in R-ITUAL grundlegende technische, methodische und psychologische Voraussetzungen evaluiert werden. Die längsschnittliche Untersuchung des Kennenlernens und der Beziehungsentwicklung mit einem AR, der im häuslichen Kontext eingesetzt wird, stellt immer noch ein teils unerforschtes Terrain dar. Dasselbe gilt im analogen Sinne auch für die Herausnahme eine womöglich als nützlich empfundenen oder gar “lieb gewonnenen” AR aus dem Wohnumfeld.

- Nicht zuletzt sollen aber auch konkrete technologische/methodische Innovationen bzgl. aller obigen Problemstellungen identifiziert und weiterentwickelt werden, die wiederum einen hohen Impact auf die Forschung und Verwertung für verwandte Bereiche haben können. Diese werden im Rahmen der Aufgaben der einzelnen Partner weiter unten näher erläutert.

Bzgl. Benchmarks werden in R-ITUAL mindestens folgende Aspekte im Vordergrund stehen, siehe auch punktuell je Arbeitspakete AP2 und AP7 im Anhang:

- KPI bzgl. Nutzer-Akzeptanz und Funktionserfüllung (über Feedback und Data Analytics),
- Kosten-Nutzen-Analyse und Business-Analyse im Hinblick auf die wirtschaftliche, weiterführende Verwertung des Kompetenzzentrums
- Bewertung der ethischen Implikationen, angefangen von “nimmt man den Jugendlichen im Generationenhaus Aufgaben weg” bis hin zu “fördert man durch den AR-Einsatz die Verringerung der Aktivität der Bewohner und damit Volkskrankheiten”?
- Bewertung der Möglichkeiten des AR-Einsatzes im Sinne Datenschutz und rechtlicher, womöglich durch Gesetze den Einsatz einschränkender Zukunftsszenarien (gerade das Thema Künstliche Intelligenz und Aufzeichnungen/Auswertungen der User-Interaktion ist hier zu betrachten)
- Sonstige Themen, die sich erst durch Anforderungsanalyse, Betrieb und Evaluation ergeben

Übergeordnete Hauptziele des Kompetenzzentrums R-ITUAL lassen sich durch folgende Grafik visualisieren: der Schwerpunkt des Business Modells wird dabei primär in der Entwicklung des oberen Layers und der Optimierung es 2. (mittleren) Layers liegen.



**Abbildung 11.2:** Layer-basierten Gliederung des R-ITUAL Vorhabens.

## 11.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

In diesem Kapitel werden die im Rahmen von R-ITUAL vorgeschlagenen Ansätzen und Methoden im Kontext der aktuellen Wissens- und Anwendungsstand im genannter Anwendungsdomäne gebracht. Nach einer Einführung in den Stand der Wissenschaft und Technik werden die Vorteile von R-ITUAL erläutert und abschließend die im Rahmen jedes Forschungsvorhabens vorhandenen Chancen und Risiken charakterisiert.

### 11.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Wie in Kap. 11.1 bereits erläutert, erfordern die Ziele von R-ITUAL ein gezieltes und effizientes Zusammenwirken von mehreren fachübergreifenden Domänen und Kompetenzen. Darunter zählen hauptsächlich robotische Systeme bzw. AR, Mensch-Roboter-Interaktionen (MRI) und dazugehörige Schnittstellen wie z.B. Tablet-Applikationen und Benutzeroberflächen (UX), Sprachbearbeitung und Dialogführung, kognitive Fähigkeiten und Algorithmen für die Entscheidungsprozesse, autonome Lernsysteme, sowie psychologische Aspekte und ELSI-Faktoren. Im Folgenden wird auf jeden einzelnen genannten Bereich eingegangen, und ein aktuelles Bild des Entwicklungsstands gegeben. Abschließend werden ebenfalls vorhandene Langzeitstudien adressiert.

### **Robotische Systeme im häuslichen Umfeld**

Die bei R-ITUAL untersuchte Zieldomäne ist das häusliche Umfeld mit Menschen aller Altersgruppen und Lebensphasen. Robotische Systeme in ähnlichen Anwendungsgebieten werden im Folgenden kurz beschrieben. Der Fokus des Überblicks liegt hierbei auf Deutschland, da sich R-IUTAL primär mit den entsprechenden Randbedingungen dort wie z.B. Datenschutz befassen wird. Im erweiterten europäischen Kontext lassen sich aber ähnliche Beispiele wie “Buddy the Emotional Robot” finden.

PAUL ist ein Assistenzsystem der CIBEK GmbH, das über ein Touchdisplay bedienbar und sehr benutzerfreundlich ist, wobei sowohl ein Tabletcomputer mit PAUL-Software als auch ein Smartphone mit myPAUL App genutzt werden können. PAUL unterstützt Kommunikation, soziale Teilhabe, Anbindung an Wohnquartiere, Sicherheit und Gebäudeautomation mit digitalen Hilfsmitteln. Zielgruppe sind hauptsächlich Menschen im fortgeschrittenen Alter und Menschen mit Beeinträchtigungen. PAUL wird auch immer mehr in Wohnquartieren für Familien und Menschen aller Altersgruppe eingesetzt.

Das Projekt KoBo34 wird von der Munich School of Robotics and Machine Intelligence (MSRM), der Hochschule Rosenheim, Fak. für Angewandte Gesundheits- und Sozialwissenschaften, der Firma FRANKA EMIKA und dem Center for Cognitive Sciences der TU Darmstadt durchgeführt. Der Roboter KoBo ist ein zweiarmiger Humanoid, der intuitiv mit älteren und pflegebedürftigen Menschen interagieren soll. Der Roboter soll Menschen in Alltagsszenarien wie Aufstehen oder Schuhe anziehen sowie in komplexen, wissensbasierten Situationen unterstützen.

Das Projekt „SYMPARTNER“ (SYMbiose von PAUL und Roboter CompaNion für eine emotionssensitive Unterstützung) integriert das Smart Home-Assistenzsystems PAUL. Das Projekt liefert Bausteine zu einer verbesserten Alltagstauglichkeit von Assistenzrobotik im häuslichen Umfeld. In diesem Projekt wurde großen Wert auf emotionssensitives Form- und Interaktionsdesign gelegt.



**Abbildung 11.3:** Im Kompetenzzentrum vorgesehene Roboter: CARE MOVE (ek robotics), LIO (F&P Robotics), TIAgo (PAL Robotics)

### Assistenzroboter

Assistenzroboter sind Teil der Servicerobotik, deren übergeordnetes Ziel es ist, die Lebensqualität des Menschen zu verbessern. Neben den haushaltstypischen Spezialaufgaben wie Staubsaugen, Wischen oder Mähen haben fortschrittlichere AR Kapazitäten wie Kommunikation und Interaktion mit Menschen. Aus der stark ansteigenden Anzahl an Roboter-Produkten und -Entwicklungsplattformen, stechen insbesondere die humanoiden Roboter hervor, von denen alleine das DLR mit David, Rollin' Justin, TORO und SpaceJustin, der für den Einsatz in Schwerelosigkeit konzipiert wurde, bereits vier Modelle hervorgebracht hat. AR wie Pepper (Softbank), Cruzr (UBtech), Relay (Saviok), Walker (UBtech) oder Care-O-Bot (Fraunhofer IPA) können bereits rudimentär mit Menschen kommunizieren und/oder in definierten Umgebungen leichte Gegenstände transportieren. Unter den letztgenannten stechen wiederum Laufroboter gegenüber radangetriebenen Varianten hervor. Deren Vorteil liegt darin, dass sie selbst schwieriges Terrain auch bei erhöhter Nutzlast besser als beispielsweise die meisten mobilen AR oder fliegende Drohnen überwinden können. Die angebotenen Robotersysteme sind jedoch immer auf bestimmte Anwendungsdomänen spezialisiert. In R-ITUAL werden folgende Assistenz- und Transportroboter eingesetzt:

- **TIAGo:** Der Assistenzroboter TIAGo der Firma Pal Robotics (Spanien) ist eine kommerziell verfügbare Forschungsplattform für AR Anwendungen. Das System ist mit einem Arm mit insgesamt 7 Freiheitsgraden ausgestattet. Durch

seinen beweglichen Torso kann sich der Roboter außerdem aufrichten um auch Gegenstände in Höhen > 1,60m greifen und transportieren zu können. Die TIAGo Plattform ist in internationalen Roboter-Wettkämpfen (Robocup@Home, European Robotics League / SciRoc) weit verbreitet und hat hier bereits mehrfach ihre Robustheit und Flexibilität unter Beweis gestellt. In dem RA2 Projekt Robotkoop hat das IKI eine solche Plattform ebenfalls bereits erfolgreich eingesetzt.

- **Lio:** Die Plattform Lio der Firma F&P Robotics (Schweiz) ist eine, bereits für Endanwender, kommerziell verfügbare Roboterplattform mit einem speziell für die Interaktion mit Menschen optimiertem Greifarm. Durch den Fokus auf den realen Einsatz bei Endanwendern ist diese Plattform bereits sehr ausgereift.
- **CARE MOVE:** Der autonome Transportroboter CARE MOVE von EK Automation eröffnet neue Perspektiven als interaktiver Robot-Begleiter und Warentransporter für Einsatzgebiete wie Reha-Kliniken, Hotels, Flughäfen und andere öffentliche Bereiche. Basierend auf einem Transportsystem für industrielle Anwendungen wurde diese Plattform im ARA2-Projekt INTUITIV um vielfältige Interaktionsfähigkeiten zur Mensch-Maschine-Kommunikation erweitert.

### Vertrauensmodell zwischen Menschen und Maschine

Obwohl die Fortschritte in der Robotik eine beachtliche Menge an Werkzeugen zur Gestaltung vertrauenswürdiger Robotiksysteme hervorgebracht haben, bestehen weiterhin große Defizite bei der Messung von Vertrauen und dem allgemeinen Vertrauen der Nutzer gegenüber einem AR, bspw. die Wahrung der Privatsphäre betreffend Kok and Soh 2020. Jedoch mangelt es bereits an einer einheitlichen Definition für “das Vertrauen in Roboter”. Kok und Soh definieren daher drei essentielle Bausteine für die Vertrauensbildung gegenüber einem Roboter: 1. Die Vorstellung von Vertrauen tritt nur in einer Situation von Unsicherheit und Verletzlichkeit zutage. 2. Vertrauen ist facettenreich und kann nicht direkt erfasst werden. 3. Vertrauen fußt auf vergangenen Ereignissen und der durch diese Ereignisse hervorgerufenen Reaktion des Roboters. Kok and Soh führen dies zusammen und definieren Vertrauen eines Agenten in einen anderen Agenten als mehrdimensionale latente Variable, die eine Beziehung zwischen Ereignissen in der Vergangenheit und den Entschluss des einen Agenten, sich in einer unsicheren Situation auf die Handlung des anderen Agenten zu verlassen,

herstellt. Um Vertrauen zwischen Menschen und AR zu generieren, ist neben dem physischen Erscheinungsbild des AR Hancock et al. 2011 auch die Präsentation des AR entscheidend, da ein anfängliches Überschätzen der Fähigkeiten im Vergleich zu den wirklichen Fähigkeiten dazu führt, dass anfängliche Erwartungen nicht erfüllt werden, was einen vermeidbaren Vertrauensverlust nach der ersten Interaktion des Nutzers mit dem AR auslöst Kwon et al. (2016). Um jedoch über einen längeren Zeitraum der sozialen Interaktion das Anfangsvertrauen auszubauen, sind Strategien notwendig, die in vier Gruppen mit steigender Komplexität eingeteilt werden können: Heuristik, Auswertungen von Mensch-Maschinen-Interaktionen, rechnergestützte Vertrauensmodelle bis hin zu Theorien über menschliche Denkweisen. Während die ersten beiden Gruppen auf vorprogrammierte Strategien setzen, sind rechnergestützte Vertrauensmodelle ein probater, allgemeinerer Ansatz, um direkt die Dynamik des Vertrauens in den AR zu modellieren. Dabei kann das Vorgehen grundsätzlich in zwei Schritte aufgeteilt werden: Das Schätzen des Vertrauens aufgrund des menschlichen Verhaltens und das Leiten des Roboterhaltens auf Basis dieser Vertrauensschätzung Liu 2020, Guo et al. 2020. Demgegenüber befinden sich die Theorien zu menschlicher Denkweise in einem noch zu frühen Forschungsstadium, um in R-ITUAL relevant zu werden.

Ein brauchbares Konzept von relationalen Agenten, das sich auf computergestützte Artefakte bezieht, die darauf ausgelegt sind, langfristige sozial-emotionale Beziehungen zu ihren Nutzern aufzubauen und zu pflegen, wurde von Bickmore and Picard (2005) entwickelt. Sie erörterten eine Vielzahl strategischer Beziehungsverhaltensweisen, instanziierten sie in Systemen und führten zahlreiche Studien durch, um die Auswirkungen verschiedener Aspekte des Verhaltens relationaler Agenten auf langfristiges Engagement und Verhaltensänderungen zu bewerten, z. B. Bickmore et al. (2010). Dies inspirierte viele andere Forscher, weitere Studien und Experimente in diesem Bereich durchzuführen. Die Kontinuitätsverhalten, wie im FitTrack-System (Bickmore and Picard, 2005) implementiert, und das in Mattar and Wachsmuth (2014) beschriebene Personenspeichermodell eines virtuellen Agenten umfassen beispielsweise Begrüßungen und Verabschiedungen, die sich auf vergangene/zukünftige Begegnungen beziehen, sowie Verweise auf gegenseitiges Wissen, z. B. biografische Fakten, Vorlieben und Interessen des Benutzers, die in einer früheren Sitzung erwähnt wurden. Das in

De Boni et al. (2008) beschriebene Sportberatungssystem implementiert ebenfalls Kontinuitätsverhalten als Mittel zur Beziehungspflege, nämlich Bezugnahme auf zuvor erteilte Ratschläge und allmählich persönlichere Begrüßungen, einschließlich etwas Small Talk. Verschiedene andere Systeme haben ein Benutzermodell oder eine Form des Langzeitgedächtnisses integriert und verwenden es, um auf Inhalte aus früheren Interaktionen zu verweisen (Adam et al. (2010), Campos (2010), Sieber and Krenn (2010)).

Für die Vertrauensgenerierung in RITUAL werden die genannten Strategien der relationalen Agenten mit den Strategien im Bereich AR-Design und AR-Präsentation mit rechnergestützten Vertrauensmodellen kombiniert, in welche die von den Partnern entwickelten Kognitionsmethoden einfließen.

### **Kognitive Fähigkeiten von AR**

Zur Sicherstellung einer funktionalen und akzeptierten Interaktion zwischen AR und Nutzer wird es als notwendig erachtet, dass der AR das aktuelle Erleben und Verhalten des Nutzers erkennen und darauf reagieren kann. Dies erfordert die maschinelle Wahrnehmung des Nutzerzustands. Forschungsmethodisch beschäftigen sich die Projekte Frelacs, AutoAkzept und HoliDes mit Grundlagen zur Erfassung dieser Nutzerzustände. Die folgenden Ansätze und Modelle zur technischen Umsetzung der Zustandserkennung über verbale Wahrnehmung stehen zur Verfügung: Speech-to-Text sowohl über Open-Source Deep-Learning-Algorithmen Agarwal and Zesch 2019, als auch mit etablierter kommerzieller Software (Nuance Communications, Inc., Google ASR, Microsoft Azure). Für die Interpretation der transkribierten Spracheingaben, beispielsweise zur Erkennung von Intent, Named Entities und Aufgaben, lassen sich sowohl auf ML und DL basierten Eigenentwicklungen des DFKI wie auch kommerzieller Software (Nuance Communications) verwenden. Darüber hinaus kann die Stimmung der Nutzer über einfache Emotionserkennung aus der Sprache erfasst werden. Bei der Sentimentanalyse können positive oder negative Tendenzen über Wording und Semantik erkannt werden Guhr et al. 2020. Weitere verfügbarer Bibliotheken und Modelle sind spaCy Honnibal et al. 2020 und NLTK Bird et al. 2009. Ebenso gibt es bereits funktionierende Modelle, welche die Charakteristik der Sprache (Amplitude/Lautstärke, Frequenz/Tonhöhe, Prosodie, etc.) zur Emotionserkennung heranziehen.



Bei der non-verbalen Zustandserkennung gibt es neben Methoden zur Gesichtserkennung, bspw. mittels OpenFace (Amos et al. 2016) auch Modelle zur Klassifikation hinsichtlich der Gestik des Menschen Cao et al. 2017. Die Gesichtserkennung bietet außerdem die Möglichkeit, Basis-Emotionen über Neuronale Netze zu identifizieren und einzuordnen. Somit kann der AR über die unterschiedlichen Informationseingänge den Zustand der Kontaktperson erfassen. Über die unterschiedlichen Feedback-Kanäle kann ein emotionales und interaktionsbildliches Profil des jeweiligen Nutzers erstellt werden und ein dynamisches Verhaltensmodell über einen längeren Zeitraum zusammengefügt werden.

### **Entscheidungsmodelle**

Um den Nutzerzuständen angepasste Interaktionsstrategien anwenden zu können, bedarf es einer Entscheidungsinstanz. Hier kann für die Dialogplanung und Realisierung der von DFKI entwickelte VOnDA Kiefer et al. 2021, ein Informationsstate basierter Dialogmanager, welcher sich bereits in den Projekten PAL und ARA2 INTUITIV bewährt hat, genutzt werden. Dieser ist in der Lage Inputs aus verschiedenen Quellen, wie etwa interpretierter verbaler und non-verbaler Kommunikation, Sensordaten und externe APIs zu verarbeiten und in die Dialogplanung einfließen zu lassen. Um Dialoge zu ermöglichen, die sich auf vergangene Interaktionen mit dem Nutzer beziehen, ist VOnDA mit einem semantischen Repository und Reasoner (HFC, siehe Krieger and Willms 2015) gekoppelt. Dies ermöglicht es, zeitlich veränderliche Informationen (time-series data, persönliches und kollektives Agentengedächtnis) sowie Domänenwissen direkt in die Dialogplanung einfließen zu lassen.

### **Sprachverarbeitung und Dialogführung**

Global tätige Akteure wie Amazon, Apple, Google oder Nuance bieten bereits heute Lösungen zur automatischen Spracherkennung (ASR), welche eine Anwendung dieser Technologie in Echtzeit in alltäglichen Szenarien ermöglichen. So stehen Werkzeuge zum schnellen Prototyping von sprachbasierten Schnittstellen zur Verfügung. Im Bereich der Dialog-Interpretation bzw. Modellierung gibt es zahlreiche verschiedene Ansätze auf die im Folgenden eingegangen wird.

Lange Zeit wurden zur Interpretation bzw. Modellierung von Dialogen hauptsächlich regel- beziehungsweise Schlüsselwort-basierte Ansätze genutzt. Mit dem Aufkommen von auf maschinellem Lernen basierenden Ansätzen und der Einführung kontextueller Embeddings wie etwa elMo Peters et al. 2018 oder BERT Devlin et al. 2018 wurden diese jedoch weitgehend verdrängt, können sich aber, insbesondere für Domänen (oder Sprachen) mit wenig verfügbaren Daten, immer noch behaupten Kiefer et al. 2021.

Neue auf maschinellem Lernen (ML) basierte Systeme liefern durchaus gute Ergebnisse, haben aber auch ihre Einschränkungen. So sind die meisten Systeme etwa nur auf sog. SlotFilling Probleme spezialisiert, benötigen sehr viele, potentiell manuell annotierte Trainingsdaten und verfügen für gewöhnlich über kein explizites Kontextwissen. Es gibt einige vielversprechende Arbeiten, die sich diesen Problemen beispielsweise durch die Integration externer Datenbanken in Form von Knowledge Embeddings Murase et al. 2019, der Modellierung der einzelnen Gesprächsteilnehmer Chen et al. 2017 oder Berücksichtigung der zeitlichen Komponente Conway and Mathias 2019 widmen. Es gibt auch Forschungsarbeiten die untersuchen, inwieweit eine Kombination aus traditioneller regelbasierter und neuer ML Systeme zur Dialoginterpretation sinnvoll ist Lopes et al. 2015, Madotto et al. 2018.

Es ist auch davon auszugehen, dass während der Projektlaufzeit neue Entwicklungen und Erkenntnisse im Forschungsfeld Dialoginterpretation und Modellierung aufkommen werden, welche wir nach Möglichkeit in das Projekt einfließen lassen werden.

### **Learning Modell**

Für eine breite Akzeptanz eines Robotersystems muss dieses möglichst intelligent agieren. Idealerweise antizipiert der Roboter, welche Aufgaben als Nächstes zu erledigen sind. Eine Intentionserkennung in der Robotik wird meist auf kinematischen Ebenen realisiert. Hier werden typischerweise die Nutzendenkommandos, die Lage der Objekte mit denen interagiert werden können, und die aktuelle Position des Roboterarms verwendet, um die gerade vom Nutzenden beabsichtigte Aufgabe zu erkennen.

Es gibt wenige Arbeiten, die sich mit Intentionserkennung auf höhere Ebene beschäftigen, die meisten davon im Kontext von intelligenten Dialogsystemen. Diese Systeme sind zwar sehr leistungsfähig, haben aber den Nachteil, dass sie nicht für die

räumlich-temporalen Aspekte mit einer Vielzahl an semantischen Informationen in der Robotik geschaffen sind. Es bietet sich hier an, Knowledge Graphs als Datenrepräsentationssystem zu verwenden. Daher ist es wichtig, über Algorithmen aus der KI zu verfügen, die diese Wissensgraphen lernen können. Beispielsweise neuronale Netzwerkmodelle (sog. Graph Neurale Netze, GNN) genannt. Verschiedene GNN-Modelle wurden für verschiedene Anwendungen wie Bildklassifizierung, Textklassifizierung und Clustering usw. verwendet. Aber es gibt nur sehr wenige Arbeiten, die den Einsatz von GNNs für die Situationsanalyse und Intentionserkennung untersuchen.

### **Langzeituntersuchungen**

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Kompetenzzentrums ist die langfristige Untersuchung des Zusammenlebens von Menschen und Roboter. Die technische Komponente eines Langzeit-Einsatzes von mobilen Servicerobotern in den Bereichen Sicherheitsüberwachung und Pflege wurde im EU Projekt STRANDS Hawes et al. 2017 betrachtet. Das Ziel war, dass die Roboter lange funktionsfähig bleiben (104 Tage). Die Assistenzfunktionen erfolgten jedoch ohne verbale Interaktion.

Der positive Einfluss von Robotern als soziale Partner im natürlichen häuslichen Umfeld konnte in einer aufschlussreichen Langzeitstudie in der Arbeit “Robots at home: Understanding long-term human-robot interaction” Kidd and Breazeal 2008 festgestellt werden. Die Roboter unterstützten hier die Probanden sechs Wochen vollständig autonom bei einer Diät mit dem Ziel des Gewichtsverlustes, waren dabei jedoch nicht mobil.

In den EU Projekten ALIZ-E Belpaeme et al. 2012 und PAL Neerincx et al. 2019 wurden Langzeit-Interaktionen von stationären Robotern und Kindern untersucht. Der Fokus der Projekt- und Studiendesigns lag auf einer anpassungsfähigen sozialen Interaktion zur Unterstützung von Diabetes-Selbst-Management.

### 11.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

R-ITUAL wird insbesondere die Verwendung seriennaher AR (bereits erprobte Systeme) in Mehrgenerationenhäusern untersuchen, welche allgemeingültige Rückschlüsse für die Verbesserung und den Einsatz derartiger AR im privaten Raum ermöglichen. Die anderen, u. a. in dieser Machbarkeitsstudie im Stand der Technik angesprochenen Vorhaben, adressieren im Vergleich zu R-ITUAL ausschließlich hochspezialisierte Nischenaufgaben. Darüber hinaus wird im Gegensatz zu anderen Projekten, durch den besonderen UseCase die breite Anwendbarkeit von AR für das Dorf und die Stadt der Zukunft adressiert. Denn adaptive Roboter entfalten ihr größtes Potential im Kontext heterogener Nutzergruppen, welche vielfältige Anforderungen aufgrund unterschiedlicher Fähigkeiten, Bedürfnisse und Erwartungen an die Interaktion stellen. Der Einsatz eines AR in einem Mehrgenerationenhaus der Halle-Neustädter Wohnungsgenossenschaft e.G. (HA-NEUer) fokussiert dabei die dort lebenden diversen Nutzertypen und lässt somit die Abbildung unterschiedlicher MRI-Szenarien zu. Dies gewährleistet wiederum eine hohe Übertragbarkeit auf andere Domänen und unterscheidet sich zu bestehenden AR und Forschungsprojekten, welche ältere und kranke Nutzer adressieren. Des Weiteren sollen allgemeingültige, nutzer- und kontextadaptive Interaktionsstrategien zwischen Menschen und Robotern weiterentwickelt, sowie lernfähige, adaptive Systeme implementiert werden. Die soziale Interaktion und die Beziehung zwischen Mensch und Roboter soll dabei mit einer Langzeitperspektive betrachtet werden. Dafür kommen wiederholte Messungen und ein längsschnittliches iteratives Nutzer-zentrisches Studiendesign zum Einsatz. Im Rahmen von R-ITUAL lassen sich somit Anpassung, Interaktion und Beziehung zwischen Mensch und AR sowohl mit unterschiedlichen Nutzern als auch in längeren Zeitskalen untersuchen.

Die aktuellen relevanten Normen und Standards werden kontinuierlich geprüft und es wird auf deren Auslegung Rücksicht genommen. Beispielsweise soll die für AR gültige Norm DIN EN ISO 13482 in einem ganzheitlichen Konzept integriert werden. Folgende Auflistung gibt eine Übersicht der dem Konsortium bekannten Systeme und Patente:

- G06N20/00: “MULTI-DIMENSIONAL COGNITION FOR UNIFIED COGNITION IN COGNITIVE ASSISTANCE” bezieht sich auf die Anwendung virtueller, persönlicher, kognitiver Assistenten, welche an Internet of Things-

Geräte gekoppelt sind, um basierend auf erkannten Ereignissen, bestimmte Aktionen als Reaktion auszuführen. Das explizite Verwenden einer lokalen Kognitionslösung, die auch dem Vertrauen gegenüber dem AR bzgl. der Einhaltung der Privatsphäre zuträglich ist, löst den vermuteten Konflikt auf.

- G06K9/00: “Home education assistant robot and home education assistant system” bezieht sich explizit auf AR für Lehraufgaben.
- G05D1/02 “COMPANION ROBOT FOR PERSONAL INTERACTION” Adressiert einen Assistenz-, als vielmehr eine Art Dolmetscher-Roboter. Wobei sich der Lösungsansatz auf das Vorhandensein von Sensoren zum monitoring des Bereichs um den Roboter herum beschränkt.
- G06F16/35 “Interaction method and device based on intelligent robot” Die in R-ITUAL adressierten AR wären signifikante Verbesserungen.
- G06F3/01 “APPARATUS AND METHOD FOR RECOGNIZING BEHAVIOR OF HUMAN” Diese Methode wäre ggf. Bestandteil eines adressierten AR.
- G16H20/70 “METHOD, APPARATUS AND SYSTEM FOR PROVIDING A MEASURE TO RESOLVE AN UNCOMFORTABLE OR UNDESIRED PHYSIOLOGICAL CONDITION OF A PERSON” Dies entspricht dem umgekehrten Vorgehen, gegenüber der Vertrauens- und allgemeinen Emotionsbestimmung.
- G06F16/5854 “INTELLIGENT REASONING FRAMEWORK FOR USER INTENT EXTRACTION“ Dies entspricht einer möglichen Vorgehensweise zur Integration in den adressierten AR.

Demzufolge sind im Konsortium keine Patente bekannt, welche grundsätzlich der Verwertung der hier anvisierte AR im adressierten Kontext direkt im Wege stehen.

### 11.2.3 Risikodarstellung

Das R-ITUAL Konsortium zeichnet sich durch fundierte fachliche Kompetenz und bietet dank ihrer Interdisziplinarität vielversprechende Kooperationsmöglichkeiten. Nichtsdestotrotz birgt jedes Forschungsprojekt zu den respektiven Chancen auch Risiken, die rechtzeitig identifiziert und analysiert werden sollten. Im Folgendem werden mögliche Risiken innerhalb des R-ITUAL Projekts charakterisiert, siehe Tabelle 11.2. Maßnahmen zur Analyse, Prävention und Vorbeugung bzw. Gegenwirkung

sind ebenfalls aufgelistet. Das Risikomanagement im Projekt wird diese Richtlinien befolgen und bei Bedarf diese Matrix kontinuierlich erweitern und pflegen. Dadurch wird eine kontinuierliche Risikobewertung und Management im Laufe des Projektes gewährleistet.

## 11.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung

Risiko	Wahrscheinlichkeit	Ausmaß	Gegenmaßnahmen
Identifikation von Indikatoren für die Nutzerzustände nicht möglich	Gering	Hoch	Einbeziehung verschiedener Methoden zur Bestimmung der Indikatoren: - Sekundärdatenanalysen - Explorative, datengetriebene Verfahren Außerdem Nutzung vielfältiger Sensorik zur Erfassung von Nutzerzustand über physiologische Verfahren sowie videobasierte Verfahren
Nutzerfokussierte Assistenz findet keine Akzeptanz bei den Nutzern	Gering	Mittel	Frühe und fortlaufende Einbeziehung von Akzeptanzuntersuchungen und Evaluation der Demonstratoren in Nutzerstudien
Es lassen sich keine Adaptionstrategien zur Anpassung an den Nutzer vornehmen	Gering	Mittel	Nutzung eines Use-Case-basierten, iterativen und nutzerzentrierten Prozesses zur Entwicklung von Adaptionstrategien mit dessen Hilfe Akzeptanzanforderungen in die Entwicklungen miteinbezogen werden
Wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse nicht möglich	Mittel	Hoch	- Einbeziehung von anwendungsrelevanten UCs, die zur Bestimmung der notwendigen Anforderungen und Entwicklungsschritte dienen. - Einbeziehung von Mehrgenerationenhäusern als assoziierte Partner zur Optimierung der wirtschaftlichen Verwertung und Einbringung der Käufer-Perspektive. - Übertragung auf andere Domänen möglich: Aktuelle Trends zeigen, dass OEM und Zulieferer an der Erkennung von und Adaption an Nutzerzustände sowie einer Erhöhung der Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge interessiert sind. Partner stehen in engem Kontakt zu Automobilherstellern und Zulieferern und werden zu Projektlaufzeit das System dort vorstellen.
Ein Konkurrenzunternehmen bringt ein System mit vergleichbaren Fähigkeiten schneller auf den Markt.	Mittel	Mittel	Abdeckung komplementärer Expertise durch Partner, wodurch eine tiefere und breitere Erforschung von adaptiver Interaktion und Gegenmaßnahmen möglich ist; durch Betrachtung von ELSI und psychologischer Validierung wird ein System mit hoher Akzeptanz entwickelt, dass sich gegen Mitbewerber behaupten kann.

Risiko	Wahrscheinlichkeit	Ausmaß	Gegenmaßnahmen
Der Nutzer akzeptiert Video- und Biomarker-Überwachung nicht ausreichend.	Mittel	Hoch	Nutzer werden schon früh durch Akzeptanzstudie in den Prozess miteinbezogen. Mehrere Nutzerstudien gewährleisten Einbeziehung von Endnutzern.
Es findet sich kein Abnehmer, der das System anwenden will.	Gering	Hoch	Durch den direkten Kontakt mit Mehr-generationshäusern wurde das hohe Interesse an adaptiver AR in diesem Kontext bestätigt.
Der Nutzer toleriert das Restrisiko nicht, welches auch bei hohen Sicherheitsvorkehrungen bei einem AR-Einsatz im privaten Umfeld bleibt.	Gering	Mittel	Das gesellschaftliche tolerierbare Restrisiko wird schon früh durch Akzeptanzstudie in den Prozess miteinbezogen.
Der sichere Einsatz des AR nach DIN EN ISO 13482 kann nicht gewährleistet werden.	Gering	Hoch	Durch Erfahrungen von den verschiedenen RA2 Projekten und rigorosen Vorplanen werden die Problemstellen identifiziert.
Sensorik ist nicht genau genug um Orte exakt zu detektieren	Mittel	Mittel	Definition von sog. Hotspot, welche fest in einer Karte definiert werden
Sensorik ist nicht genau genug um Aufgaben selbständig in eine Wissensbasis einzuordnen und dort wiederzuerkennen.	Mittel	Mittel	Es wird manuell ein fester Aufgabenpool definiert.
Es stehen nicht genügend gelabelte Daten für einen Deep-Learning-Ansatz zur Verfügung	Hoch	Mittel	Die vorhanden Daten werden mit Daten aus einem Simulator erweitert. Es wird als Alternative ein regelbasierter Ansatz umgesetzt.
Automatische Spracherkennung ist nicht robust genug in allen Situationen	Mittel	Hoch	Die Nutzer werden genauer eingeschult. Es werden zusätzlich zu gesprochene Sprache alternative Eingabemöglichkeiten angeboten, z.B. Menüauswahl.

**Tabelle 11.2:** Übersicht von bisher identifizierten Risiken innerhalb des R-ITUAL Vorhabens.

Unabhängig vom wissenschaftlichen-technischen Risiko ist als weiteres Risiko zu nennen, dass eine neuartige Covid-Mutante entsteht, gegen die die bereits Geimpften nicht geschützt sind und hierdurch die Probandentestung erschwert wird. Sollte dieser Fall eintreffen, werden entsprechende Hygienekonzepte erstellt und ggf. qualitative Erhebungen mit Probanden soweit möglich computergestützt oder via Telefon durchgeführt.



## 11.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Für die Realisierung der in Kap. 11.1 anvisierten übergeordneten Ziele bedarf es an fachübergreifenden Kooperationen und Zusammenwirken unterschiedlicher Methoden. In folgenden Abschnitten werden die Ziele in Form einer Projektskizze für den ausgesuchten Anwendungsfeld konkretisiert und die für ihre technische Umsetzung angedachten Methoden beschrieben.

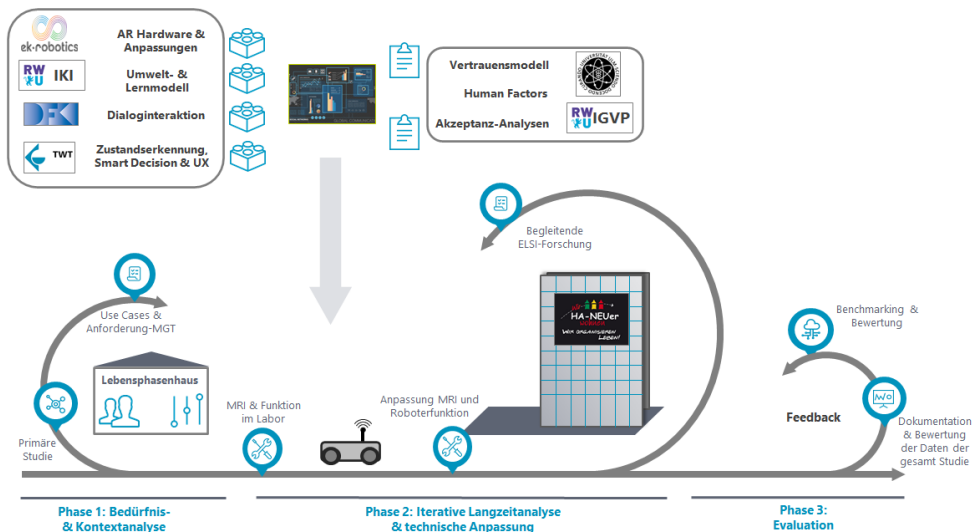
### 11.3.1 Anvisierte Projektskizze und Methodik

Wie in Abschnitt 11.1.2 beschrieben, beschäftigt sich dieses Vorhaben mit dem nachhaltigen Aufbau eines Kompetenzzentrums für das intelligente Onboarding und den Betrieb von AR in privaten Einrichtungen. Zur Demonstration der Fähigkeiten und Chancen des anvisierten Kompetenzzentrums wurde entsprechend ein Szenario im privaten Wohnumfeld ausgewählt. Nachfolgend wird die für dieses Szenario anvisierte Vorgehensweise erläutert.

Die Zieleinrichtung ist ein Mehrgenerationenhaus (MGH), in dem das Onboarding und der Betrieb von AR nicht nur erprobt, sondern auch durch den Einsatz kognitiver Fähigkeiten etabliert werden. Ziel der Unternehmung ist die iterative Weiterentwicklung und Anpassung von AR mit kognitiven Fähigkeiten und Algorithmen, für die verbesserte Interaktion mit Menschen, um so deren Akzeptanz zu erhöhen. Die Kombination aus Erprobung und repräsentativer (im Sinne von Langzeit) anwendungsnaher Bewertung solcher neuartiger Roboter-Technologien mit fachübergreifenden Methoden gehört zu den Kern-Zuständigkeiten des Kompetenzzentrums.

**Zeitlicher Ablauf** Das Vorhaben R-ITUAL wird in 3 Phasen unterteilt, siehe Abb. 11.4. Die Phase 1 entspricht der Bedürfnis- und Kontextanalyse. Es handelt sich um einen Pre-Test in einer definierten Fokusgruppe innerhalb einer Art kontrollierter “Muster-Wohnumgebung”, dem Lebensphasenhaus in Tübingen. Ziel ist es, durch qualitative Interviews die Use-Cases sowie die Anforderungen an den AR aus Sicht der Nutzer vor Ort zu entwickeln und zu verfeinern. Dadurch soll eine Grundlage an Erwartungen und Anforderungen zur Entwicklung von adaptiven Interaktionsstrategien in MGH für die Phase 2 entwickelt werden.

Die Phase 2 entspricht der iterativen Abtestung von Use-Cases im MGH. In dieser Phase werden durch größere Nutzergruppen eine langfristige quantitative Informationsgewinnung ermöglicht. Dadurch sollen die Vorinformationen an Anforderungen und Akzeptanzkriterien aus Phase 1 ausgestaltet werden, um die Kennenlernphase und langfristige Beziehungsentwicklung optimal auszuführen. Diese Informationen werden in Phase 2 erneut bewertet, um die Entwicklung im Laufe des Projekts darstellen zu können. Nach jeder Iteration (im Idealfall je mit neuer Nutzergruppe), werden die gesammelten Informationen verwendet, um eine inkrementelle Weiterentwicklung der MRI und Vorgehensweise der Studie zu gestalten. Diese angepassten Zustände werden dann verwendet, um die nächsten Iterationen durchzuführen und am Ende alle Ziele der Use-Cases abzubilden. Dieser Prozess wird bis zum Ende der Phase 2 angewendet. Die Phase 3 entspricht der Erstellung einer Bilanz und Evaluation der gesamten Studienreihe. Darunter wird die Verwertung und Dokumentation der Ergebnisse verstanden, sowie die Entwicklung eines nachhaltigen Geschäftsmodells für einen zukünftigen Einsatz der erprobten Methoden in benachbarten Szenarien.



**Abbildung 11.4:** Schematische Darstellung der Prozesse, Interaktionen und Projektphasen für das Onboarding und den Betrieb von AR im konkreten Wohnumfeld.

### Methodischer Ablauf

Aus technologischer Sicht ergeben sich folgende methodische Ziele für R-ITUAL:

- Ableitung von Anforderungen an die Gestaltung des Onboarding und des Betriebs des AR sowie der MRI in verschiedenen Phasen und für verschiedene Nutzergruppen
- Entwicklung von Personas als Grundlage zur Entwicklung von adaptiven Interaktionsstrategien
- Algorithmen-Entwicklung für Kognition und UI für MRI im häuslichen Umfeld im Sinne Methodentransfer aus verwandten Gebiete
- Konzeptionierung und Umsetzung von Mensch-Roboter-Dialoginteraktion
- UX Design im AR-Umfeld
- Umfelderkennung und -modellierung für den AR
- Einsatz datenbasierter und/oder ML-Ansätze für selbstlernende Fähigkeiten
- Zielführender Einsatz und Erweiterung von HW/SW/Sensorik/AR-Produkt
- Bewertungstechniken und Benchmarking-Methoden
- Betrachtung von ELSI-Fragestellungen

Die technische Umsetzung der vorhin aufgelisteten methodischen Ziele orientiert sich stark an den in Kapitel 11.2.1 bereits beschriebenen Ansätzen und Modellen. Damit wird der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik eingesetzt und erweitert. Wie in Abschnitt 11.5.1 erläutert, bringen die Partner im Konsortium die vorhin aufgelisteten Methoden-Kompetenzen aus direkten oder benachbarten Anwendungen mit.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Instanzen und Methoden des Layermodells aus der Grafik am Ende von Kapitel 11.1.3, siehe Abb. 11.2 erläutert. Die übergeordnete Arbeitsmethodik bzw. technologische Wirkkette innerhalb R-ITUAL lässt sich in drei Layers definieren. Das unterste Layer enthält die eigentliche Hardware des Roboters. Darunter sind ebenfalls die Anpassungen der bereits existierenden Roboterfunktionen zu verstehen sowie die finale Auswahl und Kalibrierung der Aktorik und der Sensorik zur Erfassung der benötigten Information aus dem Umfeld. Zur Sensorik lässt sich als virtuelle Erweiterung auch die Kognition im Sinne Zustandserkennung des Nutzer anhand sprachlicher und visueller Merkmale zählen.

Das mittlere Layer entspricht der Mensch-Roboter-Interaktion und der Umfelderkennung. Die MRI ist dabei in zwei Teile getrennt: verbale und non-verbale Kommunikation.

Die verbale Kommunikation, also die Dialogfunktion, unterstützt und ergänzt robotische Aktivitäten, indem sie die Wahrnehmung des Roboters als vertraubarer Partner des Nutzers verbessert und dadurch die Akzeptanz des Systems erhöht. Zudem dient sie der Steuerung des AR über Sprachbefehle, die auch dem Feedback dienen können. Um eine solche verbale Kommunikation zu optimieren, muss der AR über eine geeignete Wahrnehmung und ein Modell des Umfelds verfügen. Die entsprechende, adaptive Modellierung des Umfelds, die im Sinne eines teil-intelligenten Learning-Prozesses erfolgt, bildet die Grundlage für verbale Referenzen und schließt Informationen über räumliche Gegebenheiten sowie potenziell anwesende Personen oder Objekte ein. Dabei verfolgt das DFKI einen ontologiebasierten Ansatz, in dem das Wissen in Form abstrakter Fakten in semantischen Datenbanken (RDF: Resource Description Format) abgelegt und mittels ontologischem Reasoning verarbeitet wird. Diese Fähigkeit zum Umgang mit zeitlichem/räumlichem Wissen soll im Rahmen der Anforderungsdefinition von R-ITUAL auf Zweckmäßigkeit untersucht und geeignet erweitert werden. Vor allem soll untersucht werden, wie das erweiterte Reasoning bei der Verbesserung der verbalen Interaktion eingesetzt werden kann. Dabei sind vor allem Aspekte, die sich auf frühere Begegnungen mit Nutzern beziehen, interessant, da sie die wichtige Vertrautheit mit den Nutzern signalisieren. Darüber hinaus müssen die existierenden linguistischen Ressourcen und Komponenten um domänenspezifische Terme und Phänomene erweitert werden.

Zur nicht sprachbasierten UI wird in R-ITUAL rein über die Entwicklung einer Android-App und des zugehörigen UI-Designs stattfinden, da eine Erkennung von Gesten usw. auf Basis der Erfahrung aus anderen Forschungsprojekten zu aufwändig und risikoreich wäre. Diese App wird eine wichtige Rolle im Sinne der User Experience einnehmen, da diese auf User-Tablets (installiert in Wohnung, auf dem Roboter oder als mobiles Gerät für die Bewohner) zum einen die Möglichkeit geben sollen, dass die Nutzer den Roboter aus der Ferne bedienen können oder auch Status-Updates (“News”) erhalten. Zum anderen soll über die App aber auch Feedback möglich sein. Letzteres kann über die Auswahl von Smilies je direkt nach der Bedienung/Interaktion erfolgen. Im Rahmen von User-Interviews ist zudem aber auch ein tiefergehendes Feedback denkbar und speziell in der Konzeptionsphase sogar unerlässlich. Die App soll sich in gewissen Grenzen an die Bedürfnisse des Nutzers anpassen, z.B. die häufig genutzten

Funktionen wie “Wäsche abholen” in den Vordergrund stellen. Auch Anpassungen bzgl. Bedienung müssen für die verschiedenen Altersgruppen und Bedürfnisse der Bewohner anpassbar sein.

Die Entwicklung der App wird im agilen Scrum-Modus in 4-wöchigen Development-Sprints erfolgen - abhängig von der HW- und Test-Umsetzung u.U. mit definierten Pausen. Folgende Meilensteine und App-Phasen sind vorgesehen: App-Phase 1 innerhalb der ersten 2 Projekt-Quartale für Klärung der Anforderungen und Erstellung eines Klick-Prototypen. App-Phase 2 bis Ende 4. Quartal für das Go-Live der ersten App-Version. App-Phase 3 innerhalb Quartal 5 bis 10 für Optimierung, Weiterentwicklung und Wartung der App im Betrieb für die verschiedenen Use-Cases.

Abschließend sei für das Layer 2 angemerkt, dass der AR basierend auf der Umfeldanalyse und adaptiven Umfeldmodellierung über den Austausch mit den Nutzern auch fähig sein soll, im Rahmen von Datenschutzvorgaben auch eine grobe Prädiktion der Gewohnheiten der unterschiedlichen Nutzer für die Entscheidungsinstanz in Layer 3 zu erstellen. Dadurch soll eine proaktive Reaktion auf potenzielle Nutzer-Bedürfnisse ermöglicht und die AR-Akzeptanz erhöht werden.

Das höchste Layer besteht aus der zu implementierenden MRI-Entscheidungsinstanz, hier als Smart Decision Layer (SDL) bezeichnet, die aus allen vorliegenden Informationen aus den anderen Layers, also aus HW / Funktion / (virtueller) Sensorik und Aktorik sowie aus UI (verbal / App) und Umfeldmodell, Daten verwertet und gleichzeitig bzgl. Sprach- und Bewegungsvorgabe als Master im IT-Sinne agiert. Anzustreben ist hierbei eine individuelle User Experience mit einem hohen Level an Akzeptanz und Effizienz. Hierzu wird eine vernetzte Datenbank (Backend) aufgebaut bzw genutzt, die relevante Interaktionsdaten unter Berücksichtigung des Datenschutzes und der Performanz speichert.

Solche SDL sind in zahlreichen intelligenten, teil-autonomen Systemen zu finden, angefangen von personalisierter Werbung über Siri / Alexa bis hin zu modernen UI-Systemen in Premium-Fahrzeugen. Im Rahmen von R-ITUAL soll aber keine komplexe Neuentwicklung stattfinden. Vielmehr sollen bestehende Methoden wie die weiter oben beschriebenen Dialog-Funktionen im Spannungsfeld zwischen den Extremen

rein externer Regelvorgabe via manueller Parametrierung und auf der anderen Seite rein lernbasierter Anpassung der Interaktion auf Basis des Feedbacks der jeweiligen AR-Kontaktpersonen angewendet werden. Die Auswahl der Methoden kann vorab nicht geklärt werden, sondern hängt primär von der Anforderungsanalyse in Phase 1 und ersten Testphasen ab. Mögliche Ansätze hierzu sind adaptive Entscheidungsbäume, adaptive Regelung, zum Beispiel Fuzzy Control, oder auf abstrahierten Referenz-Modellen basierte regressive Regelschleifen. Denkbar ist ebenfalls eine vordefinierte AR-Steuerung, die punktuell bzgl. einzelner MRI-Aspekte durch integrierte Algorithmen zu Machine Learning / Data Analytics ergänzt werden. Auf Basis des breiten Auswahlfelds seien vorab nur Grundlagenwerken als Beispiele zitiert, z.B. Lunze and Lunze 1996 und Skogestad and Postlethwaite 2007.

Um das SDL interaktiv und zielgerichtet zu trainieren, sollen genau vier Feedback-Instanzen der User zum Einsatz kommen: High-Level- Feedback durch einzelne (seltene) Interviews, Feedback über die App (Smiley-System), Feedback über definierte oder erlernte Befehle, Feedback über die Stimmungserkennung im Sinne Kognition der Sprechweise. Vor allem Letztes könnte ein sehr effektives, individuell adaptierbares Mittel darstellen, jedoch mit erhöhtem Risiko bzgl. Funktionalität, siehe TWT-Projekte wie AutoAkzept oder F-Relacs in Kapitel 11.5 oder u.a. Arias et al. (2010).

Eine zusätzliche parallel zu den drei Layers laufende nicht-technologische Instanz, bestehend aus den sozialwissenschaftlichen Aspekten und der MRI-Analyse aus Sicht des Menschen, dient als verlinkender Pfad zwischen den Bedürfnissen der Nutzer und der technischen Umsetzung. Entsprechende Interviews, Datenauswertungen und Feedback-Analysen werden eine kontinuierliche Weiterentwicklung dieser Aspekte gewährleisten.

### 11.3.2 Ethische, rechtliche und soziale Implikationen (ELSI)

Der AR-Einsatz im Mehrgenerationenwohnen geht mit zahlreichen relevanten ELSI-Fragestellungen einher. Die Reflexion und Bearbeitung dieser Themen wird kontinuierlich über den Projektverlauf beibehalten. An einem Onboarding-Termin werden die AR vorgestellt und durch eine technische Heranführung an das Themengebiet versucht, alle Teilnehmenden auf einen Wissensstand zu bringen. Das Onboarding bzw. das

„Aneignungscafé“ ist folglich danach bestrebt „zwischen „high-end“-Visionen und aktuellen Lebensalltagen Brücken zu bauen“ (Müller et al. 2017). Zeitnah zu den Onboarding-Terminen werden auch die Bedarfe, Erwartungen und Anforderungen der identifizierten Akteure in Fokusgruppen diskutiert (z.B. Bewohnende und Fachkräfte). Die Ergebnisse dieser qualitativen Erhebungen dienen wiederum den Technikpartnern als eine Grundlage zur Definition der Anwendungsszenarien des AR, womit zugleich verhindert wird, dass defizitorientierte Fremdzuschreibungen die Szenarien und den AR-Einsatz bestimmen.

Während der Erprobungsphase des AR-Einsatzes soll der Frage nachgegangen werden, welche ethischen Leitplanken sich für die getesteten AR-Einsatzmöglichkeiten ableiten lassen. Hierzu soll ein mehrtägiger MEESTAR-Workshop mit allen Beteiligten (Konsortium, teilnehmende Bewohnende, involvierte Fachkräfte) und externer Moderation durchgeführt werden. Mittels MEESTAR lassen sich sieben zentrale ethische Dimensionen (Sicherheit, Privatheit, Autonomie, Fürsorge, Gerechtigkeit, Selbstverständnis und Teilhabe) hinsichtlich ihrer Bedenklichkeit auf Mikro-, Meso- und Makroebene strukturiert reflektieren Manzeschke et al. 2013. Weitere wesentliche Dimensionen, die der Deutsche Ethikrat in seiner Stellungnahme zu „Robotik für gute Pflege“ für den Bereich der assistiven Pflegerobotik definiert hat, wie z. B. Wohl, Identität, Selbstbestimmung, werden zugleich als Schablone für die Zielrichtung unseres Kompetenzzentrums mit nicht-primär pflegerischen Bedarfen übertragen Ethikrat 2020. Komplementierend können weitere Reflexionsmethoden wie Ethics Canvas oder Action Sheets eingesetzt werden. Parallel zur Nachbereitung des MEESTAR-Workshops werden zusätzliche vertiefende qualitative Interviews mit Bewohnenden geführt, die die Auswirkungen des AR-Einsatzes auf das Zusammenleben im MGW fokussieren. Auch die Nachbearbeitungsphase des MEESTAR-Workshops wird regelmäßig im Konsortium diskutiert, um eine iterative Einbindung der ELSI-Reflexion in die laufenden Arbeiten des Kompetenzzentrums zu garantieren. Insgesamt ergeben sich folgende übergreifende ELSI-Fragen:

1. Welche Chancen, Risiken aber auch Anforderungen und Bedarfe lassen sich für einen AR-Einsatz im häuslichen Bereich ableiten?
  - a. Welche Bedarfe, Erwartungen und Anforderungen haben die identifizierten Akteure (z. B. Bewohnende, Fachkräfte MGW) an den AR-Einsatz? Welche

- Einsatzszenarien lassen sich davon ableiten?
- b. Welche ethischen Leitplanken lassen sich für den AR-Einsatz im häuslichen Bereich aus der Erprobungsphase ableiten?
2. Welche Auswirkungen hat der AR-Einsatz auf das Zusammenleben im MGW? Wie entwickelt sich die soziale Teilhabe bzw. wechselseitige soziale Unterstützung in der Nachbarschaft durch den AR-Einsatz?

Für die Bewertung der ethischen Implikationen kann und soll zudem bei Bedarf analog zu früheren gemeinsamen Forschungsprojekten auf die Ethik-Kommission der Universität Ulm zugegangen werden

Des Weiteren werden unter Leitung von TWT im Rahmen des Aufbaus von R-ITUAL die Themen Datenschutz und Gesetzgebung fortwährend verfolgt. Während ersteres bereits innerhalb der Konzeptphase 1 durch z.B. den TWT-Datenschutzbeauftragten geprüft wird, stellt die Gesetzgebung und mögliche neue Vorschriften vor allem für die späteren Phasen bzw. für die Weiterführung des Kompetenz-Zentrums nach R-ITUAL ein Risiko dar, dem durch entsprechende Anpassung der Methoden und Datenerhebungen begegnet werden muss.

### 11.3.3 Eigenevaluation

Hinsichtlich der interindividuellen Unterschiede wird in R-ITUAL literaturgeleitet ein Rahmenmodell der psychologischen Wirkung nutzeradaptiver AR erstellt und in einen Kriterienkatalog mit subjektiver und objektiver Evaluationsmetriken überführt. Die gesammelten MRI-Strategien werden empirisch evaluiert. Hierbei wird insbesondere die Adaption der MRI auf Nutzerzustände adressiert.

## 11.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

### 11.4.1 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten

Mit den erarbeiteten Leitlinien und Ergebnissen können zukünftige Projekte begleitet und der Diskurs zur Bewältigung methodischer, ethischer, rechtlicher und sozialer Herausforderungen im Bereich der AR vorangebracht werden. Die Ergebnisse können



in weitere Anwendungsdomänen transferiert werden. Durch die intensiven Nutzerstudien wird ein wissenschaftlicher Mehrwert hinsichtlich der Weiterentwicklung von Evaluationsmethoden, -metriken und Benchmarks erzielt. Die Erkenntnisse werden sowohl in laienverständlichen als auch in wissenschaftlichen Formaten publiziert. Alle Projektpartner planen, Mitarbeiter und Studenten in Form von Abschlussarbeiten in die Forschungsaktivitäten einzubeziehen.

Ferner wird das **IGVP** die Ergebnisse bspw. über den Ausschuss „*Alter und Technik*“ der Deutschen Gesellschaft für Gerontologie und Geriatrie e. V. auch in die Arbeiten der Fachgesellschaft einfließen lassen. Zudem ist ein Transfer in Lehrveranstaltungen in den Studiengängen Pflege und Soziale Arbeit geplant, um zukünftige Fachkräfte auf einen reflektierten Einsatz von Assistenzrobotik im Mehrgenerationenwohnen vorzubereiten.

Das **IKI** plant einen umfangreichen Wissenstransfer über Fachkonferenzen und Fachpublikationen, sowie Industriepartner. Eine Integration des Forschungsprojekts in die Hochschullehre (z.B. in die Vorlesung “Autonome Mobile Robotik” des IKI, Seminararbeiten, Abschlussarbeiten) und ggfs. eine Betreuung von Promotionsarbeiten. Ebenfalls wird durch eine breite Öffentlichkeitsarbeit zur Verbreitung der Forschungsergebnisse beigetragen.

Die **UUHF** wird die Forschungsergebnisse in Artikeln in renommierten Fachzeitschriften (auch Open Access) und in Beiträgen auf wissenschaftlichen Konferenzen publizieren. Des Weiteren wird die wissenschaftliche Verwertung der Projektergebnisse durch die Öffentlichkeitsarbeit der Einrichtung gewährleistet. Im Rahmen des Projekts erhalten Mitarbeiter und Studenten die Möglichkeit Qualifikationsarbeiten (Dissertationen, Master- und Bachelorarbeiten) anzufertigen. Durch die intensiven Nutzerstudien entsteht ein erheblicher wissenschaftlicher Mehrwert. Darüber hinaus wird ein Transfer der Ergebnisse in die Lehre angestrebt. Die Erkenntnisse die im Rahmen des Projekts gewonnen werden können auch in andere Anwendungsdomänen transferiert werden.

Auch das **DFKI** wird die im vorliegenden Vorhaben erarbeitete Ergebnisse in Zeitschriften, auf nationalen und (internationalen) Konferenzen sowie auf Workshops veröffentlicht und in der Öffentlichkeitsarbeit des Unternehmens vorgestellt. Studenten und wissenschaftliche Mitarbeiter werden projektbezogenen Themen im Rahmen von Master-, Bachelor und Dissertationsarbeiten weiter bearbeiten. Durch die Ergebnisse des Projekts wird DFKI weitere Erkenntnisse über die Wirksamkeit von sozialer verbaler Kommunikation gewinnen. Vor allem die Ausweitung der Untersuchungen auf verschiedene Altersgruppen und die sich ergebenden Unterschiede in der Perzeption der getroffenen Maßnahmen sind äußerst interessant und von großer wissenschaftlicher Bedeutung.

**Anmerkung zur Einreichung des Vorhabens auf EU-EBENE:** Prinzipiell ist es denkbar, das Vorhaben R-ITUAL auch auf EU-Ebene ergänzend oder im Sinne eines Alternativantrags einzureichen. Mehrere Partner prüfen aktuell zumindest die Einreichung von unabhängigen, wenn auch verwandten Teilaspekten in geeigneten Forschungsvehikeln. Ob allerdings das Projekt R-ITUAL als Ganzes in ähnlicher Form auf EU-Ebene erfolgreich darstellbar ist, ist aktuell noch in einer frühen Prüfungsphase und könnte erst nach entsprechendem Vorlauf durch das Konsortium entschieden werden.

### 11.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Aufgrund der Praxisnähe des Projekts ist es ein vglw. kleiner Schritt zur Kommerzialisierung, welche durch regelmäßiges Vorstellen der antizipierten Ergebnisse und damit in enger Zusammenarbeit mit Anwendungspartnern verfolgt wird.

**TWT GmbH** pflegt und erweitert entsprechende Kontakte im städtischen Wohnumfeld, unter den Herstellern von AR und verwandter autonom navigierender Systeme sowie in der Pflege und im Gesundheitswesen. So wird TWT während R-ITUAL ihren Kundenkreis erweitern, ihn bei der Entwicklung von adaptiven AR beraten und technisch unterstützen. TWT sieht sich dabei gleichzeitig als Treiber/Enabler als auch als Dienstleister für Methoden- und SW-Implementierung. Notwendige HW und robotische Fachkompetenzen wird TWT im Sinne des zukünftigen Kompetenzzentrums in Rahmen von Unteraufträgen oder Partnerschaften einbinden. Aufgrund des bereits

großen Partner-Netzwerks von TWT im relevanten Umfeld ergeben sich vergleichsweise hohe wirtschaftliche Erfolgsaussichten. Zum Aufbau eines tragfähigen Business Models für das Kompetenzzentrums, der Identifikation notwendiger Ressourcen, der Definition geeigneter Partner und Use-Cases sowie der Weiterführung des Kompetenzzentrums als rechtliche Einheit wird TWT im Rahmen von Arbeitspaket 1 mindestens einen moderierten Workshop mit Partnern und eingeladenen TWT-Beratungsexperten mit langjähriger Erfahrung im Thema für die Konzeption einer “Business Model Canvas” über 2 bis 3 Tage organisieren. Ziel ist die Definition folgender neun Elemente, die auf dem etablierten Modell Osterwalder et al. 2005 aufsetzen: Schlüsselpartner, Schlüsselaktivitäten, Schlüsselressourcen, Wertangebote, Kundenbeziehungen, Kanäle, Kundensegmente, Kostenstruktur, Einnahmequellen. Die Ergebnisse des Workshops werden im Anschluss durch einen zugeordneten TWT-Manager kontinuierlich verfolgt und mit dem Kompetenz-Zentrum weiterentwickelt.

Die **Hochschule Ravensburg Weingarten (RWU)** strebt als öffentlich Einrichtung keine wirtschaftliche Verwertung seiner Forschungsergebnisse an. Spätere Umsetzungen von Use Cases durch das Kompetenzzentrum können aber über ein bereits vorhandenes Steinbeis Transferzentrum abgebildet werden.

Das **DFKI** als gemeinnützige Forschungseinrichtung strebt selber grundsätzlich keine wirtschaftliche Verwertung seiner Forschungsergebnisse an. Entsprechende Ergebnisse werden stattdessen in Kooperation mit dedizierten Wirtschaftspartnern (in Verbundprojekten oder in direkter Beauftragung) oder über Ausgründungen in die wirtschaftliche Verwertung überführt. Das DFKI steht dabei im genannten Rahmen seiner Verwertungsstrategie einer gemeinnützigen Forschungseinrichtung als Partner zur Verfügung.

Als assoziierter Partner strebt die **HaNeuer Wohnen** eine direkte Verwertung der R-ITUAL Ergebnisse und Erfahrungen an. Verbesserte Assistenzrobotik eröffnen neue Wege bedarfsgerechter Versorgungskonzepte. Die Lebensqualität wird verbessert, passfähige Wohnkonzepte können erstellt werden und somit der Autonomieerhalt im Alter länger sichergestellt werden. Diese können folglich eine positivere Vermietungsbilanz aufweisen, da durch unterstützende Angebote und Hilfeleistungen Menschen länger und selbstbestimmt in der eigenen Wohnung verbleiben können.

### 11.4.3 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Neben dem integrierten System ist eine Einzelvermarktung der einzelnen Teile des Systems zur Übertragung in andere Anwendungsgebiete möglich. Denkbar ist zum Beispiel eine Nutzung des Onboardings für den eLearning-Bereich. Außerdem, die erarbeiteten Methoden zur Implementierung und automatisierten Validierung der Sicherheitstechniken für AR können generalisiert auf kollaborierende Roboter für verschiedene Anwendungsbereiche angewendet werden.

**TWT GmbH** plant, das Kompetenzzentrum im Rahmen einer geeigneten Organisationsform (z.B. UG, GmbH, Tochtergesellschaft) als Zentrumsleiter weiter zu führen. Neben den Partnern aus R-ITUAL können hierbei auch neue Partner hinzu kommen, z.B. Hersteller für intelligente Rollatoren. Prinzipiell ergeben sich für TWT 2 Hauptanwendungsfelder, die mit einem Horizont von ca. 3 Jahren nach Ende von R-ITUAL im Rahmen einer kommerziellen Anwendung am Markt etabliert werden sollen:

- a) Mensch-Roboter-Interaktion (MRI): Die erarbeiteten Ergebnisse zur MRI haben Allgemeingültigkeit und lassen sich auf viele Domänen übertragen, in denen Menschen und Roboter langfristig kooperieren sollen.
- b) Autonome Navigation robotischer oder transportierender Systeme im städtischen und häuslichen Kontext, sowohl privat wie auch im öffentlichen Sektor.

TWT wird die Ergebnisse als Anknüpfungspunkt für bestehende sowie als Basis für neue UX-Kundenprojekte mit OEMs im Kontext von Roboter- und Medizintechnik-Produkten, in zweiter Instanz auch im Fahrzeug- und Produktionskontext verwenden. Auch Teilergebnisse (z.B. Erkenntnisse über die sprachbasierte MRI) können in andere Anwendungen wie virtuellen Verkaufsflächen oder der Kommunikation zwischen Menschen und autonom fahrenden Vehikeln integriert werden. In diesem Sinne wird TWT GmbH bereits während der Laufzeit von R-ITUAL einen Demonstrator für einen mobilen Virtual Showroom entwickeln, der zur Vermarktung der gewonnenen Erkenntnisse, aber auch das Potenzial für den Transfer auch verwandte Bereiche aufzeigen soll. Ziel dieses Virtual Showrooms wird es sein, die Vorteile für neue und bestehende Kunden aufzuzeigen sowie neue Partner, HW-Hersteller, Projekte und Folgeprojekte zu gewinnen. Im Allgemeinen wird das Projekt R-ITUAL das Angebot von TWT in Bezug auf Produkte oder Dienstleistungen erweitern. Es wird erwartet, dass aus der Forschungs- und Entwicklungsarbeit innerhalb 2 Jahren nach Projektende

bis zu 3 Kundenaufträge akquiriert werden können. Der erwartete Umsatz beträgt 3 Jahre nach Projektende mit verwandten Technologien etwa 240.000 Euro.

**EK-Automation** wird zudem die Ergebnisse des Projektes in die Weiterentwicklung der eigenen Transport- und Assistenzroboter einfließen lassen. Es ist beabsichtigt, den im Projekt eingesetzten Roboter weiterzuentwickeln zu einem vielfältig einsetzbaren Assistenzsystem für verschiedene Einsatzgebiete, beispielsweise für Hotels, Flughäfen oder Reha-Kliniken. Die erarbeiteten Methodiken zur Implementierung und automatisierten Validierung der Sicherheitstechniken für AR sollen generalisiert auf kollaborierende Roboter für verschiedene Anwendungsbereiche angewendet werden, z.B. bei Cobots auf mobilen Plattformen für Montagetätigkeiten in der Industrie.

## 11.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

### 11.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Als mittelständische Unternehmen transferiert **TWT GmbH Science & Innovation** seit 1986 wissenschaftliche Expertise aus Forschungsprojekten (FP) vor allem in die Automobilindustrie. Bzgl. R-ITUAL hervorzuheben sind die FP F-RELACS Pape et al. 2020 (BMBF) und AutoAkzept Drewitz et al. 2019 (BMVi) sowie das EU-FP HoliDes. Darin entwickelt TWT empathische Assistenten fürs Fahrzeug, die über Methoden des Maschinellen Lernens (ML) negative Nutzerzustände (Unsicherheit, Frustration) erkennen und diese durch adaptive sprach- oder displaybasierte Interaktionsstrategien reduzieren, um die Nutzererfahrung (UX) zu verbessern. Diese inhaltliche Expertise zu nutzeradaptiver Technik, die bestehende erfolgreiche Zusammenarbeit mit Teilen des Konsortiums (z.B. BMBF RABE Hönig et al. 2019, BMBF ERTRAG Reichold et al. 2018), wie auch Erfahrung in der FP-Konsortialführung qualifiziert TWT zur Leitung des Kompetenzzentrums (KPZ) in R-ITUAL.

Eine Liste weiterer relevanter Publikationen der TWT befinden sich im Anhang, siehe Ihme et al. 2021, Oehl et al. 2019, Borchers et al. 2015a,b,c.

---

<sup>1</sup> soweit öffentlich publizierte Information

### 11.5.1.0.1 Relevante Projekte

1. **HoliDes:** HoliDes adressierte die Entwicklung und Qualifikation eines einer adaptiven und kooperativen Mensch-Maschine System, indem Mensch und Maschine gemeinsam kooperativ und hoch adaptiv zusammen wirken um das flüssige und kooperative Erreichen einer Aufgabe zu garantieren. Ein zentraler Faktor war die angemessene Rückmeldung an den Nutzer in Abhängigkeit von seiner situationsabhängigen Belastung und Fähigkeiten. Hierfür entwickelte TWT einen Klassifikator des kognitiven Zustandes.
2. **AutoAkzept:** In diesem Projekt erfolgte die Entwicklung eines empathischen Assistenten fürs autonome Fahren zur Verbesserung der User Experience, der Akzeptanz und des Vertrauens. Hierzu wurde der Nutzerzustand erfasst, analysiert und die Mensch-Maschine-Interaktion via Display-HMI adaptiert.
3. **Frelacs:** In Frelacs wurde durch die Implementierung eines empathischen Assistenten im Fahrzeug die Frustration des Nutzers verringert und seine User Experience erhöht. Hierfür wurde einerseits der Nutzerzustand detektiert und anschließend die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug entsprechend moduliert.
4. **Ertrag:** Im Projekt wird ein virtueller Ergonomietrainer entwickelt, welcher das individuelle Erlernen von ergonomisch korrekten Bewegungsabläufen in der Pflege unterstützt. Durch Sensorsysteme wird die Ausführung von Pflege Tätigkeiten ergonomisch geschulter Experten aufgezeichnet.
5. **RABE:** in RABE wurde ein teil-autonom fahrender, intelligenter Rollator entwickelt, um die Autonomie und Sicherheit älterer Menschen in Pflege-Einrichtungen zu gewährleisten.
6. **SAVE:** in SAVE wurde die Sicherheit und Optimierung autonomer Mobilität am Beispiel von Ingolstadt erforscht. Hierfür kam u.a. TWT TRONIS(R) als virtuelle photorealistische 3D-Simulationsumgebung zum Einsatz.
7. **Integrate-Apps bei einem Automotive OEM:** Entwicklung von 8 verschiedenen Apps für die Automatisierung des Entwicklungsprozesses parallel seit 2018 von der User-Analyse, UI-Design anhand Klick-Prototypen, agiler Implementierung über Scrum, Testing und Rollout bis hin zur Wartung.

**EK AUTOMATION** ist ein führender Hersteller fahrerloser Transportsysteme. EK verfügt über viel Erfahrung bei der Entwicklung autonomer mobiler Roboter sowie der Implementierung von Normen u. Standards zur Sicherheit von Robotersystemen. EK verfügt z.B. über ein eigenes Verfahren zur 3D-Umgebungserkennung und -analyse Buck et al. 2017. Ihren interaktiven Roboter wird EK als offenes System zur Verfügung stellen.

Das **Institut für Künstliche Intelligenz (IKI)** (Prof. Dr. M. Schneider) der Hochschule Ravensburg-Weingarten (RWU) bringt über 20 Jahre Erfahrung mit Anwendungen des ML u.a. im Robotik- und Medizinbereich mit. Ein Schwerpunkt ist die autonome AR. In praxisnahen FP wie AsRoBe Weber-Fiori et al. 2017, RABE Bonenberger et al. 2019 und ERTRAG Agrawal and Ertel 2018 wurden bereits diverse Assistenzsysteme entwickelt und getestet. In RobotKoop arbeitet das IKI am Transfer bestehender Fähigkeiten auf eine kommerzielle AR-Plattform sowie der Entwicklung von ML zur Situationsanalyse. Das IKI beschäftigt sich außerdem mit Fragen zur Nachhaltigkeit von KI und autonomen Systemen.

Ein Auszug weiterer relevanter Publikationen des IKI der RWU sind Reichold et al. 2018, Agrawal and Ertel, Cubek et al. 2015, Ertel et al. 2014.

### 11.5.1.0.2 Relevante Projekte

1. ZAFH - Servicerobotik: Das ZAFH Autonome Mobile ServiceRoboter ist ein vom Land Baden-Württemberg gefördertes Projekt zur Entwicklung von intelligenten mobilen Servicerobotern. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz ermöglicht es das Verhalten von Servicerobotern zu lernen, wodurch sich diese adaptiv an ihre Umgebung anpassen können. Weiter beschäftigt sich das Projekt mit der Verifikation von Sicherheitseigenschaften bei autonomen Robotern.
2. RABE: Speziell für die stationäre Langzeitpflege wird ein intelligenter Rollator entwickelt, welcher sowohl die Pflegekräfte entlasten, als auch den Bewohnern der Pflegeheime ein autonomeres Leben ermöglicht.
3. AsRoBe - Assistenzroboter für Menschen mit körperlicher Behinderung: Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels wird untersucht, ob mobile Serviceroboter für Menschen mit körperlicher Behinderung eine Hilfe sein können.
4. ERTRAG: Entwicklung und Erprobung eines intelligenten Ergonomietrainers für die Pflegeausbildung

Die **Abt. Human Factors** (Prof. Dr. M. Baumann) der UU befasst sich mit der psychol. Perspektive auf die MRI. Foki sind dabei u.a. kooperative Interaktion, multimodale Benutzerschnittstellen, Vertrauen, Akzeptanz sowie psychologischen Grundlagen menschlichen Verhaltens in der MRI. Neben RobotKoop, in der sie ein psychologisches Rahmenmodell der MRI entwickelt, ist sie in weiteren BMBF- und EU-Projekten aktiv. Die Abteilung **Human Factors der Universität Ulm** (Prof. Dr. Martin Baumann) beschäftigt sich mit der Interaktion von Menschen mit Technik. Ziel ist es, auf Basis empirischer Ergebnisse und psychologischer Theorien, Gestaltungskonzepte zu entwickeln und evaluieren. Die Abteilung trägt durch Kooperationsprojekte dazu bei, psychologische Theorie in die praktische Entwicklung von Technik einzubringen. Prof. Baumann war/ist in einer Reihe von öffentlich geförderten Projekten aktiv und führend tätig, in den BMBF-Projekten RobotKoop, KoFFI, oder in den EU-Projekten interactIVe, D3CoS und AutoMate. Hierbei wurden im Projekt RobotKoop zur Entwicklung von kooperativen Interaktionsstrategien bereits Vorerfahrung gesammelt hinsichtlich der Nutzerakzeptanz - und vertrauen Miller et al. 2021, Kraus et al. 2020 bezüglich unterschiedlicher robotischer Interaktionsstrategien im Alltag (z.B. Robotervorstellung bei Erstkontakt Miller et al. 2020, Dialogführung Babel et al. 2021a und Konfliktlösung Babel et al. 2021b).

Das **Institut für Gerontologische Versorgungs- und Pflegeforschung (IGVP, Prof. Dr. M. H.-J. Winter)** der RWU forscht seit vielen Jahren u.a. zu ELSI-Aspekten sozio-technischer Systeme und den Konsequenzen des Technikeinsatzes im Pflege- und Gesundheitsbereich mittels partizipativer Forschung. Die Arbeitsgruppe war bereits in zahlreichen FuE-Projekten durch die Mitarbeit in den folgenden Bereichen vertreten: Assistenzrobotik für Menschen mit Beeinträchtigungen (AsRoBe), Geruchssensorik in der professionellen Pflege (SensOdor), virtueller Ergonomietrainer für die Pflegeausbildung (ERTRAG), intelligente Rollatoren für Bewohner\*innen der langzeitstationären Pflege (RABE) sowie für Menschen mit Blindheit und Sehbehinderung (ZAFH-AAL). Darüber hinaus begleitete das IGVP die (Weiter-)Entwicklung und war federführend zuständig für die Evaluation diverser AAL-Sicherheitssysteme und IKT-Technologien für das Alter(n) in großen Verbundprojekten (ZAFH-AAL, IBH Living Lab). Im trilateralen Verbundprojekt IBH Living Lab oblag dem IGVP ferner die Rolle der ELSI-Reflexion sowie die Koordination der Erarbeitung eines partizipativen Evaluati-



onskonzeptes für Feldtests in unterschiedlichen Settings und die Organisation eines extern moderierten MEESTAR-Workshops. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt im IGVP stellen zukunftsgerichtete Forschungsaktivitäten für die pflegerische Versorgung der Bevölkerung im Zeichen des demografischen Wandels dar. Das IGVP kooperierte bereits mehrfach erfolgreich in Drittmittelprojekten mit der TWT und dem IKI.

Im Anhang befindet sich ein Auszug relevanter Publikationen des IGVP, siehe Weber-Fiori et al. 2017, Steinle et al. 2021, Steinle et al., Weber-Fiori et al. 2021, Klobucnik et al. 2017.

### 11.5.1.0.3 Relevante Projekte

1. CoCre-HIT: BMBF; 2021–2024: Co-Creation und nachhaltige Partizipation in der Entwicklung hybrider Gesundheits-IT. Begleitforschungsprojekt zur Förderlinie „Hybride Interaktionssysteme für Gesundheit und Pflege auch in Ausnahmesituationen“.
2. RABE: BMBF, 2017–2021: Entwicklung eines intelligenten Rollators für die langzeitstationäre Pflege zur Entlastung der Pflegekräfte sowie der Steigerung der Lebensqualität der Bewohnenden.
3. Living Lab „Active Assisted Living: Internationale Bodensee Hochschule, 2016–2021: Entwicklung und Erprobung diverser AAL-Lösungen für das Alter(n) und die Ermöglichung eines längeren Verbleibs in der eigenen Häuslichkeit.
4. ERTRAG: BMBF; 2016–2019: Entwicklung und Erprobung eines intelligenten Ergonomietrainers für die Pflegeausbildung
5. ZAFH-AAL: MWK Baden-Württemberg & EFRE, 2012–2017: Co-Creative Entwicklung assistiver Systeme und Technologien zur Sicherung sozialer Teilhabe für Menschen mit Hilfebedarf
6. SensOdor: BMBF, 2013–2016: Im Teilvorhaben GEPPV wurde ein Geruchssensor für die langzeitstationäre Pflege entwickelt, um die Inkontinenzversorgung der Bewohnenden durch die Pflegenden zu optimieren.
7. AsRobe: Baden-Württemberg Stiftung, 2013–2016: Entwicklung und Erprobung eines mobilen Assistenzroboters für Menschen mit körperlicher Behinderung.

Der **Forschungsbereich „Sprachtechnologie und Multilingualität“ (MLT)** des **DFKI** besitzt ausgedehnte Expertise in den Bereichen der verbalen und non-verbalen

Mensch-Roboter-Kommunikation in einer Vielzahl von Indoor- und Outdoor-Szenarien. Dabei spielt situierter Dialog, d.h. Dialog, bei dem die Partner sich gegenseitig in der Situation verorten und sich mit sprachlichen Mitteln darauf beziehen, eine große Rolle. Weitere Schwerpunkte sind Aspekte der sozialen und personalisierten Kommunikation: adäquat auf den Gesprächspartner einzugehen und die Kommunikationsweise an das Gegenüber anzupassen. Relevante Vorarbeiten für die Verarbeitung situierter sprachlicher Interaktion und Durchführung von Mensch-Roboter Dialog sind in einer Reihe von BMBF und EU Projekten entstanden.

Relevante Publikationen des DFKI sind Kiefer et al. (2021), Kiefer and Willms (2020), Neerinx et al. (2019), Coninx et al. (2016), Cuayáhuitl et al. (2014), Belpaeme et al. (2012), Krieger and Willms (2015), Cuayáhuitl et al. (2014), McLeod et al. (2019) (siehe Anhang).

### **11.5.1.0.4 Auszug relevanter Projekte:**

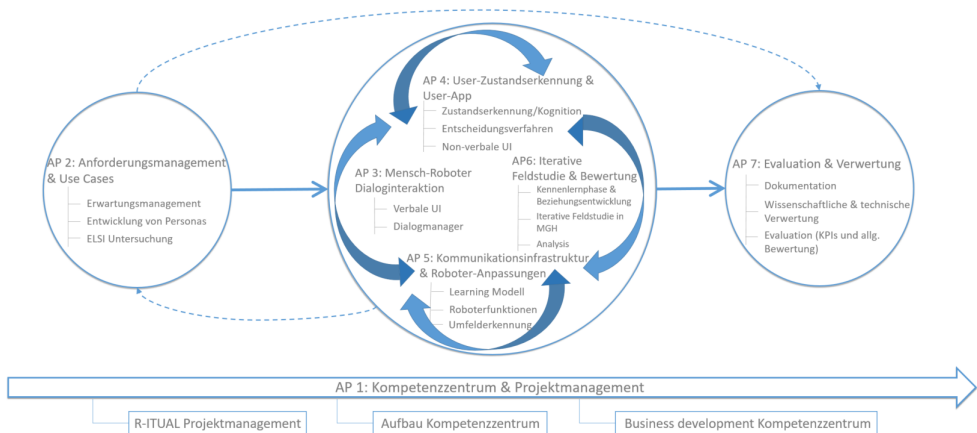
1. HySociaTea (BMBF): Das Projekt HySociaTea (Hybrid Social Teams for Long-Term Collaboration in Cyber-Physical Environments) realisierte und untersuchte die Zusammenarbeit von technologisch unterstützten Menschen mit autonomen Robotern, virtuellen Avataren und Softbots, die zusammen in einem Team gemeinsame Aufgaben lösen sollen.
2. Aliz-E - Adaptive Strategies for Sustainable Long-Term Social Interaction (EU): Das ALIZ-E Projekt hat neue Methoden erarbeitet, die die Entwicklung und das Testen von interaktiven Robotern ermöglichten, die an sozialen Interaktionen mit menschlichen Benutzern über eine längere Zeitspanne, d.h. eine möglicherweise diskontinuierliche Sequenz von Interaktionen, die auf vorherigen Erfahrungen Bezug nehmen und auf sie aufbauen, teilnahmen.
3. PAL - Personal Assistant for Healthy Lifestyle (EU): Das übergeordnete Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Persönlichen Assistenten für einen gesunden Lebensstil (PAL), ein System, das Kinder, Angehörige der Gesundheitsberufe und Eltern dabei unterstützt, die Selbstverwaltung von Kindern mit Typ-1-Diabetes im Alter von 7 - 14 Jahren voranzutreiben, so dass bereits vor der Adoleszenz eine angemessene gemeinsame Verantwortung des Patienten und des Betreuers für die Diabetesbehandlung des Kindes festgelegt wird. PAL bethet aus einem sozialen Roboter, seinem (mobilen) Avatar und einem erweiterbaren

Satz von (mobilen) Gesundheitsanwendungen, die alle mit einem gemeinsamen Wissensbasis- und Argumentationsmechanismus verbunden sind.

4. INTUITIV (BMBF): Ziel des Projektes ist zu untersuchen, wie Intentionen eines Roboters von Menschen verstanden werden können durch antizipierbare Pfadwahl in Kombination mit ikonischer und sprachlicher Kommunikation, so dass das Unbehagen wegen Unsicherheit hinsichtlich der Aktionen eines Roboters minimiert wird.

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

Ein wesentlicher Schwerpunkt des R-ITUAL-Projekts ist die kontinuierliche Verbesserung des Verständnisses von Erwartungen und Akzeptanz der AR bei den verschiedenen Anwendern durch einen iterativen Beobachtungsprozess. Um dies zu erreichen, ist es notwendig, dass die soziologischen und technischen Aspekte miteinander kommunizieren. Dies wird durch einen kontinuierlichen Informations- und Wissensaustausch während des Projekts zwischen den verschiedenen Partnern des Konsortiums erreicht. Die folgende Grafik zeigt den Arbeitsprozess und die Verbindungen zwischen den verschiedenen Partnern.



**Abbildung 11.5:** AP1: Kompetenzzentrum & Projektmanagement.

Die Abbildung zeigt die Funktionskette von R-ITUAL. Das Projektmanagement wird durch TWT gewährleistet (AP1). IGVP und UU HF arbeiten gemeinsam, mit Unterstüt-

zung der anderen Partner (Feedback bei technischen Fragen), an den Anforderungen und Use Cases unter Einbeziehung von ELSI (AP2). Die Mensch-Roboter Interaktion (AP3), die Zustandserkennung und UX (AP4) sowie die AR (AP5) werden durch ein kontinuierliches Feedback aus AP2 und AP6, als iterativer Prozess, von den jeweiligen Partner angepasst und weiterentwickelt. Auf dieser Weise, wird ein kontinuierlicher Austausch zwischen allen Partnern benötigt und ermöglicht. In AP6 werden die iterativen Feldstudien in den Mehrgenerationenhäusern durch IGVP, UU HF und allen anderen Partnern durchgeführt. Die Ergebnisse von AP2 bis AP6 werden durch alle Partnern integriert und evaluiert (AP7). Ziel ist dadurch den Einfluss eines langzeitigen Einsatz von AR auf der Akzeptanz der Menschen zu quantifizieren.

### 11.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

**HaNeuer Wohnen eG** ist ein großes Wohnungsunternehmen in Halle (Saale), betreut und moderiert neben dem eigentlichen Wohnen auch das zwischenmenschliche Zusammenleben, insbesondere im Zusammenhang mit der älteren Bevölkerung, deren Anteil am Gesamtbestand stark zugenommen hat und weiter wächst. Die Thematik Pflege und Gesundheit ist für diese Bevölkerungsgruppe sehr wichtig, betrifft jedoch die gesamte Bevölkerung. Mit starker Unterstützung des Ministerpräsidenten und der Landesregierung von Sachsen-Anhalt betreiben wir gemeinsam mit anderen Partnern erfolgreich ein einzigartiges Pilotprojekt, mit dem Ziel, die älteren Menschen so lange wie möglich in den eigenen Wohnungen leben zu lassen und die Kosten des Einzelnen, aber auch die Finanzierbarkeit des Gesamtsystems positiv zu beeinflussen. Digitalisierung und zwischenmenschliche Interaktion (generationsübergreifend) sind zentrale Elemente und werden durch uns befördert und moderiert.

HaNeuer wird im Rahmen der Praxiserprobung in Phase 2 (und vorbereitend in Phase 1) über zwei Jahre verteilt die Räumlichkeiten im Mehrgenerationenhaus in Thüringen sowie speziell im Rahmen der 4 Vor-Ort-Test-Blöcke zu je maximal 1 Woche sowie in adäquaten Zeiträumen davor und danach die relevante Infrastruktur und notwendiges organisatorisches Personal zur Verfügung stellen sowie zielgerichtet an der Auswertung und Folgeplanung des Kompetenzzentrums teilnehmen.

### Lebensphasenhaus (Uni Tübingen)

Das interdisziplinäre Team des LebensPhasenHauses (LPH), das sich aus Beschäftigten der Eberhard Karls Universität Tübingen (EKUT) sowie des Steinbeis Transferzentrum Soziale und Technische Innovation (STSTI) zusammensetzt, ist ein Ort für Forschung, Demonstration und Wissenstransfer zum Thema selbstbestimmtes Wohnen im Alter. Das LPH ist auch Teil der Innovationsstrukturen des Landeskompetenzzentrums Pflege & Digitalisierung Baden-Württemberg, und bietet somit den Raum für Innovation und den Zugang zu den Akteuren rund um das Thema Pflege sowie den anschließenden Ökosystemen. Neben aktiven beispielhaften Projekten wie ExoHaptik:Pflegekraft (BMBF) und Expertise 4.0 (BMAS) fokussiert das LPH auf den Austausch und das “Miteinander Gestalten” im Kontext der Pflege und dem selbstbestimmten Wohnen. Das LPH begleitet und moderiert die Durchführung der innovativen Partizipationsformate und unterstützt bei der Auswertung dieser.

Das Lebensphasenhaus der Universität Tübingen wird im Rahmen der Vorerprobung in Phase 1 im ersten Jahr für maximal 1 Woche Muster-Räumlichkeiten für kontrollierte, planbare Anforderungsanalysen und Funktionstests sowie in adäquaten Zeiträumen davor und danach die relevante Infrastruktur, notwendige Propanden und Betreuer zur Verfügung stellen sowie zielgerichtet an der Konzeption des Kompetenzzentrums teilnehmen.

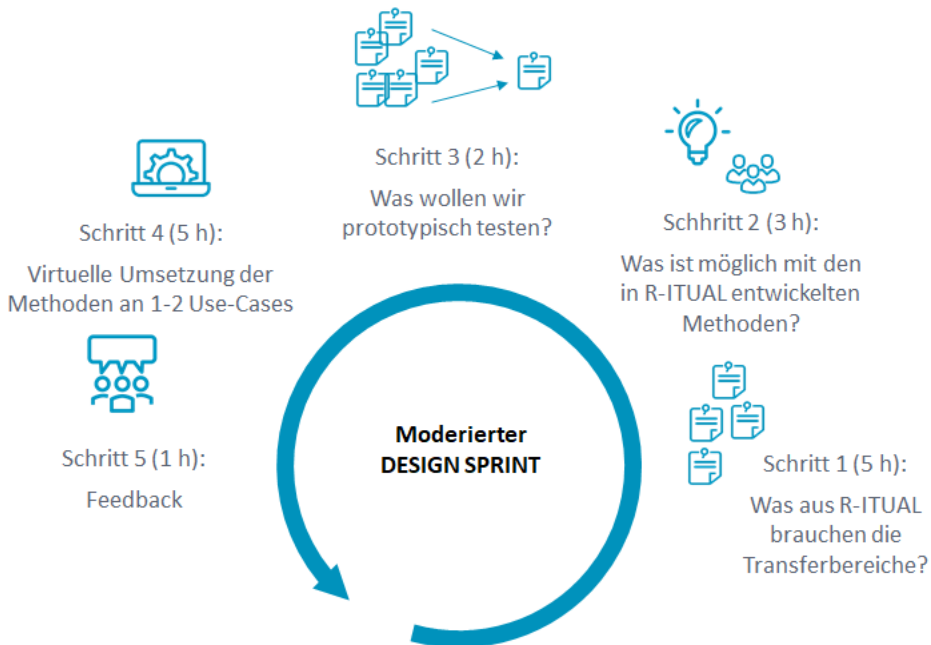
### 11.5.4 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Im Rahmen des Kompetenzzentrums R-ITUAL steht die altersübergreifende Analyse der Akzeptanz von AR im häuslichen Umfeld im Vordergrund. Zwei wesentliche Ergebnisse daraus, die auch eine hohe Relevanz für andere Bereiche rund um das Transferprojekt haben, sind:

- die Art und Weise, wie ein Roboter im häuslichen, privaten Umfeld auf Menschen zugeht und mit ihnen interagiert, um seine Akzeptanz im alltäglichen Leben zu optimieren;
- entsprechende intelligente Algorithmen und Modelle, die eine verbale oder non-verbale Kommunikation ermöglichen und an die individuellen Bewohner anpassen.

Im Rahmen eines moderierten Workshops soll im Jahr 2024 für die beiden obigen Aspekte in Form eines Design Sprints eine Applikation der Ergebnisse auf verwandte Bereiche im Transferprojekt RimA evaluiert werden. Diese Design Sprints bestehen aus folgenden Teilnehmern: 1 Moderator von TWT, 2 Fach-Experten aus dem Kompetenzzentrum R-ITUAL, bis zu 6 Fach-Experten aus anderen Bereichen mit Bezug zum Transferprojekt, optional gerne ein Vertreter des Förderträgers.

Der Ablauf der Design Sprints gestaltet sich wie folgt in 5 Schritten über 2 Tage:



**Abbildung 11.6:** Moderierter Design Sprint.

Zudem plant TWT die Ergebnisse aus R-ITUAL zusammen mit den Partnern des Kompetenzzentrums in mindestens einer Veröffentlichung (Konferenz / Vortrag) publik zu machen sowie an den weiteren gemeinsamen Aktivitäten des Transferprojekts teilzunehmen. TWT wird hierfür einen Projektleiter zur Verfügung stellen, der die Koordination der Aktivitäten mit dem Transferprojekt übernimmt und aktiv zur Akquise weiterer verwandter Anwendungen beiträgt.

## Literaturverzeichnis

- Carole Adam, Lawrence Cavedon, and Lin Padgham. "hello emily, how are you today?" personalised dialogue in a toy to engage children. In *Proceedings of the 2010 Workshop on Companionable Dialogue Systems, ACL 2010*, pages 19–24. Association for Computational Linguistics (ACL), 2010.
- Aashish Agarwal and Torsten Zesch. German end-to-end speech recognition based on deepspeech. In *KONVENS*, 2019.
- Ankita Agrawal and Wolfgang Ertel. Machine learning based virtual ergonomics trainer in the field of nursing care.
- Ankita Agrawal and Wolfgang Ertel. Automatic nursing care trainer based on machine learning. In *KHD IJCAI*, pages 53–59, 2018.
- Brandon Amos, Bartosz Ludwiczuk, Mahadev Satyanarayanan, et al. Openface: A general-purpose face recognition library with mobile applications. *CMU School of Computer Science*, 6(2):20, 2016.
- Michael Anderson and Susan Leigh Anderson. Machine ethics: Creating an ethical intelligent agent. *AI magazine*, 28(4):15–15, 2007.
- Juan Pablo Arias, Nestor Becerra Yoma, and Hiram Vivanco. Automatic intonation assessment for computer aided language learning. *Speech communication*, 52(3): 254–267, 2010.
- 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, 2021a.
- Franziska Babel, Johannes M Kraus, and Martin Baumann. Development and testing of psychological conflict resolution strategies for assertive robots to resolve human–robot goal conflict. *Frontiers in Robotics and AI*, page 216, 2021b.
- Tony Belpaeme, Paul Baxter, Robin Read, Rachel Wood, Heriberto Cuayáhuatl, Bernd Kiefer, Stefania Racioppa, Ivana Kruijff-Korbayová, Georgios Athanasopoulos,

- Valentin Enescu, et al. Multimodal child-robot interaction: Building social bonds. *Journal of Human-Robot Interaction*, 1(2), 2012.
- Timothy Bickmore, Daniel Schulman, and Langxuan Yin. Maintaining engagement in long-term interventions with relational agents. *Applied Artificial Intelligence*, 24(6): 648–666, 2010.
- Timothy W Bickmore and Rosalind W Picard. Establishing and maintaining long-term human-computer relationships. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(2):293–327, 2005.
- Steven Bird, Ewan Klein, and Edward Loper. *Natural language processing with Python: analyzing text with the natural language toolkit*. Ö'Reilly Media, Inc.", 2009.
- Christopher Bonenberger, Benjamin Kathan, and Wolfgang Ertel. Feature-based gait pattern classification for a robotic walking frame. In *International Workshop on Advanced Analysis and Learning on Temporal Data*, pages 101–109. Springer, 2019.
- Svenja Borchers, Denis Martin, Sarah Mieskes, Stefan Rieger, Cristóbal Curio, and Victor Fäßler. Towards audio-based distraction estimation in the car. 2015a.
- Svenja Borchers, D Schumm, E Ketelaer, and J Laicher. Can usability requirements engineering lead to intuitive usability? REConf, München, 2015b.
- Svenja Borchers, M Thurlings, D Martin, H Hennig, T Zangmeister, and V Victor Fäßler. Detektion der kognitiven Ablenkung des Fahrers aus Videoaufnahmen des Gesichts? Tagungsband 11. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. pp 209-214., 2015c.
- Sebastian Buck, Richard Hanten, Karsten Bohlmann, and Andreas Zell. Multi-sensor payload detection and acquisition for truck-trailer agvs. In *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 718–723. IEEE, 2017.
- J Campos. *MAY: my Memories Are Yours. An interactive companion that saves the users memories*. PhD thesis, Master thesis, Instituto Superior Técnico, 2010.



- Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, and Yaser Sheikh. Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 7291–7299, 2017.
- Po-Chun Chen, Ta-Chung Chi, Shang-Yu Su, and Yun-Nung Chen. Dynamic time-aware attention to speaker roles and contexts for spoken language understanding. In *2017 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU)*, pages 554–560. IEEE, 2017.
- Alexandre Coninx, Paul Baxter, Elettra Oleari, Sara Bellini, Bert Bierman, O Henkemans, Lola Cañamero, Piero Cosi, Valentin Enescu, R Espinoza, et al. Towards long-term social child-robot interaction: using multi-activity switching to engage young users. *Journal of Human-Robot Interaction*, 2016.
- Rylan Conway and Lambert Mathias. Time masking: Leveraging temporal information in spoken dialogue systems. *arXiv preprint arXiv:1907.11315*, 2019.
- Heriberto Cuayáhuítl, Ivana Kruijff-Korabayová, and Nina Dethlefs. Nonstrict hierarchical reinforcement learning for interactive systems and robots. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 4(3):1–30, 2014.
- Richard Cubek, Wolfgang Ertel, and Günther Palm. A critical review on the symbol grounding problem as an issue of autonomous agents. In *Joint German/Austrian conference on artificial intelligence (Künstliche Intelligenz)*, pages 256–263. Springer, 2015.
- Marco De Boni, Alannah Richardson, and Robert Hurling. Humour, relationship maintenance and personality matching in automated dialogue: A controlled study. *Interacting with Computers*, 20(3):342–353, 2008.
- Maartje MA De Graaf and Somaya Ben Allouch. Exploring influencing variables for the acceptance of social robots. *Robotics and autonomous systems*, 61(12): 1476–1486, 2013.
- Ulrich Deinet. Sozialräumliche Konzeptentwicklung und Kooperation im Stadtteil. *Sturzenhecker/Deinet (2007)*, pages 111–137, 2007.

- Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*, 2018.
- Uwe Drewitz, Klas Ihme, Michael Oehl, Frank Schrödel, Rick Voßwinkel, Franziska Hartwich, Cornelia Schmidt, Anna-Antonia Pape, Tobias Fleischer, Sonja Cornelsen, et al. Automation ohne Unsicherheit: Vorstellung des förderprojekts AutoAkzept zur Erhöhung der Akzeptanz automatisierten Fahrens. 2019.
- W Ertel, BF, and MH-J Winter. A service robot platform for individuals with disabilities. In *Proceedings of the 1. BW-CAR Symposium on Information and Communication Systems (SInCom)*, 2014.
- Deutscher Ethikrat. Robotik für gute Pflege. *Stellungnahme. Berlin*, pages 49–53, 2020.
- Oliver Guhr, Anne-Kathrin Schumann, Frank Bahrmann, and Hans Joachim Böhme. Training a broad-coverage german sentiment classification model for dialog systems. In *Proceedings of The 12th Language Resources and Evaluation Conference*, pages 1627–1632, 2020.
- Yaohui Guo, Chongjie Zhang, and X Jessie Yang. Modeling trust dynamics in human-robot teaming: A bayesian inference approach. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–7, 2020.
- 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.
- Kerstin Sophie Haring, Yoshio Matsumoto, and Katsumi Watanabe. How do people perceive and trust a lifelike robot. In *Proceedings of the world congress on engineering and computer science*, volume 1, pages 425–430. Citeseer, 2013.
- Nick Hawes, Christopher Burbridge, Ferdian Jovan, Lars Kunze, Bruno Lacerda, Lenka Mudrova, Jay Young, Jeremy Wyatt, Denise Hebesberger, Tobias Kortner, et al. The strands project: Long-term autonomy in everyday environments. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 24(3):146–156, 2017.

- Matthew Honnibal, Ines Montani, Sofie Van Landeghem, and Adriane Boyd. spaCy: Industrial-strength Natural Language Processing in Python. 2020. doi: 10.5281/zenodo.1212303.
- G. Hönig, B. Weber-Fiori, and et al. Entwicklung eines intelligenten Rollators für die stationäre Langzeitpflege. BMBF RABE, 2019.
- Klas Ihme, Stefan Bohmann, Martin Schramm, Sonja Cornelsen, Victor Fäßler, and Anna-Antonia Pape. Development and evaluation of a data privacy concept for a frustration-aware in-vehicle system: Development and evaluation of a data privacy concept for a frustration-aware in-vehicle system. In *13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, pages 201–208, 2021.
- Cory D Kidd and Cynthia Breazeal. Robots at home: Understanding long-term human-robot interaction. In *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 3230–3235. IEEE, 2008.
- Bernd Kiefer and Christian Willms. Implementing diverse robotic interactive systems using vonda. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence-Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, 2020.
- Bernd Kiefer, Anna Welker, and Christophe Biwer. Vonda: A framework for ontology-based dialogue management. In *Increasing Naturalness and Flexibility in Spoken Dialogue Interaction*, pages 93–105. Springer, 2021.
- Teresa Klobucnik, Dorothea Weber, Johannes Steinle, Maik H-J Winter, and Peter König. Bedeutung technischer Assistenzsysteme in der Pflegeberatung und ambulanten Versorgung. 2017.
- Bing Cai Kok and Harold Soh. Trust in robots: Challenges and opportunities. *Current Robotics Reports*, 1(4):297–309, 2020.
- 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.

- Hans-Ulrich Krieger and Christian Willms. Extending owl ontologies by cartesian types to represent n-ary relations in natural language. In *Proceedings of the 1st Workshop on Language and Ontologies*, 2015.
- Minae Kwon, Malte F Jung, and Ross A Knepper. Human expectations of social robots. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 463–464. IEEE, 2016.
- M Lauckner, F Kobiela, and Dietrich Manzey. ‘hey robot, please step back!’-exploration of a spatial threshold of comfort for human-mechanoid spatial interaction in a hallway scenario. In *The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 780–787. IEEE, 2014.
- Bin Liu. A survey on trust modeling from a bayesian perspective. *Wireless Personal Communications*, 112(2):1205–1227, 2020.
- José Lopes, Maxine Eskenazi, and Isabel Trancoso. From rule-based to data-driven lexical entrainment models in spoken dialog systems. *Computer Speech & Language*, 31(1):87–112, 2015.
- Jan Lunze and Jan Lunze. *Regelungstechnik 1*, volume 10. Springer, 1996.
- Andrea Madotto, Chien-Sheng Wu, and Pascale Fung. Mem2seq: Effectively incorporating knowledge bases into end-to-end task-oriented dialog systems. *arXiv preprint arXiv:1804.08217*, 2018.
- Arne Manzeschke, Karsten Weber, Elisabeth Rother, and Heiner Fangerau. *Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme*. VDI/VDE, 2013.
- Nikita Mattar and Ipke Wachsmuth. Let’s get personal. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 450–461. Springer, 2014.
- Sarah McLeod, Ivana Kruijff-Korabayova, and Bernd Kiefer. Multi-task learning of system dialogue act selection for supervised pretraining of goal-oriented dialogue policies. In *Proceedings of the 20th Annual SIGdial Meeting on Discourse and Dialogue*, pages 411–417, 2019.

- 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*, volume 64, pages 395–399. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 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.
- Tim Miller, Piers Howe, and Liz Sonenberg. Explainable AI: Beware of inmates running the asylum or: How i learnt to stop worrying and love the social and behavioural sciences. *arXiv preprint arXiv:1712.00547*, 2017.
- Claudia Müller, Marén Schorch, David Struzek, and Marleen Neumann. *Technology Probes als Mittel zur Unterstützung der Technik-Aneignung*. 2017.
- Yukitoshi Murase, Yoshino Koichiro, and Satoshi Nakamura. Associative knowledge feature vector inferred on external knowledge base for dialog state tracking. *Computer Speech & Language*, 54:1–16, 2019.
- Mark A Neerincx, Willeke Van Vught, Olivier Blanson Henkemans, Elettra Oleari, Joost Broekens, Rifca Peters, Frank Kaptein, Yiannis Demiris, Bernd Kiefer, Diego Fumagalli, et al. Socio-cognitive engineering of a robotic partner for child's diabetes self-management. *Frontiers in Robotics and AI*, page 118, 2019.
- Tatsuya Nomura, Takayuki Kanda, and Tomohiro Suzuki. Experimental investigation into influence of negative attitudes toward robots on human–robot interaction. *Ai & Society*, 20(2):138–150, 2006.
- Michael Oehl, Klas Ihme, Uwe Drewitz, Anna-Antonia Pape, Sonja Cornelsen, and Martin Schramm. Towards a frustration-aware assistant for increased in-vehicle UX: F-relacs. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings*, pages 260–264, 2019.

- Alexander Osterwalder, Yves Pigneur, and Christopher L Tucci. Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept. *Communications of the association for Information Systems*, 16(1):1, 2005.
- Anna-Antonia Pape, Sonja Cornelsen, Victor Faeßler, Klas Ihme, Michael Oehl, Uwe Drewitz, Franziska Hartwich, Frank Schrödel, Andreas Lüdtkke, and Martin Schramm. Empathic assistants—methods and use cases in automated and non-automated driving. In *20. Internationales Stuttgarter Symposium*, pages 435–449. Springer, 2020.
- Matthew E. Peters, Mark Neumann, Mohit Iyyer, Matt Gardner, Christopher Clark, Kenton Lee, and Luke Zettlemoyer. Deep contextualized word representations. *CoRR*, abs/1802.05365, 2018. URL <http://arxiv.org/abs/1802.05365>.
- Johannes Reichold, Ankita Agrawal, Marieke Thurlings, Iris Cohen, Barbara Weber-Fiori, Anita Rölle, Muneeb Hassan, Maximilian Dürr, Ulrike Pfeil, and Harald Reiterer. *Human-machine interaction in care-education*. 2018.
- Gregor Sieber and Brigitte Krenn. Episodic memory for companion dialogue. In *Proceedings of the 2010 Workshop on Companionable Dialogue Systems*, pages 1–6, 2010.
- Sigurd Skogestad and Ian Postlethwaite. *Multivariable feedback control: analysis and design*, volume 2. Citeseer, 2007.
- J Steinle, B Weber-Fiori, and MH.-J Winter. Lebensqualität im Alter im Kontext von Ambient Assisted Living – Perspektiven der Sozialen Arbeit und Pflege. M Staats (Hrsg.): Lebensqualität. Weinheim: Juventa Beltz.
- Johannes Steinle, Barbara Weber-Fiori, and Maik H-J Winter. Soziale Teilhabe im Alter technikgestützt fördern–Einblicke in die nutzer\* innenintegrierte Entwicklung einer intuitiven Informations-und Kommunikationsapplikation. In *Gegenwart und Zukunft sozialer Dienstleistungsarbeit*, pages 391–406. Springer, 2021.
- Dag Sverre Syrdal, Kerstin Dautenhahn, Kheng Lee Koay, and Michael L Walters. The negative attitudes towards robots scale and reactions to robot behaviour in a live human-robot interaction study. *Adaptive and emergent behaviour and complex systems*, 2009.

- Katherine M Tsui, Munjal Desai, Holly A Yanco, Henriette Cramer, and Nicander Kemper. Using the "negative attitude toward robots scale" with telepresence robots. In *Proceedings of the 10th performance metrics for intelligent systems workshop*, pages 243–250, 2010.
- Iis P Tussyadiah, Florian J Zach, and Jianxi Wang. Do travelers trust intelligent service robots? *Annals of Tourism Research*, 81:102886, 2020.
- Anouk van Maris, Hagen Lehmann, Lorenzo Natale, and Beata Grzyb. The influence of a robot's embodiment on trust: A longitudinal study. In *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 313–314, 2017.
- Barbara Weber-Fiori, Benjamin Stähle, Steffen Pfiffner, Benjamin Reiner, Wolfgang Ertel, and Maik H-J Winter. Marvin, ein Assistenzroboter für Menschen mit körperlicher Behinderung im praktischen Einsatz. In *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen III*, pages 269–285. Springer, 2017.
- Barbara Weber-Fiori, Johannes Steinle, Lilli Bauer, and Maik H-J Winter. Implementierung eines sensorbasierten Sicherheitssystems im häuslichen Umfeld—Barrieren, Chancen und Risiken. In *Gegenwart und Zukunft sozialer Dienstleistungsarbeit*, pages 273–285. Springer, 2021.