

## Alltagsassistentz-Roboterlabor (CeRA4HRI)

Förderkennzeichen 16SV8622

Michael Beetz<sup>1</sup>, Frank Kirchner<sup>2</sup>, Rainer Malaka<sup>3</sup>, Andreas Breiter<sup>4</sup>, Uwe Engel<sup>5</sup>,  
Dagmar Borchers<sup>5</sup>, Martin G. Moehrle<sup>6</sup>, Iris Kirchner-Freis<sup>7</sup>, Elsa A. Kirchner<sup>8</sup>,  
Juliane Jarke<sup>5</sup>, Jonas Reiling<sup>9</sup>, Holger Bothmer<sup>10</sup>, Michael Lawo<sup>5</sup>, Nils Denter<sup>6</sup>,  
Niels Will<sup>2</sup> und Daniel Nyga<sup>5</sup>



<sup>5</sup>Universität Bremen  
Bibliothekstraße 1  
28359 Bremen

<sup>8</sup>Universität Duisburg Essen  
Forsthausweg 2  
47057 Duisburg

<sup>9</sup>Ubica Robotics GmbH  
Konsul-Smidt-Straße 20  
28217 Bremen

<sup>10</sup>neusta mobile solutions GmbH  
Konsul-Smidt-Straße 24  
28217 Bremen

<sup>1</sup> Universität Bremen, IAI  
Am Fallturm 1  
28359 Bremen

<sup>3</sup>Universität Bremen, TZI  
Am Fallturm 5  
28359 Bremen

<sup>7</sup>Institut für IT-, Medien- und Immaterialgüterrecht  
Parkallee 231  
28213 Bremen

<sup>6</sup>Universität Bremen  
Institut für Projektmanagement  
und Innovation  
Enrique-Schmidt-Straße 1  
28359 Bremen

<sup>4</sup>Universität Bremen  
Zentrum f. Medien-, Kommunikations-  
und Informationsforschung  
Linzer Str. 4  
28359 Bremen

<sup>2</sup>Deutsches Forschungszentrum  
Robotics Innovation Center  
für KI (DFKI)  
Robert-Hooke-Straße 1  
28359 Bremen

## 3.1 Ziele des Kompetenzzentrums

### 3.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Roboter sind im Allgemeinen nicht mehr ausschließlich in Fabrikhallen vorzufinden. Robotiksysteme oder zumindest einzelne Komponenten, finden sich heute bereits in technischen Systemen wie Autos oder Werkzeugen wieder. Ein angestrebtes Einsatzgebiet ist das häusliche Umfeld: Roboter sollen hier die Lebensqualität verbessern und zunehmend in Handlungszusammenhängen agieren, in denen bisher ausschließlich Menschen handelten. Motive hierfür sind einerseits der demographische Wandel und andererseits der Wunsch des Menschen, möglichst lange selbstbestimmt im gewohnten Umfeld zu leben. Es ist jedoch Fakt, dass sobald eine kontrollierte Umgebung, wie beispielsweise eine Fabrikhalle verlassen wird, sich Herausforderungen ergeben, die nur in einem interdisziplinären Vorgehen jenseits allein technischer Fragestellungen gemeistert werden können.

Das hier vorgestellte Kompetenzzentrum will alle notwendigen Aspekte für den Einsatz robotischer Alltagsassistenten untersuchen, Anwendungsszenarien in Langzeitstudien evaluieren und hinsichtlich einer wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit und gesellschaftlichen Akzeptanz umfassend untersuchen. Anhand vorhandener Forschungsroboter und Handlungsszenarien soll mit einem ganzheitlichen Ansatz ermittelt werden, an welchem Punkt wir zum alltäglichen Einsatz von Robotern für Assistentenfunktionen derzeit stehen und welche technischen und nichttechnischen Maßnahmen notwendig sind, um diese Schwelle für den Alltagseinsatz zu überschreiten. Hierbei sollen auch Kriterien bzw. Vergleichswerte festgelegt werden, denen sich die Roboter im Bereich alltäglicher Assistenz generell stellen sollen. Der Einsatz photorealistischer virtueller Umgebungen mit physikalischer Simulation (sog. "Digitale Zwillinge") dient dabei als Schlüsseltechnologie, um neue Anwendungsszenarien schnell, kosteneffizient und sicher umzusetzen.

### 3.1.2 Thema des Kompetenzzentrums mit Problembeschreibung

Im Alltag haben zwar Roboter mit sozialer Implikation (z.B. Paro) und Informations-Roboter (z.B. Pepper) eine gewisse Marktreife erreicht. Das Versprechen, dass Roboter im Alltag wirklich helfen, wurde bisher aber nicht eingelöst. Systeme beherrschen viele Alltagsaufgaben noch nicht und bei Entwicklungen liegt der Fokus oft allein auf der Technikentwicklung. Wir sind überzeugt, dass mit einem Mensch-zentrierten Vorgehen im Kompetenzzentrum vorhandene Forschungsroboter sich zu real einsetzbaren nützlichen Systemen entwickeln lassen.

Das Ziel des Kompetenzzentrums ist daher die **ganzheitliche Evaluierung** von Lösungen, die Menschen mit Unterstützungsbedarf im Sinne eines ‚Digital Well-Being‘ (Burr and Floridi, 2020) gezielt helfen. Ausgangspunkt ist eine im Forschungskontext entwickelte Assistenzrobotik mit sehr hoher Anwendungsnähe: So existieren Standardsysteme, mit denen Menschen potentiell selbstbestimmt alltägliche Handhabungsaufgaben in privaten Haushalten, Seniorenheimen oder Einzelhandelsgeschäften erledigen können. Ferner können therapeutische und rehabilitative Ansätze von der stationären Pflege bis hin zum Leben im eigenen Haushalt unterstützen. Die Kombination dieser Grundlagen bietet mit den vorhandenen Testumgebungen und Evaluationsmöglichkeiten der Living Labs eine in dieser Form einzigartige Ausgangslage. Auf einem sehr hohen wissenschaftlichen Niveau lassen sich auf technischer und nicht-technischer Basis die Weichen stellen, vom ‚Wollen‘ (wieder) zum autonomen und selbstbestimmten ‚Können‘ zu kommen.

Das geplante Kompetenzzentrum nutzt **vorhandene Living Labs**, in denen Alltagsassistenz situationsgerecht real nachgestellt werden kann und Verhalten und physiologische Parameter gemessen und evaluiert werden können. Die vorhandenen mobilen Forschungsroboter sowie von Menschen tragbare Forschungsroboter als Exoskelette erlauben Aufgaben des Alltags durchzuführen und in ihrer Durchführung umfassend zu analysieren. Dabei soll sowohl in den Labor- als auch in realen und virtuellen Umgebungen evaluiert werden, wie Menschen ohne Expertenwissen diese Aufgaben des Alltags technisch unterstützt sicher und zuverlässig ausführen können.

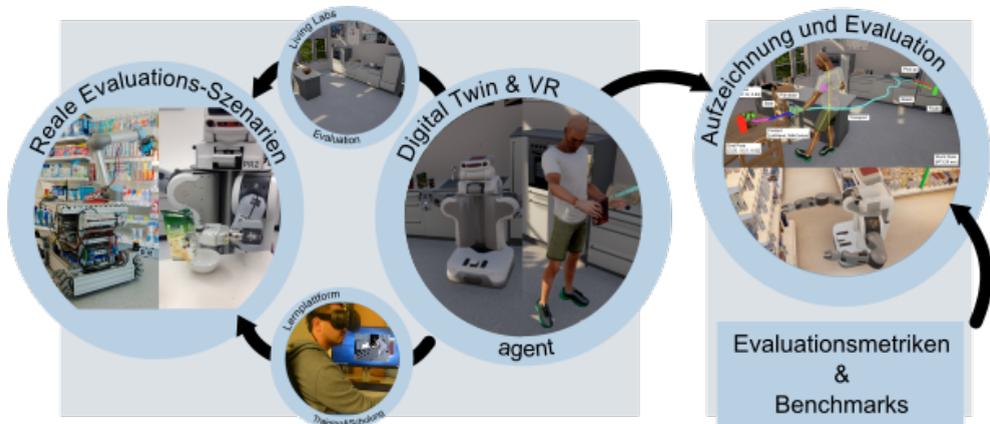
Ein besonderes Augenmerk ist hierbei auf die **digitalen Zwillinge** zu richten; das sind photorealistische digitale Abbilder der real existierenden Labore und Roboter:

Während in realen Nutzertests lediglich diejenigen Merkmale eines Experimentes evaluiert werden können, die die vorhandene Sensorik erfassen kann, erlauben virtuelle Umgebungen jederzeit den Zugriff auf sämtliche potenziell bedeutsamen Messgrößen, wie z.B. Kontaktinformation, Objektpositionen, Körperhaltung, Sichtkegel, usw. Dies erlaubt eine transparente Modellierung und Auswertung der Experimente kognitiver Interaktionsfähigkeit weit über klassische “Black Box”-Tests hinaus. In strukturierten längerfristig ausgelegten Nutzungstests sollen Erfahrungen mit der Nutzung vorhandener Systeme gesammelt und Test-Szenarien, Metriken und Benchmarks in Kooperation mit dem Transferzentrum RimA festgelegt werden, um perspektivisch am Markt verfügbare Assistenzroboter, sowie Vorserien- und Forschungsroboter in der Anwendungsdomäne evaluieren zu können.

Als **Open Source Software** und Open-Research vorhandene Methoden des maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz werden zur Intentionserkennung, Klassifikation von Kontaktsituationen, der Wissensrepräsentation und des Schlussfolgerns sowie der Plan-basierten Assistenz genutzt. Damit sollen Menschen ohne entsprechendes Expertenwissen nachhaltig und sicher unter Berücksichtigung von ethischen, rechtlichen und sozialen Gesichtspunkten die vorhandenen Forschungsroboter nutzen können. Wie sich ethische Regeln und Kriterien in Assistenzsystemen implementieren lassen, soll auch mittels Digitaler Zwillinge der Roboter und Living Labs erforscht werden.

Im Kompetenzzentrum entsteht eine **digitale Lernplattform**, die mit online Lernmaterialien, interaktiven Tutorien und Schulungen die Grundkonzepte der kognitiven Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) vermittelt, sowie die vorhandenen Demonstrations-Szenarien als Ausgangspunkt für zukünftige Anwendungsszenarien als Open-Research Beispiele zur Verfügung stellt. Als Basis kann hier auf bereits existierende Lernmaterialien des EASE Learning Hub zurückgegriffen werden.

Das Zusammenwirken der Komponenten des Kompetenzzentrums ist in Abbildung 3.1 dargestellt.



**Abbildung 3.1:** Architektur des Kompetenzzentrums CeRA4HRI.

### 3.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Das Gesamtziel des Kompetenzzentrums ist auf Basis existierender und optimal ausgestatteter Forschungs- und Innovationskapazitäten einen Innovationshub für die Mensch-Assistenzroboter Interaktion zu schaffen (siehe auch Abschnitte 3.2 und 3.5.2). In diesen **vorhandenen Infrastrukturen** sollen zunächst strukturierte Erfahrungen in längeren Erprobungs-Studien gesammelt werden. Mit den Partnern sollen im Laufe des Vorhabens zusätzliche Orte zur Erprobung, Probanden und Assistenzroboter zur Evaluation einbezogen werden.

In den vorhandenen Living Labs wird auf Basis umfangreicher Erfahrungen zum **User Centred Design** und der **User Experience** (Malaka, 2009) die Frage beantwortet werden, wie Menschen mit Technologie ihren Alltag unterstützen können oder ihre Unabhängigkeit und Autonomie wahren können: Wir wollen dazu im gesamten ELSI Kontext absichern, dass der Einsatz der Technologien nicht nur technisch möglich sowie rechtlich zulässig ist, sondern auch ein **sinnvolles produktives Handeln** ermöglicht. Die wertorientierte und nachhaltige Gestaltung von Assistenzrobotik soll somit integrativer Bestandteil und eigenständiger Forschungsschwerpunkt des Kompetenzzentrums sein.

Aus der **systematischen Beobachtung der Interaktion** von Nutzenden mit der Assistenzrobotik in alltäglichen Situationen werden empirische Fragestellungen generiert, die im Rahmen von quantitativen und qualitativen sozial- und verhaltenswissenschaftlichen Studien untersucht werden. Dabei kommt der Aneignung von Technologien bzw. Imaginationen zukünftiger Nutzung in den Szenarien eine besondere Bedeutung zu. Mit dem Einbezug von verhaltens- und sozialwissenschaftlicher sowie rechtlicher Expertise sollen ELSI-Fragestellungen sowohl wissenschaftlich beantwortet als auch neue ELSI-Fragestellungen zum Gebrauch von Assistenzrobotik aus der empirischen Forschung generiert werden.

Neben der technischen Komplexität bestehen **betriebswirtschaftliche Herausforderungen** für die erfolgreiche Markteinführung von Assistenzrobotern: Geeignete Geschäftsmodelle müssen die notwendige Kombination aus physischen Bestandteilen und direkt sowie indirekt gekoppelten Dienstleistungen berücksichtigen und die Einflussfaktoren für ein autonomes und selbstbestimmtes Leben in verbundener Weise integrieren; damit wollen wir uns auseinandersetzen und erwarten in Kooperation mit dem Transferzentrum RimA mit den Partnern des Kompetenzzentrums tragfähige Geschäftsmodelle zum Betrieb solcher Assistenzroboter für die Unterstützung in der Bewältigung von Alltagsaufgaben im Haushalt oder beim Einkauf entwickeln zu können.

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

### 3.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

#### **Assistenzroboter wurden in verschiedenen Studien evaluiert:**

In einer Studie (Werner, 2020) mit der Zielgruppe ältere Menschen mit funktionellen Einschränkungen wurden ein robotergestützter Rollator (MOBOT-Rollators) und ein Duschroboter (I-SUPPORT-Duschroboter) untersucht. MOBOT wurde dabei anhand eines Ganganalysesystems bewertet. Die Ganganalyse fand dabei unter kontrollierten Laborbedingungen statt. Ein Langzeit-Monitoring der habituellen Gangleistung in natürlichen Umgebungen war kein Gegenstand der Studie.

Im EU-Projekt I-SUPPORT wurden unterschiedliche Betriebsmodi zur Hilfe im Bad untersucht. Doch Nutzereingaben sind hier schwierig und machen eine gewisse Autonomie seitens des Roboters notwendig. Die Evaluation belegte, dass geeignete Trainings- und Schulungsmaßnahmen unbedingt notwendig sind.

Im Projekt KoBo34 (Jahn et al., 2019) wurde ein Assistenzroboter (KoBo) in einem Pflegeheim und einem Seniorenzentrum durch ältere Menschen mit funktionellen Einschränkungen mittels leitfadengestützter Einzel- und Gruppeninterviews evaluiert: Das Anbieten von Getränken und Snacks, Servieren und Abräumen von Tablett sowie eine Unterstützung beim Einkaufen wurden als Bedarf identifiziert.

Ergebnis der Studie von Becker (2013) zu Trainingsgeräten und Hilfsmitteln zur Bewegungsausführung sowie Mobilität und Selbständigkeit von Kindern und älteren Menschen waren unzureichende Regelungen im Haftungsrecht, Datenschutz und bezüglich ethischer Fragestellungen.

Die Evaluation des Nutzenmodells zur Anwendung von Assistenz-Technologien für pflegebedürftige Menschen (NAAM) von Lutze (2019) fordert eine stärkere Herausarbeitung von Teilhabe und die Einbettung des stimulierenden Potenzials von Assistenz-Technologien und verlangt eine partizipative Entwicklung.

Stubbe et al. (2019) untersuchten die Akzeptanz von Servicerobotern und liefern Tools und Strategien für den erfolgreichen betrieblichen Einsatz. Ein weiteres Evaluationstool für Validität, Zuverlässigkeit und Anwendbarkeit wird von Koumpouros et al. (2016) vorgeschlagen. Hier gibt es für das kompetenzzentrum Anknüpfungspunkte.

Die Untersuchung zu assistierenden Robotern in realen Häusern von Frennert et al. (2017) ergab u.a., dass die Verwendung des Roboters als physische Unterstützung mit der Zeit ab- und für Unterhaltungs-Funktionen zunimmt. Die Untersuchung in realen Haushalten ist teuer. Living Labs müssen daher so gestaltet sein, dass sie die Aspekte einer natürlichen Umgebung beachten und ältere Menschen in die Entwicklung umfänglich einbinden.

### 3.2.2 Alleinstellungsmerkmale des geplanten Kompetenzzentrums

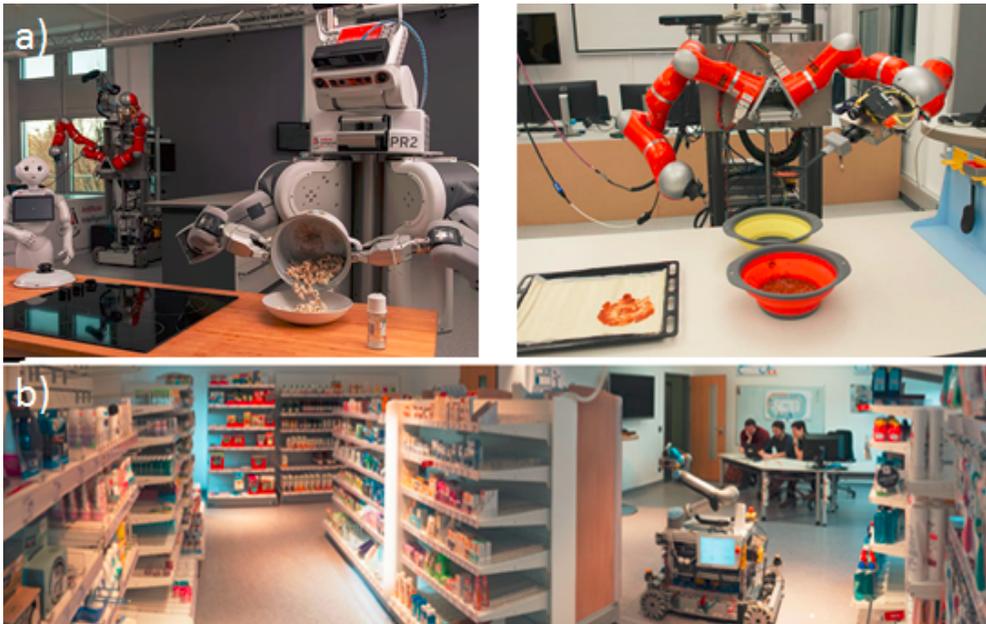
Das Kompetenzzentrum verfügt mit seinen Living Labs über **vier Alleinstellungsmerkmale**: Diese sind (1) die Living Labs mit ihrer technischen Ausstattung, (2) die Forschungsroboter, (3) die Digitalen Zwillinge sowohl der Roboter als auch der Living Labs und (4) das umfassende Know-how und die Erfahrung mit der umfangreichen Sammlung an im Vorfeld entstandenen Open Source Software Tools zur Steuerung und Interaktion mit den Robotern in den realen und virtuellen Living Labs.

#### 3.2.2.1 Vorhandene Living Labs

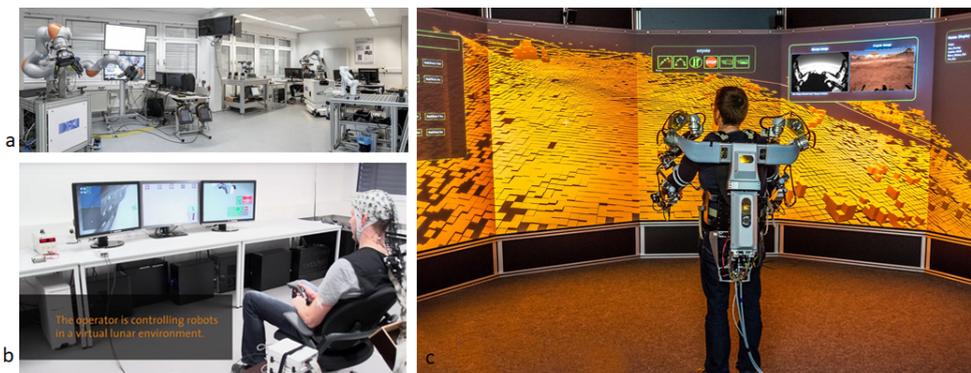
Im **Sonderforschungsbereich EASE** wurden als **Living Lab** eine **Wohnung mit Küche und Essbereich** (Abbildung 3.2a) und für das EU Projekt REFILLS und das vom BMWi geförderte Projekt Knowledge4Retail ein **Supermarkt** (Abbildung 3.2b) aufgebaut.

In diesen werden die vorhandenen Forschungsroboter (3.2.2.2) eingesetzt wie auch im derzeit ferner aufgebauten **Assistant Robot Lab**, in dem neben einer häuslichen Umgebung auch Situationen auf der Straße als realitätsnahe Anwendungsszenarien geschaffen werden. In den Laboren lassen sich Verhalten und Biosignale der menschlichen Akteure wie der Forschungsroboter in Echtzeit kontrolliert überwachen, um die **Sicherheit von Mensch und Roboter** zu gewährleisten.

Das **Mensch-Roboter-Kollaborations (MRK) Labor** (Abbildung 3.3a) dient der Untersuchung des Zusammenspiels von robotischen Systemen und Menschen. **Sicherheitsaspekte**, aktive Nachgiebigkeit, Kollisionsvermeidung, die Erkennung von Menschen und deren Intention mittels Sensorik und Personentracking durch 3D Kameras und am Körper getragener Inertialsensoren werden hier gezielt untersucht wie auch die intuitive Nutzung und ‘Programmierung’ von Robotern durch Vormachen, Gesten- und Sprachsteuerung, sowie mittels Augmented-Reality Unterstützung.



**Abbildung 3.2:** a) Living Lab einer Wohnung mit Küche und Essbereich. Einsatz des PR2 Roboters b) Supermarkt (Fotos: IAI).



**Abbildung 3.3:** a) MRK Labor, b) Brain Behavioral Integration Lab, c) Virtual Reality Lab (Fotos: DFKI)

Im **Brain Behavioral Integration Lab** (Abbildung 3.3b) werden Interaktionsstrategien mit Robotern und Exoskeletten durch Biosignal-Datenverarbeitung auf ihre Wirkmechanismen auch in Langzeittests mittels einer **EEG-Schirmkabine**, einer **MiniCave** und einem **Analyselabor** sowie einem **Exoskelett-Integrationsraum** eva-

luiert. Mit der Schirmkabine können äußere Einflüsse wie Licht, Temperatur und Umgebungsgeräusche kontrolliert werden. In den Laboren können Bewegungsdaten und EEG und EMG Signale von bis zu 136 Kanälen mit 5000 Hz aufgezeichnet werden.

Im **Virtual Reality Lab** (Abbildung 3.3c) mit einer **CAVE aus sieben Projektionsflächen** und einem **omnidirektionalen Laufband** sowie integriertem Motion Tracking können weitläufige Bewegungen in Räumen oder auf der Straße bei gleichzeitiger Aufzeichnung der Biosignale wie EEG, Augenbewegungen oder Muskelaktivität virtuell erfahrbar aber auch real erlebbar werden.

Ab 2022 werden ferner ein 110qm **Walking Lab** und ein **Biosignal VR Lab** zur Verfügung stehen: freie Bewegungen des Menschen in drei Raumachsen mit synchroner Aufzeichnung von Eyetracking, EEG, EMG und Bewegungsdaten sind dann auch möglich, um Effekte der Assistenz durch Exoskelette beim Laufen über Unebenheiten im Boden oder beim Laufen über Strecken mit Hindernissen systematisch in VR oder auf dem Laufband mit Hindernissen und Bodenunebenheiten direkt körperlich zu erleben.

#### 3.2.2.2 Vorhandene Forschungsroboter

Für Evaluationen in den Living Labs gibt es sowohl kommerzielle als auch diverse in Vorprojekten entwickelte und erprobte **Forschungsroboter mit ihren jeweiligen Digitalen Zwillingen** (Abbildung 3.4): Der PR2 von Willow Garage (Abbildung 3.4a) wurde umfassend im Rahmen des SFB EASE aber auch anderen Projekten eingesetzt. Der mobile Roboter BOXY mit zwei KUKA LWR Armen (Abbildung 3.4b) ist eine Eigenentwicklung des IAI, der COMPI - Roboterarm mit nachgiebiger Regelung (Abbildung 3.4e), das aktive Exoskelett für die robotische Oberkörper-Assistenz AZE (Abbildung 3.4f) und das Ganzkörper Exoskelett Recupera für die Oberkörper-Assistenz (Abbildung 3.4g) sind Eigenentwicklungen des DFKI. Der Scan- und Greifroboter DonBot (Abbildung 3.4c) wurde im Rahmen des Vorhabens REFILLS vom IAI entwickelt und dort sowie in Knowledge4Retail zusammen mit dem DFKI umfassend evaluiert. Der HSR von Toyota (Abbildung 3.4d) wird im Rahmen von Vorhaben des IAI für Benchmarks verwendet.

Ein Alleinstellungsmerkmal des Kompetenzzentrums ist, dass all diese Forschungsroboter im Rahmen öffentlich geförderter Forschungsvorhaben eingesetzt, teilweise entwickelt bzw. weiterentwickelt und in Labortests umfassend evaluiert wurden. Sie sind als Open Data Digitale Zwillinge einschließlich der jeweiligen Physik-Engine und Steuerungs- und Control-Umgebung umgesetzt worden.



**Abbildung 3.4:** Vorhandene Roboter *a)* Roboter PR2, *b)* mobiler Roboter BOXY, *c)* Scan- und Greifroboter DonBot, *d)* HSR Roboter von Toyota, (Fotos: IAI), *e)* COMPI (Foto: DFKI, Annemarie Popp), *f)* AZE Oberkörper-Exoskelett primär für die Schlaganfallrehabilitation, *g)* Recupera REHA Ganzkörper Exoskelett (Fotos: DFKI, Thomas Frank)

#### 3.2.2.3 Digitale Zwillinge der Living Labs und Forschungsroboter

Im **Virtual Reality Lab** als immersiver, interaktiver 3D-Testumgebung können beliebige virtuelle Testumgebungen erzeugt werden, um Assistenzsysteme in einer realitätsnahen simulierten Umgebung zu testen und zu optimieren. Hierbei können die Rahmenbedingungen der Umgebung schnell und kostengünstig angepasst werden, sodass reale Feldversuche und Langzeitstudien optimal vorbereitet werden können.

Im RoPHa Projekt wurde für einen vor Ort nicht verfügbaren Roboter ein Roboter-Simulator entwickelt. Dieser verfügt dabei als technische Grundlage über dieselbe Wissensbasis wie ein ebenfalls modellierter virtueller Mensch. Der Simulator erlaubt die Ausführung von echten Roboter-Plänen, unterstützt physikalische Simulationen und ist fotorealistisch. Das erlaubt in unterschiedlichen Umgebungen und Aufgaben-Kontexten Interaktionen zu testen und auftretende Aktionseffekte bei Manipulationsaufgaben zu analysieren (Abbildung 3.5).



**Abbildung 3.5:** In unterschiedlichen Umgebungen und Aufgaben-Kontexten können Aktionseffekte von Manipulationsaufgaben analysiert werden (Fotos: IAI)

Durch das **Simulieren von Aktionseffekten** können Roboter die Effekte verschiedener Aktionen lernen und vorhersagen. Diese Vorhersage der Aktionseffekte ist essenziell für eine robuste und sichere Mensch-Roboter-Interaktion.

Alle gängigen Robotik-Simulatoren integrieren bereits eine **Physik-Engine**, die für das Simulieren einer Vielzahl grundlegender physikalischer Effekte von entscheidender Bedeutung ist. Jedoch ist die Simulation komplexerer Aktionseffekte bei den meisten Simulationsumgebungen nicht standardmäßig vorhanden und muss daher erst weiterentwickelt oder integriert werden. Zu den komplexeren Aktionseffekten gehört unter anderem die Manipulation von Flüssigkeiten oder die Veränderung der Form oder des Zustands vorhandener Objekte und Geräte.

Im Rahmen von RoPHa wurden verschiedene für einen Assistenzroboter in einem Haushalt typische **Aktionsmodelle implementiert** und in die Unreal Engine 4 integriert. Aktionsmodelle sind z.B. Schneide-Aktionen mit Messern, Flaschenmodelle, um das Ausgießen von Flüssigkeiten über Lebensmittel zu simulieren, flüssige Lebensmittel, die für Löffelaktionen notwendig sind, als prototypisches Küchengerät eine bedienbare Mikrowelle mit visuellen Koch- Effekten.

Der **voll ausgestattete Supermarkt** (Abbildung 3.2b und 3.6b) aus den Projekten REFILLS und Knowledge4Retail ist ebenfalls als Digitaler Zwilling fotorealistisch implementiert (Abbildung 3.6a), um dort z.B. eine Inventur oder die Suche eines Artikels durch den Roboter DonBot (Abbildung 3.4c) zu simulieren. Im Vorhaben TransTerra wurde für die Nutzung von **Serious Gaming in Rehabilitationsmaßnahmen** zur Stärkung der Eigenständigkeit von Patienten nach Schlaganfall eine virtuelle Küche (Abbildung 3.7a) und ein Trainingsszenario zur Auge-Hand Koordination (Abbildung 3.7b) mittels Unreal Engine unterstützt durch das Oberkörper-Exoskelett und gesteuert durch Eyetracking und Daten der Muskelaktivität entwickelt.



**Abbildung 3.6:** textita) Fotorealistischer Digitaler Zwilling eines voll ausgestatteten Supermarktes, der in b) dargestellten realen Umgebung (Fotos: IAI)



**Abbildung 3.7:** a) Virtuelle Küche für den Einsatz in Serious Gaming im Bereich von Rehabilitationsmaßnahmen, b) Exoskelett-Trainingsszenario mit VR Unterstützung zur Verbesserung der Auge-Hand Koordination (Fotos: DFKI)

Diese Szenarien werden noch bis 2024 im Vorhaben EXPECT weiterentwickelt. Neben den Daten des Eyetracking und der Muskelaktivitäten werden dort auch EEG-Daten und Sprachdaten integriert, um das Training in einer virtuellen Umgebung zu ermöglichen, die nahe an den Bedingungen des häuslichen Alltags liegt. Dabei können auch verschiedene ICF-Level bei **Therapien zur Rehabilitation** untersucht werden. Dazu gehören die Therapie der Funktionen, der Aktivitäten und zur Partizipation im Alltag sowie deren Kombinationen.

#### 3.2.2.4 Vorhandene Open Source Software Tools

Dem Kompetenzzentrum steht eine Fülle an **Open Source Software Paketen für autonome Assistenzroboter** zur Verfügung:

AM-EvAs sind detaillierte umfassende Modelle, die **menschliche Handlungen** in verschiedenen Abstraktionsstufen wie grobe Posen und Trajektorien von Bewegungen, Aktionen und Aktivitäten umfassen.

openEASE (Tenorth et al., 2015) als **webbasierter Wissensdienst** stellt Daten zu Roboter- und menschlichen Aktivitäten bereit; damit werden semantisch annotierte Daten von Manipulationsaktionen, einschließlich der Umgebung, in der der Agent agiert, der Objekte, die er manipuliert, der von ihm ausgeführten Aufgabe und des von ihm erzeugten Verhaltens einfach zugänglich.

KnowRob (Tenorth and Beetz, 2013, Beetz et al., 2018) erlaubt die **Abstraktion von Interaktionen** zwischen einem robotischen Agenten und seiner Umgebung.

Mit CRAM (Cognitive Robot Abstract Machine) (Beetz et al., 2010) gibt es eine Software Toolbox für das **Design, die Implementierung, und den Einsatz** von wissensbasierten autonomen Robotern.

RoboSherlock (Beetz et al., 2015) ist ein Framework für die **kognitive Perception** auf Basis des Prinzips eines unstrukturierten Informationsmanagement.

Ferner verfügt das Kompetenzzentrum über die umfangreiche Sammlung von **Software Tools des DFKI:**

Rock ist ein Software Framework für die Entwicklung von Robotern mit einem auf

Orocos RTT (Real Time Toolkit) basierenden **Komponentenmodell** und HyRoDyn eine analytische und modulare Software-Workbench zur **kinematischen und dynamischen Simulation** hochkomplexer seriell-paralleler Hybrid-Roboter.

Zur systematischen Analyse und dem **Training auf Biosignalen** steht das Software-Framework pySPACE (Krell et al., 2013) zur Verfügung, welches aktuell im Vorhaben KiMMI SF für die zukünftige Anwendung der Mensch-Roboter Interaktion für die Weltraum Exploration und dem Aufbau von extraterrestrischer Siedlungen auf TRL 4 bis 5 gebracht wird.

Das Software-Framework reSPACE erlaubt eine **eingebettete Biosignalanalyse** auf einem Field Programmable Gate Array im Exoskelett zur Oberkörper-Rehabilitation. Mit BOLeRo lässt sich das Verhalten von Robotern als **Black Box Optimierung** erlernen.

### 3.2.3 Vorteile und Risikobetrachtung

Das geplante Kompetenzzentrum ist mit seiner **technischen Expertise und Ausstattung** einzigartig in Deutschland: Die vier Alleinstellungsmerkmale und die Forschenden um Michael Beetz und Frank Kirchner sind Grundlage des Kompetenzzentrums und gewährleisten eine ausreichende Unterstützung zur adäquaten ggf. notwendigen Anpassung im Rahmen der geplanten Langzeitstudien.

Die Digitalen Zwillinge bieten die einzigartige Chance für ein **Rapid Prototyping** ohne aufwändige technische Anpassungen, denn die robotischen Systeme und Anwendungsszenarien können durch eine digitale Repräsentation mit den Menschen in Interaktion treten. Dies ermöglicht eine niedrighschwellige Anpassung von Schnittstellen und Szenarien, in denen die Systeme mit Menschen kommunizieren und für sie Unterstützungs-Aufgaben erfüllen. Das stellt eine die Entwicklungsrisiken erheblich minimierende Erweiterung an Evaluationsmöglichkeiten mit breiterer Streuung von Szenarien und eine deutlich schnellere Anpassung z.B. von Schnittstellen wie Gesten, Sprachen und sonstigen Eingabe-Interfaces dar.

Für die **nicht technischen Fragestellungen**, die durch ELSI-Aspekte, Evaluationszenarien und Geschäftsmodelle adressiert sind, ergeben sich so für das geplante Kompetenzzentrum sehr hohe Innovationseffekte, da das **interdisziplinäre Team** ausgewiesener Wissenschaftler:innen aus den Bereichen Mensch-Technik Interaktion, Ethik, Recht, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften der Universität Bremen für die im Kompetenzzentrum durchzuführenden Langzeitstudien eine Rückkopplung zur technischen Entwicklung und internationalen Exzellenz sicherstellt und damit Akzeptanz-Risiken und Markteintritts-Risiken auch aufgrund der bereits in gemeinsam durchgeführte Projekten gemachten Erfahrungen beherrschbar werden.

Mit den **Unternehmens-Partnern** außerhalb der Universität Bremen und des DFKI besteht eine risikominimierende Grundlage für die Entwicklung von notwendigen Geschäftsmodellen in Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum RimA.

### 3.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

In den Living Labs sollen in die Praxis transferierbare **Langzeitstudien in den Bereichen Apartment und Supermarkt als Praxisfälle**, nicht nur im Sinne der User Experience evaluiert, sondern auch sozial- und verhaltenswissenschaftlich begleitet werden. Zwecks Differenzierung unterschiedlicher Systeme sollen allgemeine Bewertungsansätze für Assistenzrobotik zur Aufgabenerfüllung und Interaktionsqualität als Entscheidungsgrundlage erstellt werden. Die Prozess- und Ergebnisevaluation soll um eine systematische Verhaltensbeobachtung, Messung physiologischer Parameter, ambulantes Assessment zur Erfassung von Einstellungen, Werten und Normen, sowie qualitative Interviews ergänzt werden.

ELSI-Fragestellungen sollen dabei über das Kompetenzzentrum hinaus gehen: Es sollen mittels quantitativer und qualitativer Verfahren **Cluster von ethischen, sozialen und rechtlichen Einstellungen** identifiziert werden. Diese Cluster sollen Grundlage für empirische und repräsentative Survey-Studien auf Basis von Access Panels zur Marktforschung sein, um Wertorientierungen der Bevölkerung im Hinblick auf Assistenzrobotik zu erfassen und mögliche Geschäftsmodelle auf Interesse der Kunden zu testen.

**Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele des Kompetenzzentrums werden in den beiden Schwerpunkten Interaktionsdesign und ELSI-Fragestellungen bearbeitet:**

### 3.3.1 Interaktionsdesign

Bisher wurden mit den oben aufgeführten Forschungsrobotern aus der Haushalts-, Assistenz- und Rehabilitationsrobotik in den verschiedenen Living Labs noch keine Langzeitstudien zur Mensch-Roboter Interaktion durchgeführt. Die Systeme wurden bisher von Experten bedient und setzen eine umfassende Schulung voraus.

Um Langzeitstudien mit **Menschen ohne Expertenkenntnisse** durchführen zu können, lassen sich dafür notwendige Anpassungen und Erweiterungen mittels der Digitalen Zwillinge virtualisiert vorwegnehmen, um mit den Systemen schon heute in Virtueller Realität (VR) umfassende Studien durchzuführen. Dianatfar et al. (2021) geben einen Überblick über den Einsatz von virtueller und augmentierter Realität zur Untersuchung von Mensch-Roboter Kollaboration. Die **zentrale Forschungsfrage**, die sich hierbei stellt, bezieht sich auf die Übertragbarkeit der in VR gewonnenen Ergebnisse auf echte Mensch-Roboter Interaktion (Wijnen et al., 2020). Besonders für nicht triviale Situationen, welche nur schwer in Laboren nachzustellen sind, gewinnt die VR für die Untersuchungen von Robotersystemen zunehmend an Bedeutung (Villani et al., 2018, Wonsick and Padir, 2020, Bhatia et al., 2021).

Die konsequente **Nutzung der Digitalen Zwillinge-Infrastruktur** verschafft hierbei einen klaren Vorteil über das kurzfristige Testen von rudimentären Funktionen (Utility) zu darüber hinausgehenden Langzeituntersuchungen zur Nutzungstauglichkeit (Usability) und Nutzererfahrung (User Experience) zu gehen. Hierfür können auf der existierenden Infrastruktur aufbauend konkrete Evaluationsstudien geplant und durchgeführt werden.

Für die **definierten Evaluationsszenarien** und Umgebungen, dem Haushaltsszenario, der Rehabilitation und im Supermarkt, können komplexe Aufgaben spezifiziert werden, welche über zahlreiche Interaktionsschritte hinweg durch Mensch-Roboter Kollaboration durchzuführen sind. Die Interaktion selbst wird sowohl über sprachliche Instruktionen (Porzel and Cangalovic, 2020) als auch über material- und touch-basierte

(tangible) Interaktion ermöglicht werden (Döring et al., 2018). Außerdem wird insbesondere im Kontext der Rehabilitation auf die Nutzung von Biosignalen, wie Gehirnaktivität, Muskelaktivität, Augenbewegungen oder Körperbewegung (implizite Gestik und Mimik) zur Interaktion zurückgegriffen werden, welche eine implizite Interaktion ermöglichen (Kirchner et al., 2019).

Dabei sollen als Metriken neben der **Performanz**, **Robustheit** und **Flexibilität** weitere Metriken untersucht werden:

- **Effektivität:** Wie gut können die Nutzer:innen mit Hilfe der (virtuellen) Roboter die Aufgaben in VR lösen?
- **Effizienz:** Wie schnell werden die Aufgaben gelöst?
- **Lernbarkeit/Merkbarkeit:** Wie gut ist der Umgang mit den (virtuellen) Robotern erlernbar und merkbar?
- **Sicherheit:** Wie viele Fehler machen Nutzer:innen bei der Lösung der Aufgabe?
- **Zufriedenheit:** Wie zufrieden sind Nutzer:innen mit der Interaktion?
- **User Experience:** Wie fühlt sich die Interaktion an und welche Erfahrungen machen die Nutzer:innen?
- **Workload:** Wie stark erhöht oder reduziert die Interaktion die kognitive Last?

Ein weiterer Aspekt der Evaluation bietet hierbei auch die *Self-Determination Theory*. Sie ermöglicht weitere Metriken zur **Autonomie**, **Sozialen Verbindung** und zur **Kompetenz** einzubinden. Zusätzlich sollen die vom Transferzentrum RimA bereitgestellten simulativen Benchmarking Systeme in die Studien integriert werden, verbunden mit einem wissenschaftlichen Fokus auf deren Übertragbarkeit für die nicht virtuellen Benchmarking-Labore.

Mit Hilfe der dem Kompetenzzentrum aus den bisher durchgeführten Projekten zugänglichen Partnernetzwerke aus der Pflege und der Domäne der Alltagsaktivitäten werden über **Access Panels** viele technisch unaffine Probanden zur Verfügung stehen, welche in den virtuellen Umgebungen unter physikalisch realistischen sowie fotorealistischen Bedingungen ein diverses Portfolio an Benchmark Aufgaben über lange Zeiträume bewältigen sollen. Basierend auf der jahrzehntelangen Erfahrung mit Usability und User-Experience Studien werden dabei obige Metriken kontinuierlich erhoben und analysiert werden (Alexandrovsky et al., 2021). Hierbei können auch hypothetische Ex-

perimente genutzt werden, um erste Annahmen zu testen und geeignete Detailaufgaben in den Szenarien zu entwerfen.

Besonders für das Rehabilitation-Szenario gilt es neben den primären und **sekundären Nutzer:innen** auch **tertiäre Nutzer:innen**, wie beispielsweise Auszubildende, einzubeziehen und mit eigenen Studien zu versehen. Hier können virtuelle Labore mit den Digitalen Zwillingen zum Einsatz kommen. Da es sich um Open Source Software handelt, ist eine Ausdehnung der Experimente über die Living Labs des Kompetenzzentrums leicht möglich.

Die vorhandene Infrastruktur ermöglicht parallel sowohl kontinuierliche Evaluationen komplexer Szenarien in VR-Szenarien als auch Langzeitstudien in der realen Umgebung der Living Labs und deren Evaluationen.

#### 3.3.2 ELSI-Fragestellungen

Wie andere Technologie-Anwendungen auch, wird robotische Assistenz nur dann in die Gesellschaft Einzug halten, wenn sie dort auf Akzeptanz hinsichtlich ihrer ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen (ELSI) trifft. Hierzu bedarf es zunächst, im Sinne partizipativer Forschung, gemeinsam mit betroffenen Nutzer:innen-Gruppen und Expert:innen diese Implikationen zu identifizieren und zu bewerten (Budde et al., 2020). Mit Blick auf soziale Implikationen stellen sich etwa Fragen nach der **Veränderung von Rollen, Beziehungen, Machtverhältnissen und Arbeitspraxen** in verschiedenen sozialen Domänen (etwa Pflege, Bildung, Arbeit). Mit Blick auf ethische Aspekte hat die Expertengruppe der EU-Kommission (2019) Kernaussagen formuliert, die den Respekt vor menschlicher Autonomie, technische Robustheit und Sicherheit, Datenschutz, Transparenz, Vielfalt, Nichtdiskriminierung und Fairness, ökologisches und gesellschaftliches Wohlergehen und Rechenschaftspflicht betreffen. Sie wurden von derselben Expertengruppe (2020) kürzlich als **Assessment List** vorgelegt und bieten somit auch für das Kompetenzzentrum einen zielführenden Kriterienkatalog für die Evaluierung an.

Ziel des Kompetenzzentrums ist es, diese ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekte von Assistenzrobotik für drei gesellschaftlich besonders relevante Themenbereiche zu bestimmen und entsprechend zu evaluieren:

**(1) Alternde Gesellschaft und Robotik:** Unter dem Druck des demographischen Wandels werden Assistenzsysteme zur Unterstützung in Haushalt und Pflege zunehmend zum Einsatz kommen. In diesem Themenbereich soll gemeinsam mit älteren Menschen sowie Anbietern aus der Pflege und dem Dienstleistungsbereich erkundet werden, wie sozial verantwortliches digitales Älterwerden mit Robotern gestaltet werden kann.

**(2) Zukunft der Arbeit:** Durch Assistenzsysteme wird sich Arbeit grundlegend verändern. Hier gilt unser Fokus Systemen, die im Retailbereich und in der Rehabilitation zum Einsatz kommen und der Frage, wie sie Berufe, Rolle und Arbeitspraxen verändern.

**(3) Bildung:** Gemeinsam mit Schüler:innen sowie Lehrkräften sollen sozialverantwortliche und ethische Zukunftsszenarien für den Einsatz von Robotern entwickelt werden. Hier spielen sowohl Berufsschulen als auch die Berufsorientierung in weiterführenden Schulen eine Rolle. Außerdem soll die Nutzung von robotischen Systemen für den Unterricht evaluiert werden.

Ferner soll die **Akzeptanz in der Bevölkerung**, aber auch bei gesellschaftlichen Interessengruppen, (dialogisch) erreicht werden: Aus früheren Eurobarometer-Studien wissen wir für Deutschland, dass eine klare Mehrheit von bis zu 75 Prozent der Bevölkerung ein positives Bild von Robotern und KI haben.

Vergleichbare Zahlen liefert auch der aktuelle „**Zukunftsperspektive KI**“-Survey für **Bremen**. Danach haben 75 Prozent der Bevölkerung ein positives Bild von Robotern und KI, 75 Prozent halten sie für notwendig und 61 Prozent für gut für die Gesellschaft. Allerdings trifft dieses Akzeptanz-Potential auf eine beträchtliche Skepsis und somit auf viel Spielraum, das Potenzial auch auszuschöpfen. Denn für nur 33 Prozent der Bevölkerung handelt es sich bei Robotern und KI um „Technologien, die für den Menschen sicher sind“, für nur 28 Prozent um „zuverlässige (fehlerfreie) Technologien“ und für nur 24 Prozent um „vertrauenswürdige Technologien“ (Engel and Schultheis, 2021, Heesen et al., 2020). Auf diesem Level bewegt sich dann im Spiegel der Zahlen derzeit etwa auch die zu erwartende Akzeptanz des Einsatzes von Pflegerobotern für nahe Angehörige oder sich selbst.

Ein Aspekt, der die Akzeptanz von Assistenzrobotern in der Gesellschaft erhöht, ist wenn sie als vertrauenswürdig wahrgenommen werden. Hierbei gilt es einerseits, die empirischen Bedingungen zu identifizieren, die Menschen dazu bewegen, **Vertrauen in KI** zu entwickeln (Law and Scheutz, 2021); und andererseits in normativer Perspektive Vertrauen in KI auch als eine Frage der Einhaltung rechtlicher und ethischer Grundlagen einer Gesellschaft zu verstehen.

Folgen wir den Expertisen von Wissenschaftler:innen verschiedenster Fachrichtungen, die wir im Rahmen unserer **KI-Delphi-Studie** am Standort Bremen befragt haben ((Engel, 2020)), so ist damit zu rechnen, dass Sachverhalte und Konflikte rund um KI neben dem Gesetzgeber auch Gerichte immer mehr beschäftigen werden. Rechtliche Grundlagen verdienen gerade in der Assistenzrobotik größte Aufmerksamkeit, geht es hierbei doch um KI-bezogene Dienstleistungen, die im Regelfall über längere Zeitspannen sehr dicht am Menschen in dessen unmittelbaren Lebenskontexten zu realisieren sein werden. Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere **Haftungsfragen** und Fragen bzgl. **Privatsphäre und Datenschutz**.

#### 3.3.2.1 Rechtliche Aspekte

Das deutsche, europäische und internationale Recht enthält eine Vielzahl an Rechtsnormen, die im Bereich der Entwicklung von Assistenzrobotik, je nach Praxis-Szenario, relevant werden können.

Eines der wichtigsten Rechtsgebiete ist dabei das **Datenschutzrecht**. Erfolgt z.B. eine Verarbeitung von personenbezogenen Daten, wie von körperlichen Merkmalen durch eine Assistenzrobotik, ist zu prüfen, welche Rechtsgrundlagen, wie die Datenschutz-Grundverordnung, zu beachten sind.

Zur Vermeidung von Gefährdungen, z.B durch Hackerangriffe und andere Formen der Cyberkriminalität, sind auch entsprechende rechtliche Anforderungen und Maßnahmen im Bereich der **IT- und Datensicherheit** zu beachten.

Im Falle des möglichen Auftretens von Personen- oder Sachschäden z.B. durch fehlerhafte Instruktionen, einer fehlerhaften Programmierung des Assistenzsystems oder eines Sensorfehlers, können im **Zivilrecht** gesetzliche Haftungsvorschriften sowie auch vertragliche Haftungsvorschriften zur Anwendung kommen.

Zudem kann im Rahmen des **Strafrechts** grundsätzlich jeder zur Verantwortung gezogen werden, der eine Ursache gesetzt hat, die sich zum Eintritt eines Schadens weiterentwickelt, der einem der im Strafgesetzbuch beschriebenen Tatbestände entspricht. Dies kann auch auf den Bereich der Assistenzrobotik zutreffen, da das Herstellen, das Inverkehrbringen und auch das Verwenden von Produkten als Anknüpfungspunkt für die Tathandlung, z.B. einer Körperverletzung oder einer (fahrlässigen) Tötung herangezogen werden kann.

Auch spielt das **Arbeitssicherheitsrecht** im Kontext von (autonomen) Assistenzsystemen eine Rolle, beispielsweise wenn eine direkte Zusammenarbeit von Mensch und Maschine ohne Schutzzaun gegeben ist.

Bei dem Einsatz von Assistenzrobotik kann es auch z.B durch Hackerangriffe und andere Formen der Cyberkriminalität zu Gefährdungen des **Rechts des geistigen Eigentums** kommen. Dazu gehören etwa das Urheber-, Patent-, Marken- und Designrecht sowie das Recht auf die Wahrung von Geschäftsgeheimnissen.

Bei der Evaluierung von Assistenzrobotik werden diese komplexen und **fundamentalen Rechtsfragen** - auch unter Berücksichtigung des Entwurfs einer EU-KI-Verordnung der Europäischen Kommission (Artificial Intelligence Act) - einzelfallbezogen zu prüfen sein, um die notwendige Rechtssicherheit zu bieten und damit das Vertrauen der Anwender in die Nutzung der Assistenzrobotik zu begründen bzw. zu stärken.

#### 3.3.2.2 Soziologische und sozialpsychologische Aspekte

Wir wissen aus unserer Studie „Zukunftsperspektive KI“, dass ‘**Vertrauen in KI**’ eine in mehrfacher Hinsicht relevante Größe darstellt (Engel and Dahlhaus, 2021). Es geht nicht nur um Vertrauen in die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von KI, sondern auch um Vertrauen in die Integrität ihrer Anwendung. Nicht nur die Technik selbst, auch die vermuteten Interessen und Absichten hinter ihrem Einsatz spielen eine relevante Rolle. Um als vertrauenswürdig wahrgenommen zu werden, muss die Programmierung als ethisch akzeptabel wahrgenommen werden können.

Aber nicht nur die Respektierung von Werten und Normen spielen in der Frage zur **KI-Akzeptanz** eine substanzielle Rolle. Nicht minder bedeutsam sind die emotional gefärbten Vorstellungen, die Menschen heutzutage mit in der Zukunft angesiedelten KI-Anwendungsszenarien verbinden. Das diesbezügliche Ergebnis unserer Vorstudie ist eindeutig: Die Bewertung höchst unterschiedlicher KI-Anwendungsszenarien lässt sich zentral auf diese eine Dimension, auf diesen antizipierten ‘KI-Wohlfühlfaktor’, zurückführen. Dabei fungiert dieser Wohlfühlfaktor als Mechanismus, über den sich weitere Faktoren auf die KI-Akzeptanz auswirken: zum Beispiel die vergleichende Risikowahrnehmung eines Menschen oder das Selbstbild als Person, die gegenüber technischen Innovationen aufgeschlossen ist, und von sich selbst meint, sich in Lebensfragen eher an der Wissenschaft als an der Religion zu orientieren.

Es ist daher vorgesehen, diese wie auch weitere Aspekte konzeptionell und operational in die **ELSI-Begleit- und Perspektivforschung des Kompetenzzentrums** einzubeziehen. Zu diesen weiteren Schwerpunkten zählen die Kommunikation in der Mensch-Assistenzroboter-Interaktion, der Einfluss der äußeren Robotergestaltung auf die Bewertung von Assistenzrobotern sowie die Neigung des Menschen zum Anthropomorphismus. Aus unserer Vorstudie wissen wir, dass sich die Menschen zurzeit noch weniger gut Gesprächssituationen mit Kommunikationsrobotern vorstellen können (17 Prozent) als sich von Assistenzrobotern bei Tätigkeiten im Haushalt (Geschirrspülmaschine ein- und auszuräumen, Tisch decken etc.) helfen lassen zu wollen (44 Prozent). Vergleichbare Skepsis zeigte sich im Bereich Pflegerobotik: Den Menschen fällt es derzeit offenkundig noch schwer sich vorzustellen, künftig mit einem Roboter so kommunizieren zu können wie es Menschen untereinander tun. Allerdings nehmen wir an, dass Assistenzrobotik beispielsweise im häuslichen Kontext oder Pflegekontext ohne begleitende Kommunikationsfähigkeiten schnell auf Akzeptanzvorbehalte stoßen wird: Wenn Menschen über längere Zeiträume in wiederholte Interaktionen mit ein und demselben Assistenzroboter involviert sein werden, wird dies kaum ohne gleichzeitige Befriedigung menschlicher Kommunikationsbedürfnisse in dieser Interaktion möglich sein. Zu vermuten ist, dass diese Bedürfnisse über das Mindestmaß an funktional erforderlicher Kommunikation hinausgehen werden.

Der Mensch ist bekannt für seine Neigung zur „Vermenschlichung“ beispielsweise von Haustieren, und wir vermuten, dass auch im häuslichen oder Pflegekontext eingesetzte

Assistenzroboter in diesem Sinne zu digitalen Lebensgefährten werden (Bovenschulte, 2019). Von Bedeutung ist entsprechend auch, wie die Bewertung und Akzeptanz von Assistenzrobotern davon abhängen, welche **emotionalen Reaktionen** die **äußere Gestaltung von Robotern** erzeugen.

#### 3.3.2.3 Ethik der Assistenzrobotik

Für nicht-industrielle Einsatzszenarien der Robotik untersucht die Roboterethik im Sinne einer *aspirational ethics* "**anzustrebende Ziele**" einerseits und im Sinne einer *preventive ethics* "**zu vermeidende Risiken und Schädigungen**" andererseits.

Die Assistenzrobotik in praxisnahen Anwendungen eröffnet den Menschen zahlreiche Optionen, die ihren Handlungsspielraum, ihre Selbstständigkeit und ihre Fähigkeiten auf vielfältige Weise erweitern und ergänzen. Diese Optionen können **Autonomie stützen** oder teilweise wiederherstellen, ermöglichen Zugang zu sozialen, beruflichen und kognitiven Angeboten, die anders nicht zugänglich wären und können sowohl für die Alltagsbewältigung kritische als auch spielerisch-kreative Funktionen bereithalten.

Gleichzeitig gehen digitale Technologien mit typischen Risiken einher, denen die zentralen ethischen Bewertungsprinzipien der Autonomie, der Privatsphäre und der Schadensvermeidung gegenüber stehen (Beauchamp and Childress, 2013). Sowohl die anzustrebenden Ziele als auch die Charakterisierung von Risiken der alltagsbezogenen Interaktion von Assistenzrobotern und Menschen müssen den Anforderungen eines **Werterahmens** gerecht werden, der die Gelingensbedingungen eines "Digital Well-Being" (Burr and Floridi, 2020) garantiert.

Diese Bewertungen sind aufgrund der Vielfalt und Sensibilität lebensweltlicher Situationen oft nicht durch eine Globallösung zu erreichen, sondern erfordern die **Untersuchung typischer Einzelfälle**. Hier bietet das Kompetenzzentrum einen idealen und dringend erforderlichen Ansatzpunkt, indem praxisbezogene Interaktionslösungen im Detail konzipiert und erprobt werden.

Ein zweiter Fragenkomplex neben den normativen Fragen betrifft die sowohl metaethische als auch technische Frage, wie sich **ethische Regeln und Kriterien** in Assistenzsystemen implementieren lassen (Wooen and Jannes, 2019). Unter welchen Bedingungen Roboter als moralfähige Agenten zu klassifizieren sind, ob und welche Limitationen bei der Implementation moralischer Entscheidungsprozeduren bestehen und wie dabei den Prinzipien der menschlichen Autonomie und der Schadensvermeidung entsprochen werden kann, lässt sich gut an konkreten Alltagsszenarien eruieren.

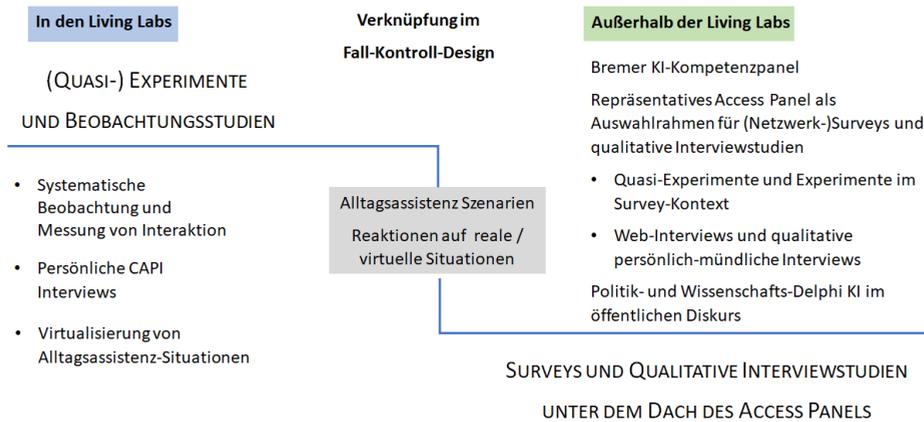
#### 3.3.3 Methodisches Vorgehen

Innerhalb der Living Labs werden die **verhaltensbezogenen, kognitiven und emotionalen Reaktionen** und Bewertungen der beteiligten Akteure - je nach Labor- teils auf die reale, teils auf die virtuelle Erfahrung der Interaktion mit robotischer Alltagsassistentz erhoben. Die Virtualisierung solcher Szenen der Mensch-Roboter Interaktion verfolgt dabei ein dreifaches Ziel:

- (1) zur Verfolgung quasi experimentell angelegter Vergleiche innerhalb der Labs,
- (2) zur Beurteilung der Validität von Schlussfolgerungen, die sich auf virtuelle (vs. reale) Interaktions- Erfahrungen stützen, sowie
- (3) als Bindeglied zur Begleitforschung außerhalb der Living Labs.

Dafür bietet das quasi experimentelle Fall-Kontroll-Design (Cook et al., 2002) die Option, die reale/virtuelle Interaktionserfahrung mit robotischer Alltagsassistentz (Outcome-Kriterium) aus den Labs in Vergleiche mit eigens dafür konzipierten Studien außerhalb der Labs einzubeziehen. Dabei handelt es sich um für Bremen bevölkerungsrepräsentative Surveys sowie um qualitativ angelegte Interviewstudien, um Begleitforschung und darüber hinaus gehende Perspektivforschung realisieren zu können (vgl. Abbildung 3.8).

Dafür wird ein **wahrscheinlichkeitsbasiertes Access Panel** als Auswahlrahmen aufgebaut, um durch die damit eröffnete Kontroll- und Korrekturmöglichkeit systematischer Ausfälle von zu Surveys oder Interviews eingeladenen Personen stets eine hohe Stichprobenqualität gewährleisten zu können. Außerdem eröffnet uns das Access Panel Optionen zum Sampling von sozialen, zum Beispiel familiären und Peer-Netzwerken, und zwar über egozentrierte Netzwerk Surveys oder weitergehendes Netzwerk Sampling.



**Abbildung 3.8:** Darstellung des methodischen Vorgehens in CeRA4HRI innerhalb und außerhalb der Living Labs zur Absicherung der Ergebnisse bezüglich der Interaktion mit Assistentzrobotern

Durch den Rückgriff auf bewährte Standardtechniken der empirischen Sozialforschung wird zugleich die Möglichkeit zur **Durchführung von Quasi Experimenten** und Experimenten im Survey-Kontext geschaffen. In diesen Quasi Experimenten werden Interview Teilnehmer:innen unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen, wie einer Einwilligungserklärung, hypothetische Situationen zur Bewertung vorgelegt. Für diese Situationen, die als virtuelle Szenarien den Befragten in Form von Textbeschreibungen, Bildern oder Videosequenzen vorgelegt werden, werden einzelne situative Elemente systematisch variiert werden.

Problemlos kann dieser quasi experimentelle Ansatz zudem in ein **experimentelles Survey-Setting** eingebettet werden, in dem auch die befragten Personen selbst per Zufall den diversen hypothetischen Situationen zugelost werden. Während über das Access Panel die Bevölkerungs- und KI-Anwender:innen-Perspektive in die Begleit- und Perspektivforschung des Kompetenzzentrums einbezogen wird, finden die Einschätzungen gesellschaftlicher Interessengruppen über ein **Politik- und Wissenschafts-Delphi** Eingang in diese Forschung. Da sowohl über das Access Panel als auch über das Delphi Forschung in Langzeitperspektive ermöglicht wird, kann über diese Designs auch das diskursive Element gestärkt werden, in dem Ergebnisse aus vorangehenden Befragungsrunden und Interviews zum Gegenstand nachgelagerter Interviews werden.

Geplant ist zudem, dass das Kompetenzzentrum am Standort Bremen nach dem Vorbild der Society (2017) **öffentliche Diskussionsveranstaltungen** organisiert, um über KI und deren Grundlagen zu informieren, mit der Bevölkerung über KI und Assistenzrobotik ins Gespräch zu kommen, Befürchtungen rund um KI aufzugreifen, und KI-Akzeptanz durch öffentlichen Dialog zu stärken. Hier stützt sich das Kompetenzzentrum auf der Vorarbeit des Bremer KI-Clusters Bremen.AI und KI-Transferzentrums ab und kooperiert mit diesen.

### 3.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

#### 3.4.1 Marktanalyse und Geschäftsmodellentwicklung

Ausgehend von den vorhandenen oben dargestellten Living Labs mit ihren Forschungs-Robotern wurde als Einstieg für eine Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum RimA (Roboter im Alltag) in einem Workshop im Vorfeld eine **Markt- und Kundenanalyse** mit den beteiligten Instituten durchgeführt. Dabei wurden Zielkunden und mögliche initiale Ideen für Geschäftsmodelle mit einer ersten Segmentierung der Zielkunden, möglicher Zielmärkte und Formen von Geschäftsmodellen identifiziert (Teece, 2010, Weking et al., 2020).

Nach Meffert et al. (2018) wurde darauf geachtet, dass die einzelnen Segmente möglichst homogen innerhalb und untereinander möglichst heterogen waren, um relevante Konfigurationen zielgruppenspezifisch abzugrenzen und Kundenbedürfnisse besser zu befriedigen. So ergaben sich vorläufig ein Kundenbereich und zwei Partnerbereiche mit **Privatkunden, Geschäftspartnern und institutionellen Partnern**.

Im Privatkundenbereich wurden zwischen den einzelnen Anwendungsbereichen unterschiedliche **Segmentierungen** vorgenommen und beispielsweise im Anwendungsbereich Haushalt/ Küche/ Rehabilitation/Pflege das Kriterium der **Mobilität** herangezogen, um ein Segment von Kunden mit eingeschränkter Mobilität von solchen ohne Mobilitätseinschränkungen, aber mit einem hohen Komfort-Bedürfnis abzugrenzen.

Zu adressierende **potenzielle Geschäftspartner** des Kompetenzzentrums sind Hersteller, Betreiber, Händler, Beratungsunternehmen und Werbeagenturen mit unterschiedlichen Bedürfnissen in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße (Start-up,

KMU, GMU). Ferner gilt es institutionelle Partner wie z.B. Reha- und Gesundheits-Einrichtungen, aber auch Schulen oder Kantinen einzubeziehen.

Auf Basis der Segmentierung potentieller Privatkunden-Gruppen, Geschäfts- und institutionellen Partnern erlaubt eine **Zielmarkt-Fokussierung**, sofern es sich um zeitlich stabile Zielmärkte handelt, Angebotselemente innerhalb eines Anwendungsbereichs sequenziell im Laufe der Zeit zum Beispiel gezielt durch speziell in diesen Märkten genutzte Medien anzusprechen und als Folgegeschäft zu vermarkten (vgl. Meffert et al., 2018). Anknüpfungspunkte z.B. für den Privatkundenbereich sind hierfür erst einmal drei mögliche Zielmärkte:

- (a) Für den Anwendungsbereich Haushalt sind das Personen mit geringer physischer Fitness und hohem Technologie-Vertrauen;
- (b) Für die Anwendungsbereiche Haushalt und Supermarkt sind das neben dem Personal vor allem Personen, mit Lifestyle-Bedürfnissen;
- (c) Für den Anwendungsbereich Supermarkt sind das Personen mit moderater Technologie-Affinität und einem hohen Effizienz-Bedürfnis.

Für die Entwicklung von **Geschäftsmodellen** haben sich morphologische Ansätze bewährt (z.B. Gassmann et al. 2017 oder Osterwalder et al. 2005), die die das Wertversprechen, die Wertkette und das Erlösmodell berücksichtigen. Hier bieten sich ein Mietmodell, das besonders für die Kooperation mit öffentlichen und Geschäftspartnern geeignet ist, eine Einzelleistungsvergütung (fee-for-service), bei der verschiedene Zusatzleistungen gesondert erfasst und berechnet werden, sowie ein Abonnement-Modell, das auf monatlichen Gebühren (subscription fees) aufbaut, an.

Die **persönliche Akzeptanz** eine Technologie zu nutzen ist (laut Technology Acceptance Model) maßgeblich von der der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit (*perceived ease of use*) und der wahrgenommenen Nützlichkeit (*perceived usefulness*) abhängig, wohin die Benutzerfreundlichkeit zugleich die Nützlichkeit beeinflusst (Davis et al., 1989). Neben dieser primären Variablen üben weitere Charakteristika innerhalb der Kundengruppen Einflüsse aus, wie beispielsweise das Alter (Venkatesh et al., 2003), das Geschlecht (Venkatesh and Davis, 2000) oder die bereits gemachte Erfahrung mit der Technologie (Venkatesh and Morris, 2000). Im Besonderen sind kulturelle Hintergründe zwischen Kunden erwähnenswert (Srite and Karahanna, 2006).

So zeigen Studien auf, dass in asiatischen Regionen die Technologieakzeptanz deutlich ausgeprägter ist als in westlichen Regionen, inklusive Deutschland (Rose and Straub, 1998, Srite et al., 2006). Als direkte Handlungsempfehlung sollten Geschäftsmodelle angepasst an den deutschen Markt vor allem die wahrgenommene Nützlichkeit verstärken, wohingegen Geschäftsmodelle im asiatischen Markt dieser Unterstützung weniger Aufmerksamkeit schenken sollten. Folglich müssen Geschäftsmodelle explizit die Technologieakzeptanz unterstützen.

Neben dem Privatkundenbereich ist der **Gesundheitssektor** zu adressieren. Typischerweise gibt es dort, anders als in einem traditionellen Markt, keine direkte Austauschbeziehung zwischen Kunde und Anbieter (Matusiewicz et al., 2019). Vielmehr besteht eine Dreiecksbeziehung zwischen dem Versicherten/Patienten als Empfänger der Leistung, dem Leistungserbringer als Anbieter der Leistung und dem Kostenträger. Die Existenz eines Kostenträgersystems in Deutschland ist wesentlich für das Verständnis von Geschäftsmodellen im Gesundheitswesen. In Deutschland wird die medizinische Versorgung in der Regel nicht direkt vom Versicherten/Patienten bezahlt, sondern von der Kranken- oder Pflegekasse.

Grundsätzlich können drei verschiedene Märkte unterschieden werden (vgl. hierzu und im Folgenden Matusiewicz et al. 2020). Auf dem Versicherungsmarkt konkurrieren die Krankenversicherer um Kundenanteile. Auf dem Behandlungsmarkt konkurrieren Leistungserbringer wie Krankenhäuser, Arztpraxen, Pharmahersteller und Heilmittelproduzenten. Und auf dem Leistungsmarkt konkurrieren Leistungserbringer wie Krankenhäuser, Arztpraxen und Pharmahersteller miteinander, wenn es darum geht, Verträge mit den Krankenkassen abzuschließen: Die Leistungserbringer können als Partner betrachtet werden, so dass **Dienstleistungsmarkt und Behandlungsmarkt** attraktive Möglichkeiten für die Entwicklung von Geschäftsmodellen bieten. Dabei sind vor allem die gesetzlichen Vorgaben zu beachten. So gibt es ein Hilfsmittelverzeichnis für gesetzliche Krankenkassen und einen Hilfsmittelkatalog für private Krankenkassen, in denen Hilfsmittel aufgeführt sind, deren Kosten nach der Hilfsmittelrichtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses von der jeweiligen Krankenkasse übernommen werden müssen. Das Hilfsmittelverzeichnis umfasst ca. 32.500 Produkte in ca. 2.600 Produktarten. Grundlage des Hilfsmittelverzeichnisses ist § 139 SGB V, in dem u. a. die Zulassungskriterien für neue Hilfsmittel festgelegt sind. **Für Krankenhäuser,**

**Arztpraxen und andere Leistungserbringer besteht wenig Anreiz eine Methode oder ein Hilfsmittel einzusetzen, solange diese nicht über die Krankenkassen abgerechnet werden kann.** Folglich sollten die Voraussetzungen für die Aufnahme in das Hilfsmittelverzeichnis forciert werden, um den Leistungsmarkt und Behandlungsmarkt zu adressieren.

Insgesamt steht das Kompetenzzentrum mit seiner auf Forschungsrobotern beruhenden Infrastruktur trotz einer soliden und auf zahlreichen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben basierenden Erfahrung mit einer umfassenden Open Source Software-Basis sowie vielversprechenden Ausgründungen wie UBICA-Robotics und Bremen-Robotics noch am Anfang der Geschäftsmodellentwicklung und erhofft sich einen signifikanten Schub aus der **Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum RimA**.

#### 3.4.2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Im Kompetenzzentrum weisen wir durch **Langzeitstudien in den Living Labs** nach, wie Menschen ohne entsprechendes Expertenwissen durch Assistenz-Roboter sicher und unter Berücksichtigung ethischer, rechtlicher und sozialer Gesichtspunkte zur Erreichung ihrer Ziele unterstützt werden können. Es sollen wesentliche Erkenntnisse erarbeitet werden, wie unter ethischen, sozialen und rechtlichen Randbedingungen die sichere Interaktion mit Assistenz-Robotern gestaltet werden muss und wie hierzu mensch-zentrierte Prozesse zu deren Einführung und Betrieb aussehen müssen.

Dieses soll sowohl für die Menschen, die solche Systeme nutzen, um in ihrer gewohnten Umgebung möglichst viel Autonomie zu wahren, als auch für die Hersteller und Betreiber solcher Assistenzsysteme von Nutzen sein. Mit Unterstützung und in enger Kooperation mit dem Transferzentrum RimA erwarten wir sowohl die Akzeptanz als auch eine **wirtschaftliche Basis für den Einsatz** solcher Systeme zu schaffen.

Die **wissenschaftliche Verwertung** erfolgt in Form von internationalen Veröffentlichungen, Tagungsbeiträgen sowie Abschlussarbeiten (in ein bis drei Jahren). Ausgehend von den bisherigen Erfahrungen mit Ausgründungen und der wirtschaftlichen Verwertung von Projektergebnissen mit unseren Partnern aus der Wirtschaft aus vorangegangenen Projekten ist eine **wirtschaftliche Verwertung** durch die nachhaltige Nutzung des Kompetenzzentrums (in zwei bis drei Jahren) und ein Marktzugang durch

unsere Partner als auch durch weitere Unternehmensgründungen (in drei Jahren) und Kooperationen im Rahmen von Folgeprojekten mit Partnern aus der Wirtschaft (ab dem zweiten Jahr) sichergestellt.

### 3.4.3 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Durch die im Kompetenzzentrum gegebenen Infrastrukturen und Voraussetzungen sowie die entwickelten Evaluations-Werkzeuge sollen **Hersteller** solcher Systeme wie z.B. UBICA oder der vom DFKI geplanten Ausgründung Bremen Robotics die Möglichkeit bekommen, ihre Systeme an den mit ihnen entwickelten Benchmarks zu messen. Hier ist der Grundstein gelegt, die vorhandenen Forschungsroboter, sofern tragfähige Geschäftsmodelle entwickelt werden können, nachhaltig in den Markt zu bringen.

Mit dem Open Source und Open Data Ansatz ermöglichen wir Unternehmen, wie neusta mobile aber auch anderen **Softwareunternehmen**, sofern der Markt für diese sich als attraktiv herausstellen sollte, ohne hohe Anfangsinvestitionen in die Entwicklung und Anpassung von Digitalen Zwillingen und Lösungen für die mobile Interaktion mit Assistenzrobotern einzusteigen.

Gemeinsam mit dem **Transferzentrum RimA** sollen ein Prozessleitfaden zur Nutzer:innen-zentrierten Projektplanung sowie Standards für die Usability, Interaktionsforschung und die anvisierte Anwendungsdomäne der Assistenzroboter für Alltagssituationen entstehen.

Die vorhandenen Infrastrukturen sollen als **Evaluationszentrum** nachhaltig mit der Unterstützung der nutzenden Unternehmen betrieben werden. Das Kompetenzzentrum ermöglicht dabei, dass Partner aus der Wirtschaft vorhandene Infrastrukturen und OSS- Werkzeuge zur Evaluation eigener und verwendeter Systeme nutzen können.

Die bereits heute vorhandene umfangreiche Ausstattung und Infrastruktur kann und soll von Anfang an im Rahmen von durch die **Industrie oder Drittmittelgeber** (teil-)finanzierte nationale wie internationale Transfer- sowie Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bei anteiliger Finanzierung der Infrastruktur zu Zwecken des Unterhalts, Ausbaus und Betrieb genutzt werden.

Im Rahmen der KI-Strategie des Landes Bremen und in Kooperation mit dem Bremer KI-Transferzentrum und dem Digital Hub Industry Bremen ist die Bildung einer von den Projektpartnern finanzierten und **für Weitere offenen Betreibergesellschaft** das erklärte mittelfristige Ziel (drei Jahre) und die langfristig verfolgte Option der Projektpartner.

Das Kompetenzzentrum hat dabei die Rolle der **zentralen Anlaufstelle**. Den beteiligten Partnern aus der Wirtschaft fällt die Rolle der Vermarktung in Form von Beratungs- und Entwicklungs- Angeboten zu. Das Kompetenzzentrum strebt dabei für Forschungsroboter die **führende Position in Deutschland** an.

## 3.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

### 3.5.1 Übersicht über die Verbundpartner

Federführend sind das **Institute for Artificial Intelligence** (IAI, Michael Beetz) mit seinen Infrastrukturen und dem **SFB 1320 EASE** sowie die AG Robotik mit dem angegliederten **Robot Innovation Center** des DFKI (RIC, Frank Kirchner). Beteiligt sind das Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik mit dem **Digital Media Lab** (DMLab, Rainer Malaka) und das **Institut für Informationsmanagement Bremen** (IFIB, Andreas Breiter), das **Institut für Soziologie** (SOZ, Uwe Engel), die Arbeitsgruppe **Philosophie und Ethik der Digitalisierung** (PED, Dagmar Borchers), das **Institut für Projektmanagement und Innovation** (IPMI, Martin Möhrle), das **Institut für IT-, Medien- und Immaterialgüterrecht** (IIMIR, Iris Kirchner-Freis) und das Fachgebiet **Systeme der Medizintechnik** der Universität Duisburg-Essen, (UDE, Elsa A. Kirchner). Neben diesem Expertenteam zur Absicherung der wissenschaftlichen Qualität wird das Konsortium durch die Unternehmen **neusta mobile solutions** und **UBICA Robotics**, die Marktnähe, Vermarktungsaspekte und Nachhaltigkeit für den Betrieb des Kompetenzzentrums einbringen sollen, abgerundet. Zudem bringt sich die Aatalklinik Wünnenberg im Bereich der Rehabilitation mit ihrer Expertise als assoziierter Partner mit ein.

### 3.5.2 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Im von Michael Beetz koordinierten Sonderforschungsbereich EASE - Everyday Activity Science and Engineering wurden wesentliche Vorarbeiten und Infrastrukturen für das Kompetenzzentrum gelegt. Es wurden Forschungs- und Innovations-Kapazitäten als **Innovationshub für die Mensch-Assistenzroboter Interaktion** geschaffen. Vorhanden sind mehrere Living Labs: ein Apartment und eine Supermarktfiliale jeweils mit Assistenzrobotern. Daneben wurden im Zuge der von Frank Kirchner geleiteten Vorhaben IMMI, BesMan, Recupera REHA, TransTerrA, TransFIT, KAMeri und KALI das Assistent Robot Lab mit multifunktionalen Testaufbauten sowie das Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) Labor und das Virtual Reality Labor im Laufe der vergangenen zwanzig Jahre sukzessive auf- und ausgebaut (BBLAB). Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten wurden in hochrangigen Journals, wie PLoS ONE, Scientific Reports (Nature), International Journal of Social Robotics, Frontiers in Neuroscience, Frontiers in Neurobotics, Frontiers in Robotics and AI, Frontiers in Human Neuroscience und Frontiers in Neuroinformatics veröffentlicht.

Für alle **Infrastrukturen** sind sämtliche technischen Voraussetzungen zur Durchführung und Auswertung von Experimenten unter Verwendung einer digitalen Innovationsplattform, inklusiv virtueller und frei zugänglicher digitaler Zwillinge der Labore gegeben. Die Labore sind mit umfangreichen Sensorsystemen zum Messen der physiologischen Parameter und des Verhaltens des Menschen ausgestattet. Die Antragsteller haben dort bereits groß angelegte vom Ethikrat der Universität genehmigte **Studien zur Verhaltensanalyse und Effektivität intuitiver Mensch-Maschine-Interaktion** durchgeführt. Aus in den vergangenen zwanzig Jahren abgeschlossenen Vorhaben liegen umfangreiche **Erfahrungen zur Einhaltung von Sicherheitsanforderungen** SeSa für die Mensch-Roboter-Kollaboration vor. In diesen Vorhaben wurden die dem Kompetenzzentrum bereitstehenden Software-Tools entwickelt. Für ggf. im Rahmen von Studien mit Nutzer:innen notwendige Anpassungen an technischen Systemen sind zudem Werkstätten und Integrationsräume vorhanden. Die in 3.2.2.4 beschriebene **Open Source Software** entstand durchgängig im Rahmen öffentlich geförderter Vorhaben, ist umfassend dokumentiert und im regelmäßigen Gebrauch sowohl innerhalb als auch außerhalb des Konsortiums und profitiert von den Vorteilen der Open Source Community.

Erfahrungen mit einem **Innovationsökosystem** mit einer Transfer-Infrastruktur für die interaktive Robotik existiert für das Konsortium bereits aus dem Projekt Knowledge4Retail. Mit dem vom Land Bremen geförderten Vorhaben IMARI wurde zur Erfassung von Experimenten mit Nutzer:innen in den Living Labs investiert. Damit lassen sich Beobachtung, Aufzeichnung und Auswertung von Langzeitstudien wesentlich verbessern. Die Living Labs sind ferner Orte für Arbeiten im Rahmen des KI-Campus Vorhabens IMPROVER und der mit BMBF Förderung zu KI in der Hochschulbildung noch 42 Monate geförderten **Integrierten Lernumgebung für kognitive Robotik** (IntEL4CoRo). **Die am Vorhaben beteiligten Organisationen und die sie Vertretenden bringen für das Kompetenzzentrum notwendige Vorerfahrungen und Ergebnisse aus Vorprojekten ein:**

Das **Digital Media Lab (DMLab)** ist Teil des Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI) der Universität Bremen. Im geplanten Kompetenzzentrum soll das DMLab von Prof. Dr. Rainer Malaka die Aspekte der Mensch-Technik-Interaktion vertreten. Seit 2006 wird im DMLab an interaktiven multimodalen Systemen und deren Evaluation geforscht (Malaka et al., 2006). Ein besonderer Fokus war die empirische Evaluation neuer Systeme und Interaktionsformen (Döring et al., 2018, Bonfert et al., 2021). Im Bereich der Entwicklung autonomer Roboter für Alltagsaktivitäten im Haushalt ist das DMLab mit zwei Projekten im SFB EASE vertreten; physikalische Simulationen werden hier für die Evaluation und das Sammeln von Daten über Serious Games in digitalen Zwillingswelten genutzt (Pfau and Malaka, 2019) und es werden Modelle für die Interaktion mit Robotern entwickelt (Pfau et al., 2019, Porzel and Cangalovic, 2020). Für den Rückkanal von Robotern zu Menschen wurden neuartige symbolische Ansätze – wie das „reason aloud protocol“ entwickelt und erprobt (Pomarlan et al., 2018, Pomarlan and Bateman, 2020). Rainer Malaka ist Direktor des TZI und leitet das Graduiertenkolleg Empowering Digital Media. Er ist der deutsche Repräsentant und Chair des Technical Committees TC 14 der IFIP (International Federation of Information Processing). Er ist Mitglied des SFB EASE. Als Mitglied der Gesellschaft für Informatik ist er insbesondere im Leitungsgremium des Fachbereichs Mensch-Computer-Interaktion aktiv. In einigen laufenden und abgeschlossenen Projekten im Bereich MTI wurden bzw. werden im DMLab Natural User Interfaces in AR und VR entwickelt, um Previsualisierungen

für die Kreativindustrie zu ermöglichen. Zudem wird daran gearbeitet beispielsweise VR während OPs einzusetzen, um MRT und CT Bilder einzublenden, aber auch um entfernte Experten an den OP-Tisch hinzuziehen.

Das **Institut für Informationsmanagement Bremen (ifib)** wurde als Forschungsinstitut an der Universität Bremen Ende 2002 gegründet und arbeitet seither an der Schnittstelle zwischen Sozialwissenschaften und Informatik, sowohl in Forschung als auch Entwicklung und Transfer. Schwerpunkte der Arbeit ist die Forschung zur Digitalisierung in der Bildung (Andreas Breiter) sowie des öffentlichen Sektors und einer alternden Gesellschaft (Juliane Jarke). Viele Projekte verfolgen einen partizipativen Forschungs- und Designansatz. In diesem Kontext ergänzen sich DMLab von der technischen Seite mit dem ifib von der Anwenderseite.

Vom **Institut für Soziologie** am Fachbereich Sozialwissenschaften der Universität Bremen bringt Uwe Engel seinen Forschungsschwerpunkt Soziologie Künstlicher Intelligenz in das Kompetenzzentrum als Gründungsdirektor des Sozialwissenschaftlichen Methoden zentrums der Universität Bremen und dessen langjährigem Leiter ein. Er hat für den ELSI-Schwerpunkt des Kompetenzzentrums ein Expertendelphi und eine repräsentative Bevölkerungsumfrage zur soziologischen und sozialpsychologischen Akzeptanz von KI und Assistenzrobotik durchgeführt und bringt neben einer Infrastruktur für Web-Panel und langjähriger Sozialforschungserfahrung die Kompetenz aus Aufbau und Betrieb des Methodenforschungspanels für den SPP 1292 Survey Methodology der DFG in den Verbund ein (Engel, 2020).

Die **Arbeitsstelle für Philosophie und Ethik der Digitalisierung** im Institut für Philosophie der Universität Bremen unter Leitung von Dagmar Borchers bringt ins Kompetenzzentrum ihre Erfahrung zur Roboterethik ein, um Möglichkeiten und zu vermeidende Risiken und Schädigungen abzuschätzen. Die Forschungsschwerpunkte liegen in der Angewandten Ethik (z.B. Bioethik, Medizinethik, Tierethik, Neuroethik und Verwaltungsethik), der Politischen Philosophie (Liberalismus, Minderheitenrechte und internationale Gerechtigkeit), der Ethik mit der Kritik der modernen Tugendethik sowie ethischen Aspekten in komplexen Entscheidungen.

Das **Institut für Projektmanagement und Innovation (IPMI)** wurde als Forschungsinstitut der Universität Bremen 2001 gegründet und arbeitet unter der Leitung von Martin Möhrle im Spannungsfeld zwischen Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften mit einem besonderen Fokus auf digitalen Technologien. Die Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen des Innovationsmanagements, des Technologiemanagements, des Wissensmanagements und der Zukunftsforschung. Konkret untersuchen aktuelle Forschungsarbeiten vor allem die Entstehung neuer Technologien aus einer Kunden- und Anwendungsperspektive.

Ein langjähriger Forschungs- und Lehrschwerpunkt des **Institutes für IT-, Medien- und Immaterialgüterrecht (IIMIR)** sind die rechtlichen und rechtsethischen Aspekte der Künstlichen Intelligenz und Robotik. Das Institut unter Leitung von Iris Kirchner-Freis beschäftigt sich dabei mit der Thematik in unterschiedlichen Anwendungsszenarien und kooperiert insbesondere mit den einschlägigen Informatikinstitutionen an der Universität Bremen. Iris Kirchner-Freis ist Professorin für deutsches und europäisches IT-, Medien- und Immaterialgüterrecht am Fachbereich Informatik der Universität Bremen.

Das standortübergreifende Team **Intelligent Healthcare Systems** des DFKI wird von der Biologin mit Promotion in der Informatik im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion Elsa A. Kirchner geleitet. Ab August 2021 hat sie die Professur für Systeme der Medizintechnik an der Universität Duisburg-Essen (UDE) inne und kooperiert weiterhin mit dem DFKI. Sie hat über 10 Jahre das Brain & Behavioral Lab der AG Robotik an der Universität Bremen und das Team Interactive Machine Learning am Robotics Innovation Center des DFKI geleitet. Sie ist ehrenamtliches Mitglied der Plattform Lernende Systeme in der Arbeitsgruppe 6: Gesundheit, Medizintechnik, Pflege und Gründungsmitglied des Netzwerkes Space2Health des DLR Raumfahrtmanagement.

**neusta mobile solutions** ist als Experte für mobile Lösungen Teil von team neusta, einer Bremer Unternehmensgruppe mit 24 Unternehmen und rund 1.200 Mitarbeitenden. Schwerpunkt ist die Konzeption, Entwicklung und der Betrieb von Apps für mobile Plattformen aller Art wie z.B. für die Hausautomatisierung oder für mobile Unterstützungssysteme in AAL Projekten. Das Unternehmen ist aus einer Kooperation mit der Universität Bremen entstanden und hat in den vergangenen 15 Jahren in verschiedenen vom BMBF, BMWi und der EU geförderten Projekten u.a. mit Instituten

der Universität und des DFKI kooperiert. In Forschungsprojekten und BSI-Aufträgen wurde zudem umfassende Expertise zur Sicherheit mobiler Systeme aufgebaut. Zum Leistungsspektrum zählen neben der Vermarktung von Lösungen die Erstellung von Pilotanwendungen, Prototypen und Machbarkeitsstudien in Kundenprojekten.

**Ubica Robotics** entwickelt einen mobilen Assistenzroboter für Einzelhandelsfilialen, der autonom digitale Zwillinge der Filialen erstellt und Mitarbeitende vor Ort in ihrer täglichen Arbeit unterstützt. Die Herausforderung eine nahtlose Interaktion zwischen Mitarbeitenden und den Robotern zu ermöglichen und die komplexe Technologie ohne großen Schulungsaufwand zugänglich zu machen motiviert UBICA zur Teilnahme am Vorhaben. Ubica Robotics ist eine durch einen EXIST-Forschungstransfer geförderte Ausgründung des IAI der Universität Bremen mit derzeit 12 Mitarbeitern. Mit Hilfe der hochgenauen Daten zum Filial- und Regalaufbau von UBICA sowie der Warenposition und Warenverfügbarkeit lassen sich die Supply Chain, Filiallogistikprozesse sowie Anpassungen des Regallayouts optimieren. Kundinnen und Kunden profitieren von diesen Optimierungen und sollen über ihre mobile Applikationen ein neues Einkaufserlebnis erhalten.

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

In den oben in Kapitel 3.2 beschriebenen Infrastrukturen werden wie in Kapitel 3.3 dargestellt strukturierte Erfahrungen in mehrmonatigen Erprobungs-Studien gesammelt werden. Das **IAI** und das **RIC** werden die vorhandene Hardware und Software inklusive der Digitalen Zwillinge als Infrastrukturen bereitstellen und betreuen. Ausgehend von ihrer bisherigen konstruktiven Zusammenarbeit werden sie sich in der gemeinschaftlichen Koordination des Kompetenzzentrums ergänzen.

Die vom **DMLab** und **ifib** mit Beteiligung der übrigen Partner als Kernelement des Vorhabens in 3.3.1 geplanten **Nutzer- und Erprobungsstudien** werden Anforderungen für Anpassungen an den vorhandenen Infrastrukturen ergeben. Diese werden durch das IAI und das RIC als agile Entwicklungen umgesetzt werden. Dabei sind die virtuellen Erprobungsumgebungen wie sie die Digitalen Zwillinge ermöglichen das zentrale Element des agilen Ansatzes.

Die Nutzer- und Erprobungsstudien folgen bezüglich der **ELSI Fragestellungen** dem in 3.3.3 dargestellten methodischen Ansatz. Hier arbeiten **alle Partner** zusammen und übernehmen entsprechend ihrer fachlichen Expertise als Teamleistung gemeinschaftlich die Verantwortung für eine wissenschaftlich fundierte umfassende Akzeptanz bezüglich Planung und Durchführung der Studien bis hin zur Absicherung gegenüber der Gesellschaft. Hier ist auch der rege Austausch mit dem Transferzentrum RimA hinsichtlich der zu entwickelnden Benchmarks vorgesehen.

#### 3.5.4 Einbindung weiterer Akteure

Im Rahmen laufender nationaler und internationaler Projekte der Projektpartner werden diese das Kompetenzzentrum und seine Möglichkeiten vorstellen, um eine **aktive Beteiligung am Kompetenzzentrum** z.B. im Rahmen dieser laufenden und möglicher zukünftiger Vorhaben zu motivieren. In Zusammenarbeit mit dem von den Antragstellern aktiv unterstützten KI-Transferzentrum des Landes Bremen werden im Laufe des Vorhabens drei Veranstaltungen organisiert werden, um die Arbeit des Kompetenzzentrums vorzustellen (1. Jahr), Möglichkeiten zur Nutzung des Kompetenzzentrums darzustellen (2. Jahr) und eine aktive Beteiligung an der Finanzierung des Kompetenzzentrums nach Auslaufen der Förderung zu bewerben (3. Jahr). Hersteller von Assistenzrobotern, Systementwickler und Berater zur Einführung solcher Systeme, Betreiber von Einrichtungen, Interessenvertretungen und Kostenträger werden in Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum RimA hierzu aus den bestehenden Netzwerken kontinuierlich im Rahmen der Wissenschaftskommunikation gezielt angesprochen werden.

#### 3.5.5 Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum RimA

Für die Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum RimA wurde der Arbeitsplan des Kompetenzzentrums auf den des Transferzentrums abgestimmt. Die Arbeiten des Kompetenzzentrums zu Fragen der **Sicherheit, Geschäftsmodellen und Open Source Software** sowie der Entwicklung von **Benchmarks** werden unter Einbeziehung der vom Transferzentrum angebotenen Schulungen so aufbereitet werden, dass sie im Rahmen der vom Transferzentrum geplanten Veranstaltungen termingerecht bereitgestellt werden können. Das Kompetenzzentrum wird sich an den drei geplanten Wettbewerben

sowie den geplanten Schulungsreihen wie Brokerage-Events aktiv beteiligen und hat dafür im Arbeitsplan entsprechende Ressourcen vorgesehen. Das Kompetenzzentrum wird seine Aktivitäten über die Projektkoordination in Abstimmung mit den Experten des Kompetenzzentrums aus den Wirtschaftswissenschaften zu den Geschäftsmodellen (IPMI/neusta/UBICA) und Technologie (RIC/IAI/DMLab/neusta/UBICA) zu Fragen der Sicherheit (ifib/UDE/IIMIR/neusta/UBICA) gebündelt einbringen sowie fallweise Veranstaltungen mit Unterstützung des Transferzentrums vor Ort mit den Partnern des Kompetenzzentrums organisieren.

## Literaturverzeichnis

Dmitry Alexandrovsky, Susanne Putze, Valentin Schwind, Elisa D Mekler, Jan David Smeddinck, Denise Kahl, Antonio Krüger, and Rainer Malaka. Evaluating user experiences in mixed reality. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–5, 2021.

Tom L Beauchamp and James F Childress. Principles of biomedical ethics seventh edition. 2013.

Heidrun Becker. *Robotik in Betreuung und Gesundheitsversorgung*, volume 58. vdf Hochschulverlag AG, 2013.

Michael Beetz, Lorenz Mösenlechner, and Moritz Tenorth. Cram—a cognitive robot abstract machine for everyday manipulation in human environments. In *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 1012–1017. IEEE, 2010.

Michael Beetz, Ferenc Bálint-Benczédi, Nico Blodow, Daniel Nyga, Thiemo Wiedemeyer, and Zoltán-Csaba Marton. Robosherlock: Unstructured information processing for robot perception. In *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1549–1556. IEEE, 2015.

Michael Beetz, Daniel Beßler, Andrei Haidu, Mihai Pomarlan, Asil Kaan Bozcuoğlu, and Georg Bartels. Know rob 2.0—a 2nd generation knowledge processing framework for cognition-enabled robotic agents. In *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 512–519. IEEE, 2018.

- Simran Bhatia, Elin A Björling, and Tanya Budhiraja. Exploring web-based VR for participatory robot design. In *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 109–112, 2021.
- Michael Bonfert, Nima Zargham, Florian Saade, Robert Porzel, and Rainer Malaka. An evaluation of visual embodiment for voice assistants on smart displays. In *CUI 2021-3rd Conference on Conversational User Interfaces*, pages 1–11, 2021.
- Marc Bovenschulte. *Digitale Lebensgefährten-der Anthropomorphismus sozialer Beziehungen*. 2019.
- Klemens Budde, Teresa Dasch, Elsa Kirchner, Ursula Ohliger, Matthieu Schapranow, Thomas Schmidt, Anne Schwerk, Jack Thoms, Thomas Zahn, and Karsten Hiltawsky. *Patienten im Fokus*. 2020.
- Christopher Burr and Luciano Floridi. The ethics of digital well-being: A multi-disciplinary perspective. In *Ethics of Digital Well-Being*, pages 1–29. Springer, 2020.
- Thomas D Cook, Donald Thomas Campbell, and William Shadish. *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin Boston, MA, 2002.
- Fred D Davis, Richard P Bagozzi, and Paul R Warshaw. User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management science*, 35(8): 982–1003, 1989.
- Morteza Dianatfar, Jyrki Latokartano, and Minna Lanz. Review on existing VR/AR solutions in human–robot collaboration. *Procedia CIRP*, 97:407–411, 2021.
- Tanja Döring, Robert Porzel, and Rainer Malaka. Human–computer interaction with novel and advanced materials. *Material-Integrated Intelligent Systems-Technology and Applications: Technology and Applications*, pages 629–644, 2018.
- Uwe Engel. *Blick in die Zukunft: Wie künstliche Intelligenz das Leben verändern wird. Ergebnisse eines Umfrageprojekts in der Wissenschaft, Politik und Bevölkerung der Freien Hansestadt Bremen*, 02 2020.

- Uwe Engel and Lena Dahlhaus. Data quality and privacy concerns in digital trace data: Insights from a delphi study on machine learning and robots in human life. In *Handbook of Computational Social Science, Vol 1*. Taylor & Francis, 2021.
- Uwe Engel and Holger Schultheis. KI assistiert, der Mensch entscheidet. *Künstliche Intelligenz – Die große Verheißung*, page 419, 2021.
- Susanne Frennert, Håkan Efring, and Britt Östlund. Case report: Implications of doing research on socially assistive robots in real homes. *International Journal of Social Robotics*, 9(3):401–415, 2017.
- Oliver Gassmann, Karolin Frankenberger, and Michaela Csik. Geschäftsmodelle entwickeln: 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator, 2017.
- Jessica Heesen, Jörn Müller-Quade, Stefan Wrobel, et al. Zertifizierung von KI-Systemen: Kompass für die Entwicklung und Anwendung vertrauenswürdiger KI-Systeme: Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme, 2020.
- Eva Jahn, Julia Krause, and Martin Müller. Intuitive Interaktion mit kooperativen Assistenzrobotern für das 3. und 4. Lebensalter (kobo34): Evaluation von Bedürfnissen und Technikaffinität der Endnutzer/innen. *Mensch und Computer 2019, Workshopband*, 2019.
- Elsa A Kirchner, Stephen H Fairclough, and Frank Kirchner. Embedded multimodal interfaces in robotics: applications, future trends, and societal implications. In *The Handbook of Multimodal-Multisensor Interfaces: Language Processing, Software, Commercialization, and Emerging Directions-Volume 3*, pages 523–576. 2019.
- Yiannis Koumpouros, Effie Papageorgiou, Alexandra Karavasili, and Foteini Koureta. Pytheia: A scale for assessing rehabilitation and assistive robotics. *International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering*, 10(11):456–60, 2016.
- Mario Michael Krell, Sirko Straube, Anett Seeland, Hendrik Wöhrle, Johannes Teiwes, Jan Hendrik Metzen, Elsa Andrea Kirchner, and Frank Kirchner. pySPACE – a signal

processing and classification environment in python. *Frontiers in Neuroinformatics*, 7:40, 2013.

Theresa Law and Matthias Scheutz. Trust: Recent concepts and evaluations in human-robot interaction. In *Trust in Human-Robot Interaction*, pages 27–57. Elsevier, 2021.

Maxie Lutze, G Glock, J Stubbe, and D Paulicke. Digitalisierung und Pflegebedürftigkeit–Nutzen und Potenziale von Assistenztechnologien. *CW Haarfeld, GmbH*, 2019.

Rainer Malaka. Intelligent user interfaces for ubiquitous computing. In *Human Computer Interaction: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, pages 2627–2643. IGI Global, 2009.

Rainer Malaka, Jochen Häußler, Hidir Aras, Matthias Merdes, Dennis Pfisterer, Matthias Jöst, and Robert Porzel. Smartkom-mobile: Intelligent interaction with a mobile system. In *SmartKom: Foundations of Multimodal Dialogue Systems*, pages 505–522. Springer, 2006.

David Matusiewicz, Frank Stratmann, and Johannes Wimmer. *Marketing im Gesundheitswesen: Einführung – Bestandsaufnahme – Zukunftsperspektiven*. Springer-Verlag, 2019.

David Matusiewicz, Benjamin Niestroj, and Bart de Witte. Digitale Geschäftsmodelle und Entwicklungsperspektiven im Gesundheitswesen. In *Geschäftsmodelle in die Zukunft denken*, pages 69–88. Springer, 2020.

Heribert Meffert, Christoph Burmann, Manfred Kirchgeorg, and Maik Eisenbeiß. *Marketing: Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung Konzepte – Instrumente – Praxisbeispiele*. Springer-Verlag, 2018.

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.

Johannes Pfau and Rainer Malaka. Can you rely on human computation? a large-scale analysis of disruptive behavior in games with a purpose. In *Extended Abstracts*

*of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts*, pages 605–610, 2019.

Johannes Pfau, Jan David Smeddinck, and Rainer Malaka. Deep player behavior models: Evaluating a novel take on dynamic difficulty adjustment. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–6, 2019.

Mihai Pomarlan and John A Bateman. Embodied functional relations: A formal account combining abstract logical theory with grounding in simulation. In *FOIS*, pages 155–168, 2020.

Mihai Pomarlan, Robert Porzel, John Bateman, and Rainer Malaka. From sensors to sense: Integrated heterogeneous ontologies for natural language generation. In *Proceedings of the Workshop on NLG for Human–Robot Interaction*, pages 17–21, 2018.

Robert Porzel and Vanja Sophie Cangalovic. What say you: An ontological representation of imperative meaning for human-robot interaction. In *JOWO*, 2020.

Gregory Rose and Detmar Straub. Predicting general it use: Applying tam to the arabic world. *Journal of Global Information Management (JGIM)*, 6(3):39–46, 1998.

The Royal Society. *Machine learning: The power and promise of computers that learn by example*. The Royal Society, 2017.

Mark Srite and Elena Karahanna. The role of espoused national cultural values in technology acceptance. *MIS quarterly*, pages 679–704, 2006.

Mark Srite et al. Culture as an explanation of technology acceptance differences: An empirical investigation of chinese and us users. *Australasian Journal of Information Systems*, 14(1), 2006.

J Stubbe, J Mock, and S Wischmann. Akzeptanz von Servicerobotern. Tools und Strategien für den erfolgreichen betrieblichen Einsatz. *Institut für Innovation und Technik (IIT) in der VDI/VDE Innovation+ Technik. Zugriff am*, 28:2021, 2019.

- David J Teece. Business models, business strategy and innovation. *Long range planning*, 43(2-3):172–194, 2010.
- Moritz Tenorth and Michael Beetz. Knowrob: A knowledge processing infrastructure for cognition-enabled robots. *The International Journal of Robotics Research*, 32(5):566–590, 2013.
- Moritz Tenorth, Jan Winkler, Daniel Beßler, and Michael Beetz. Open-ease: a cloud-based knowledge service for autonomous learning. *KI-Künstliche Intelligenz*, 29(4):407–411, 2015.
- Viswanath Venkatesh and Fred D Davis. A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2):186–204, 2000.
- Viswanath Venkatesh and Michael G Morris. Why don't men ever stop to ask for directions? Gender, social influence, and their role in technology acceptance and usage behavior. *MIS quarterly*, pages 115–139, 2000.
- Viswanath Venkatesh, Michael G Morris, Gordon B Davis, and Fred D Davis. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, pages 425–478, 2003.
- Valeria Villani, Beatrice Capelli, and Lorenzo Sabattini. Use of virtual reality for the evaluation of human-robot interaction systems in complex scenarios. In *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 422–427. IEEE, 2018.
- Jörg Weking, Andreas Hein, Markus Böhm, and Helmut Krcmar. A hierarchical taxonomy of business model patterns. *Electronic Markets*, 30(3):447–468, 2020.
- Christian Willy Werner. *Nutzerorientierte Evaluation zweier altersgerechter Assistenzroboter zur Unterstützung von Alltagsaktivitäten („Ambient Assisted Living-Roboter“) bei älteren Menschen mit funktionellen Einschränkungen: MOBOT-Rollator und I-SUPPORT-Duschroboter*. PhD thesis, 2020.
- Luc Wijnen, Séverin Lemaignan, and Paul Bremner. Towards using virtual reality

for replicating hri studies. In *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 514–516, 2020.

Murphy Wonsick and Taskin Padir. A systematic review of virtual reality interfaces for controlling and interacting with robots. *Applied Sciences*, 10(24):9051, 2020.

Christiane Woopen and Marc Jannes. *Roboter in der Gesellschaft*. Springer, 2019.