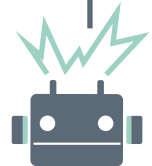
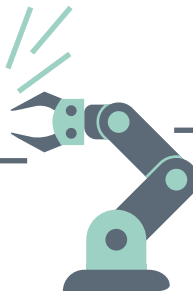


Roboter für Assistenzfunktionen

Konzeptstudien für die Interaktion in der Praxis



A. Rönnau, S. Behnke, P. Becker (Hrsg.)



Arne Rönna, Sven Behnke, Pascal Becker (Hrsg.)

Roboter für Assistenzfunktionen

Konzeptstudien für die Interaktion in der Praxis

Roboter für Assistenzfunktionen

Konzeptstudien für die Interaktion in der Praxis

von

Arne Rönnau, Sven Behnke, Pascal Becker (Hrsg.)

Dieser Sammelband dient der Dokumentation der Projekte und der Machbarkeitsstudien einer Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Der Sammelband erscheint zum Start der im Rahmen des Projektes „RimA – Roboter im Alltag“ ausgewählten Kompetenzzentren zum 23.11.2022. Der Sammelband wurde beim FZI Forschungszentrum Informatik im Projekt RimA (Förderkennzeichen 16SV8680) erstellt. Die Verantwortung für den Inhalt der einzelnen Kapitel liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren.

Herausgeber: Arne Rönna, FZI Forschungszentrum Informatik
Sven Behnke, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Pascal Becker, FZI Forschungszentrum Informatik
Satz: FZI Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe

Das Projekt RimA wird gefördert vom
Bundesministerium für Bildung und Forschung



Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



This document – excluding parts marked otherwise, the cover, pictures and graphs – is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>



The cover page is licensed under a Creative Commons Attribution-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-ND 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>

Print on Demand 2023 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISBN 978-3-7315-1244-8

DOI 10.5445/KSP/1000151552

Inhaltsverzeichnis

1 Towards More Robotic Assistance for Everyday Life **1**

*Arne Roennau, Martina Overbeck, Sven Behnke, Martin Gersch, Björn Kral,
Werner Varro und Pascal Becker*

1.1	Introduction	2
1.2	Approaches for More Service Robots in Everyday Life	14
1.3	Studies on Robots for Assistance: Interaction in the Field	24
1.4	Towards More Robotic Assistance for Everyday Life	54

2 Aachener Kompetenzzentrum für interaktive Robotik in Gesundheit, Pflege und Assistenz (AixistenzRobotik) **71**

*Astrid Rosenthal-von der Pütten, Alexander Mertens, Astrid Stephan,
Stefan Schiffer, Anna Abrams, Stefan Kopp und Verena Nitsch*

2.1	Ziele des Kompetenzzentrums	71
2.2	Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	78
2.3	Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	89
2.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	96
2.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	101

3 Alltagsassistentz-Roboterlabor (CeRA4HRI) 123

*Michael Beetz, Frank Kirchner, Rainer Malaka, Andreas Breiter,
Uwe Engel, Dagmar Borchers, Martin G. Moehrle, Iris Kirchner-Freis,
Elsa A. Kirchner, Juliane Jarke, Jonas Reiling, Holger Bothmer,
Michael Lawo, Nils Denter, Niels Will und Daniel Nyga*

3.1	Ziele des Kompetenzzentrums	124
3.2	Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	128
3.3	Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	138
3.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	149
3.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	154

4 Kompetenzzentrum für Baurobotik im Hochbau (CONSAS) 169

*Alexander Kuhn, Jan Niklas Franzius, Dennis Möller, Norbert Pralle,
Franziska Reich, René Hellmuth, Anne-Sophie Tombeil, Günter Wenzel,
Thomas Linner, Marc Schmailzl, Rongbo Hu, Thomas Bock,
Christophe Maufroy, Verena Kopp, Nico Bölke und Urban Daub*

4.1	Ziele des Kompetenzzentrums	170
4.2	Stand der Wissenschaft und Technik	174
4.3	Ergebnisse der Machbarkeitsstudie, wissenschaftliche und technische Methoden des Forschungsvorhabens	182
4.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	196
4.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	200
4.6	Zusammenarbeit mit Transferprojekt	204

5 Kompetenzzentrum für menschenzentrierte Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen (KARoKAS) 209

Adrian Schischmanow, Alfred Iwainisky, Sandra Böhm, Lina Figueiredo, Michael Melzer, Patrick Neumann, Astrid Oehme, Angelika Trübswetter und Elise Werner

5.1	Ziele des Kompetenzzentrums	209
5.2	Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	218
5.3	Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	227
5.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	232
5.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	235

6 Kompetenzzentrum für prosoziale und vertrauensfördernde Robotik (ProVeRo) 259

Kolja Kühnlenz, Barbara Kühnlenz, Thomas Kriza, Bartolomiej Stanczyk, Georg Arbeiter und Alexander Müller

6.1	Ziele des Kompetenzzentrums	259
6.2	Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	267
6.3	Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	275
6.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	282
6.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	286

7 Pflegeunterstützende Assistenzrobotik (KomPARob) 303

*Birgit Graf, Theo Jacobs, Simon Baumgarten, Florenz Graf,
Sascha Wischniewski, Susanne Niehaus, Christian Schiller
und Marija Radic*

7.1	Ziele des Kompetenzzentrums	304
7.2	Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	311
7.3	Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	320
7.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	326
7.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	333

**8 Kompetenzzentrum für Roboter als Assistenz für
Menschen mit Einschränkungen (OPERATE) 349**

Kris Dalm, Rohan Sahuji, Florian Frank und Lars Ruhbach

8.1	Ziele des Kompetenzzentrums	349
8.2	Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	358
8.3	Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	370
8.4	Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	376
8.5	Struktureller Aufbau des Verbundes	381

9 Kompetenzzentrum für Robotik und Interaktion für die Pflege (KO:ROP) 399

Marco Eichelberg, Tobias Krahn, Stefan Stiene, Alexander Sung, Manfred Hülsken-Giesler, Yvonne Steffen, Lena Marie Wirth, Marion Bley, Franziska Tigges, Ulrike Pesch, Kira Nordmann, Nadine Reißner, Uwe Zimmermann, Christian Sternitzke, Ulrich Schulze-Althoff, Marc Ernst, Sebastian Glende, Sibylle Meyer und Andreas Hein

9.1 Ziele des Kompetenzzentrums 400

9.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik 408

9.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums 417

9.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan 431

9.5 Struktureller Aufbau des Verbundes 434

10 Zentrum für positive Service-Robotik im Kundenkontakt (PosiBot) 451

Kathrin Pollmann, Nora Fronemann, Daniel Ziegler, Wulf Loh, Carla Pavel, Johannes Kraus, Franziska Babel, Daryoush Daniel Vaziri, David Golchinfar, Daniel Schmidt, Alina Henne, Georg Wegmann, Laura Dreessen, Ray-Allen Taylor, Matthias Krinke und Dania Rothe

10.1 Konzept des Kompetenzzentrums 452

10.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik 464

10.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Zentrums 476

10.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan 479

10.5 Struktureller Aufbau des Verbundes 483

**11 Roboter – Interaktive, transparente und adaptive Lebensbegleiter
(R-ITUAL) 501**

*Michael Herrnberger, Victor Fäßler, Alejandro Cardenas, Sara Dirnagl,
Philippe Mauri, Paul von Rüden, Benjamin Stähle, Markus Schneider,
Johannes Kraus, Franziska Babel, Johannes Steinle, Florian Fischer,
Karsten Bohlmann, Ivana Kruijff-Korbayova und Christian Wilms*

11.1 Ziele des Kompetenzzentrums	502
11.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	511
11.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	525
11.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	532
11.5 Struktureller Aufbau des Verbundes	537

**12 Kompetenzzentrum für interaktive AssistenzROBOTik für REHaKIDS
(ROBO:REHKIDS) 557**

*Salima Houta, Pinar Bisgin, Christoph Monfeld, Ioannis Iossifidis,
Bernd Kuhlenkötter, Alfred Hypki, Laura Hoffmann, Christian Walter-Klose,
Hanns Rüdiger Röttgers, Christian Dunker und Alexander Pröll*

12.1 Ziele des Kompetenzzentrums	558
12.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	566
12.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	572
12.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	577
12.5 Struktureller Aufbau des Verbundes	583

13 Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis (rokit) 601

*Bilal Tariq, Norbert Elkmann, José Saenz, Björn Kahl, Marija Radic,
Johannes David Drzewiecki, Astrid Oehme, Paul Schweidler,
Thomas Jürgensohn, Jochen Feitsch, Christian Geiger,
David Stegmeier, Givemy Knezevic, André Steimers, Sabine Ammon,
Peter Remmers und Frank Dittrich*

13.1 Ziele des Kompetenzzentrums	602
13.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	611
13.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	618
13.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	624
13.5 Struktureller Aufbau des Verbundes	630

**14 Bürgernahe und nutzendengerechte soziale Roboter in den Stadverwal-
tungen der Metropole Ruhr (RuhrBots) 645**

*Carolin Straßmann, Sabrina C. Eimler, Simone Roth, Edwin Naroska,
Aysegül Dogangün, Andreas Gourmelon, Rainer Becker,
Wolfgang Grötting, Julia Hermann und Alexander Arntz*

14.1 Ziele des Kompetenzzentrums	646
14.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	657
14.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	667
14.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	671
14.5 Struktureller Aufbau des Verbundes	677

**15 Ulmer Zentrum zur Erforschung und Evaluation der Mensch-Roboter-
Interaktion im öffentlichen Raum (ZEN-MRI) 699**

*Johannes Maria Kraus, Franziska Babel, Martin Baumann,
Kathrin Pollmann, Daniel Ziegler, Siegfried Hochdorfer,
Petra Grimm, Tobias Keber und Marius Pawlak*

15.1 Ziele des Kompetenzzentrums	700
15.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	710
15.3 Wissenschaftliche & technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	720
15.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	729
15.5 Struktureller Aufbau des Verbundes	732

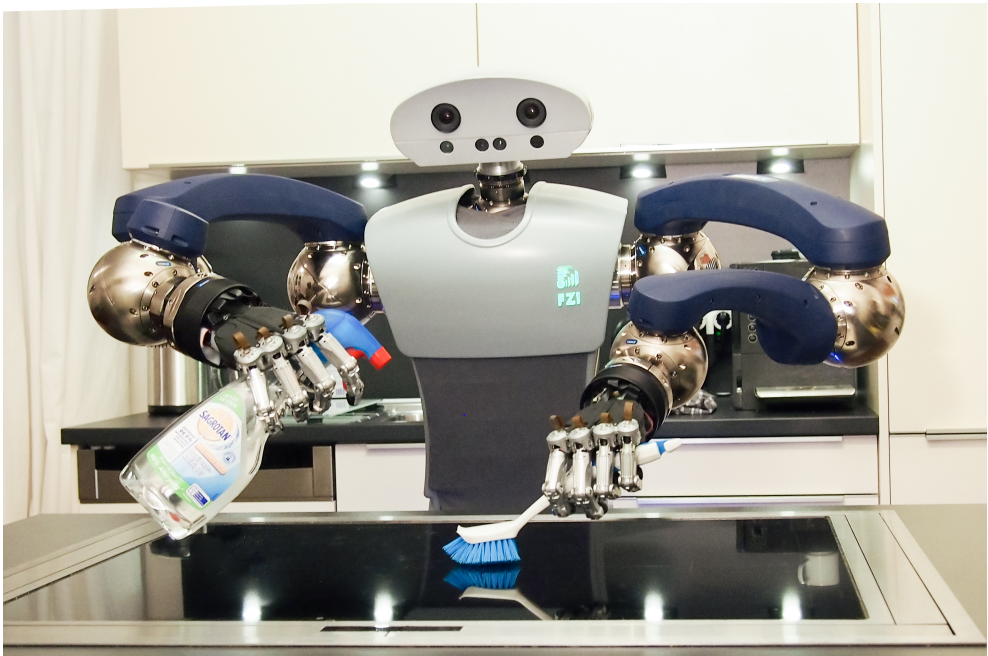
**16 KompetenzZENTrum für flexible AUtonomie in der Tele-Robotik
(ZENT-AUR) 749**

*Bernhard Weber, Freek Stulp, Jörn Vogel, Julian Klodmann,
Linda Onnasch, Markus Schneider, Benjamin Stähle, Jürgen Graef,
Marc Hassenzahl, Judith Dörrenbächer, Sabine Maasen,
Henning Mayer und Benjamin Lipp*

16.1 Ziele des Kompetenzzentrums	749
16.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik	759
16.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums	766
16.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan	776
16.5 Struktureller Aufbau des Verbundes	780

Towards More Robotic Assistance for Everyday Life

Arne Roennau¹, Martina Overbeck¹, Sven Behnke², Martin Gersch³, Björn Kral³,
Werner Varro⁴ und Pascal Becker¹



¹FZI Research Center
for Information Technology

Haid-und-Neu-Str. 10–14, 76131 Karlsruhe

²University of Bonn
Computer Science Institute VI
Autonomous Intelligent Systems

Friedrich-Hirzebruch- Allee 8, 53115 Bonn

³Freie Universität
Berlin
Kaiserswerther Str. 16/18, 14195 Berlin

⁴TÜV SÜD
Product Service GmbH
Ridlerstr. 65, 80339 München

The performance and flexibility of the latest robotic technologies make it possible to bring more and more robots into everyday life. However, this also creates a number of challenges: safety, legal requirements, reliability, reusability, and also business models must be considered in the specific, difficult conditions of everyday life. Furthermore, acceptance and interaction between humans and robots are of central importance for the success of service and assistance applications. This collection summarises 15 studies from the BMBF-funded program "Robots for Assistance: Interaction in the Field." The full studies are written in German and provide valuable insights into the challenges, potentials, and solutions for successful interaction in everyday environments. The collection is accompanied by this introductory article, which, in addition to the interaction focus of the studies, addresses other important aspects of successful service and assistance robots in everyday life. Finally, the Human-Robot-Interaction (HRI) studies are summarised in English to enable the comparison and discussion of their challenges and approaches.

1.1 Introduction

For many years now, robots have been regularly present in the press, in movies, or on social media, which makes them increasingly normal or even familiar to many people. Additionally, they are becoming more present in everyday, personal environments. In a great number of households, for example, robots are already helping to clean the apartment or mow the lawn in the backyard. In recent years, key robotic technologies like environment mapping, navigation, and perception have overcome important hurdles and reached impressive maturity. Therefore, it can be expected that in the near future, even more service robots will become part of everyday life, providing support and relief in a wide variety of areas.

Motivated by these trends, several scientific studies have been conducted to investigate the challenges and opportunities resulting from the interaction with service and assistance robots in practical, real-world applications. On the one hand, these Human-Robot-Interaction studies summarise the state of the art in research and technology in many relevant domains for everyday tasks. On the other hand, this collection of studies also presents solutions and approaches to many of the challenges identified in the field of Human-Robot-Interaction (HRI).

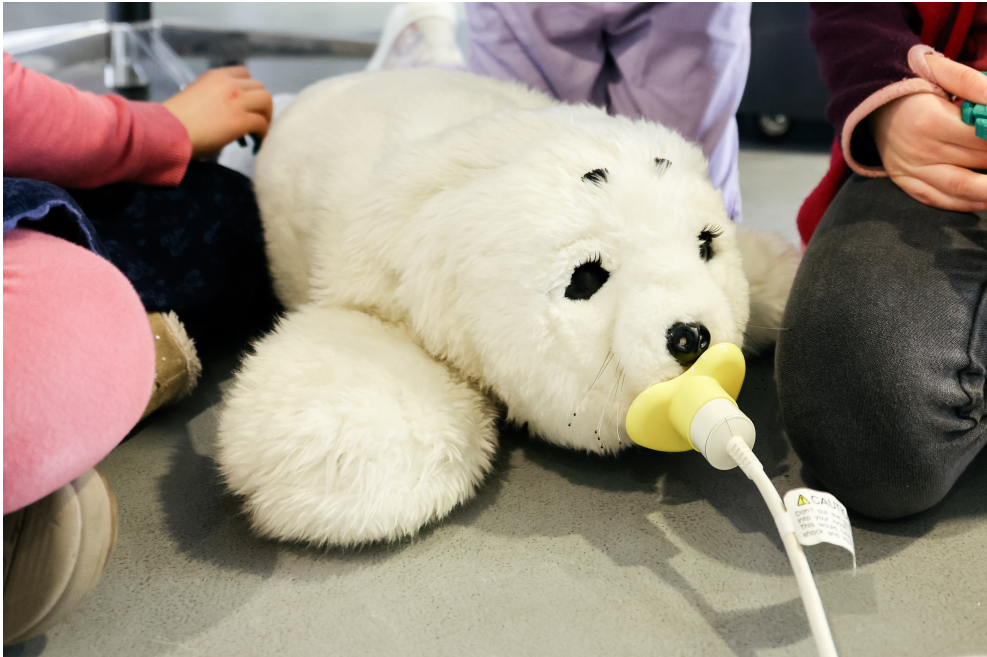


Figure 1.1: AIST’s robot Paro is used in healthcare. The picture shows the first contact with a robot for a group of preschool children. ©FZI Forschungszentrum Informatik

This accompanying article can be understood as an introduction, preface, and extension to this collection of studies. It will summarise the HRI studies, which are originally written in German, in a concise way to make them accessible to a wider community. As an extension, this work will address aspects outside the HRI topic that arise across all considered domains and use cases: reusability and transferability, performance and robustness, safety and security, business models, and economics. These aspects were not the focus of the collection of studies. However, they are relevant as they can contribute to bringing more service robots into the field.

The state-of-the-art in service and assistance robotics has made impressive progress. Today, there are already many highly complex, powerful, and yet robust robots available on the market, such as PAL’s TIAGo (Pages et al., 2016), Boston Dynamic’s Spot (Guizzo, 2019), Aldebaran’s Pepper (Pandey and Gelin, 2018), MetraLabs’ SCITOS (Hawes et al., 2017), AIST’s Paro (Šabanović et al., 2013), iRobot’s Roomba (Jones,

2006) and many more. However, their introduction to real-world applications varies strongly. Some of these systems are still in the evaluation phase within pilot field trials, and some are deployed in small numbers, while others, like vacuum robots, have already hit the mass market. Research in this area focuses mainly on the challenges of grasping and manipulating everyday objects, navigating in (un)known environments, object recognition using 2D and 3D sensors, and the interaction mechanisms between humans and robots.

1.1.1 Manipulation Tasks in Everyday Environments

The environment outside an industrial production site is typically unstructured, cluttered with many different objects, and a great challenge for robots. Pavlichenko et al. present an approach for mobile dual-arm manipulation that addresses these challenges by combining semantic segmentation, object pose estimation, grasping, and motion planning (Pavlichenko et al., 2018). In particular, manipulating unknown objects and interacting with tools in complex, unstructured environments is difficult and requires understanding an object's function. Template manipulation skills and affordances of objects are promising approaches to address these challenges (Romay et al., 2015). In Starke et al., a new deep neural autoencoder for human grasps or unknown objects has been developed to better transfer these skills to robots. The design and control of humanoid robotic hands make it easy to interact with objects made for humans, such as tools, but human-like hands can also be understood as highly flexible multipurpose grippers (Ruehl et al., 2014, Chua et al., 2003, Tieck et al., 2020). Household environments, including kitchens, are often seen as a benchmark for manipulation tasks in everyday life (Yamazaki et al., Stückler et al., 2012). Additional complexity regarding handling objects occurs if these objects are soft, deformable, or dynamic. Pizza tossing combines all of these issues and is a great challenge for robots (Satici et al., 2016). Maitin-Shepard et al. were among the first to demonstrate high robustness in grasping and folding towels with a two-arm vision-based approach (Maitin-Shepard et al., 2010). Reliable manipulation skills are challenging but also essential in domestic environments (Ciocarlie et al., 2014).



Figure 1.2: Robotic arm during manipulation tasks in a kitchen environment from BMBF-funded project AuRorA. ©FZI Forschungszentrum Informatik

1.1.2 Human-Robot-Interaction with Non-Experts

The acceptance and success of robots in everyday life strongly depend on the usability and acceptability of these systems. In particular, the interaction has to be intuitive, efficient, and satisfactory for everybody, including non-experts. The work of Ajoudani et al. provides a good introduction to the challenges of multimodal interfaces, the wide range of interaction-modalities as well as benchmarks for Human-Robot-Interaction (HRI) (Ajoudani et al., 2018). Understanding the intentions of users is essential for the robot to be able to adapt. In everyday environments like public places, the interaction is short, and it is impossible to apply individual instructions or user-specific training. Therefore, speech and gesture recognition models must be able to generalize and work with a wide range of users (Matuszek et al., 2014). Not only is it crucial for the robot to understand the human but the human should also receive information about the robot's next planned actions.

Augmented reality (AR) is a good modality to intuitively show the upcoming robot movements, for example, with a light overlay from above (Bolano et al., 2019). Combining multiple modalities like verbal and non-verbal feedback from the robot together with personalized social behavior can further improve acceptance, efficiency, and ease of interaction (Aly and Tapus, 2013, Bolano et al., 2018). An anthropomorphic design and appearance greatly influence the interaction in open, public environments. Fink explains the interesting theoretical background by social sciences and provides lessons from robotics research in this area (Fink, 2012). Touch and physical contact with a robot create a very direct and intuitive non-verbal interaction modality. However, it is not easy for a robot to identify the contact location if it is not at the tool center point (TCP). On the other hand, complex communication related to emotions can be part of touch, making it a very challenging interaction modality (Magrini et al., 2015, Yohanan and MacLean, 2012). As many robots can achieve high velocities and apply significant forces, human safety is a critical aspect that needs to be addressed when dealing with HRI. Fortunately, new regulations make it possible to carry out risk assessments and allow close, physical contact between robots and humans in a defined safe way. Even more safety aspects regarding contact scenarios, also for mobile robots, are well summarised in the work of Vasic and Billard (Vasic and Billard, 2013).

1.1.3 Navigation in Dynamic, Complex Real-World Applications

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) is a critical capability for mobile robots in highly dynamic everyday environments. Major scientific papers and open-source software packages have made this technology available to the service robotics community. Kohlbrecher et al. present their powerful `hector_slam` stack in (Kohlbrecher et al., 2011). GMapping (Grisetti et al., 2007), Cartographer (Hess et al., 2016), and many other SLAM implementations have reached a great maturity that makes it possible to apply SLAM in industrial automated guided vehicle (AGV) applications. However, additional challenges need to be addressed in domestic, office, or public environments. 3D map representations are an extension that helps to address these challenges (Hornung et al., 2013, Besselmann et al., 2021). It is possible to take advantage of the special character of these environments. For example, in Alves



Figure 1.3: Servicerobot HoLLiE in interaction in a healthcare surrounding. ©FZI Forschungszentrum Informatik

et al. (2013) the ceiling lights are used as natural landmarks to improve the navigation and localization of a mobile robot. Other planning approaches use human motion prediction with a social cost function to create collision-free paths that maximize acceptance (Kollmitz et al., 2015). Semantic navigation can also be beneficial for navigation in real-world applications. Understanding the environment enables efficient interaction and path planning with mobile robots (Kästner et al., 2020). Environmental obstacles are interpreted in terms of their risks, allowing safer paths to be chosen (Puck et al., 2020). Machine learning is also being applied to navigation more and more. Pérez-D’Arpino et al. present an approach based on reinforcement learning that allows robots to navigate fluently around humans in everyday environments (Pérez-D’Arpino et al., 2021). Other new approaches make use of deep reinforcement learning for a safe and efficient collision avoidance policy. This can create a decentralized sensor-level collision avoidance by one or multiple robots in complex, dynamic, and crowded everyday environments (Fan et al., 2020).

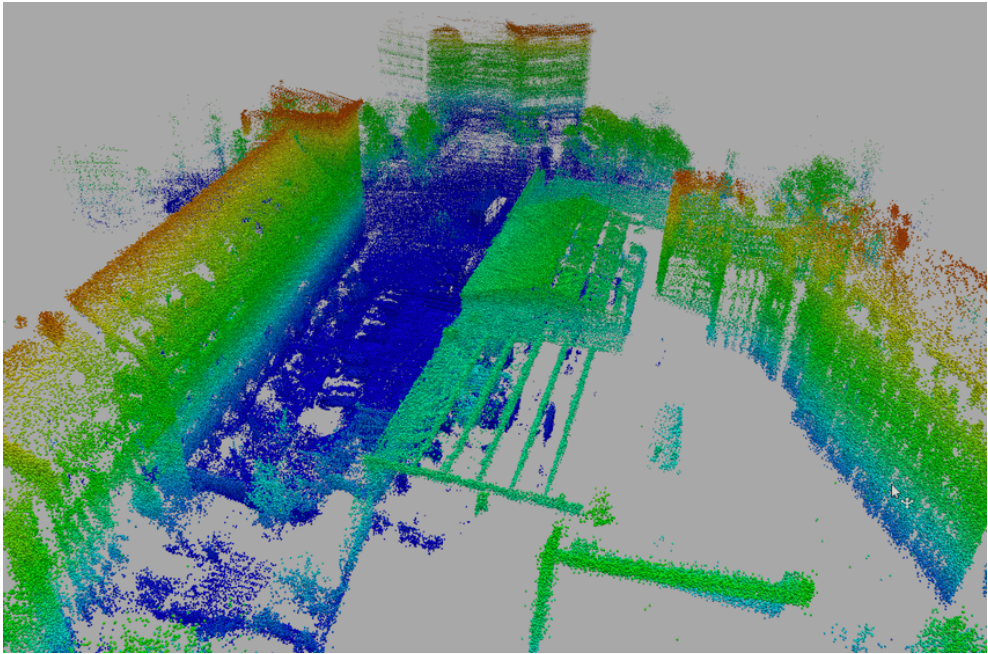


Figure 1.4: 3D map for navigation in dynamic, complex real-world applications (Besselmann et al., 2021). ©FZI Forschungszentrum Informatik

1.1.4 Object Recognition and Localization of Everyday Objects

Interaction with everyday objects like cups, bottles, trash, and many more things is an important skill for robots when operating in human-centered environments. Often it is desired to grasp, push, or move these objects. But before manipulation skills can be applied, it is necessary to detect and locate these objects. Therefore, extracting the depth information from LiDAR, RGB-D, or just RGB data is a key function. Flacco et al. efficiently derive the object's depth data from RGB-D sensors. This allows them to perform the necessary coordination transformation, detect collisions, and reliably locate the objects (Flacco et al., 2015). In the past, a lot of geometric approaches that, for example, fit virtual spheres or cylinders into the objects, were used for both localization and grasp planning (Nieuwenhuisen et al., 2012). Many current works rely on deep neural networks (DNN) with a focus on convolutional architectures like Mask-RCNN (Yu et al., 2019, Schwarz et al., 2015). Good performance is also

shown by new DNN architectures such as Transformers, which rely on attention mechanisms for combined detection and pose estimation (Amini et al., 2023). In everyday environments, there are a large number of similar but not identical objects. Here, it is beneficial to add semantics to object recognition. The application of semantic segmentation can improve object detection, as both complement each other (Schwarz et al., 2018b). Other approaches include algorithms from the field of mobile mapping, such as Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). As an example, the graph-based approach proposed by Salas-Moreno et al. enables accurate detection, tracking, and localization of many objects in complex scenes (Salas-Moreno et al., 2013). Open datasets of household objects are essential for the development and evaluation of object detection and localization approaches, regardless of whether the methods are based on machine learning or other algorithms. One of the first large object datasets was created by Kasper et al. with high-resolution 2D and 3D data of many typical everyday household objects (Kasper et al., 2012). Today, object datasets such as YCB and Washington play an important role in this field (Amini et al., 2023, Schwarz et al., 2015). In typical home or public environments, many objects have a soft structure and are transparent or deformable. These objects are not only difficult to grasp or manipulate, they are also more difficult to detect. Du et al. introduced a method to efficiently track deformable objects. A structure-aware hypergraph was developed to capture the higher-order dependencies needed to solve this tracking problem (Du et al., 2016). Other works focus on tracking textureless objects by fitting the model and the corresponding mesh to the current point cloud data from RGB-D sensors. The model takes elasticity as well as point-to-point correspondences and forces into account (Petit et al., 2017). Besides detecting, tracking and locating objects, it is important to do the same for humans when working with service and assistance robots.

Unlike rigid objects, people move, change shape, and vary greatly from person to person. Many works have addressed this challenge using different algorithmic approaches and sensors. Currently, RGB-D data and deep learning are the dominant key technologies in this field (Munaro and Menegatti, 2014, Nakano et al., 2020, Mathis et al., 2020).

There is also research into applications in domestic, retail, hospital, and public environments. Domestic environments are very challenging for robots as they are dynamic, have many different types of objects, and require repeated interaction with the occupants. For the acceptance of service robots in these environments, it is important to provide efficient and reliable performance in mobile manipulation tasks like object segmentation, collision-free grasp planning, or navigation (Stückler et al., 2013). Large human-like robots like PR2, HRP-4, or ARMAR-6 have great potential to help with daily chores and enable an aging society to stay independent in their own home longer (Yamazaki et al., 2012, Asfour et al., 2019). Current works show high robustness in laboratory environments and early field tests. In many cases, though, researchers try to address more complex scenarios while the robots could already reliably support simple, common tasks. Blackman motivates to use more analogies to existing products in everyday life than to laboratory or industrial robots and to bring the first service robots to the mass market sooner rather than later (Blackman, 2013). The design of the BratWurst Bot followed this mindset, combining off-the-shelf robotic components with reusable open-source software (ROS) to create an interactive, simple, yet robust sausage grilling and serving robot (Mauch et al., 2017). Some of the first consumer service robots, such as lawnmowers or vacuum cleaners, have been hugely successful and are showing increasing sales volumes. Other robots are still struggling with this new market, industry fragmentation, and complexity. However, as Gates already noted in 2007, breakthrough robotics technologies are available that will enable more and more service robots to support everyday life: ". . . the birth of a new industry"(Gates, 2007).

Proactive robots need to select the appropriate moment to start the interaction to achieve high acceptance. The ‘openings’ are crucial and should be developed as a stepwise and coordinated process. Gehle et al. demonstrated that this approach works well in an environment like a museum with random visitors (Gehle et al., 2017). Navigation in complex, dynamic urban areas comes with many challenges for mobile robots. One of the early large-scale field tests in Freiburg, Germany, from (Kümmerle et al., 2015) demonstrated how it is possible to create robust robot navigation by developing precise SLAM methods and considering the traversability, types of terrain and humans in the path planning.

But mobile robots cannot only assist in outdoor environments. They can also guide in



Figure 1.5: Service robot in a hotel lobby as part of the BMBF-funded project AuRorA.

large buildings such as hotels, airports or stores. How these robots can interact with blind people and guide them through buildings effectively is discussed in Azenkot et al. (2016). The socially compliant interaction is especially important with this user group but also for all other groups. These social aspects were the focus of the SPENCER project, which targeted an application at a large airport. The researchers developed methods to perceive, learn and model human social behavior as well as detect and track individuals and groups. With this knowledge, the robot could then plan the next actions in this complex, dynamic scenario (Triebel et al., 2016).

1 Towards More Robotic Assistance for Everyday Life

However, the aspect of interaction and its importance for the acceptance of service robots is somewhat lacking in many works. Above all, it is necessary to take a deeper look at the special requirements and social implications of Human-Robot-Interaction with regard to individual domains. The focus should be clearly on the human when it comes to everyday life. In contrast to industrial applications in production and logistics, other human-centered aspects play an important role in addition to the primary economic considerations. The Ethical, Legal and Social Implications (ELSI) have to be part of the design already and also have to be considered throughout the rest of the development process.



Figure 1.6: Human and robots working together in an AI enhanced kitchen environment. ©FZI Forschungszentrum Informatik

Furthermore, there is no simple roadmap on how to get from the idea or the first good research results to a real robot in the field. For this, not only the evaluation in practice under real, hard conditions but also legal requirements such as safety regulations play an important role. Finally, a new robotics idea needs a working and scalable business model to create impact and change. All these aspects are not sufficiently taken into account in much of the current work, with the result that few new service robots make it to the market, especially in Europe.

This work is intended to support the development of service and assistance robots for everyday life and to bring them towards market entry in terms of robustness, sustainable development, safety and business models more quickly. In the following, different approaches that support this will be presented. However, the literature has no uniform delimitation or definition of service robotics. Therefore, the authors propose the following definitional classification for this collection of studies:

The field of service and assistance robots in everyday life encompasses the everyday environment of people in both private and public spaces. Therefore, collaborative robots in indoor as well as outdoor household areas (including home care and therapy) are considered. Robots in public spaces include, among others, public authorities, stores, banks, airports, gastronomy, as well as research. Service and assistance robots in everyday life can act both stationary and mobile and involve human-machine interactions. This can take place with or without a manipulator. The operation should be intuitive and possible without prior training. A clear delimitation of the fields of application can be made by excluding, in particular, robots in the contexts of military, medicine, production and logistics, road traffic and space travel.

The collection of studies from the RA3 funding initiative of the German BMBF¹ on ‘Robots for Assistance: Interaction in the Field’ will be summarised and discussed. In this collection, the focus is on interaction and, therefore, on humans. The extensive individual studies provide detailed information on exciting domains and challenges for service and assistance robots in the real world. The respective authors contribute to the development of the field of service robots for everyday applications. Unfortunately, the full studies are only available in German, but they are briefly summarised in English within this preface article. In this way, the core contributions of the 15 studies are made accessible on an international level.

Following this introduction, the chapter is structured as follows. Section 1.2 presents approaches and methods for transferring research and development results into practical service robot applications. Different aspects are addressed, including safety, cost-effectiveness, business models, reusability, and performance metrics such as benchmarks. Section 1.3 then summarises the 15 comprehensive HRI studies on

¹BMBF - Federal Ministry of Education and Research of Germany.

'Robots for Assistance: Interaction in the field.' Section 1.4 compares and discusses the different challenges and approaches in these studies, summarises the results, and describes planned further activities and work.

1.2 Approaches for More Service Robots in Everyday Life

This work follows the aim to support the introduction of more robots into everyday life. More precisely, the focus is on service and assistance robots. For this purpose, it should first be defined which types of robots are to be considered as service and assistance robots in this work. But the range of this type of robot is very broad and difficult to delineate. One obvious common feature is that all these systems should be able to provide a service or assistance to humans. Systems that cannot do this will, therefore, be excluded and not considered. Further, only robots and not automatons or simple machines are to be taken into consideration. Here, the definition of a robot by Guizzo in the IEEE Robots Guide will be followed (Guizzo, 2018): "A robot is an autonomous machine capable of sensing its environment, carrying out computations to make decisions, and performing actions in the real world." Furthermore, a more precise definition in this work can be made by considering the application area – everyday life.

Therefore, industrial robots on assembly lines, AGVs in warehouses, and robots in pick-and-place applications are not among the systems considered here. The human interaction with the robot should not be part of a regular work task. Of interest is the interaction in everyday life. This refers to random, spontaneous, but also regular encounters with robots in a public or private context that, therefore, do not take place in a work-related context. It also depends on the human interacting with the robot. The operator of a professional cleaning robot interacts differently with the same robot than a random pedestrian passing the robot in a parking lot. Everyday life thus encompasses a large number of areas: home, public spaces, supermarkets, train stations or airports and many other areas. A number of challenges need to be addressed in order to bring more robots into daily lives.

1.2.1 Robustness or Technical Readiness Level (TRL) of Service and Assistance Robots

The Technical Readiness Level (TRL, see also table 1.1) was first defined in the space domain by NASA (Mankins et al., 1995), but is now being used in a wide range of technical fields to describe the maturity and robustness of a technology. It has been extended to hardware, software, services and datasets (The-Human-Brain-Project, 2023). The different TRLs are used to create an objective scale for the development process, from the basic principle to the final product or system being used in the field. The TRL scale is also known and used in robotics but is not fully established yet. One reason may be that the TRL scale was defined to bring new technologies to real applications, meaning here to the market as products/services. Therefore, TRL is a scale more suitable for commercial and industrial research than academic research at universities. Not all research in robotics is dedicated to creating new robots or technologies targeted to a market. Many works are focused on more fundamental research questions with the aim to create general advances in the field and not particular for one system or technology.

Level	Description
TRL 1	Basic principles/functions observed and reported
TRL 2	Robot concept and/or robotic application formulated
TRL 3	Experimental proof-of-concept of core components
TRL 4	First validations of robot components in simplified laboratory environment
TRL 5	Advanced validation of robot components in realistic environment
TRL 6	Robot components demonstration in a realistic environment (for short time)
TRL 7	Robot prototype operating in a real-world environment (for long time)
TRL 8	Actual robot or robotic application completed, complying to legal regulations, test and demonstration in real-world environment
TRL 9	Actual robot or robotic application proven as product in real-world environment

Table 1.1: Technology Readiness Levels for Service and Assistance Robots

In this work, the target is to bring more service and assistance robots to the market. Therefore, it is mandatory to put a strong focus on robustness. Hence, the TRL scale is well suited to support this task. The following TRL scale was taken from Mankins et al. (Mankins et al., 1995) and adapted to the field of service and assistance robots with a focus on everyday environments.

Most robotics research projects are in the TRL 2-5 range. It is at these levels that important scientific advances can be made most effectively. The effort required to verify the results is reasonable and can be well invested by researchers. At higher TRLs, there is a high technical effort for further improvement, which in most areas leads to little or no new scientific contribution. Some research and development activities, particularly in the context of international competitions such as the DARPA Subterranean Challenge (Rouček et al., 2020), the ANA XPrize (XPRIZE, 2023, Behnke et al., 2023), the ESA and ESRIC Space Resources Challenge (ESA/ESRIC, 2023), or large-scale field test missions (DLR, 2023) also advance into the TRL 5 or even TRL 6 range.



Figure 1.7: Operator of the winning team Nimbro during the ANA Avatar XPRIZE Finals (Lenz et al., 2023). ©Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Such applications require unusually high efforts to bring the robustness of robotic systems to this advanced level. However, these great efforts do not have to be carried out by a single research group, company, or institution. The efforts can either be spread iteratively over the years or be shared by an active community. However, the named issues have reached the attention of German policymakers. The German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) has launched the so-called "RA3" funding initiative to address these challenges. Fifteen consortia have conducted feasibility studies on how research projects should be designed to close the gaps and foster the acceptance of robots in everyday life.

These studies are published in this collection. Three of the ideas have been selected by

BMBF for funding and were further developed as competence centers: rokit, RuhrBots, and ZEN-MRI. These centers are supported by a transfer center for robots in everyday life (German: Transferzentrum Roboter im Alltag – short RimA). The feasibility studies focus on different use cases in everyday life, but in all cases, there are big challenges for software and technology development that all of them are concerned with.

1.2.1.1 Continuous Open Source Software Development

In order to focus efforts on new service robots, sustainable software development with continuous progress is desirable, rather than recurrent redevelopment of the same functionalities. A distinction should be made between scientific contributions, which can be ensured through reviews of scientific articles and discussions at conferences, and the generally available state-of-the-art (SoA). This will be further elaborated in the context of the Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) challenge in robotics. SLAM was scientifically addressed in early work around the mid-1980s and has been extensively derived, algorithmically described, and further developed in numerous other works (Durrant-Whyte and Bailey, 2006). Despite all these research works, SLAM was not an available technology for decades. Only in recent years the SLAM technology has become widely available through powerful open-source stacks such as `hector_slam` (Kohlbrecher et al., 2011), `GMapping` (Grisetti et al., 2007) and `Cartographer` (Hess et al., 2016).

Today, numerous commercial mobile robot systems such as the MIR100 (Cartographer, 2018), TIAGo (ROS.org, 2023), Toru (MAGAZINO, 2023), and many more rely on these open source software stacks and achieve a TLR 9 in real-world applications. The issue of modularity and reusability is thus primarily defined by the use of open-source software. ROS, ROS 2, and ROS Industrial are the driving forces in the robotics community. However, numerous independent open-source tools and libraries such as PCL (Rusu and Cousins, 2011), Gazebo (Koenig and Howard, 2004), OpenCV (Bradski, 2000) play an equally important role. In the field of Artificial Intelligence (AI), many publicly available deep neural network architectures, pre-trained networks, training data, and learning frameworks are important for everyday robotics applications when it comes to recognizing objects or people. The continuous, community-driven development of high-quality, high-performance algorithms has been the main driver

of robotics research in recent years. However, with such fragmented, distributed development, it is essential to ensure comparability of performance and results.

1.2.1.2 Competitions, Challenges, and Benchmarks for Robotic Systems

Competitions and challenges play a vital role in advancing robotics research (Behnke, 2006). They define common goals and benchmarking procedures and allow for a direct comparison of different approaches outside of the participants' own lab. In contrast to approaches tested only under laboratory conditions, robot competitions deliberately take place in realistic environments with complex tasks and thus represent an important link between research and application. Competitions such as the DARPA Challenges (Buehler et al., 2009, Krotkov et al., 2017, Kottege et al., 2022) and RoboCup (Gerndt et al., 2015) have been instrumental in shaping the autonomy of mobile robots. As they are often accompanied by a scientific workshop or symposium, they foster the exchange between participants and have an innovation-driving impact on the community. Robot competitions cover a wide range of application fields. For example, the European Robotics Challenges (EuRoC) (Siciliano et al., 2014) focused on new industrial applications for micro aerial vehicles, mobile manipulation robots and stationary manipulators. The Amazon Picking and Robotics Challenges (Schwarz et al., 2018a) focussed on cluttered bin picking and stowing. Directly targeted to assistance robots for everyday environments is RoboCup@Home (Stückler et al., 2016). Some competitions, such as the DARPA Challenges and the Mohamed Bin Zayed International Robotics Challenge (MBZIRC) for a team of UAVs (Beul et al., 2019) and UGVs (Schwarz et al., 2019), support developments of selected participant teams towards challenge tasks with sponsoring or grants. Also, a significant prize purse, such as the 10 Million US\$ offered by the ANA Avatar XPRIZE competition, can focus the development of top research labs towards the competition goals (Schwarz et al., 2021). As the performance level of the participating robot systems rises, the competition rules must be developed to keep the challenges challenging. For competitions to be successful, it is important to ask for skills meaningful for many research groups. The skills to demonstrate must be challenging but not too difficult, as a hopeless challenge will not attract participants. Thus, there is a need for intensive exchange between the organizers of the competition and the participants. Naturally, robot competitions

evaluate entire systems. Thus, when observing a performance difference, it is frequently unclear to which component of the systems it should be attributed to. Hence, it is desirable to include specific tests for subsystems, such as locomotion, manipulation, or Human-Robot-Interaction.

Benchmarks and performance metrics serve an important role in standardized evaluation not only in competitions but also in research labs. Some of these focus on subsystems, such as perception or planning. For perception, annotated data sets with evaluation procedures, like SemanticKITTI (Behley et al., 2021) or YCB-Video (Xiang et al., 2018), are widely used. Other benchmarks focus on individual skills, such as interactive navigation (Xia et al., 2020) and general object grasping (Fang et al., 2020). For benchmarking of complete systems, simulations have been increasingly used in recent years, which, in contrast to real-robot tests, do not require material and logistical effort and increase comparability by providing controlled conditions (Makoviychuk et al., 2021). Simulated benchmarks for assistance robots that evaluate different aspects of their performance are emerging (Erickson et al., 2020), but especially benchmarking Human-Robot-Interaction remains challenging (Aly et al., 2017).

1.2.2 Economic Efficiency and Business Models for Service and Assistance Robots

Regarding service and assistance robotics, many impressive ideas, as well as proof-of-concept developments in the field of academic research, have not yet made the transition to a product, service or applications in real-world settings. The consideration of economic efficiency and potential business models is a key challenge. Therefore, it is crucial to sensitize and qualify projects at an early stage in order to consider and systematically develop exploration and exploitation capabilities with regard to conceivable application scenarios for the use of robots. For this purpose, established methods from the fields of IT entrepreneurship and service engineering for different application contexts of robotics in everyday life are made available. Additionally, web-based toolboxes are provided, benchmarks of typical profitability parameters are analyzed, and their application is taught via interactive tutorials and competitions. This includes, for instance, the context- and target group-adjusted development of value propositions for potential application scenarios (i. e. with an adapted "RimA Value

Proposition Canvas") as well as the development of potential business models based on these (i. e. with an adapted "RimA Business Model Canvas"). This also includes the estimation of important cost and revenue assumptions as part of an encompassing "RimA Business Planning Toolbox". The goal is to empower every robotics project to reflect relevant economic options of their application during core ideation, development and scaling phases. Teams will be able to communicate business options with reference to benchmarks at any time. Furthermore, important contributions are also made to the development and establishment of a knowledge platform, which supports the projects from the beginning in actively designing the translation of economic exploration and exploitation results into the community.

1.2.3 Safety Regulations and Requirements for Service and Assistance Robots

Proof-of-Concept (POC) studies in the laboratory are an important part of the development and evaluation of new robotic technologies. Especially if these new technologies are to be used in everyday life, extensive field trials with feedback from external users are essential. However, especially in Europe, many legal regulations and standards simply do not allow the direct use or even evaluation of new technologies with untrained people in private or public environments. For a successful transfer from a POC in the lab through realistic field trials to a real system in everyday life, it is essential to address safety issues and legal constraints as early as possible.

Service and assistance robots are caught between technological progress, legal requirements, and user acceptance. On the one hand, technological progress makes it possible to use robots for tasks that were unthinkable until recently. On the other hand, legislation and technical regulations are lagging behind. While manufacturers and operators of industrial robots can already rely on a wide range of existing regulations and established procedures, standards for mobile service robots are still being developed. Manufacturers of service robots are, therefore, faced with the question of which specific requirements they need to meet in order to be able to sell legally compliant products on the European market, for example, and are faced with the problem of selecting the regulations applicable to their product from the multitude of regulations.



Figure 1.8: Safety regulations and requirements enable collaboration with service and assistance robots. ©FZI Forschungszentrum Informatik

The currently valid legal regulations essentially already take account of new technological developments. They are, therefore, valid in the absence of product-specific requirements. However, these safety objectives are generally formulated in the directives and laws. The technical requirements are only specified in the technical harmonized standards, which are to be observed on a voluntary basis. As a result, the laws and regulations give manufacturers a certain freedom of interpretation but also a greater responsibility for their technical solutions. This freedom and the lack of product-specific safety standards unsettles many manufacturers of service robots, as they expect and need specific requirements for the design of their systems.

The transfer center RimA addresses this area of conflict and seeks to resolve it throughout the process lifecycle, from the specification of regulatory requirements (directives, laws, regulations) to risk assessment methods, verification, and validation of product conformity. In particular, new issues need to be considered and integrated into the already established methods and procedures for service and assistance robots. Important requirements and regulations are the new Machinery Regulation, which is expected to replace the Machinery Directive 2006/42/EC (Directive, 2006) in the year 2024 (Commission, 2022, 2021), as well as regulations on data security (EU General Data Protection Regulation – GDPR (GDPR, 2023)) and cybersecurity

(Commission, 2AD, 2023b, BSI, 2021) as well as the expected legal framework for Artificial Intelligence (AI)(Commission, 2023a,c) and the yet to be developed requirements for the acceptance, function and safety of service robots. There are many other issues to consider. For example, the impact of digitalization (e.g., Internet of Things, Industry 4.0) and new business models and their influence on the limits of service robots, additional hazards and risks, as well as the availability of data – in particular external access to personal data. Communication, interoperability, and availability in the context of product safety are also challenges for the development of new service and assistance robots. Last but not least, there are many socio-technical aspects and criteria that need to be considered, like:

- ethics and morality of decisions made by robots,
- acceptance of the solutions in everyday work,
- transparency of the decisions made,
- possibilities of influencing and correcting AI decisions,
- collaboration with users,
- and many other aspects.

In order to be able to solve these demanding tasks for the benefit of everyone involved, intensive and goal-oriented coordination and cooperation between research, development, certification and application is required. RimA transfer center intends to make a major contribution to creating these conditions and the necessary framework.

1.2.4 Acceptance of Service and Assistance Robots

The aspects described above can help to ensure that robustness, safety, and economic feasibility are considered as early as possible in both scientific and technical development in order to establish new systems in real-world environments. However, success in this area depends mainly on the acceptance of non-expert users. If the robots are not accepted and, therefore, not wanted, they will be damaged, deliberately disrupted, and eventually banned from all public applications under public pressure. Without a high level of acceptance, service and assistance robots will not be successful because, in this field, it is not only economic aspects that decide whether a robot application is continued or perhaps extended to other locations. It is well known that acceptance is primarily based on positive, successful human interaction with robots.

Interaction is a multidimensional, complex action that can be conscious or unconscious. It is not limited to speech, facial expressions, and gestures but can take place with all the senses. The key point is that interaction always takes place in a context and, therefore, has social, ethical, and legal implications. How to achieve positive, successful Human-Robot-Interaction in the field is the central research question in the collection of studies. Therefore, reference is made here to the summary of the studies in Section 1.3 and to the full German studies in the following chapters of this book.

1.3 Studies on Robots for Assistance: Interaction in the Field

1.3.1 AixistenzRobotik – Aachen Competence Center for Interactive Robots in Health, Care and Assistance

Full approach is described in detail in Chapter 2 (in German, Rosenthal-von der Pütten et al. (2023)).

1.3.1.1 Objectives

AixistenzRobotik focuses on assistance robots for professional healthcare applications that can really support patients and nurses. The authors build their idea on the issue that many systems initially developed for healthcare do not even make it into the initial field tests in real environments. The main reason identified for this is that the technical developments cannot yet master the complexity of real healthcare applications. The authors want to test existing assistance robots for professional healthcare under realistic conditions. The following key aspects are identified: interaction, usability or acceptance, as well as the technical properties of the systems, the integration in work processes and team structures, as well as their influence on care relationships.

1.3.1.2 Contribution to the Field

Moreover, the authors stress the need to put nurses in leading positions to help shape the future, as nursing professionals uniquely understand the complexity of the healthcare environment. Nurses know the needs and demands, what actually works in practice, and how to improve patient experience and healthcare results. AixistenzRobotik views it as essential to develop and research assistance systems in the sense of co-design with care professionals and with the involvement of other scientific disciplines, aiming at an interdisciplinary competence development. This can lead to a paradigm shift away from the development of care solutions and towards participatory co-design with people in need of care and their nurses.

AixistenzRobotik can contribute to the establishment of an approach to develop robotic systems that really meet needs and can be successfully integrated into existing care

structures while combining interdisciplinary perspectives and methods like real-life testing, interviews and surveys. AixistenzRobotik conducted a first feasibility study to address these challenges.

1.3.1.3 Scientific and Technical Approach

The authors propose testing three different types of existing robotic assistance systems:

1. robotic developments that support actual care and/or therapy activities (e.g. robot-assisted rehabilitation, exoskeletons),
2. robotic systems that promote individual health and provide personal assistance, and
3. robotic systems that support care tasks (e.g. specialized pick-up and drop-off services for care stations).

A total of 22 field studies are planned, ranging from a minimum of one week (for preliminary studies) to up to three months in the regular operation of a university hospital and at least one nursing home. This will allow an unprecedented amount of data to be collected in just three years. They plan to develop use cases and benchmark scenarios in order to standardize individual basic or special assistance robots in a standardized and comparable way.

1.3.1.4 Transfer and Outreach

AixistenzRobotik can really make a difference with the participatory co-design approach. To this end, it is planned to build up interdisciplinary competence and enable structured knowledge acquisition on the above-mentioned scientific questions concerning a) acceptance, usability and user experience, b) ethical aspects, c) group and team dynamics in human-robot teams, d) technical benchmarks for, for example, control technology and dialogue systems, e) new types of data-driven business models and f) beneficial institutional, organizational and personal factors in relation to the sustainable implementation of assistance systems in care facilities.

1.3.2 CeRA4HRI – Everyday Assistance Robotics Lab

Full approach is described in detail in Chapter 3 (in German, Beetz et al. (2023)).

1.3.2.1 Objectives

CeRA4HRI focuses on the use of existing living labs for long-term studies. The approach is to investigate all necessary aspects for the use of robots for everyday assistance, to evaluate application scenarios in long-term studies and comprehensively investigate them with regard to economic connectivity and social acceptance.

1.3.2.2 Contribution to the Field

By using existing research robots and application-oriented use cases, a holistic approach is introduced. The authors analyze the current state of the art in the everyday use of robots for assistance functions and which technical and non-technical measures are necessary to enable everyday use. The main aim is to establish benchmarks or comparative values for the evaluation of robots in the area of everyday assistance. The authors identify the use of photorealistic virtual environments with physical simulation (so-called "digital twins") as a key technology to implement new application scenarios quickly, cost-effectively and safely.

With its living labs, the approach can contribute to research on robotics in everyday life via four unique points:

1. the living labs with their technical equipment,
2. the research robots,
3. the digital twins of both the robots and the living labs, and
4. the comprehensive know-how and experience with the extensive collection of open-source software tools for controlling and interacting with the robots in the real and virtual living labs.

The authors aim to demonstrate through long-term studies how people without expert knowledge fulfill their desired tasks with the support of assistance robots – safely and in consideration of ethical, legal and social aspects.

1.3.2.3 Scientific and Technical Approach

The authors emphasize the need to conduct long-term studies in living labs that can be transferred into practice. For example, in areas of flats and supermarkets, experiments should not only be evaluated in terms of user experience but also accompanied by social and behavioral science. For the purpose of differentiating the systems, general evaluation approaches for assistance robots for task fulfillment and interaction quality are to be created as a basis for decision-making. The process and outcome evaluation are to be supplemented by systematic behavioral observation, measurement of physiological parameters, assessments to record attitudes, values and norms, as well as qualitative interviews. Questions concerning Ethical, Legal and Social Implications (ELSI) should go beyond the approach: clusters of ethical, social and legal attitudes are to be identified using quantitative and qualitative methods. These clusters can rely on empirical and representative survey studies on the basis of access panels for market research. The goal is to record the population's value orientations regarding assistance robots and possible business models.

The approach can, therefore, be a holistic evaluation of solutions that specifically help people with support needs. Existing open-source software and open research methods from the field of machine learning can be used for intention recognition, contact situation classification, knowledge representation and reasoning, and plan-based assistance. In this way, people without expert knowledge will be able to use existing research robots in the long term, taking into account ethical, legal, and social aspects.

1.3.2.4 Transfer and Outreach

All in all, the existing living labs can answer the question of how people can use technology to support their everyday lives or maintain their independence and autonomy, based on extensive experience with user-centered design and user experience. In order to ensure the transfer to the general public, the authors propose a digital learning platform that teaches the basic concepts of cognitive Human-Robot-Interaction (HRI) with online learning materials, interactive tutorials and training, as well as making the existing demonstration scenarios available as open-research examples for future application scenarios.

1.3.3 CONSAS – Competence Center for Construction Robotics in Civil Engineering

Full approach is described in detail in Chapter 4 (in German, Kuhn et al. (2023)).

1.3.3.1 Objectives

CONSAS focuses on assistance robots in the construction industry. It, therefore, uses a different, more industrial approach to "robots in everyday life" than most of the other works in this collection. The CONSAS concept highlights the construction industry's key function in central social issues and areas of innovation in Germany. The authors see the construction industry as the basis for innovative and resilient cities, efficient renovation of sustainable buildings, solving the housing and rental problem, high-quality hospitals, schools and retirement homes, and the necessary measures in the COVID-19 context, and many other aspects.

1.3.3.2 Contribution to the Field

The authors claim that a center of excellence for construction robotics does not yet exist in Germany. Even on an international scale, there are only a few places in the world where the conditions are similar to those of the CONSAS approach, which has a unique set of technology and production-related stakeholders. The approach is a pilot project for the entire construction sector. The special selling points are the many realistic tests of the assistance robots on real construction sites with a focus on health, especially physical and mental stress, as well as the technical robotic and construction challenges, while also taking into account the economic limits.

1.3.3.3 Scientific and Technical Approach

The approach develops a systematic, integrative approach to the use of assistive robots on construction sites, involving all stakeholders in the field of construction robotics. The authors plan to gather structured experience with mobile robot assistants (cobots) and motion-supporting robots (exoskeletons). In order to test construction-specific robotic solutions, research is to be carried out in situ. At the same time, research will be carried out in a laboratory environment to enable widespread use.

The first feasibility study between March and July 2021 aimed to scientifically verify the approach for assistance robots in the construction sector. It validated the methodological approaches and helped to define the qualitative and quantitative objectives. The core of the study was an analysis of the emerging works and activities in building construction and the technical and economic application potential of assistant robots. Based on stress analyzes of individual activities, profiles were created that provide information on the degree of physical stress of the workers and clarify the need for ergonomic or assistive technical support systems.

1.3.3.4 Transfer and Outreach

The authors plan the communication and transfer on different levels: Firstly, findings from evaluating the tested robot assistance systems can be transferred to the manufacturers and other stakeholders. Secondly, the results can then be communicated to the construction industry, e.g. in the form of training and workshops for SMEs and publications in business journals. Thirdly, scientific publications and academic teaching are planned. Fourthly, developing a public database on construction robots for interested companies and the general public is proposed.

1.3.4 KARoKAS – Competence Center for Human-Centered Assistance Robots in Disaster Management and Complex Emergencies

Full approach is described in detail in Chapter 5 (in German, Schischmanow et al. (2023)).

1.3.4.1 Objectives

KARoKAS focuses on the use of assistance robots in rescue missions. The authors note that, unlike industrial robots, assistance robots have not yet reached the same level of robustness and are, therefore, in many cases not yet ready for practical use. In particular, the development of assistance robots and their use in real disasters and complex incidents is still at a very early stage. Many issues, such as mission logistics, challenging environmental conditions, and enhanced reliability requirements, still need to be addressed. As a result, the first responders on the ground are still humans, as robots reach their limits in these scenarios.

1.3.4.2 Contribution to the Field

The challenges of developing, adapting, and evaluating assistance robots for use in complex disaster and casualty scenarios are identified in this work. The research approach focuses on the scientific evaluation of the Usability and User Experience (UUX) and Ethical, Legal, and Social Implications (ELSI) to promote the use of systems that are suitable and safe for Human-Robot-Interaction (HRI). According to the authors, this differs from the existing approach of the German Rescue Robotics Center (DRZ). The paper highlights five use cases in particular: search and rescue of lost persons after earthquakes, major damage after severe storms, forest and vegetation fires, terrorist attacks with mass casualties, and the case of large fires at industrial sites. The inclusion of police emergency responders is also relevant. Ongoing climate change and the associated increase in extreme weather events with heat and heavy rainfall, the resulting disasters, and the complex damage events of recent times create a clear need for assistance robots. These robots need to be expanded and developed to help save lives and reduce the burden on emergency services.

1.3.4.3 Scientific and Technical Approach

The core is the planned new approach with multiple, decentralized testing and evaluation facilities, where manufacturers can have their assistance robots for disaster management and complex emergencies evaluated under realistic operating conditions. These tests also include interaction, usability and user experience as well as social implications. As a result, the manufacturer will receive usability ratings, technology readiness levels and information on technology gaps and certifications from a user-centered research perspective. The five use cases identified will guide the development of this approach and help to set up the decentralized test and evaluation facilities. KARoKAS goes beyond the state of the art in science and technology by explicitly focusing on the evaluation of human-robot interaction. For this purpose, interaction strategies and process flows will be developed and specific evaluation methods will be applied and integrated into a new formalized evaluation process.

1.3.4.4 Transfer and Outreach

The decentralized testing and evaluation facilities create easy and direct access to the research of KARoKAS. End users can experience the systems in tasks and scenarios as close to reality as possible and evaluate the usability of new assistance robots together with experts. The approach creates awareness of the topic of Ethical, Legal and Social Implications (ELSI) by providing workshops and training. KARoKas uses a scenario-based approach to involve end users directly and continuously in the Human-Robot-Interaction (HRI) and usability and user experience (UX) evaluation processes.

1.3.5 ProVeRo – Competence Center for Pro-Social and Trust-Building Robots

Full approach is described in detail in Chapter 6 (in German, Kühnlitz et al. (2023)).

1.3.5.1 Objectives

ProVeRo focuses on a robot-sharing concept for transport and shuttle services in public spaces. Currently, there is a demand for mobility-supporting assistance, especially in rural and peripheral regions. Using the example of the region of Upper Franconia, Germany, the approach can contribute to establishing systems for pro-social and trustful coexistence in the real world.

The vision is to make assistance robots accessible to the masses by using distributed, publicly available systems – e.g., "robot sharing." The development of an intelligent, pro-social, and trust-building control architecture is an important prerequisite for the establishment of a robot-sharing concept in real-world applications. A challenge is the availability of interconnected, inner-city demonstration sites, especially in regions with a difficult supply situation due to the existing infrastructure.

1.3.5.2 Contribution to the Field

Within this approach, an internationally unique urban distributed robot laboratory will be established, based on publicly available mobile robots and stationary systems, to investigate and promote pro-social and trust-based interaction and coexistence. The main contribution is the reduction of barriers to the use of robotic assistance in public spaces, which can enable future robot-sharing concepts combined with various services to make robotic assistance economically accessible to the general public. This contribution also includes acceptance and user experience, which can be improved through social-psychologically motivated adaptation methods and the integration of robot explanation strategies. To achieve this goal, structured test scenarios will be developed in a condensed and highly targeted manner. Corresponding metrics and benchmarks for quantitative evaluation, including user experience and acceptance, will play a prominent role. ProVeRo pursues an integrated concept with a novel robotic system that offers social interaction and accompanying services, such as carrying assistance in public outdoor spaces and with individual adaptation to the human user.

1.3.5.3 Scientific and Technical Approach

In the authors' vision, the real-world laboratory is divided into two research lines – a central line and a secondary line. They can be distinguished regarding the different levels of risk, which depend on the mobility aspects, the maintenance or the personal sphere of activity and physical limitations. The transport service as the central line serves to establish an accompanying inner-city carrying service for support in daily life, especially concerning the personal sphere of influence, as well as to support social interaction opportunities in public spaces. The shuttle service as a secondary line serves to establish an alternative to public transport. The approach is divided into three steps: First, the implementation and operation of a real-world laboratory for the inner-city, interconnected robotic assistance is required. Then, real studies with untrained users and robot ethics involve the general public. Finally, considerations of business models and services are made.

1.3.5.4 Transfer and Outreach

ProVeRo sees the acceptance of interactive service robots as an essential prerequisite for their successful long-term use in real-world environments. Its goal is establishing pro-social and trust-building methods for robots in public spaces.

ProVeRo has a unique character due to the planned real-world laboratory. In particular, the possibility of conducting long-term real-world studies in weakly structured public spaces in outdoor environments such as pedestrian zones is an excellent basis for research in this area. In addition, it will be possible to carry out experiments over long periods of time in conjunction with large-scale acceptance studies to investigate the evolution of public opinion, as well as the possibility of integrating other robots from possible industrial stakeholders.

1.3.6 KomPArob – Care-Supporting Assistance Robots

Full approach is described in detail in Chapter 7 (in German, Graf et al. (2023)).

1.3.6.1 Objectives

KomPArob focuses on the evaluation of product-like assistance robots in various care facilities. Today, the care sector faces major challenges in terms of demographic change and a growing shortage of skilled workers. KomPArob claims that the use of close-to-product assistance robots can support and relieve staff in residential care facilities. The approach differs from other formats, where often only one robot is tested, and the tests take place in a single facility. Multiple tests under realistic conditions in multiple facilities allow for comprehensive testing and investigation of relevant parameters. This is a novelty in the context of assistive care robots.

1.3.6.2 Contribution to the Field

The scientific goal of KomPArob is to investigate the potential positive impact of robots in nursing through a systematic and multidimensional evaluation concept. Various product-related robots are evaluated with relevant case numbers to identify underlying success factors. Another goal of KomPArob is to make the capabilities and possible applications of service robots known to interested users and to enable them to experience them themselves. The third goal is not only to motivate and support potential users to use robots in practice but also to open up the care sector as an attractive market for future manufacturers of assistance robots in Germany - including concepts for market entry and the implementation of technical solutions in daily care operations.

The pursued scientific approach differs from other formats, in which often only one robot is tested, and the tests only take place in a single institution. This approach brings together several research institutes and companies that provide robots that are close to a product and have already been tested in real-life applications. These robots can already be used in direct interaction with humans, and their robotic skills go beyond simple information support. In addition, several non-technical partners are involved who can scientifically investigate Human-Robot-Interaction (HRI).

1.3.6.3 Scientific and Technical Approach

The strength of the approach outlined here is, in particular, the wide range of robot solutions to be tested in practice combined with the wide range of applications. As a result, new findings for the design of assistance robots in the care domain are expected. In addition, many planned trials offer the possibility to develop robots iteratively and participative with potential users.

Each robot applied already has a high technical maturity. All the robots have already been tested in care facilities or clinics. However, only selected application scenarios have been implemented and analyzed in the past. Many technically feasible applications discussed with representatives have not yet been realized. The approach aims to evaluate three main aspects:

1. the usability, experience and expectations as well as acceptance and task characteristics of robots in nursing care,
2. the impact of service robots on care processes and
3. the economic aspects and models for the implementation in the regular operation.

1.3.6.4 Transfer and Outreach

The planned large number of trials will provide insights into the extent to which the technical challenges can be generalized. In addition, KomPArob investigates how the fields of application of the assistance robots, the interaction strategies, the different user groups, the care processes, and the economic efficiency can benefit. The potential applications will be presented to interested users, who will have the opportunity to gain experience in interacting with the robots. KomPArob aims to make the care sector more attractive for robot manufacturers and to make more robots available for everyday care.

1.3.7 OPERATE - Competence Center for Robots as Assistance for People with Disabilities

Full approach is described in detail in Chapter 8 (in German, Dalm et al. (2023)).

1.3.7.1 Objectives

OPERATE focuses on interactive assistance robots that support people with disabilities in sheltered workshops. The authors identify the overall societal benefits and social relevance in the area of inclusion and participation, as people with disabilities, in particular, often require a high level of support in working life, e.g., when handling parts. Assistance robots offer the opportunity to provide support while increasing the autonomy of people with disabilities. The integration of safe assistive robots in workshops allows them to better participate in working life.

1.3.7.2 Contribution to the Field

In OPERATE, methods, metrics, procedures, and approaches of interactive assistance robots are developed to support people with disabilities in sheltered workshops. The use of interactive assistive robots in this area focuses on three main criteria: the technical-technological side, the interactive approaches, and Ethical, Legal and Social Implications (ELSI) considerations.

Despite their great potential, interactive assistance robots are not yet widely available to support people with disabilities. OPERATE's vision is that interactive assistance robots will enable people with disabilities to participate more fully in working life and, in the medium and long term, in the mainstream labor market. In addition, the approach supports workshops for people with disabilities and later companies that want to support people with disabilities through interactive assistance robots in the design and implementation of such systems.

1.3.7.3 Scientific and Technical Approach

Three different use cases are analyzed, developed and implemented with the help of interactive assistive robots and systems in OPERATE. The use cases test and evaluate the systems developed in the workshop under realistic conditions. The solutions and strategies are then described in modular and tangible guidelines and published scientifically. Finally, they are extended by suitable business models and transferred not only to other workshops for people with disabilities but also to companies in other areas. Multiple use cases are defined in which the robots support the humans in the categories of functional safety, interaction, complexity and reproducibility.

The concepts for the different use cases are transferred to the application domain as early as possible. For this purpose, the robot systems are directly integrated into the sheltered workshops so that the developed prototypes can be tested and evaluated in practice on a daily basis. The evaluation will take place over an extended period of time, focusing on Human-Robot-Interaction through acceptance and usability studies.

1.3.7.4 Transfer and Outreach

In this work, the transfer strategy is based on the concepts of participatory design, community-based research and the potential transfer to other workshops and companies. The publications, guidelines and business cases, as well as the expertise gained from the evaluation of the use cases, will pave the way to enable others to integrate interactive assistive robots into sheltered workshops. Moreover, it is a bidirectional exchange that promotes engagement between the community (practice) and university (research), creating opportunities to contribute to solving complex problems with different resources. This enriches the research processes and outcomes, creates a community development strategy and improves community-academia relations.

1.3.8 KO:ROP – Competence Center for Robots and Interaction for Care

Full approach is described in detail in Chapter 9 (in German, Eichelberg et al. (2023)).

1.3.8.1 Objectives

KO:ROP focuses on assistance robots that can support caregivers and people in need of care in their daily care tasks. The approach shows how robotic components and systems can be integrated or adapted to routine care tasks. It will assess whether professional caregivers, care recipients, and carers can be physically and psychologically relieved of tasks and activities of direct and indirect care. According to the authors, it is crucial that the robotic systems respond appropriately to the typical requirements and needs of the different actors.

1.3.8.2 Contribution to the Field

The core research question is how to design situation- and person-specific interaction with a care robot in order to provide adequate support in everyday life. The basic aim is to support "good care, i.e., care that is evidence-based and situation-, task- and relationship-oriented, and to make interaction with robots user-friendly in order to promote the general acceptance of care robots in practice.

For the practical implementation of care assistance robots, the KO:ROP concept addresses not only the current state of research but also issues of robot interaction, challenges of care practice, care science, and economic, social, and legal issues. The key research questions are:

1. Which prerequisites and conditions for success must be fulfilled for the use of robotic systems in nursing practice?
2. How can a safe, situation- and person-specific interaction between different groups of actors in nursing practice and robotic systems be technically realized?
3. Through which changes in nursing and work processes, IT support and data protection, as well as hygiene requirements, can demand- and user-oriented support be achieved by robotic systems and how can it be evaluated?

1.3.8.3 Scientific and Technical Approach

The KO:ROP concept will test robots in care support in acute inpatient, long-term inpatient, and outpatient care and will differentiate between task-oriented and relationship-oriented contexts. The aim is to put robots into practice in the six designed evaluation settings. In addition, the approach can support care, test and evaluate interaction concepts, and develop them iteratively.

The results of the first workshop with nurses from long-term inpatient, acute inpatient, and outpatient care showed interesting results. The theme of the workshop was "What forms of Human-Machine -Interaction (HMI) are suitable or necessary in the heterogeneous areas of care with regard to relevant care situations and currently available robotics?". The results showed that especially robotic lifting aids, robots for disinfection and cleaning, as well as logistics and transport systems, are helpful in supporting task-oriented care.

1.3.8.4 Transfer and Outreach

KO:ROP can provide information on how robotic components and systems can be integrated or adapted into routine care and whether professional caregivers, care recipients, and caring relatives can be physically and psychologically relieved of tasks and activities of direct and indirect care. The authors consider regular exchanges to promote cross-project collaboration and the establishment of a steering committee. Relevant cross-cutting issues with other stakeholders are technical implementation, open source strategy, integration and networking, evaluation, business models, security and liability, preparation of competitions, and public relations.

1.3.9 PosiBot – Center for Positive Service Robots in Customer Contact

Full approach is described in detail in Chapter 10 (in German, Pollmann et al. (2023)).

1.3.9.1 Objectives

PosiBot focuses on assistance robots for people with reduced mobility at airports. An EU regulation for airports from 2008 stipulates that people with reduced mobility must be provided with special services. The authors, therefore, identify this as an area of application for robots. PosiBot aims to include assistance robots in airport services increasingly to reduce the workload of airport staff and improve the service experience for passengers.

1.3.9.2 Contribution to the Field

An initial market study shows that service robots currently on the market provide a range of customer contact services (e. g. in retail, banking, cultural institutions, administration, transport, and tourism). These robots allow employees to focus more on customer communication and other issues. Robots also have the potential to take over tasks that workers often find less varied and less fulfilling. However, the authors also identify areas of concern: Companies using robots face the challenge of assessing the cost-benefit ratio. For robot manufacturers and system integrators, developing new robot applications is resource-intensive and only attractive if the business model works.

PosiBot will explore how barriers can be reduced. The result can support and enable German companies to overcome the identified hurdles and make greater use of service robots to relieve employees and positively influence customer service experience in the long term. To get there, human-centered-ethical development processes, insights into technology-sociological issues and public presentations of the tests and the results are considered.

1.3.9.3 Scientific and Technical Approach

The approach develops and tests the range of robot services iteratively. The development is carried out using a human-centered-ethical development process. Moreover, it is based on integrated research and combines ethical and technical-sociological approaches with those of user experience and application development. This can enable a holistic and socially sustainable view of the design and development of service robots.

In PosiBot, the focus is on the practicable and beneficial use of service robots in customer contact. The design and implementation of the service robot applications are oriented towards the wishes and expectations of the customers, as well as explicitly considered as part of the employees' work design. From the beginning, the technical capabilities of service robots available on the market are considered to achieve a high overall level of maturity of the solutions. In PosiBot, the focus is explicitly on developing a multimodal Human-Robot-Interaction (HRI). The approach is evaluated in an airport scenario with many inexperienced passengers.

1.3.9.4 Transfer and Outreach

The PosiBot aims to become an established point of contact in Germany for the practical use of service robots in customer contact. The service is intended to make it easier for application and development companies by adopting provided interaction modules. PosiBot aims to focus on interaction by creating a uniform interaction language. Moreover, PosiBot motivates manufacturers and system integrators of assistance and service robots to deal with aspects of trust building and acceptance promotion at an early stage in the design and development process of new robots and applications.

1.3.10 R-ITUAL – Robots: Interactive, Transparent and Adaptive Life Companions

Full approach is described in detail in Chapter 11 (in German, Herrnberger et al. (2023)).

1.3.10.1 Objectives

R-ITUAL focuses on assistance robots in a multi-generational home that support users in a private residential environment. While many assistance robots provide many functions reliably, they are often not yet able to interpret human emotions and behavior correctly. Therefore, they cannot interact with the user in a socially and situationally appropriate way. The approach aims to extend assistance robots with such characteristics in a focused, interdisciplinary, and structured manner. The social benefit is the potential increase in quality of life, autonomy and safety for all social user groups in everyday life.

1.3.10.2 Contribution to the Field

In recent years, the development of assistive robots has become an important, dynamic field, both in terms of product development and related research. Often, the functional or conceptual aspects are dominant and are considered in a laboratory-like environment or isolated from the environment. In this work, the intelligent interaction of assistance robots with humans plays a central role.

The long-term, large-scale use of assistance robots in society can only be successful and gain sufficient acceptance if the implementation of assistance robots is also tested and optimized in the domestic environment under realistic everyday conditions. For example, the recognition of human emotions is essential for the desired adaptive Human-Robot-Interaction (HRI). Systems currently available on the market are only capable of recognizing simple, basic emotions. In order to differentiate more finely between emotions and to react adequately, it is necessary to understand not only the emotion itself but also its origin.

1.3.10.3 Scientific and Technical Approach

R-ITUAL aims to establish an environment in which relevant research questions are analyzed and answered within a test scenario under realistic, everyday conditions. R-ITUAL will focus on onboarding, intelligent operation and the adaptation of assistance robot functionality and Human-Robot-Interaction (HRI). Independent of the general scientific aspects, however, the application in the domestic, private everyday environment is a key aspect – including all the associated technological, methodological, infrastructural, ethical and social challenges. In particular, R-ITUAL will investigate the use of near-product assistive robots in multi-generational households in order to draw general conclusions for improving and using such assistive robots in private spaces.

A significant focus of the R-ITUAL is the continuous improvement of understanding expectations and acceptance of assistance robots among different users through an iterative observation process. To achieve this, it is necessary that the sociological and technical experts communicate with each other. This is achieved through a continuous exchange of information and knowledge between the different partners.

1.3.10.4 Transfer and Outreach

In R-ITUAL, interaction strategies from robotics can be integrated into existing assistance robots, adapted to different user types and evaluated in long-term studies. The vision is to take a leading role in the application design, especially the introduction of assistance robots in the private residential environment.

The multi-generational house is highly relevant due to its cross-target group and already socially broadly designed characteristics. The findings can serve as a basis for expanding the application domains to areas such as villages, cities or larger residential complexes. R-ITUAL can be seen as a first step towards the intelligent digitalization of cities with new, semi-autonomous robotic services.

1.3.11 ROBO:REHKIDS – Competence Center for Interactive Assistance Robots for Kids in Rehabilitation

Full approach is described in detail in Chapter 12 (in German, Houta et al. (2023)).

1.3.11.1 Objectives

ROBO:REHKIDS focuses on assistive robots for therapy and support of children and young people with disabilities. According to the authors, interactive robots have the potential to become companions for this target group in two ways: both as assistance for disabilities that need to be compensated or supported and as companions for learning and therapy processes that are usually necessary throughout life for children and young people with disabilities. The intensified, self-determined and everyday use of such assistance robots offers promising opportunities to improve participation and the quality of care.

1.3.11.2 Contribution to the Field

The overall goal is to generate, bundle, and transfer knowledge and experience on the practical use of interactive assistance robots for the therapy and support of children and young people with disabilities. In order to unlock this potential, a competence network for the development and use of assistive robot technologies for the therapy and support of children and young people with disabilities is planned. The approach will also develop the organizational structures and methods for the use and application-driven development of such robotic systems. The scientific approach is based on a method tailored to the application domain, which also includes a socio-scientific and socio-political perspective. It analyzes the socio-scientific effects of Human-Robot-Interaction (HRI) and ethical implications as a basis for a value-oriented and sustainable design of assistance robots. This perspective includes the following aspects:

1. a health economic perspective – financial perspective,
2. a care process and user perspective – customer perspective,
3. a development and evaluation perspective – internal process perspective,
4. an innovation management and competence building perspective – learning and growth perspective.

1.3.11.3 Scientific and Technical Approach

The concept is based on three use cases. The first use case deals with interactive assistance robots as school and learning companions. The robotic assistants are intended to complement the existing learning companions in school and learning support against the background of the participation and self-determination of the children concerned, thus enabling new inclusive learning concepts.

The second use case relates to assistive robots in therapy and support of children with early childhood autism: According to the authors, robotic systems are well suited to support therapy. Moreover, robots can support autistic children because they can guarantee the safety of action, reliability and a high degree of repetition accuracy.

The third use case focuses on assistive robots as therapy companions or collaborators in neurological rehabilitation. With the increasing availability of safe, collaborative robots, it is essential to develop these systems that offer great potential for individualized and child-oriented therapy. However, the therapeutic requirements and concepts must be systematically combined with the technical possibilities.

1.3.11.4 Transfer and Outreach

The ROBO:REHKIDS concept combines interdisciplinary scientific and practical expertise in the field of interactive assistance robots for children and young people with disabilities. The combination of practice-oriented research on issues of interactive assistive robots with teaching concepts enables the inclusion of the latest research results into teaching. It, therefore, also allows the implementation of practice-oriented PhD research topics and the supplementation of practice-driven courses and seminars. This integrated teaching approach aims to advance research and development and expand the network.

1.3.12 rokit – Robots for Assistance Functions: Interaction in Practice

Full approach is described in detail in Chapter 13 (in German, Tariq et al. (2023)).

1.3.12.1 Objectives

The rokit project focuses on bringing mobile assistance robots and Human-Robot-Interaction (HRI) into public spaces. Public spaces, with their traffic, parks, and publicly accessible buildings, offer numerous fields of application for mobile robots. However, the integration of robots poses several specific challenges. On the one hand, interactions between humans and robots are remarkably diverse and often unpredictable: they involve safety risks that are often accompanied by unclear legal constraints. On the other hand, the public image of robots today is still very ambivalent and characterized by exaggerated expectations and fears of replacement.

1.3.12.2 Contribution to the Field

The resulting tension between technical, ethical, legal and design issues requires highly interdisciplinary strategies. The work in rokit is, therefore, dedicated to the normative design and evaluation of the practical and scientific issues of the use of mobile robots in public spaces. The approach addresses the use of and interaction with robots in public spaces and the resulting challenges of adapting existing robots to new use cases. The scientific mission of rokit is formulated in the following research questions:

1. Which social and individual expectations, needs and fears exist regarding robots, and what does this mean for the design of Human-Robot-Interaction (HRI)?
2. Which interaction strategies are suited for a good User Experience (UX) and high acceptance of robots in public spaces, and how can design guidelines be derived from this?
3. How can Human-Robot-Interaction (HRI) in public spaces be designed safely without compromising performance and usefulness?
4. What legal regulations enable or restrict the use of robots in public spaces?
5. What structured experiences can be derived concerning performance, (legal) security, Human-Robot-Interaction (HRI) and Ethical, Legal and Social Implications (ELSI) for assistance robots in general?

1.3.12.3 Scientific and Technical Approach

As a preliminary and preparatory step, three use cases are investigated as representative examples: The four-legged robot SPOT will inspect the area of a busy university campus, the robot MULI will help people to transport loads through a public building like a contactless handcart, and the robot from the company ANGSA will clean the areas of a public park together with employees of a city cleaning service. For research purposes, the approach consists of three elements: a think tank, a method workshop and a living lab. The integrative element of the structure is the rokit hub, which acts as a mediator and link within the cluster and as an interface and contact to the outside world.

In the long term, the available technology and expertise in assistive robots in public spaces are harmonized with social and economic requirements. The overall goal is to produce results that enable the meaningful, ethical, safe and economical use of robots in public spaces.

1.3.12.4 Transfer and Outreach

The authors are not aware of any other approach with a similar focus or comparable methodological and technical expertise. Moreover, they assume that existing consulting offers usually only focus on individual aspects such as usability, acceptance or security and are offered by single companies. In contrast, rokit aims to offer the added value of bringing together excellent partners from all decisive areas and dedicating itself to this challenging application domain. Moreover, rokit has identified many high-performant automation technologies for industrial and restricted areas. Adaptation to new use cases is an essential key to commercial success in the public sector. However, the transfer to this sector can only be successful if the relevant aspects identified in rokit are considered prior to deployment in public applications.

1.3.13 RuhrBots – Citizen-Oriented and User-Friendly Social Robots in the City Administrations of the Metropole Ruhr

Full approach is described in detail in Chapter 14 (in German, Straßmann et al. (2023)).

1.3.13.1 Objectives

RuhrBots focuses on assistance robots in the city to support visitors and staff. The focus is on libraries and museums, representing freely accessible meeting places with multiple uses. Robots can assist in searches, promotion, and education, as well as at return stations or cultural events.

Modern technologies, such as assistive robots, have a great leverage effect in the transition to a digitalized world, as urban institutions are meeting places and thus have both a role model and an educational function. Technical solutions are often not designed and implemented in a diversity-friendly way, so not everyone can or wants to use them. Municipalities are caught between rapid innovation and ensuring accessibility and diversity equity to ensure participation, accessibility, and acceptance for all.

1.3.13.2 Contribution to the Field

The scientific results show that, in addition to the design of the robot and its behavioral patterns, the human factor is highly relevant. In particular, expectations and fears play a significant role in the long-term use and acceptance of assistance robots. If people are unwilling to interact with and use robots because of fears, personal attitudes, and experiences, even the most functional and optimized robots will not reach their full potential.

The advantage of the RuhrBots approach is the combination of laboratory and field studies. These studies are based on the intensive participation of citizens and communities, with a continuous focus on the creation of an economic ecosystem. By locating the approach in the public space of the Ruhr metropolitan region, an ideal scenario is also created at the algorithmic level, in which the limits of existing systems

are first made visible and then iteratively and continuously expanded in the direction of inclusion and adaptation. By locating it in the field and designing an individual human-robot-journey, the complete and complex interaction of the various sub-aspects of the socio-technical system becomes accessible for research.

1.3.13.3 Scientific and Technical Approach

An iterative, three-stage qualitative approach is chosen as a human-centered design process. It ensures the development of accepted and realistic application scenarios. Several interviews and workshops with citizens and employees were organized to collect visions of use, feedback, and requirements for social robots. In addition, four exemplary personas emerged from the qualitative interviews.

RuhrBots enables municipalities to build and expand expertise regarding assistance systems and their practical application. Additionally, the approach aims to reduce psychological barriers and obstacles by making it possible to experience social robots in familiar areas of everyday life. Overall, the aim is to increase the competence of municipalities, whose employees and citizens can experience an increased awareness of diversity and self-determination in the context of digitalization through active participation in the development and integration of social robots.

1.3.13.4 Transfer and Outreach

The vision of RuhrBots is that social robots will be integrated into municipal administrations in a participatory way. The robots are integrated into the processes and designed to meet the different needs of the citizens. This allows all citizens to use them without fear, bad experiences, or reservations. The goal is that the robots adapt to the different needs and that the interaction is barrier-free, usability-optimized, intuitive, multimodal, and non-discriminatory. Only if social robots have a positive impact on all citizens (diverse characteristics) and can be used by all (barrier-free) can they be integrated into urban institutions in the long term.

1.3.14 ZEN-MRI – Ulm Center for Research and Evaluation of Human-Robot-Interaction in Public Space

Full approach is described in detail in Chapter 15 (in German, Kraus et al. (2023)).

1.3.14.1 Objectives

ZEN-MRI focuses on service robots for cleaning and transport in public spaces. Specifically, the authors evaluate Human-Robot-Interaction (HRI) in public spaces in order to derive, develop and evaluate different interpretations of robot behavior and robot interaction strategies, as well as measures for the integration of robots in public spaces. Psychological, social, ethical, legal and security requirements will be taken into account. The goal is to enable service and assistance robots to increasingly perform tasks such as cleaning and transport in public spaces.

1.3.14.2 Contribution to the Field

The ZEN-MRI authors identify the use of robots in public spaces, where they perform tasks in close contact with many people who are not involved in the actual task, as a unique feature. Most people they interact with do not directly benefit from the robots, for example, when they are cleaning a pedestrian zone. Therefore, in order to perform their task efficiently and safely, the robots need to interact with two different groups: their human team partners and uninvolved pedestrians. For example, the robots need to communicate their task and find a feasible path. Interestingly, in this scenario, new technical agents, the robots, enter an established, functioning system of social interaction in which humans have evolved strategies for responding to each other, communicating, and cooperating. The goal of ZEN-MRI is to enable a harmonious coexistence between humans and robots in public spaces, ensuring individual well-being for humans, efficient and sustainable task performance by robots, and consideration of Ethical, Legal, and Social Implications (ELSI).

1.3.14.3 Scientific and Technical Approach

To support the implementation of these requirements, the approach aims at an integrated, interdisciplinary and theory-based evaluation of design options, strategies and interpretations of HRI in public space. In addition, the ethical, legal and societal frameworks for the coexistence of humans and robots in public spaces are investigated, and possible solutions are developed.

In the targeted use cases, the robots will perform tasks in public spaces in realistic, practical scenarios and in coordination with their environment. The robots are intelligent and adaptable, responding to the needs of people around them and adjusting their interactions and behavior accordingly.

The primary research approach follows the concept of a real-world laboratory in which robots are integrated into the existing social structure of public space. A dynamic and ad-hoc usable testbed with several test areas will be developed in close cooperation with the city of Ulm to achieve this goal. This testbed will allow the seamless integration of the robots into the social structure of the pedestrian zone.

1.3.14.4 Transfer and Outreach

As part of the approach, new methods for involving stakeholders and the public (Stakeholder Labs, Robot Museum) will be developed to ensure the participation of the population in the integration process. By integrating new service robots into the established system of social interaction in the pedestrian zone, many pedestrians will participate in the research and ensure the development of efficient and ELSI-conscious robots. ZEN-MRI will contribute its technical expertise to all activities for networking, knowledge transfer, and sustainable performance to increase the number of available service and assistance robots in everyday environments, with a special focus on public spaces.

1.3.15 ZENT-AUR – Competence Center for Flexible Autonomy in Telerobotics

Full approach is described in detail in Chapter 16 (in German, Weber et al. (2023)).

1.3.15.1 Objectives

ZENT-AUR focuses on flexible autonomy for telerobotics. The objective is to develop a safe and intuitive interaction strategy for Human-Autonomy-Interaction (HAI) in telerobotics, which is evaluated in areas of everyday assistance and surgery. The approach is based on the lack of hybrid solutions in which robot autonomy and telerobotics complement each other. Where human skills are required, they can be integrated with telerobotic solutions where the human can directly control the robot manually. Telerobotics thus combines the strengths of humans (e.g., decision-making ability) with those of robots (e.g., precision), opening up a wide range of applications in many areas of everyday life, far beyond today's applications (e.g., agricultural robots or telesurgery).

1.3.15.2 Contribution to the Field

The following scientific questions are addressed in three application scenarios: How can Human-Autonomy-Interaction (HAI) be implemented intuitively, safely, and appropriately? For example, how can human intent or dangerous situations be detected and appropriate function allocation proposed? How can HAI be designed so the teleoperator develops high situational awareness and trust in the system? What are valid metrics and benchmarks for evaluating the overall socio-technical system? In principle, flexible function allocation in HAI raises many questions about who should propose or initiate transitions from one control mode to another. Therefore, the central goal is to develop a holistic solution of flexible, scalable autonomy that opens up a wide range of interaction possibilities. Such versatile solutions are needed in view of the growing shortage of skilled workers and cost pressures in care, nursing, and medicine. ZENT-AUR also meets the social requirements for interactive assistance robots.

1.3.15.3 Scientific and Technical Approach

ZENT-AUR plans to evaluate the interaction approach of flexible autonomy in three applications, which allows switching between different degrees of autonomy from manual control to partial to full autonomy. The ZENT-AUR concept is intended to open up a new field of action for assistance robots. Many applications could benefit from this approach, from autonomous driving to robot-assisted surgery, from satellite construction in orbit to nursing robots. The human-centered approach creates a flexible autonomy that enables continuous switching between control modes – from manual control to complete robotic autonomy. ZENT-AUR develops a modular, generic toolbox for flexible autonomy. This toolbox is extensively evaluated in three application areas with different requirements, robot systems, and users. The contribution of ZENT-AUR is the integration of human competence into robotic autonomy. This is in contrast to previous research and development efforts in assistive robotics, which have undoubtedly focused on the integration of fully autonomous robots into people's everyday lives.

1.3.15.4 Transfer and Outreach

ZENT-AUR opens up a new perspective on Human-Robot-Interaction (HRI) because in addition to humans interacting directly with robots, teleoperating humans now play a key role, and ZENT-AUR will focus primarily on this interface with humans. The current limitations of assistive robots can be overcome by connecting humans teleoperatively and simultaneously using the local robotic autonomy functions. This is a unique attempt in robotics, and ZENT-AUR proves that the approach of flexible autonomy can be successfully applied across systems, user groups, and domains. ZENT-AUR thus avoids the isolated consideration of individual application areas and offers a versatile, modular, and customizable approach.

1.4 Towards More Robotic Assistance for Everyday Life

In recent years, more and more service and assistance robots have been introduced, reaching out to new areas of application. New robotics start-ups are entering the market and exploring the possibilities of robots in everyday life. Not all of these ideas are successful yet, but there is a noticeable increase in interest. It can be said that the big breakthrough that will bring service robots into everyday life is still to come. However, the current performance and flexibility of the latest robot technologies are paving the way for this upcoming change in our society. Today, there are still several challenges: safety, legal regulations, reliability, reusability, and business models must be considered within the unique, dynamic, and challenging conditions in everyday life environments.

The acceptance and interaction between humans and robots are central to the success of service and assistance applications. This preface summarises the state of the art in the scientific fields that must be considered to enable the everyday use of robots: From manipulation tasks in everyday environments to Human-Robot-Interaction with non-experts or navigation in dynamic complex real-world use cases as well as object recognition and localization. The following key concepts have the potential to stimulate and accelerate the implementation of new service and assistance robot applications:

- continuous open-source software,
- periodic robot competitions and challenges,
- openly available benchmarks and datasets,
- new service and business models, as well as the
- safety, legal and regulatory framework

for service and assistance robots. All in all, the issues addressed are necessary to improve the acceptance of service and assistance robots in Germany, to ensure robustness, safety, and economic feasibility, and to establish new systems in real-world environments. If the robots are not accepted and thus not wanted, they will be damaged, deliberately disrupted, and ultimately banned from public use under public pressure. Without a high level of acceptance, service and assistance robots will not be able to become a success because in this field, not only economic aspects decide whether a

robot application will be continued, rolled out to other locations, or even transferred to new domains.

It is well understood that acceptance is based primarily on positive, successful human interaction with robots. With their new research questions, innovative approaches, and interdisciplinary results, the 15 feasibility studies published in this collection contribute to increasing the acceptance of robots in our daily lives. It is, therefore, to be hoped that this collection will bring more and more fascinating service and assistance robots into everyday life in Germany in the near future.

References

Arash Ajoudani, Andrea Maria Zanchettin, Serena Ivaldi, Alin Albu-Schäffer, Kazuhiro Kosuge, and Oussama Khatib. Progress and prospects of the human–robot collaboration. *Autonomous Robots*, 42:957–975, 2018.

Paulo Alves, Hugo Costelha, and Carlos Neves. Localization and navigation of a mobile robot in an office-like environment. In *13th International Conference on Autonomous Robot Systems (Robotica)*, pages 1–6, 2013.

Amir Aly and Adriana Tapus. A model for synthesizing a combined verbal and nonverbal behavior based on personality traits in human-robot interaction. In *8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 325–332, 2013.

Amir Aly, Sascha Griffiths, and Francesca Stramandinoli. Metrics and benchmarks in human-robot interaction: Recent advances in cognitive robotics. *Cognitive Systems Research*, 43:313–323, 2017.

Arash Amini, Arul Selvam Periyasamy, and Sven Behnke. YOLOPose: Transformer-based multi-object 6D pose estimation using keypoint regression. In *17th International Conference on Intelligent Autonomous Systems IAS-17*, pages 392–406. Springer, 2023.

Tamim Asfour, Mirko Waechter, Lukas Kaul, Samuel Rader, Pascal Weiner, Simon Ottenhaus, Raphael Grimm, You Zhou, Markus Grotz, and Fabian Paus. Armar-6: A

- high-performance humanoid for human-robot collaboration in real-world scenarios. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 26(4):108–121, 2019.
- Shiri Azenkot, Catherine Feng, and Maya Cakmak. Enabling building service robots to guide blind people a participatory design approach. In *11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 3–10, 2016.
- Michael Beetz, Frank Kirchner, Rainer Malaka, Andreas Breiter, Uwe Engel, Dagmar Borchers, Martin G. Moehrl, Iris Kirchner-Freis, Elsa A. Kirchner, Juliane Jarke, Jonas Reiling, Holger Bothmer, Michael Lawo, Nils Denter, Will Niels, and Daniel Nyga. Alltagsassistenten-roboterlabor (CeRA4HRI). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- Jens Behley, Martin Garbade, Andres Milioto, Jan Quenzel, Sven Behnke, Jürgen Gall, and Cyrill Stachniss. Towards 3D LiDAR-based semantic scene understanding of 3D point cloud sequences: The SemanticKITTI Dataset. *Int. J. Robotics Res.*, 40 (8-9), 2021.
- Sven Behnke. Robot competitions-ideal benchmarks for robotics research. In *Proc. of IROS-2006 Workshop on Benchmarks in Robotics Research*, 2006.
- Sven Behnke, Julie Adams, and David Locke. The 10 Million ANA Avatar XPRIZE Competition Advanced Immersive Telepresence Systems. 2023.
- M Grosse Besselmann, Lennart Puck, Lea Steffen, Arne Roennau, and Rüdiger Dillmann. VDB-mapping: A high resolution and real-time capable 3D mapping framework for versatile mobile robots. In *17th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, pages 448–454, 2021.
- Marius Beul, Matthias Nieuwenhuisen, Jan Quenzel, Radu Alexandru Rosu, Jannis Horn, Dmytro Pavlichenko, Sebastian Houben, and Sven Behnke. Team NimbRo at MBZIRC 2017: Fast landing on a moving target and treasure hunting with a team of micro aerial vehicles. *J. Field Robotics*, 36(1):204–229, 2019.
- Tim Blackman. Care robots for the supermarket shelf: A product gap in assistive technologies. *Ageing & Society*, 33(5):763–781, 2013.

- Gabriele Bolano, Arne Roennau, and Ruediger Dillmann. Transparent robot behavior by adding intuitive visual and acoustic feedback to motion replanning. In *27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 1075–1080, 2018.
- Gabriele Bolano, Christian Juelg, Arne Roennau, and Ruediger Dillmann. Transparent robot behavior using augmented reality in close human-robot interaction. In *28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 1–7, 2019.
- Gary Bradski. The opencv library. *Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer*, 25(11):120–123, 2000.
- BSI. Second act on increasing the security of IT systems (German IT Security Act 2.0), 2021. URL <https://www.bsi.bund.de/EN/Das-BSI/Auftrag/Gesetze-und-Verordnungen/IT-SiG/2-0/it-sig-2-0-node.html>. Accessed 12.05.2023.
- Martin Buehler, Karl Iagnemma, and Sanjiv Singh, editors. *The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic, George Air Force Base, Victorville, California, USA*, volume 56 of *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 2009. Springer.
- The Cartographer. Cartographer ROS for mobile industrial robots platforms, 2018. URL <https://cartographer-mir.readthedocs.io/en/latest/>. Accessed 12.05.2023.
- Ping Yong Chua, T Ilschner, and Darwin G Caldwell. Robotic manipulation of food products—a review. *Industrial Robot: An International Journal*, 30(4):345–354, 2003.
- Matei Ciocarlie, Kaijen Hsiao, Edward Gil Jones, Sachin Chitta, Radu Bogdan Rusu, and Ioan A Şucan. Towards reliable grasping and manipulation in household environments. In *12th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*, pages 241–252. Springer, 2014.
- European Commission. Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on machinery products, 2021. URL <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45508>. Accessed 12.05.2023.

European Commission. Commission welcomes political agreement on new rules to ensure the safety of machinery and robots, 2022. URL <https://ec.europa.eu/commission/presscorner>. Accessed 12.05.2023.

European Commission. A European approach to Artificial Intelligence, 2023a. URL <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence>. Accessed 12.05.2023.

European Commission. Das EU-Cybersicherheitsgesetz, 2023b. URL <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/cybersecurity-act>. accessed 12.05.2023.

European Commission. Regulatory framework proposal on artificial intelligence, 2023c. URL <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>. Accessed 12.05.2023.

European Commission. Cyber: towards stronger EU capabilities for effective operational cooperation, solidarity and resilience, 2AD. URL <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip-23-2243>. Accessed 12.05.2023.

Kris Dalm, Rohan Sahuji, Florian Frank, and Lars Ruhbach. Kompetenzzentrum für Roboter als Assistenz für Menschen mit Einschränkungen (OPERATE) . In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

Machinery Directive. Directive 2006/42/ec of the european parliament and of the council of 17 may 2006. *Official Journal of the European Union—09.06*, page L157, 2006.

DLR. Robotics team practices lunar exploration on Mount Etna, 2023. URL <https://www.dlr.de/content/en/articles/news>. Accessed 12.05.2023.

Dawei Du, Honggang Qi, Wenbo Li, Longyin Wen, Qingming Huang, and Siwei Lyu. Online deformable object tracking based on structure-aware hyper-graph. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(8):3572–3584, 2016.

Hugh Durrant-Whyte and Tim Bailey. Simultaneous localization and mapping: part I. *Robotics & Automation Magazine*, 13(2):99–110, 2006.

- Marco Eichelberg, Tobias Krahn, Stefan Stiene, Alexander Sung, Manfred Hülsken-Giesler, Yvonne Steffen, Lena Marie Wirth, Marion Bley, Franziska Tigges, Ulrike Pesch, Kira Nordmann, Nadine Reißner, Uwe Zimmermann, Christian Sternitzke, Ulrich Schulze-Althoff, Marc Ernst, Sebastian Glende, Sibylle Meyer, and Andreas Hein. Kompetenzzentrum für Robotik und Interaktion für die Pflege (KO:ROP). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- Zackory Erickson, Vamsee Gangaram, Ariel Kapusta, C Karen Liu, and Charles C Kemp. Assistive gym: A physics simulation framework for assistive robotics. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 10169–10176, 2020.
- ESA/ESRIC. ESA and ESRIC Space Resources Challenge, 2023. URL <https://www.spaceresourceschallenge.esa.int/>. Accessed 12.05.2023.
- Tingxiang Fan, Pinxin Long, Wenxi Liu, and Jia Pan. Distributed multi-robot collision avoidance via deep reinforcement learning for navigation in complex scenarios. *The International Journal of Robotics Research*, 39(7):856–892, 2020.
- Hao-Shu Fang, Chenxi Wang, Minghao Gou, and Cewu Lu. Graspnet-1billion: A large-scale benchmark for general object grasping. In *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 11444–11453, 2020.
- Julia Fink. Anthropomorphism and human likeness in the design of robots and human-robot interaction. In *4th International Conference on Social Robotics (ICSR)*, pages 199–208. Springer, 2012.
- Fabrizio Flacco, Torsten Kroeger, Alessandro De Luca, and Oussama Khatib. A depth space approach for evaluating distance to objects: with application to human-robot collision avoidance. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 80:7–22, 2015.
- Bill Gates. A robot in every home. *Scientific American*, 296(1):58–65, 2007.
- GDPR. Complete guide to GDPR compliance, 2023. URL <https://gdpr.eu/>. Accessed 12.05.2023.

- Raphaela Gehle, Karola Pitsch, Timo Dankert, and Sebastian Wrede. How to open an interaction between robot and museum visitor? strategies to establish a focused encounter in HRI. In *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 187–195, 2017.
- Reinhard Gerndt, Daniel Seifert, Jacky Hansjoerg Balthes, Soroush Sadeghnejad, and Sven Behnke. Humanoid robots in soccer: Robots versus humans in RoboCup 2050. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 22(3):147–154, 2015.
- Birgit Graf, Theo Jacobs, Simon Baumgarten, Florenz Graf, Sascha Wischniewski, Susanne Niehaus, Christian Schiller, and Marija Radic. Pflegeunterstützende Assistenzrobotik (KomPARob). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard. Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. *IEEE transactions on Robotics*, 23(1):34–46, 2007.
- Erico Guizzo. What is a robot?, 2018. URL <https://robots.ieee.org/learn/what-is-a-robot/>. Accessed 12.05.2023.
- Erico Guizzo. By leaps and bounds: An exclusive look at how Boston Dynamics is redefining robot agility. *IEEE Spectrum*, 56(12):34–39, 2019.
- 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.
- Michael Herrnberger, Victor Fäßler, Alejandro Cardenas, Sara Dirnagl, Philippe Mauri, Paul von Rüden, Benjamin Stähle, Markus Schneider, Johannes Kraus, Franziska Babel, Johannes Steinle, Florian Fischer, Karsten Bohlmann, Ivana Kruijff-Korabayova, and Christian Wilms. Roboter – Interaktive, transparente und adaptive Lebensbegleiter (R-ITUAL). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

- Wolfgang Hess, Damon Kohler, Holger Rapp, and Daniel Andor. Real-time loop closure in 2D LIDAR SLAM. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1271–1278, 2016.
- Armin Hornung, Kai M Wurm, Maren Bennewitz, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard. Octomap: An efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees. *Autonomous robots*, 34:189–206, 2013.
- Salima Houta, Pinar Bisgin, Christoph Monfeld, Ioannis Iossifidis, Bernd Kuhlenkötter, Alfred Hypki, Laura Hoffmann, Christian Walter-Klose, Hanns Rüdiger Röttgers, Christian Dunker, and Alexander Pröll. Kompetenzzentrum für interaktive AssistenzROBOTik für REHaKIDS (ROBO:REHKIDS). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- Joseph L Jones. Robots at the tipping point: the road to iRobot Roomba. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13(1):76–78, 2006.
- Alexander Kasper, Zhixing Xue, and Rüdiger Dillmann. The kit object models database: An object model database for object recognition, localization and manipulation in service robotics. *The International Journal of Robotics Research*, 31(8):927–934, 2012.
- Linh Kästner, Cornelius Marx, and Jens Lambrecht. Deep-reinforcement-learning-based semantic navigation of mobile robots in dynamic environments. In *IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, pages 1110–1115, 2020.
- Nathan Koenig and Andrew Howard. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, volume 3, pages 2149–2154, 2004.
- Stefan Kohlbrecher, Oskar Von Stryk, Johannes Meyer, and Uwe Klingauf. A flexible and scalable SLAM system with full 3D motion estimation. In *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, pages 155–160, 2011.

Marina Kollmitz, Kaijen Hsiao, Johannes Gaa, and Wolfram Burgard. Time dependent planning on a layered social cost map for human-aware robot navigation. In *European Conference on Mobile Robots (ECMR)*, pages 1–6, 2015.

N. Kottege, S. Scherer, J. Faigl, and A. Agha. Editorial: Special Issue on Advancements and Lessons Learned during Phases I and II of the DARPA Subterranean Challenge. *J. Field Robotics*, 2:1947–1950, 2022.

Johannes Maria Kraus, Franziska Babel, Martin Baumann, Kathrin Pollmann, Daniel Ziegler, Siegfried Hochdorfer, Petra Grimm, Tobias Keber, and Marius Pawlak. Ulmer Zentrum zur Erforschung und Evaluation der Mensch-Roboter- Interaktion im öffentlichen Raum (ZEN-MRI) . In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

Eric Krotkov, Douglas Hackett, Lawrence D. Jackel, Michael Perschbacher, James Pippine, Jesse Strauss, Gill A. Pratt, and Christopher Orłowski. The DARPA robotics challenge finals: Results and perspectives. *J. Field Robotics*, 34(2):229–240, 2017.

Alexander Kuhn, Jan Niklas Franzius, Dennis Möller, Norbert Pralle, Franziska Reich, René Hellmuth, Anne-Sophie Tombeil, Günter Wenzel, Thomas Linner, Marc Schmailzl, Rongbo Hu, Thomas Bock, Christophe Maufroy, Verena Kopp, Nico Bölke, and Urban Daub. Kompetenzzentrum für baurobotik im hochbau (CONSAS). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

Rainer Kümmerle, Michael Ruhnke, Bastian Steder, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard. Autonomous robot navigation in highly populated pedestrian zones. *Journal of Field Robotics*, 32(4):565–589, 2015.

Kolja Kühnlenz, Barbara Kühnlenz, A. Kriza, Bartolomiej Stanczyk, Georg Arbeiter, and Alexander Müller. Kompetenzzentrum für prosoziale und vertrauensfördernde Robotik (ProVeRo) . In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

Christian Lenz, Max Schwarz, Andre Rochow, Bastian Pätzold, Raphael Memmesheimer, Michael Schreiber, and Sven Behnke. NimbRo wins ANA Avatar XPRIZE

-
- Immersive Telepresence Competition: Human-Centric Evaluation and Lessons Learned. *International Journal of Social Robotics*, pages 1–25, 2023.
- MAGAZINO. Fahrerlose Transportsysteme, Apr 2023. URL <https://www.magazino.eu/produkte/toru/>.
- Emanuele Magrini, Fabrizio Flacco, and Alessandro De Luca. Control of generalized contact motion and force in physical human-robot interaction. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 2298–2304, 2015.
- Jeremy Maitin-Shepard, Marco Cusumano-Towner, Jinna Lei, and Pieter Abbeel. Cloth grasp point detection based on multiple-view geometric cues with application to robotic towel folding. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 2308–2315, 2010.
- Viktor Makoviychuk, Lukasz Wawrzyniak, Yunrong Guo, Michelle Lu, Kier Storey, Miles Macklin, David Hoeller, Nikita Rudin, Arthur Allshire, Ankur Handa, and Gavriel State. Isaac Gym: High Performance GPU Based Physics Simulation For Robot Learning. In *Neural Information Processing Systems Track on Datasets and Benchmarks 1*, 2021.
- John C Mankins et al. Technology readiness levels. *White Paper, April*, 6(1995):1995, 1995.
- Alexander Mathis, Steffen Schneider, Jessy Lauer, and Mackenzie Weygandt Mathis. A primer on motion capture with deep learning: principles, pitfalls, and perspectives. *Neuron*, 108(1):44–65, 2020.
- Cynthia Matuszek, Liefeng Bo, Luke Zettlemoyer, and Dieter Fox. Learning from unscripted deictic gesture and language for human-robot interactions. *AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 28(1), 2014.
- Felix Mauch, Arne Roennau, Georg Heppner, Timothee Buettner, and Rüdiger Dillmann. Service robots in the field: The BratWurst Bot. In *18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, pages 13–19, 2017.
- Matteo Munaro and Emanuele Menegatti. Fast RGB-D people tracking for service robots. *Autonomous Robots*, 37:227–242, 2014.

Nobuyasu Nakano, Tetsuro Sakura, Kazuhiro Ueda, Leon Omura, Arata Kimura, Yoichi Iino, Senshi Fukashiro, and Shinsuke Yoshioka. Evaluation of 3D markerless motion capture accuracy using OpenPose with multiple video cameras. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2:50, 2020.

Matthias Nieuwenhuisen, Jörg Stückler, Alexander Berner, Reinhard Klein, and Sven Behnke. Shape-primitive based object recognition and grasping. In *7th German Conference on Robotics*, pages 1–5, 2012.

Jordi Pages, Luca Marchionni, and Francesco Ferro. Tiago: the modular robot that adapts to different research needs. In *International workshop on robot modularity, IROS*, volume 290, 2016.

Amit Kumar Pandey and Rodolphe Gelin. A mass-produced sociable humanoid robot: Pepper: The first machine of its kind. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 25 (3):40–48, 2018.

Dmytro Pavlichenko, Diego Rodriguez, Max Schwarz, Christian Lenz, Arul Selvam Periyasamy, and Sven Behnke. Autonomous dual-arm manipulation of familiar objects. In *2018 IEEE-RAS 18th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, pages 1–9, 2018.

Claudia Pérez-D’Arpino, Can Liu, Patrick Goebel, Roberto Martín-Martín, and Silvio Savarese. Robot navigation in constrained pedestrian environments using reinforcement learning. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1140–1146, 2021.

Antoine Petit, Vincenzo Lippiello, Giuseppe Andrea Fontanelli, and Bruno Siciliano. Tracking elastic deformable objects with an RGB-D sensor for a pizza chef robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 88:187–201, 2017.

Kathrin Pollmann, Nora Fronemann, Daniel Ziegler, Wulf Loh, Carla Pavel, Johannes Kraus, Franziska Babel, Daryoush Daniel Vaziri, David Golchinfar, Daniel Schmidt, Alina Henne, Georg Wegmann, Laura Dreessen, Ray-Allen Taylor, Matthias Krinke, and Dania Rothe. Zentrum für positive Service-Robotik im Kundenkontakt (PosiBot). In A. Rönna, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

- Lennart Puck, Tristan Schnell, Carsten Plasberg, Timothee Büttner, Georg Heppner, Arne Roennau, and Rüdiger Dillmann. Modular, risk-aware mapping and fusion of environmental hazards. In *IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION)*, pages 1–6, 2020.
- Alberto Romay, Stefan Kohlbrecher, David C Conner, and Oskar Von Stryk. Achieving versatile manipulation tasks with unknown objects by supervised humanoid robots based on object templates. In *IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, pages 249–255, 2015.
- A. Rosenthal-von der Pütten, A. Mertens, A. Stephan, S. Schiffer, A. Abrams, S. Kopp, and V. Nitsch. Aachener Kompetenzzentrum für interaktive Robotik in Gesundheit, Pflege und Assistenz (AixistenzRobotik). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- ROS.org. TIAGo Tutorials, 2023. URL <http://wiki.ros.org/Robots/TIAGo/Tutorials>. Accessed 12.05.2023.
- Tomáš Rouček, Martin Pecka, Petr Čížek, Tomáš Petříček, Jan Bayer, Vojtěch Šalanský, Daniel Heřt, Matěj Petrlík, Tomáš Báča, Vojtěch Spurný, et al. DARPA Subterranean Challenge: Multi-robotic exploration of underground environments. In *6th International Conference on Modelling and Simulation for Autonomous Systems*, pages 274–290. Springer, 2020.
- Steffen W Ruhl, Christopher Parlitz, Georg Heppner, Andreas Hermann, Arne Roennau, and Ruediger Dillmann. Experimental evaluation of the schunk 5-finger gripping hand for grasping tasks. In *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014)*, pages 2465–2470, 2014.
- Radu Bogdan Rusu and Steve Cousins. 3D is here: Point cloud library (PCL). In *IEEE international conference on robotics and automation*, pages 1–4, 2011.
- Selma Šabanović, Casey C Bennett, Wan-Ling Chang, and Lesa Huber. Paro robot affects diverse interaction modalities in group sensory therapy for older adults with dementia. In *IEEE 13th international conference on rehabilitation robotics (ICORR)*, pages 1–6, 2013.

- Renato F Salas-Moreno, Richard A Newcombe, Hauke Strasdat, Paul HJ Kelly, and Andrew J Davison. SLAM++: Simultaneous localisation and mapping at the level of objects. In *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 1352–1359, 2013.
- Aykut C Satıcı, Fabio Ruggiero, Vincenzo Lippiello, and Bruno Siciliano. A coordinate-free framework for robotic pizza tossing and catching. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 3932–3939, 2016.
- Adrian Schischmanow, Alfred Iwainsky, Sandra Böhm, Lina Figueiredo, Michael Melzer, Patrick Neumann, Astrid Oehme, Angelika Trübswetter, and Elise Werne. Kompetenzzentrum für menschenzentrierte Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen (KARoKAS). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- Max Schwarz, Hannes Schulz, and Sven Behnke. RGB-D object recognition and pose estimation based on pre-trained convolutional neural network features. In *IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*, pages 1329–1335, 2015.
- Max Schwarz, Christian Lenz, Germán Martín García, Seongyong Koo, Arul Selvam Periyasamy, Michael Schreiber, and Sven Behnke. Fast object learning and dual-arm coordination for cluttered stowing, picking, and packing. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 3347–3354, 2018a.
- Max Schwarz, Anton Milan, Arul Selvam Periyasamy, and Sven Behnke. RGB-D object detection and semantic segmentation for autonomous manipulation in clutter. *The International Journal of Robotics Research*, 37(4-5):437–451, 2018b.
- Max Schwarz, David Droschel, Christian Lenz, Arul Selvam Periyasamy, En Yen Puang, Jan Razlaw, Diego Rodriguez, Sebastian Schüller, Michael Schreiber, and Sven Behnke. Team NimbRo at MBZIRC 2017: Autonomous valve stem turning using a wrench. *J. Field Robotics*, 36(1):170–182, 2019.
- Max Schwarz, Christian Lenz, Andre Rochow, Michael Schreiber, and Sven Behnke. NimbRo Avatar: Interactive Immersive Telepresence with Force-Feedback telemani-

- pulation. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS)*, pages 5312–5319. IEEE, 2021.
- Bruno Siciliano, Fabrizio Caccavale, Ekkehard Zwicker, Michael Achtelik, Nicolas Mansard, Christoph Borst, Markus Achtelik, Niels Osterby Jepsen, Ramez Awad, and Rainer Bischoff. EuRoC – The Challenge Initiative for European Robotics. In *41st International Symposium on Robotics (ISR)*. VDE, 2014.
- Julia Starke, Christian Eichmann, Simon Ottenhaus, and Tamim Asfour. Human-inspired representation of object-specific grasps for anthropomorphic hands. *International Journal of Humanoid Robotics*, 17(02):2050008, 2020.
- Carolin Straßmann, Sabrina C. Eimler, Simone Roth, Edwin Naroska, Aysegül Dogangün, Andreas Gourmelon, Rainer Becker, Wolfgang Gröting, Julia Hermann, and Alexander Arntz. Bürgernahe und nutzendengerechte soziale Roboter in den Stadverwaltungen der Metropole Ruhr (RuhrBots). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.
- Jörg Stückler, Ricarda Steffens, Dirk Holz, and Sven Behnke. Efficient 3D object perception and grasp planning for mobile manipulation in domestic environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(10):1106–1115, 2013.
- Jörg Stückler, Max Schwarz, and Sven Behnke. Mobile Manipulation, Tool Use, and Intuitive Interaction for Cognitive Service Robot Cosero. *Frontiers Robotics AI*, 3: 58, 2016.
- Jörg Stückler, Dirk Holz, and Sven Behnke. RoboCup@Home: Demonstrating everyday manipulation skills in RoboCup@Home. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(2):34–42, 2012.
- Bilal Tariq, Norbert Elkmann, José Saenz, Björn Kahl, Marija Radic, Johannes David Drzewiecki, Astrid Oehme, Paul Schweidler, Thomas Jürgensohn, Jochen Feitsch, Christian Geiger, David Stegmeier, Givemy Knezevic, André Steimers, Sabine Ammon, Peter Remmers, and Frank Dittrich. Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis (rokit). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors,

Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis. KIT Scientific Publishing, 2023.

The-Human-Brain-Project. Technology readiness level (TRL) guide, 2023. URL <https://www.humanbrainproject.eu/en/collaborate-hbp/innovation-industry/technology-readiness-level/>. Accessed 12.05.2023.

J Camilo Vasquez Tieck, Katharina Secker, Jacques Kaiser, Arne Roennau, and Rüdiger Dillmann. Soft-grasping with an anthropomorphic robotic hand using spiking neurons. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(2):2894–2901, 2020.

Rudolph Triebel, Kai Arras, Rachid Alami, Lucas Beyer, Stefan Breuers, Raja Chatila, Mohamed Chetouani, Daniel Cremers, Vanessa Evers, Michelangelo Fiore, et al. Spencer: A socially aware service robot for passenger guidance and help in busy airports. In *Field and Service Robotics: Results of the 10th International Conference*, pages 607–622. Springer, 2016.

Milos Vasic and Aude Billard. Safety issues in human-robot interactions. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 197–204, 2013.

Bernhard Weber, Freek Stulp, Jörn Vogel, Julian Klodmann, Linda Onnasch, Markus Schneider, Benjamin Stähle, Jürgen Graef, Marc Hassenzahl, Judith Dörrenbächer, Sabine Maasen, Henning Mayer, and Benjamin Lipp. KompetenzZENTrum für flexible AUtonomie in der Tele-Robotik (ZENT-AUR). In A. Rönnau, S. Behnke, and P. Becker, editors, *Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis*. KIT Scientific Publishing, 2023.

Fei Xia, William B Shen, Chengshu Li, Priya Kasimbeg, Micael Edmond Tchampi, Alexander Toshev, Roberto Martín-Martín, and Silvio Savarese. Interactive Gibson Benchmark: A benchmark for interactive navigation in cluttered environments. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2):713–720, 2020.

Yu Xiang, Tanner Schmidt, Venkatraman Narayanan, and Dieter Fox. PoseCNN: A Convolutional Neural Network for 6D Object Pose Estimation in Cluttered Scenes. In *Robotics: Science and Systems XIV (RSS)*, 2018.

- XPRIZE. ANA XPRIZE, 2023. URL <https://www.xprize.org/prizes/avatar>. Accessed 12.05.2023.
- Kimitoshi Yamazaki, Yoshiaki Watanabe, Kotaro Nagahama, Kei Okada, and Masayuki Inaba. Recognition and manipulation integration for a daily assistive robot working on kitchen environments. In *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*.
- Kimitoshi Yamazaki, Ryohei Ueda, Shunichi Nozawa, Mitsuharu Kojima, Kei Okada, Kiyoshi Matsumoto, Masaru Ishikawa, Isao Shimoyama, and Masayuki Inaba. Home-assistant robot for an aging society. *Proceedings of the IEEE*, 100(8):2429–2441, 2012.
- Steve Yohanan and Karon E MacLean. The role of affective touch in human-robot interaction: Human intent and expectations in touching the haptic creature. *International Journal of Social Robotics*, 4(2):163–180, 2012.
- Yang Yu, Kailiang Zhang, Li Yang, and Dongxing Zhang. Fruit detection for strawberry harvesting robot in non-structural environment based on Mask-RCNN. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163:104846, 2019.

Aachener Kompetenzzentrum für interaktive Robotik in Gesundheit, Pflege und Assistenz (AixistenzRobotik)

Förderkennzeichen 16SV8584

Astrid Rosenthal-von der Pütten¹, Alexander Mertens¹, Astrid Stephan²,
Stefan Schiffer¹, Anna Abrams¹, Stefan Kopp³ und Verena Nitsch¹



¹RWTH Aachen University
Templergraben 55
52062 Aachen

²Uniklinik RWTH Aachen
Pauwelsstraße 30
52074 Aachen

³Universität Bielefeld
Universitätsstraße 25
33615 Bielefeld

2.1 Ziele des Kompetenzzentrums

2.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Pflegerobotik ist seit Jahren ein Thema gesellschaftlicher Diskussion. Durch die Alterung der Gesellschaft wächst der Pflegemarkt und qualifiziertes Personal wird knapp. Robotik als ein Baustein in der Digitalisierung der Pflege hat das Potential zu entlasten, sozial zu unterstützen und sinnvoll zu ergänzen. Doch wie viel Pflegerobotik möchten wir als Gesellschaft? Welche Aufgaben können und dürfen Pflegeroboter übernehmen? Besteht die Gefahr, dass die Pflege durch Roboter entmenschlicht wird?

Obwohl das Ausmaß des gesellschaftlichen Diskurses vermuten lassen könnte, dass Roboter bald im großen Stil die Pflege ergänzen oder Teilaufgaben ganz übernehmen könnten, steckt die Pflegerobotik noch in den Kinderschuhen und es sind kaum Systeme am Markt vorhanden. Aufgrund der Komplexität des Einsatzfeldes sind Anwendungen in der Pflegerobotik technisch hoch anspruchsvoll. Viele Systeme schaffen es nicht einmal in die Anwendungsdomäne für erste Feldtests in Realumgebungen, denn die technischen Entwicklungen sind noch nicht in der Lage, die Komplexität der Realität zuverlässig zu beherrschen. Zudem sind solche Tests sehr aufwändig zu organisieren und verlangen allen Beteiligten viel Geduld und Ressourcen ab. Das ist insbesondere der Fall, wenn sich jedes Forschungskonsortium, jede Firma, aufs Neue, mit ggfs. wenig Erfahrung, den organisationalen, technischen, sozialen und ethischen Herausforderungen eines Feldtests stellen muss. Die Systeme, die es in den Feldtest schaffen, erweisen sich teils als unpraktisch, als schwierig integrierbar oder schlicht als wenig nutzbringend. Neben anderen Gründen ist eine Hauptursache, dass oft *für* zu pflegende Personen und Pflegefachpersonen entwickelt wird und nicht *mit* ihnen und so an tatsächlichen Bedarfen und Bedürfnissen vorbei entwickelt wird.

Bei diesen Herausforderungen setzt **AixistenzRobotik** an. Im Kompetenzzentrum sollen existierende Assistenzroboter für die professionelle stationäre Pflege unter realen Bedingungen erprobt werden mit Transferpotential in andere Bereiche der professionellen Pflege. Die Testfelder sind eine Universitätsklinik sowie eine Altenpflegeeinrichtung. Neben interaktionsspezifischen Forschungsfragen wie beispielsweise der Usability oder Akzeptanz der Systeme, werden die technischen Eigenschaften der Systeme untersucht und Verbesserungspotenzial identifiziert. Auch werden die Einbettung der Systeme in Arbeitsabläufe und Teamstrukturen und ihr Einfluss auf Pflegebeziehungen als auch weitere Bedingungen für eine erfolgreiche Implementierung betrachtet. Im Projekt werden standardisierte Testszenarien entwickelt und Metriken gesichtet, gesammelt, neu oder weiterentwickelt. So werden vergleichende Testungen hinsichtlich der Evaluationskriterien unterschiedlicher Disziplinen möglich. Somit generiert das Kompetenzzentrum strukturierte Erfahrungen mit der Anwendung einer Vielfalt von Assistenzrobotik im Kontext der stationären Pflege in Bezug auf die Machbarkeit und Wirkung in realen Nutzungskontexten. Das übergeordnete Ziel ist es, durch vergleichende Analysen und die Zusammenführung von Befunden, durch

Standardisierung und übergreifende Betrachtung so weit wie möglich verallgemeinerbare und auch für die Zukunft handlungsleitende Ergebnisse für die Assistenzrobotik liefern.

Das Projekt hat auch zum Ziel, den Pflegeberuf als essenziellen Teil der Daseinsfürsorge auf die Digitalisierung und die gesellschaftlichen Veränderungsprozesse vorzubereiten und in eine mitgestaltende und führende Position zu bringen. Pflegefachpersonen verstehen auf einzigartige Weise die Komplexität des Gesundheitsumfelds, wissen, wo Bedarfe und Bedürfnisse vorhanden sind, was (nicht) funktioniert und wie Patient:innenerfahrungen und Gesundheitsergebnisse verbessert werden können. Sie sind daher in einer Schlüsselposition, um herauszufinden, wie Patient:innen am besten unter Zuhilfenahme von Technologie versorgt und unterstützt werden können. Damit Assistenzsysteme ihre Wirksamkeit entfalten können, ist einem rein technisch orientierten Entwicklungsvorgehen entgegenzuwirken. Vielmehr sollten frühzeitig im Sinne eines Co-Designs mit Pflegefachpersonen und unter Einbezug anderer Wissenschaftsdisziplinen Assistenzsysteme entwickelt und beforscht werden. Hierzu bedarf es eines interdisziplinären Kompetenzaufbaus, sowie dessen Erhalt und Vermittlung in die verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen und die pflegerische Praxis und Aus/Fortbildung. Dies kann in der angedachten Art nur in einem Kompetenzzentrum gelingen. Ein solches Forschungs- und Entwicklungsumfeld ist auch für Firmen attraktiv, da die entstehenden Produkte näher an den tatsächlichen Bedarfen und Bedürfnissen der zukünftigen Nutzer sind, leichter in die Anwendungsfelder integriert werden können und somit bessere Chancen am Markt haben.

2.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

Das **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum fokussiert die Anwendungsdomäne der *professionellen stationären Pflege*. Pflegefachpersonen in Kliniken verbringen Studien zu Folge nur noch ca. 15% ihrer Arbeitszeit mit der direkten Pflege der Patient:innen. Stattdessen geht Arbeitszeit bei Laufwegen (21%), der Übernahme von Servicetätigkeiten (9%) und anderen pflegefremden Tätigkeiten verloren (25%) (Biron et al. 2009). Seit 2020 sind für Pflegefachpersonen in Deutschland erstmals Vorbehaltsaufgaben festgeschrieben, die eine verantwortliche pflegerische Prozesssteuerung vorsehen (Pflegeberufe-reformgesetz §2, Absatz 2) für die sichergestellt sein muss,

dass Pflegefachpersonen den definierten Aufgaben entsprechend nachkommen können. Gleichzeitig zeigen internationale Studien, dass Pflegefachpersonen es oft nicht schaffen, ihre pflegerischen Kernaufgaben während ihrer Schicht zu erfüllen, und diese nur teilweise, verzögert, oder gar nicht erbracht werden können (Chaboyer et al. 2021) - mit relevanten Auswirkungen auf die Qualität der Versorgung, die Patient:innenzufriedenheit und Sicherheit aber auch auf die Arbeitszufriedenheit. Einer der wahrgenommenen Hauptstressoren ist ein zu hoher Workload. Doch eine deutliche Verbesserung der Nurse-Patient-Ratio ist mittelfristig nicht zu erwarten. Bereits heute gibt es in Deutschland einen enormen Bedarf an Pflegefachpersonen - 2019 waren in der klinischen Pflege über 16.000 Stellen unbesetzt. Ein ähnliches Bild zeichnet sich in dem stark wachsenden Markt der Altenpflege ab (Heger 2021), dessen steigende Nachfrage nach qualifiziertem Personal nicht mehr gedeckt wird (Stemmer 2021, Bußmann and Seyda 2015). Der unbestreitbaren gesellschaftlichen Relevanz des Altenpflegeberufs steht dessen oft niedrige Arbeitsqualität entgegen (Stemmer 2021). Insgesamt 69% der in der Altenpflege Tätigen geben an, sehr häufig Zeitdruck ausgesetzt zu sein, so dass insbesondere Pflegeleistungen wie Zuwendung oder Beratung zu kurz kommen, die dann von nahezu jeder dritten befragten Pflegefachperson außerhalb der bezahlten Arbeitszeit erbracht werden. Achtundsiebzig Prozent der Beschäftigten geben an, oft schwer zu tragen, zu heben oder zu stemmen und 46 % fühlen sich oft mit widersprüchlichen emotionalen Anforderungen konfrontiert (Stemmer 2021). Diese Belastung führt zu einem hohen Stand an Arbeitsunfällen und Krankheitstagen (25,3 Tage im Vergleich zum Durchschnitt aller Beschäftigten von 12,3 Tagen, Techniker Krankenkasse 2019).

Technischen Assistenzsystemen wird ein großes Potential zugesprochen, zur Entlastung in der Pflege beizutragen. Doch wie Zerth et al. (2021) konstatieren: vor dem Hintergrund der vielfältigen "Förderung der Entwicklung von Technik in und für die Pflege muten die Hinweise zu erfolgreichen Umsetzungen in der Pflegepraxis eher zurückhaltend an" (S. 158). Studien zeigen, dass (zukünftige) Pflegebedürftige und Pflegefachpersonen tendenziell offen sind für den Einsatz neuer Technologien (Kuhlmeier et al. 2019, Buhtz et al. 2020), doch bisher sind technologische Innovationen wie robotische Systeme in der pflegerischen Praxis kaum verankert. Nutzer:innenakzeptanz aus Sicht der Pflegefachpersonen oder pflegebedürftigen Menschen ist somit nur eine von vielen Dimensionen erfolgreicher Einführungsprozesse von technologischen Inno-

vationen. Neben Nutzer:innenakzeptanz und den immer noch sehr großen technischen Herausforderungen sind es vor allem “akteurs- und organisationsbezogene Aspekte und letztendlich Fragen der adäquaten Geschäftsmodelle für Technologien sowie dazugehörige Finanzierungs- und Refinanzierungsaspekte (die) eine wesentliche Rolle spielen” (Zerth et al. 2021, S. 159). Während die erstgenannten Aspekte (Akzeptanz und technische Machbarkeit) schon für die Domäne unzureichend untersucht werden, da es an langfristigen Untersuchungen im Feld mit den anvisierten Benutzer:innengruppen fehlt, werden letztgenannte Aspekte noch seltener bis gar nicht empirisch adressiert, sondern eher im Sinne von Forecasts diskutiert. Um die Vision der sinnvollen und vielfältigen Unterstützung der professionellen stationären Pflege durch assistive Robotik zu realisieren, ist es notwendig, Assistenzroboter in alltäglichen Situationen im dem für den späteren Einsatz natürlichen Umfeld und über einen langen Zeitraum zu erproben. Die Erprobung dieser Systeme muss über die bisher übliche Betrachtung der Usability, Effektivität, Effizienz und Akzeptanz hinauszugehen. Es müssen ethische und soziale Faktoren, die Effekte auf das Umfeld auf organisationaler Ebene sowie Langzeit-Wirkungen in den Blick genommen werden. Dass Pflegerobotik noch nicht in den Realumgebungen angekommen ist, hat viele Ursachen. Deswegen braucht es das Zusammenführen von unterschiedlichsten Perspektiven, um die vielfältigen Herausforderungen nachhaltig zu bewältigen. Die Etablierung eines partizipativen Vorgehens, um robotische Systeme zu entwickeln, die wirklich einen Bedarf decken und sich erfolgreich und langfristig in bestehende Strukturen in der Pflege integrieren – das ist die Mission des Kompetenzzentrums.

Beispielszenario: *Die FutureRoboCare GmbH möchte einen Roboter für Pflegestationen in Krankenhäusern entwickeln, der unterschiedliche Hol- und Bringdienste übernehmen kann, um Pflegefachpersonen Laufarbeit abzunehmen und dadurch mehr Zeit für pflegerische Aufgaben zu geben. Der Roboter soll die Lagerbestände einer Reihe von Stationen kontrollieren (z.B. Wäsche, Verbandsmaterial), zur Neige gehende Bestände melden und nach Bestätigung durch die Pflegefachperson im Zentrallager die fehlenden Waren beschaffen. Auch dem Weg dorthin bringt der Roboter Blutproben im Labor vorbei. Nach dem Auffüllen der Lagerbestände am Vormittag, unterstützt der Roboter bei Serviceleistungen und bringt Wasserflaschen zu Patient:innen. Die FutureRoboCare GmbH hat frühzeitig Kontakt aufgenommen und gezielt das AssistenzRobotik Kompetenzzentrum als Partner auswählt, da hier originäre Expertisen*

gebündelt werden und neue Entwicklungs- und Evaluationsmethoden entwickelt wurden, die internationalen best-practice Ansätzen entsprechen. Zudem sind die Kontakte zur Versorgungspraxis und Wissenschaftler:innen unterschiedlicher Disziplinen auch für künftige Ideengenerierung und Produktentwicklung vielversprechend. In einem Co-Design Prozess mit Pflegefachpersonen wurden Prototypen des Roboters entwickelt, die frühzeitig im Feld anhand definierter Testszenarien und Benchmarks evaluiert wurden. Nach mehreren Entwicklungsschleifen wurde der Roboter einem zweimonatigen Langzeittest in der Universitätsklinik der RWTH Aachen unterzogen, bei dem neben Usability und Akzeptanz durch Nutzer:innen auch förderliche und hemmende Faktoren der erfolgreichen langfristigen Implementierung betrachtet wurden wie organisatorische, infrastrukturelle oder finanzielle Faktoren. So stellte sich heraus, dass es mehr Schnittstellen zu anderen Informationssystemen des Hauses braucht zur besseren Integration des Roboters in die IT-Gesamtinfrastruktur sowie ein attraktiveres Geschäftsmodell.

2.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Gegründet wird ein Kompetenzzentrum zur Erprobung und Weiterentwicklung von robotischen Systemen in der Anwendungsdomäne Gesundheit, Pflege & Assistenz in Realumgebungen. Betrachtet wird die professionelle stationäre Pflege, im Besonderen die klinische Pflege und Altenpflege. Im **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum werden drei unterschiedliche Typen bestehender robotischer Assistenzsysteme erprobt: 1) robotische Entwicklungen, die in der eigentlichen Pflege und/oder Therapietätigkeit unterstützen (z.B. roboterassistierte Rehabilitation, Exoskelette), 2) Robotersysteme, die individuelle Gesundheit fördern und persönliche Assistenz leisten und 3) Robotersysteme, die den Pflegebetrieb unterstützen (z.B. spezialisierte Hol- und Bringdienste für Pflegestationen). Mit dem Universitätsklinikum Aachen (UKA) und dem SKM – Katholischen Verein der sozialen Dienste Aachen e.V. (Seniorenzentrum Rothe Erde) stehen zwei reale Testfelder für robotische Assistenzsysteme zur Verfügung, die die Bandbreite der professionellen stationären Pflege abdecken und somit über verschiedene Pflegesituationen hinweg strukturierten Erkenntnisgewinn erlauben. In diesen Umgebungen können existierende Robotersysteme in alltäglichen Situationen unter realen Bedingungen und über einen längeren Einsatzzeitraum erprobt werden.

Ein Schwerpunkt des Zentrums liegt auf der Anforderungsanalyse an unterschied-

liche Assistenzrobotik und einer Technologiebewertung. Auf dieser Basis werden Testszenarien entworfen, um einzelne Basis- oder Spezialfähigkeiten von Assistenzrobotern standardisiert und vergleichbar testen zu können inklusive der Definition von Evaluationskriterien und entsprechender Metrikenentwicklung. Neben der technischen Funktionsfähigkeit, dem Interaktionsverhalten und der Usability der Systeme, wird deren Einbettung in und Wirkung auf den Pflegealltag, die Arbeitsabläufe und Sozialbeziehungen erforscht sowie ethisch reflektiert. Zudem wird exploriert wie Assistenzroboter Mehrfachnutzen bringen können, indem beispielsweise mehrere Aufgaben übernommen werden oder anfallende Daten für andere Zwecke datenschutzkonform und Privatsphäre während genutzt werden können. Letzteres bildet auch die Grundlage für innovative datengetriebene Geschäftsmodelle, die im Projekt erprobt werden, sowie verbessert es die Datenlage in der Assistenzrobotik durch die Nachnutzung durch andere Forschende. All die genannten Komponenten werden im Rahmen der übergeordneten Implementierungsforschung ganzheitlich betrachtet, um neben individuellen auch infrastrukturelle, organisationale, personelle und finanzielle Faktoren zu identifizieren, die eine langfristige Adoption der Systeme fördern oder behindern.

Zudem möchte das Zentrum den Paradigmenwechsel beflügeln: Weg von der Entwicklung *für* die Pflege und hin zur partizipativen Co-Creation *mit* zu pflegenden Menschen und Pflegefachpersonen. Hierfür wird interdisziplinäre Kompetenz aufgebaut und Mechanismen geschaffen diese zu erhalten und leicht zugänglich zu machen. Das Kompetenzzentrum stellt sich mit seinen Ergebnissen konsequent dem öffentlichen und fachlichen Diskurs über unterschiedliche Transferformate für Bürgerschaft, Wissenschaft und Berufsfachverbände. Realisiert wird dies von insgesamt zehn wissenschaftlichen Partnern aus den Disziplinen Ingenieurwissenschaften, Informatik, Psychologie, Arbeitswissenschaft, Ethik, Pflegewissenschaft, Wirtschaftswissenschaften, Design, vier Unternehmen und zwei Anwendungspartnern.

2.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

2.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Die Aufarbeitung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik gliedert sich in:

1. eine Analyse der am Markt erhältlichen robotischen Systeme sowie Forschungs- und Entwicklungsprojekten (vornehmlich gefördert durch BMBF oder EU)
2. eine Aufarbeitung von empirischen Studien mit robotischen Systemen in der Pflege aus Sicht der Technik- und der Sozialwissenschaften einerseits und der Pflegewissenschaft andererseits,
3. einer Analyse dazu, welche technischen Komponenten und Funktionen von robotischen Assistenzsystemen in Feldstudien simuliert werden,
4. die Darstellung der Ergebnisse von im Vorprojekt durchgeführten Expert:innen-workshops und -interviews zum Thema Pflegerobotik.

1. Marktanalyse & Analyse von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in der Pflegerobotik

Für die Marktanalyse ist es zweckdienlich, die drei vorgenannten Typen von Assistenzrobotik zu unterscheiden. **Pflege und Therapie direkt unterstützende Robotik:** In diesem Bereich werden zum einen Systeme entwickelt, die die *Vorsorgung von pflegebedürftigen Personen* erleichtern. Hierunter fallen vor allem Betten und Sitzmöbel, die über verschiedene Motoren zur Verstellung verfügen (z.B. BMBF Projekte AdaMekoR, MobiStaR, PflKoRo; RIBA (Japan)). So werden beispielsweise im Projekt AdaMekoR dem Bett ein drehbares Gestell und ein Roboterarm hinzugefügt. Diese Systeme können Menschen mit niedrigen Pflegegraden assistieren und die Selbstständigkeit länger erhalten, sind im Kern jedoch zur Erleichterung der pflegerischen Tätigkeit gedacht. Andere Systeme sollen Patient:innen aus dem Bett heben (z.B. RIBA), oder die Pflegefachperson bei der Versorgung einer bettlägerigen Person unterstützen (z.B. PflKoRo). Zudem wird der Einsatz von Exoskeletten zur physischen Entlastung der Pflegepersonen exploriert. Im Projekt Expertise 4.0 sollen Pflegepersonen in Feldtests erste Erfahrungen mit unterschiedlichen Exoskeletten sammeln und nachfolgend in

Fokusgruppen und Interviews befragt werden. Weiterhin gibt es Projekte, die *Systeme für die Rehabilitation und (Physio-)Therapie* entwickeln (z.B. InRehaRob, RobDIP, RoSylerNT, diverse GAIT Systeme) als auch solche, die Therapie oder *Unterstützung im kommunikativen sozialen Bereich* fokussieren für Patient:innen unterschiedlicher Altersstufen mit beispielsweise Demenz oder Autismus-Spektrum-Störung (z.B. RUBYDemenz, ERIK, VIVA, Paro).

Pflegebetrieb unterstützende Robotik: Sogenannte Fahrerlose Transportsysteme (FTS) haben in großen Krankenhausbetrieben Einzug gefunden (z.B. Unikliniken in Münster, Köln und Düsseldorf). Für Systeme wie TransCar (von Swisslog) oder Carey (von DS Automation) sind die Einrichtung entsprechender Infrastruktur (z.B. Marker, Leitsysteme) und teilweise Umbauten notwendig (z.B. separate Fahrstühle) um nebenläufige Prozesse zu etablieren, die den eigentlichen Pflegebetrieb möglichst nicht oder nur geringfügig stören. Solche Umbauten sind nicht allorts möglich, weswegen kleinere Transport-Roboter entwickelt werden (z.B. Relay von Savioke, TUG von Aethon, RoboCourier von Swisslog, Moxi von Diligent Robotics), die sich die vorhandenen Laufwege mit Pflegefachpersonal, Patient:innen und Besucher:innen teilen, so aber menschlichen und baulichen Hindernissen gegenüberstehen (z.B. Treppen, (besetzte) Fahrstühle, unebener Boden, verschlossene Türen). Um dieser Problematik begegnen zu können, bevor taugliche technische Lösungen entwickelt sein werden, wird an menschengestützten Lösungen geforscht. Stellvertretend sei das Projekt FRAME genannt, bei dem Roboter in die Lage versetzt werden sollen, Menschen in der Nähe um Hilfe zu bitten, um sich beispielsweise die Türe öffnen zu lassen. Deutlich wird, dass diese Robotersysteme immer noch in der Entwicklung oder Erprobung sind (Moxi, Relay) oder aufgegeben wurden. Beispielsweise wurde der RoboCourier (Swisslog, Schweiz) 2013 angekündigt, wird aber derzeit nicht über Swisslog Healthcare vertrieben. Swisslog ist dafür auf den Savioke Relay umgestiegen. Zudem werden Roboter zur Kontrolle von Materialbeständen entwickelt (Moxi, Projekt HoLLiE). Weiterhin sind UV-Licht basierte Desinfektionsroboter am Markt erhältlich (z.B. von MetraLabs, UVDRobots, UBTech Robotics, Reeman AI in Action, Blue Ocean Robotics) bzw. andere Desinfektionsroboter in der Entwicklung (Projekt: DeKonBot), die vor der pandemischen Lage kaum beachtet wurden, nun aber zunehmend attraktiver werden und eingesetzt werden. Ebenfalls noch im Stadium der Entwicklung befinden sich intelligente Pflegewagen (z.B. Projekt SeRoDi, Varomo UG). **Persönliche Assistenz-**

oder Serviceroboter. Diverse Serviceroboter für die soziale Betreuung, Versorgung oder Unterhaltung von Patient:innen oder Bewohner:innen befinden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Zu nennen sind hier Systeme zur Entlastung des Pflegepersonals von Servicetätigkeiten wie Hol- und Bringdienste (z.B. Patient:innen mit Getränken versorgen, Projekte SeRoDi, REsPonSe, Romi) oder der Aufnahme von Essensbestellungen (Projekt HoLLiE). Assistenzroboter sollen Patient:innen durch das Krankenhaus begleiten (Projekte HoLLiE, PeTRA), ihnen folgen und Lasten übernehmen (CAREcules von Varomo) oder beim Aufstehen helfen (Projekt KoBo34). Der Roboter Pepper wird im Empfangsbereich von Krankenhäusern eingesetzt¹. Zur Steigerung von Wohlbefinden und der sozialen Teilhabe von Patient:innen und Bewohner:innen werden sozial kommunikative Roboter entwickelt, die die soziale Interaktion unter den Bewohner:innen fördern (z.B. Projekt VIVA) und Telepräsenzroboter, mit denen An- und Zugehörige, Ärzt:innen oder Therapeut:innen per Videotelefonie kontaktiert werden können (z.B. temi “The Home Care Robot” von medisana, Dinsow Mini (Taiwan)). Weiterhin gibt es Systeme, die eingeschränkte Mobilität oder Kraft von Patient:innen oder Bewohner:innen kompensieren wobei meist ein Roboterarm von Menschen auf verschiedenste Weisen bedient werden kann, etwa mit Kopfbewegungen. Ziel ist es, Menschen, die ihre eigenen Gliedmaßen, beispielsweise nach einem Schlaganfall oder bei Querschnittslähmung, nicht mehr oder nur noch eingeschränkt benutzen können, einen künstlichen Arm zu geben (z.B. Projekte ROBINA, MoBiLe).

Fazit. Als Fazit ist festzustellen, dass es zwar eine Reihe von Forschungsprojekten und Prototypen zu robotischen Assistenzsystemen in Gesundheit, Pflege und Assistenz gibt und somit derzeit in allen drei Kategorien erste Systeme mit einem auf den jeweiligen Anwendungsfall limitierten Funktionsumfang zur Verfügung stehen. Die meisten dieser Systeme konnten aber nur unter Laborbedingungen oder als Machbarkeitsstudie in Einsatzumgebung (Technology Readiness Level bis 5, Mankins et al. 1995, Hirshorn et al. 2017) ihre generelle Eignung einem ersten Test unterziehen und wurden nicht einem Langzeittest unterzogen. Nur wenige Systeme haben Marktreife erlangt (insbesondere ganzheitliche Logistiklösungen (z.B. Carey, TransCar), erste Desinfektionsroboter und der Therapieroboter Paro) oder falls Sie am Markt erhältlich sind, haben nur wenige eine flächendeckende Marktpenetration erreicht. Die Gründe

¹<https://time.com/4367870/pepper-robot-belgium-hospital-receptionist/>

dafür sind verschiedenartig und werden vertieft diskutiert in Resultaten der Workshops und Interviews, sowie der Literaturanalyse.

2. Aufarbeitung des Forschungsstandes zu empirischen Studien mit robotischen Systemen in der Pflege aus Sicht der Technik- und der Sozialwissenschaften und der Pflegewissenschaft

Gemäß dem Profil des Kompetenzzentrums fokussiert die Analyse des Forschungsstandes den Einsatz von robotischen Assistenzsystemen in der Anwendungsdomäne der stationären professionellen Pflege.

Technikwissenschaften und Sozialwissenschaften. In dem wohl umfassendsten Review zur empirischen Evaluation von Technologien in unterschiedlichen Pflegesettings von Krick et al. (2019) auf der Basis von 715 Originalarbeiten finden sich 102 Originalarbeiten zu robotischen Systemen in der Pflege, hiervon entfallen *nur fünf* auf robotische Systeme für die allgemeine *klinische Pflege* sowie 16 weitere auf die klinische Intensivpflege und *46 für die stationäre Altenpflege*. Die weiteren Arbeiten behandeln Roboter für Pflege in der eigenen Häuslichkeit oder sind hinsichtlich des Anwendungskontext nicht spezifiziert. Die Originalarbeiten berichten über robotische Assistenzsysteme, die auf vielen verschiedenen Ebenen unterstützen, z.B. auf physischer, psychischer, sozialer, organisatorischer, sicherheitstechnischer oder pädagogischer und therapeutischer Ebene. Die meisten der 102 Studien sind Akzeptanzstudien (n=64), gefolgt von Effektivitätsstudien (n=57) und keine Studie, die Effizienz untersucht. Es handelt sich meist um kurzzeitige Studien in kontrollierten Umgebungen (Labor) mit geringen Stichproben, um Akzeptanz, Usability, technische Machbarkeit oder technische Effekte zu untersuchen. Nur ein robotisches System, nämlich der Therapieroboter *Paro*, wurde über einen längeren Zeitraum in randomisierten kontrollierten Studien evaluiert. In einem Review von Zafrani and Nimrod (2018) über 65 Studien zum Einsatz von Robotik im Bereich der Altenpflege waren hiervon nur 16 Studien in einer stationären Altenpflegeeinrichtung durchgeführt worden (die anderen im Labor oder der eigenen Häuslichkeit). Von den 16 Studien waren 7 Untersuchungen als einmalige Interaktion mit anschließendem Interview oder Fokusgruppe konzipiert (Lewis et al. 2016, Tapus et al. 2009, Sundar et al. 2017, Tsardoulis et al. 2017, Turkle et al. 2006, Walden et al. 2015, Begum et al. 2013) mit Stichprobengrößen von 5 bis 51 Teilnehmenden. Weitere 7 Studien variieren in der Länge zwischen 15 Tagen und 3 Monaten (mit in der Regel

einer Interaktion pro Woche, Hebesberger et al. 2016, 2017a,b, Kuwamura et al. 2016, Šabanović et al. 2013, Sung et al. 2015, Chang et al. 2013) mit Stichprobengrößen zwischen 3 und 16 Teilnehmenden. Eine Ausnahme bildet eine Studie von Beedholm et al. (2015), die nach der langfristigen Implementierung einer robotischen Badewanne eine Interviewstudie durchgeführt haben und somit als einzige ein dauerhaft eingeführtes System untersuchte. Alle von Zafrani and Nimrod (2018) begutachteten Studien haben gemein, dass sie den physischen, sozialen und kulturellen Kontext der jeweiligen Mensch-Roboter-Interaktion nicht ausreichend berücksichtigen. Der Großteil der Studien stellt Momentaufnahmen dar. Die untersuchten Hauptthemen waren Akzeptanz, Nutzungsmuster und Faktoren, die die Nutzung einschränken. Üblicherweise wurden diese Themen jedoch gesondert untersucht. Als Fazit lässt sich feststellen, dass Fragen von Usability oder Akzeptanz sowie Nutzungsmuster (also Frequenz der Nutzung) im Vordergrund stehen bei den insgesamt vergleichsweise wenigen Studien zum Einsatz von Robotik in der professionellen stationären Pflege. Von den Studien geht nur ein Bruchteil über einmalige Interaktionen hinaus und wenn Langzeitstudien umgesetzt wurden, dann nur in sehr kleinem Stichprobenumfang. Fragen der Einbettung in Arbeitsabläufe, Teamstrukturen, Tagesabläufe der Nutzer:innen, Infrastruktur und pflegewissenschaftliche Fragen bzw. der Veränderung der Pflegebeziehungen durch die Nutzung von robotischen Assistenzsystemen werden nicht adressiert.

Pflegewissenschaft. Die Pflegewissenschaft beschäftigt sich ebenfalls intensiv mit dem Thema Pflegerobotik, untersucht aber überwiegend keine konkreten, existierenden oder in der Entwicklung befindlichen Systeme, und arbeitet meist mit Interviews, Fokusgruppen oder Surveys, um generelle Einstellungen unterschiedlicher Stakeholder (vornehmlich Pflegefachpersonen, Leitungen von Pflegeeinrichtungen, Patient:innen oder Bewohner:innen und An- und Zugehörige) zum KI- oder genereller zum Technologieeinsatz in der Pflege zu ergründen. Dabei haben die Befragten oft keine oder sehr wenig Erfahrung mit robotischen Systemen, so dass die Erkenntnisse auf der Ebene antizipierter Auswirkungen positiver oder negativer Art bleiben. Als Beispiel genannt sei hier der Review von Buchanan et al. (2020) zum Einsatz von KI (in diversen Formen) in der Pflege. Eine nähere Analyse der zitierten Arbeiten, die sich auf KI als Teil robotischer Systeme beziehen, ergibt, dass es sich vornehmlich um Interviewstudien, Fokusgruppen oder Surveys handelt (z.B. Liang et al. 2019, Kriegel et al. 2019, Vandemeulebroucke et al. 2020), einige zitierte Arbeiten sind "Opinion-Paper" (z.B. Beck

2019, Pepito and Locsin 2019), in denen aus der eigenen Expertise heraus reflektiert wird, oder sogenannte Case Studies (z.B. Tanioka 2019, Birks et al. 2016, Gustafsson et al. 2015, Pfadenhauer and Dukat 2015, Moyle et al. 2019). Zwar stehen bei den Case Studies Fragen der guten Pflege und der Pflegebeziehungen im Vordergrund, aber es handelt sich nicht um repräsentative Studien oder Langzeiteinsätze.

Fazit: Es lässt sich festhalten, dass die Wissenschaftsdisziplinen bisher nur unzureichend miteinander verbunden sind, was jedoch angesichts eingangs formulierter Herausforderungen dringend geboten wäre. Systeme werden häufig ohne die Einbindung von Pflegewissenschaftler:innen oder Pflegefachpersonen entworfen, entwickelt und evaluiert und daher pflegewissenschaftliche Fragestellungen auch kaum beachtet. Pflegewissenschaftliche Fragestellungen hingegen werden meist nicht über Systemtestungen beforscht, sondern über Interviews und Surveys. Eine Zusammenführung der Wissenschaftsdisziplinen zum Thema Pflegerobotik an einem Standort wie dem Aachener Kompetenzzentrum sichert langfristig den interdisziplinären Austausch.

3. Analyse zur Simulation von Funktionen robotischer Assistenzsysteme in Feldstudien

Wie unter Punkt 2 beschrieben gibt es zwar eine Reihe von Feldstudien mit Pflegerobotik, dies bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass es sich um vollautonome Assistenzrobotik handelte. Sogenannte Wizard-of-Oz Szenarien (WoZ) wurden in der Vergangenheit und auch heutzutage noch häufig eingesetzt für die Evaluation von Assistenzrobotik. In WoZ-Szenarien werden einzelne oder alle technischen Funktionen bei Assistenzrobotern simuliert und durch Fernsteuerung durch eine eingeweihte Person, einen sogenannten Wizard, ausgeführt. Die Art und der Umfang simulierter technischer Funktionen heute scheint vergleichbar mit denen in einem früheren Review festgestellten (Riek 2012). Riek beschrieb 2012, dass vornehmlich die Verarbeitung und das Verstehen natürlicher Sprache sowie eine adäquate Reaktionsauswahl auf das Gesagte simuliert werden, sowie nonverbale Verhalten von Robotern (z.B. nicken, auf etwas zeigen, Blickkontakt herstellen) und Navigations- und Mobilitätsaufgaben, um beispielsweise den Roboter an einer bestimmten Stelle zu positionieren. Ähnliches zeigt sich in unserer aktuellen Analyse für die Machbarkeitsstudie. Hierzu wurden 18 WoZ-Studien zum Einsatz von Robotik in der Pflege identifiziert, von denen fast alle Spracherkennung und Sprachverstehen, als auch Sprachausgabe simuliert

haben (n=15, z.B. Sutherland et al. 2019, Carros et al. 2020), nonverbales Verhalten und Blickverhalten (n=10, z.B. Kim et al. 2013), sowie Navigationsaufgaben (n=6, z.B. Garzo et al. 2012), Objekterkennung (n=2, z.B. Garzo et al. 2012) und Domänenwissen (n=15, z.B. Hruška et al. 2020). Auch Schnittstellen zu Datenbanken zur Informationsbeschaffung (n=2, z.B. Aubergé et al. 2014), das Erinnern früherer Interaktionen (n=2, z.B. Thunberg et al. 2021) und (Wieder)erkennen von Nutzenden (Gesichtserkennung n=6, z.B. Thunberg et al. 2021) sowie deren nonverbalen Verhalten (n=6, z.B. Jeong et al. 2015) gehörten zu den simulierten Funktionen. Es lässt sich feststellen, dass immer noch viele empirische Studien komplett oder zumindest teilweise die Funktionsweise von Assistenzrobotern simulieren. Problematisch dabei ist, dass in vielen Originalarbeiten nicht beschrieben wird, welche Funktionen genau simuliert werden. Zudem machen Wizards nicht die üblichen Fehler, die bei einem autonomen System vorkommen würden (z.B. Probleme bei der Spracherkennung bei Kindern, älteren Personen, Personen mit Sprachproblemen). Wizards sind flexibler in der Interpretation von Situationen und können angemessener reagieren aufgrund eines Situationsbewusstseins, welches der Technik fehlt. Somit lassen WoZ-Studien nur bedingt Rückschlüsse auf die wirkliche Funktionsweise im Feld der Roboter zu. Vorteilhaft ist aber, dass dadurch die Untersuchung von zukünftigen Szenarien ermöglicht wird, beispielsweise zu den Auswirkungen der Systeme auf Arbeitsabläufe oder Pflegebeziehungen, gegeben, dass die Systeme den simulierten Funktionsumfang hätten.

4. Ergebnisse der Expert:innenworkshops und -interviews zum Thema Pflegerobotik

Um den Stand der Wissenschaft und Technik für die Pflegedomäne vertieft betrachten und Hintergründe diskutieren zu können, wurden vier Workshops abgehalten mit technischen Expert:innen aus KMUs und den Ingenieurwissenschaften (n=9) und Informatik (n=6), mit Stationsleitungen und Pflegedirektor:innen (n=13) und mit Pflegerobotik befassten Forschenden aus Psychologie, Arbeitswissenschaft, Ethik, Pflegewissenschaft und Wirtschaftswissenschaften (n=7). Zudem wurden Interviews durchgeführt mit Pflegefachpersonen in der klinischen Pflege und stationären Altenpflege (n=13). Ziel war es, die wesentlichen Herausforderungen beim Einsatz von robotischen Systemen in der Pflege zu identifizieren, die der Durchführung der avisierten Projekte im Rahmen des Kompetenzzentrums entgegenstehen (könnten) und noch nicht in der Literatur beschrieben sind. Dabei haben sich eine Reihe von Problemstellungen und Hemmnissen als wiederkehrend und kritisch manifestiert, die folgend thematisch gruppiert beschrieben werden.

Technische Herausforderungen. Zunächst ist festzuhalten, dass unter den Expert:innen eine weitgehende Übereinkunft darin besteht, dass das sogenannte „Technology Readiness Level“, also der Entwicklungszustand der bestehenden Systeme für einen Einsatz im Feld in den allermeisten Fällen nicht ausreichend (hoch) ist. Aus diesem Grund werden Evaluationsstudien häufig mit einem WoZ Studiendesign durchgeführt, da so ein Erkenntnisvorsprung erzielt werden kann, der mit autonomen Systemen nicht zu erreichen wäre. Die Anforderungen aus der (Pflege-)Praxis und die technischen Umsetzungsmöglichkeiten klaffen insgesamt noch weit auseinander. So können etwa autonome Folgefunktionen im betriebsamen Klinikalltag auf dem Krankenhausflur noch lange nicht zuverlässig genug realisiert werden. Eine weitere geäußerte Hürde ist, dass die technischen Produkte, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden, nicht zertifiziert und deswegen für Realweltumgebungen (und bei vulnerablen Personen) nicht zugelassen sind. Insbesondere bei Medizinprodukten sind die Prozesse zur Zertifizierung sehr langwierig, aufwendig und kostenintensiv. Als gängiges Problem wurde auch das Wissensmanagement in Forschung und Entwicklung von den Expert:innen benannt. Systeme werden häufig im Rahmen von klar begrenzten Forschungsprojekten in oft drei Jahren entwickelt und gebaut. Nach dem Abschluss eines solchen Projek-

tes wird das Wissen der Mitarbeitenden in der Forschungseinrichtung häufig nicht ausreichend konserviert und ist dadurch für weitere Projekte und Entwicklung nicht oder nur bedingt nutzbar, gerade dann, wenn ein Folgeprojekt sich nicht unmittelbar anschließt. Auch werden aufgebaute Systeme nicht weiter gewartet und betriebsbereit gehalten, häufig werden sie sogar demontiert und bei dem Aufbau neuer Systeme verwendet. Eine Reihe von identifizierten Herausforderungen bezieht sich auf die Evaluation der technischen Systeme. Hier wurde in den Workshops eine hohe Vorhersageunschärfe angemerkt, was die Anforderungen an die zu entwickelnden Systeme zu einem zukünftigen Zeitpunkt betrifft. Während der Entwicklung beschränkt sich die Evaluation auf einen eingeschränkten und stark kontrollierbaren Anwendungsfall. Es fehlen standardisierte Szenarien, in denen Forschungsprototypen gefahrlos und ökologisch valide erprobt werden können und auch Metriken, nach denen Systeme zu evaluieren sind.

Herausforderungen in der Pflege. Eine der häufig genannten Herausforderungen in der Pflege ist die Technikaffinität. Das Pflegefachpersonal ist insgesamt unterschiedlich stark technikaffin, wobei im Intensivpflegebereich eine höhere Affinität zu beobachten sei als in der Altenpflege. Auch die Ausbildung in den verschiedenen Bereichen ist unterschiedlich stark auf Technik fokussiert. Ein vielfach genannter Kernaspekt dabei ist, dass ein technisches System im Pflegealltag nicht hinderlich sein darf, beziehungsweise keinen Mehraufwand bedeuten darf. Hier gilt es, die ohnehin schon sehr hohe Belastung und Beanspruchung bei der Integration insbesondere von Prototypen entsprechend zu berücksichtigen. Das interviewte Pflegefachpersonal fordert hier zurecht eine aktive Einbindung in die Entwicklung ein. Es dürfen keine Annahmen darüber getroffen werden, was das Pflegefachpersonal kann, will oder macht. Stattdessen soll und möchte das Personal eine aktive Rolle in der Entwicklung einnehmen. Dies soll auch der Tatsache Rechnung tragen, dass sowohl das Berufsbild "Pflege" als auch der Begriff "Pflege" selbst komplex sind. Die Interviewten verwiesen darauf, dass die Erfassung der komplexen Anforderungen innerhalb der beruflichen Pflege und das Verständnis für die Bedarfe und Herausforderungen einer erfolgreichen Entwicklung und Etablierung robotischer Systeme äußerst schwierig ist. Das gilt auch für eine Erfassung und ein Verständnis davon, was "gute" Pflege ist und sein kann und wie diese unter Einbezug von Robotik erhalten und bestenfalls unterstützt werden kann.

Organisationale und psychologische Herausforderungen. Ähnlich wie bei der Technikaffinität des Pflegefachpersonals ist die Technikakzeptanz aller Stakeholder vom Pflegefachpersonal über die Patient:innen bis hin zu An- und Zugehörigen und Besucher:innen eine der genannten Herausforderungen. Hier ist neben der Nutzungsakzeptanz auch die Akzeptanz der bloßen Existenz robotischer Systeme im Pflegekontext zu berücksichtigen. Die Integration robotischer Systeme muss sowohl in die (personelle) Organisationsstruktur als auch in das Teamgefüge stattfinden. Das befragte Pflegefachpersonal befürchtet oft eine Einführung technischer Systeme „von oben“ seitens der Führungskräfte. Hier besteht Bedarf an Überzeugungskraft und Veränderungsmanagement. Eine Veränderung von Rollen und Aufgaben muss entsprechend analysiert und begleitet werden. Es kommt dabei auf Vertrauen an und Emotionen müssen berücksichtigt werden. Ferner ist eine interdisziplinäre Kommunikation notwendig, sowohl innerhalb eines Projektteams bei der Entwicklung und Integration als auch im späteren Einsatz robotischer Systeme. Die Interviewten verwiesen auch auf räumliche Hürden, da die bestehende Infrastruktur in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen selten für den Einsatz robotischer Systeme vorbereitet sei. Schließlich fehlt es auch im organisationalen und psychologischen Bereich an strukturierten Auswertungs-, Befragungs- und Evaluationstools. Neben Methoden zur Erfassung des Nutzwertes eines robotischen Systems in der Pflege gibt es keine standardisierten Testverfahren für die Interaktion zwischen Menschen und Maschine in der Pflege.

Weitere Herausforderungen. Eine weitere Herausforderung sind die sich verändernden Anforderungen an das Berufsbild Pflegefachperson durch zunehmende Technisierung und daher die Frage nach der Entwicklung neuer Berufsbilder und -perspektiven in der Pflege. Mit der Einführung technischer Systeme stellt sich gleichzeitig auch die Frage nach dem Datenschutz, denn die Möglichkeit zur Überwachung des Arbeitsalltags und der individuellen Performanz muss absolut vermieden werden. Gleichsam ist der Datenschutz für Patient:innen von höchster Bedeutung.

2.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Durch die Gründung des **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrums wird eine Organisationsstruktur und Professionalisierung im Konsortium und in den Testfeldern geschaffen, die den zuvor herausgearbeiteten Hürden Abhilfe schaffen kann. Der

enorme Organisationsaufwand für Feldstudien wird zentralisiert gesteuert. Es entsteht ein breites Portfolio an standardisierten Testszenarien und Evaluationsmethoden für Assistenzrobotik, das unterschiedlichste Funktionen und Anwendungen abdeckt. Dabei geht das Projekt über bestehende Ansätze wie realitätsnahe Simulationsumgebungen hinaus (z.B. Reallabore des Pflegeinnovationszentrums) und bringt die Assistenzrobotik an den Einsatzort. Im Gegensatz zu den vier Pflegepraxiszentren in Deutschland, die unterschiedlichste Technologie für die Pflege in der Praxis evaluieren, fokussiert das Kompetenzzentrum explizit auf Robotik und behandelt auch technische Fragestellungen unter direktem Einbezug der Ingenieurwissenschaften und Informatik. Zudem werden fast alle Kompetenzen räumlich in Aachen gebündelt und haben so auch nach Beendigung der Förderung ein sehr hohes Potential erfolgreich im zu etablierenden Center Nursing Care der RWTH weitergeführt zu werden (siehe Kapitel 2.4.2). Das Konzept des Kompetenzzentrums betrachtet den Einsatz von Assistenzrobotik in der Pflege holistisch und berücksichtigt nicht nur technische, arbeitswissenschaftliche oder psychologische Dimensionen, wie es bei den meisten Projekten der Fall ist. Der integrative Ansatz des Projektes inkludiert zudem pflegewissenschaftliche und ethische Fragen, unterschiedliche Designansätze und die Entwicklung von Datenmanagementkonzepten und Geschäftsmodellen. Alle diese Dimensionen werden abstrahiert auf einer Meta-Ebene im Sinne der Implementierungsforschung ganzheitlich betrachtet. Eine derartige Verzahnung unterschiedlichster Disziplinen geht über den bisherigen Stand der Forschung weit hinaus.

2.2.3 Risikodarstellung

Ein Risiko für das Verbundprojekt ist, dass trotz der zentralisierten Organisation aller Feldstudien die Testfelder (Pflegestationen in der Uniklinik oder Wohngruppen bei SKM) überlastet werden. Um dieses Risiko zu minimieren, werden im Projekt zwei Pflegefachpersonen eingestellt, die bei Evaluationen die jeweilige Station personell entlasten, um so den Mehraufwand zu kompensieren. Zudem bringen die Pflegefachpersonen ihre fachliche Expertise im Projekt ein, beispielsweise zur Co-Creation von Assistenzrobotik, oder stellen andere Pflegefachpersonen für eine inhaltliche Mitarbeit frei, so dass möglichst vielen Pflegefachpersonen die Mitwirkung ermöglicht werden kann. Zudem steht mit der St. Gereon Seniorendienste gGmbH (assoziiertes Partner)

ein weiteres Testfeld zur Verfügung. Dies trägt nicht nur zur Risikominimierung bei, sondern ermöglicht auch, den Transfer der empirischen Ergebnisse zwischen unterschiedlichen Pflegeeinrichtungen zu untersuchen und erhöht so die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse. Ein weiteres Risiko wäre eine niedrige Akzeptanz der evaluierten Systeme seitens der Nutzer:innengruppe. Obwohl für die Forschung ein wertfreies Resultat, wäre dies ein Risiko für die beteiligten Unternehmen. Abgedeckt wird dies durch die vorgesehenen Entwicklungssprints. Ursachen niedriger Akzeptanz werden identifiziert, Optimierungen umgesetzt sowie erneut evaluiert. Weiterhin gibt es ein Konzept zum partizipativen Design, damit im Projekt verhindert werden kann, dass an Bedarfen vorbei entwickelt wird. Falls die Ursachen niedriger Adoptionsrate nicht individuelle Akzeptanz sind, sondern organisationale, finanzielle, personelle oder infrastrukturelle Faktoren, wird dies mittels der Implementierungsforschung aufgedeckt. Letztlich waren für längere Zeit durch die Corona-Pandemie Feldtests in Kliniken und Krankenhäusern kaum durchführbar. Dies erschwerte die ohnehin schwierige Erprobung und Evaluation von Anwendungen in Realumgebungen zusätzlich. Allerdings bestehen mittlerweile entsprechende Schutzkonzepte und Hygienemaßnahmen, so dass nun Handlungsräume für die Durchführung dieser Studien bestehen.

2.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Im **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum werden Erfahrungen und Befunde zum Einsatz von Assistenzrobotik in Realumgebungen sowie entsprechendes Know-How zur Durchführung und Bewertung dieser Einsätze aktiv sammelt, zusammengebracht, aufbereitet und vernetzt, um auf dieser Basis verallgemeinerbare Konzepte und Methoden zu synthetisieren und der Forschungscommunity zur Verfügung zu stellen. Die Kernarbeitsziele und die wissenschaftlichen und technischen Methoden dieser Ziele werden im Folgenden beschrieben. Abschließend wird ein Überblick über die zu evaluierenden robotischen Systeme sowie die systemspezifischen Fragestellungen gegeben.

Strukturierte Erfahrungen mit Assistenzrobotik in Realumgebungen: Im **AssistenzRobotik** Kompetenzzentrum werden drei unterschiedliche Typen bestehender robotischer Assistenzsysteme erprobt: robotische Entwicklungen, die in der eigentlichen Pflege und/oder Therapietätigkeit unterstützen; Robotersysteme, die individuelle Gesundheit fördern und persönliche Assistenz leisten; und Robotersysteme, die den Pflegebetrieb unterstützen. Für alle drei Systemtypen werden systemspezifische sowie systemübergreifende Fragestellungen untersucht. Mit den insgesamt 22 geplanten Feldstudien mit Einsatzzeiten der Assistenzsysteme von mindestens 1 Woche (bei Vorstudien) und bis zu 3 Monaten im Regelbetrieb der Universitätsklinik sowie zumindest einer Altenpflegeeinrichtung wird in nur drei Jahren Förderzeitraum eine bisher nicht dagewesene Datenlage in der Pflegerobotik geschaffen. Alle Systeme werden hinsichtlich ihres Interaktionsverhaltens, der Usability, Effektivität und Effizienz untersucht mittels der im Kompetenzzentrum entwickelten Testsznarien, Metriken und Benchmarks.

Entwicklung von Testsznarien, Metriken und Benchmarks: Im Projekt werden Use-Cases und Benchmark-Szenarien entworfen, um einzelne Basis- oder Spezialfähigkeiten von Assistenzrobotern standardisiert und vergleichbar testen zu können. Dazu gehört die Sichtung, Auswahl und Definition von entsprechenden Evaluationskriterien, für die die einzelnen Testsznarien entworfen werden. Die Testsznarien werden inhaltlich und in ihrer empirisch-methodischen Umsetzung beschrieben und aufbereitet (inklusive Anforderungen an Versuchspersonen, Setting, Materialien, Datenaufnahme, Ethikanträge). Für die in den Feldeinsatz gebrachten Systeme werden systemübergreifend auf technischer Seite Benchmarks definiert für die Effizienz von Navigationssystemen, Dialogsystemen und Regelungstechnik für Roboter in der Anwendungsdomäne. Im Hinblick auf die Interaktionsfähigkeiten werden Maße und Testverfahren aus dem Bereich der Dialogsysteme und konversationalen Agenten für die Untersuchung von multimodaler, physisch situierter Mensch-Roboter-Interaktion im Assistenzkontext erweitert, operationalisiert und auf unterschiedliche Systeme im Konsortium angewendet. Dafür sind neue Forschungsfragen im Hinblick auf die Mess-, Anwendbar- und Vergleichbarkeit von Qualitätskriterien der Interaktion (z.B. Erkennungsfehler, Unterbrechungen, Verständnisfehler, Dialog-Reparaturen, Anzahl und Länge der notwendigen Turns) zu betrachten. Um diese strukturierten Erfahrungen und

Erkenntnisse zu ermöglichen, werden im Projekt konsequent für alle drei Robotertypen in jeweils einem spezifischen Arbeitspaket pro Typus Tests-Szenarien und Metriken gesammelt, gesichtet, bewertet, neu entwickelt und vor dem Hintergrund der gesammelten Erfahrungen laufend aktualisiert und verbessert. Vor dem Hintergrund dieser umfassenden Betrachtung können Begriffe wie Akzeptanz für diese Systeme in diesem Anwendungsfeld neu definiert werden und entsprechende Verfahren, Designmethoden, und Tools entwickelt werden.

Untersuchung der Akzeptanz und (Langzeit-)Wirkung von Pflegerobotik in der Pflege: Über die Fragestellungen hinsichtlich Interaktionsverhalten und Usability hinaus, werden sowohl systemspezifisch als auch systemübergreifend und vergleichend untersucht:

1. soziale Effekte in der Interaktion mit den Patient:innen (z.B. Selbstbestimmung der Nutzenden, Beziehungsbildung zum System) und Pflegefachpersonen (z.B. Veränderung der Gruppen-dynamiken in Kommunikation in Pflegeteams / Selbstwirksamkeit von Pflegepersonal)
2. pflegewissenschaftliche Fragen (z.B. Veränderung von Pflegebeziehungen)
3. Akzeptanz des jeweiligen Systems durch Patient:innen, An- und Zugehörige, Pflegefachpersonal
4. Erreichen des intendierten Outcomes der jeweiligen Systeme wie Steigerung des Wohlbefindens und sozialen Interaktion, der Mobilität oder Autonomie, der physischen oder psychischen Entlastung, oder Zeitersparnis unter gleichzeitiger Berücksichtigung der (Arbeits-) Sicherheit.

Als Datenquellen dienen Interviews, standardisierte Befragungen und die Auswertung von Systemdaten. Die Usability und User Experience Erkenntnisse aus der Interaktion mit den Einzel-systemen bilden die Grundlage zur Ableitung von übergreifenden Mindestanforderungen an Assistenzrobotik in Bezug auf eine effektive, angenehme und sichere Interaktion. Hier kommt ein eigens für die MRI abgeleitetes Technologieakzeptanzmodell zur Anwendung (Bröhl et al. 2019) sowie qualitative Interviews und standardisierte Fragebögen zur Erfassung der Akzeptanz, der Sympathie, des Vertrauens etc. in Assistenzroboter. Über die unterschiedlichen Systemtypen hinweg lässt sich feststellen, ob sich diese unterschiedlich auf die Organisation von Pflegeteams und deren Gruppendynamiken auswirken oder unterschiedlich die Selbstwirksamkeit oder

das Kompetenzerleben sowie die Arbeitszufriedenheit von Pflegepersonal beeinflussen. Als Methoden kommen hier teilnehmende Beobachtungen, qualitative Interviews, und standardisierte Fragebögen zum Einsatz.

Untersuchung der langfristigen Integration von Assistenzrobotik in die Pflege:

Die Implementierung von Assistenzrobotik in Pflegebetrieben wird ganzheitlich betrachtet im Sinne einer Implementierungsforschung mittels des Integrated Technology Implementation Model (ITIM, Schoville and Titler 2015). Das ITIM integriert erstmals Komponenten aus Technikakzeptanzmodellen und Modellen der Implementierungsforschung, sodass es für die Strukturierung von Technik-Implementierungsprozessen besonders geeignet erscheint. Das Modell wurde theoriebasiert entwickelt, unseres Wissens noch nicht erprobt, und soll daher im Rahmen des Kompetenzzentrums angewendet und ggf. weiterentwickelt werden (z.B. Integration in Ansätze der Arbeitswissenschaften). Die enge interprofessionelle Verzahnung der Wissenschaftsdisziplinen sichert dies.

Partizipative Entwicklung von Assistenzrobotik: Die Einführung von Robotern in die Pflege verändert nicht nur Arbeitsabläufe, die Kommunikation in Pflegeteams und Pflegebeziehungen, sondern beeinflusst darüber hinaus auch das gesellschaftliche Umfeld, etwa Dienstleistende außerhalb der Einrichtung oder An- und Zugehörige. Chancen der Robotik müssen im Kontext verstanden sowie Hürden und Kritik unterschiedlicher Stakeholder berücksichtigt werden. Allerdings macht es die physische Natur und der Stand der Technik von Assistenzrobotik noch außerordentlich schwer, leichtgewichtig “Experimentierfelder” zur Erprobung von Robotik im Alltag einzurichten. Design Fiction (u.a. Auger 2013, Dunne and Raby 2013) ermöglicht es, technische Entwicklungspfade mittels Prototypen zu materialisieren und diese als Basis für Spekulationen über die Zukunft und kritische Debatten zu nutzen. Durch Design Fiction entstehen Einsichten darüber, wie Technik Alltagspraktiken ganz konkret formen und welche Auswirkungen sie gesellschaftlich auf unterschiedliche Stakeholder haben könnte. In der Zukunftswerkstatt werden gesellschaftliche Anforderungen an zukünftige Assistenzrobotik in der Domäne diskutiert mit relevanten Stakeholdern z.B. Robotik-Expert:innen, Designer:innen, mögliche Nutzer:innen, wichtige Entscheidungsträger:innen etwa aus der Politik, der Wirtschaft, dem Management. Insbesondere mögliche Nutzer:innen (Gepflegte, An- und Zugehörige, Pflegefach-

personen) sollen im Sinne einer “Bürgerforschung” an der Konzeption des Alltags mit zukünftigen Assistenzrobotern (aus Sicht der Gepflegten, An- und Zugehörigen, Pflegefachpersonen) eingebunden werden und konkrete Vorschläge zur Form- und Interaktionsgestaltung von Assistenzrobotik in der Pflege erarbeitet werden. Basierend auf den Elementen partizipativer Forschung im Projekt wird eine Richtlinienerweiterung zu menschenzentriertem Design erarbeitet die in eine DIN SPEC überführt werden soll für den Einbezug von vulnerablen und/oder autonomie-eingeschränkten Personen in partizipative Designprozesse.

Ethische Untersuchung von Assistenzrobotik in der Pflege: Ebenfalls systemübergreifend und angelehnt an die empirischen Erkenntnisse aus den 22 Studien werden ethische Fragestellungen mittels normativer Analyse untersucht wie die Sorge um die mögliche Verringerung des Kontakts mit Menschen, eine Zunahme der Gefühle der Objektivierung und des Kontrollverlusts, oder Verlust der Privatsphäre und persönlichen Freiheit. Zudem untersucht das Projekt in Auseinandersetzung mit dem aktuellen Stand der (technik-)ethischen Forschungsliteratur alternative Verantwortungskonzepte (relational, kollektiv) für den komplexen Verbund von Technologien, Prozessen und Akteuren.

Verbesserung der Datenlage zu Assistenzrobotik: Die im Kompetenzzentrum generierten Daten werden nach den FAIRification-Prinzipien aufbereitet für die wissenschaftliche Nach- und Zweitnutzung. Weiterhin wird die Nachnutzung der anfallenden Daten bei Assistenzrobotern für andere Zwecke (z.B. Objekterkennung bei der autonomen Navigation kann den Arbeitsschutz über Gegenstände vor Feuertüren informieren) exploriert und hierfür ein Metadatenmodell entwickelt sowie ein Konzept und ein Prototyp einer Datenstromverarbeitungsarchitektur. Diese Daten bilden auch die Basis für innovative datengetriebene Geschäftsmodelle für robotische Systeme wie „pay per service“ or „pay for availability“, die im Kompetenzzentrum angewendet und getestet werden.

Interdisziplinärer Kompetenzaufbau und -erhalt: Im Projekt soll interdisziplinärer Kompetenzaufbau und -erhalt für Assistenzrobotik in der Pflege erleichtert und gefördert werden. Es entsteht ein Workshopkonzept zum Transfer des im Kompetenzzentrum entwickelten Ansatzes zum Onboarding interdisziplinärer Teams sowie eine disziplinübergreifende Wissensdatenbank in Form einer Entwurfsmustersprache, in der die Kernergebnisse des Forschungsprojekts als generische, wiederverwendbare und leicht übertragbare Lösungsschablonen für wiederkehrende Probleme direkt verfügbar sind.

Im AixistenzRobotik Kompetenzzentrum zu evaluierende Systeme:



Abbildung 2.1: temi, CAREcules, marble & VIVA.

Im Projekt wird für vier real existierenden *persönliche Assistenzroboter* (temi, VIVA, CAREcules als Transporttisch, CAREcules als intelligenter Pflegewagen) systemspezifisch vor allem das Interaktionsverhalten der Assistenzrobotik, die technische Funktionsfähigkeit der Systeme und die Usability und User Experience untersucht und auf diesen Untersuchungsebenen Optimierungspotenzial identifiziert.

Den beteiligten KMUs wird im Projekt die Gelegenheit gegeben auf der Basis der empirischen Ergebnisse aus einer ersten Evaluation einen Entwicklungssprint durchzuführen, um eine Optimierung eines ausgewählten Aspektes zu realisieren und einem erneuten Langzeittest zu unterziehen, um den Impact der realisierten *Abb. 2.1: temi, CAREcules, marble & VIVA*

Optimierung zu bemessen. Zudem dienen zwei der Systeme (temi, VIVA) als Praxisfall für wertorientierte und nachhaltige Gestaltung von Assistenzrobotik. Basierend auf partizipativen Designprozessen mit Pflegefachpersonen und Bewohner:innen und Patient:innen werden auf Basis der existierenden Funktionen, neue Use Cases entworfen, umgesetzt und in Langzeitstudien erprobt. Im Bereich der *im Pflegeprozess selbst unterstützenden Assistenzrobotik* werden Systeme in physikalischer Interaktion mit Nutzer:innen oder Patient:innen fokussiert. Zum einen gibt es am Körper getragene Stützstrukturen, sogenannte Exoskelette, die das muskuloskelettale System bei

spezifischen Tätigkeiten entlasten und es ermöglichen, gesundheitsschonend einer körperlich fordernden Tätigkeit nachzugehen. Obwohl in ersten Projekten der Einsatz von Exoskeletten in der Pflege exploriert wird (Projekt Expertise 4.0), gibt es keine repräsentativen Langzeitstudien, die neben Fragen der Akzeptanz auch die Integration in Arbeitsprozesse und objektive Gesundheitsdaten inkludieren. Dies soll in **AixistenzRobotik** realisiert werden. Eine Alternative zu Exoskeletten ist der Einsatz kooperativer Robotik zur Unterstützung körperlich fordernder Arbeiten, beispielsweise durch sich selbständig bewegende Roboterarme, die zumeist schwere Gegenstände aktiv greifen, heben, positionieren oder halten. Wenn auch dieses Prinzip der Kooperation zwischen Roboter und Mensch im industriellen Umfeld weit verbreitet ist, so ist die Anwendung kooperierender Robotik zur Entlastung der Pflegefachpersonen bei der Durchführung körperlich fordernder Pflegehandlungen noch in den Kinderschuhen. Sie gewinnt aber im pflegerischen Alltag zunehmend an Beachtung (siehe geförderte Projekte unter Kapitel 2.2.1). Es gibt bisher keine systematischen Studien dazu welchen Einfluss die Art und Weise der physikalischen Interaktion auf die Akzeptanz des robotischen Unterstützungssystems durch den Pflegebedürftigen hat, da es an geeigneten Analyseverfahren mangelt. Dieses wird im Kompetenzzentrum entwickelt. Für den Bereich der *Pflegebetrieb unterstützenden Robotik* werden im **AixistenzRobotik** Projekt autonome Desinfektionsroboter in den Langzeiteinsatz gebracht, um Fragen der Integration in bestehende Arbeitsprozesse, Effizienz und Effektivität zu beantworten, auch im Vergleich zu üblichen Verfahren der Desinfektion. Weiterhin werden robotische Logistik- und Hol- und Bringsysteme untersucht über Experteninterviews mit Krankenhäusern, die solche Systeme in den Betrieb integriert haben. Weiterhin wird ein Langzeitfeldversuch mit einem ferngesteuerten Transportroboter in der Klinik unternommen, um technische Entwicklungsbedarfe aufzudecken und unterschiedliche Konzepte der Integration in den Betrieb und für die Interaktion mit dem Transportroboter zu entwickeln.

2.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

2.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten in der Anwendungsdomäne: Das **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum ermöglicht strukturierten Erkenntnisgewinn zu den oben genannten wissenschaftlichen Fragestellungen in Bezug auf a) Akzeptanz, Usability und User Experience, b) ethische Aspekte, c) Gruppen- und Teamdynamiken in Mensch-Roboter Teams, d) technische Benchmarks für beispielsweise Regelungstechnik und Dialogsysteme, e) neuartige datengetriebene Geschäftsmodelle und f) förderliche und hinderliche organisationale, organisatorische, personelle Faktoren in Bezug auf die nachhaltige Implementierung von Assistenzsystemen in den Pflegebetrieb. Mit den insgesamt 22 geplanten Feldstudien mit Einsatzzeiten der Assistenzsysteme von mindestens 1 Woche (bei Vorstudien) und bis zu 3 Monaten im Regelbetrieb der Universitätsklinik sowie zumindest einer Altenpflegeeinrichtung wird in nur drei Jahren Förderzeitraum eine bisher nicht dagewesene Datenlage in der Pflegerobotik geschaffen. Diese wird zum einen von den Projektpartner:innen dazu genutzt, die jeweiligen disziplinären Fragestellungen in einer Breite und Tiefe zu beantworten, wie es bisher nicht möglich war. Aufgrund der vertieften interdisziplinären Rahmgebung über gemeinschaftliche Metrikenentwicklung und der Reflektion hierüber lassen sich über Robotersysteme hinweg strukturiert und vertieft Erkenntnisse gewinnen. Zum anderen können die Daten über die entsprechende Aufbereitung nach den FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Re-usable) auch über das Projekt hinaus für weitergehende wissenschaftliche Fragestellungen hinaus zweit/nachgenutzt werden. Zur Entwicklung dieser Fragestellungen schafft der **AixistenzRobotik** Think Tank einen entsprechenden Raum. Das Interesse anderer Forschenden am Think Tank zeigt den Bedarf an Daten so wie sie im Projekt generiert werden und ihre hohe Relevanz für die internationale Forschungscommunity. Es ist zu erwarten, dass nicht nur deutsche Forschende, sondern auch internationale Forscher:innengruppen die aufbereiteten Daten zur Nachnutzung anfragen werden. Hiermit wird nachhaltig ein Mehrwert für die Forschung zur Assistenzrobotik geschaffen. Die empirischen Ergebnisse der Feldstudien, die entwickelten Metriken und technischen Weiterentwicklungen, die entwickelten

Handlungsempfehlungen und Testverfahren sowie Analysen zur Anwendbarkeit der Geschäftsmodelle werden in relevanten Fachzeitschriften oder auf wissenschaftlichen Konferenzen und Kongressen veröffentlicht. Avisierte Journale und Konferenzen zur Dissemination der Ergebnisse sind beispielsweise: International Journal of Nursing Studies, Pflege - Die wissenschaftliche Zeitschrift für Pflegeberufe, The Gerontologist, BMC Nursing, BMC Geriatrics, International Journal on Social Robotics, Transaction on Human-Robot Interaction, Computers in Human Behavior, Conference on *Human Factors* in Computing Systems (CHI), International Conference on Social Robotics (ICSR), International Conference on Human Robot Interaction (HRI), International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Ro-Man)). An den beteiligten Hochschulen und der Universitätsklinik werden Dissertationen zu den Projektthemen entstehen. Weiterhin wird eine enge Verzahnung der Projektinhalte mit Lehrveranstaltungen und Abschlussarbeiten an den beteiligten Hochschulen erfolgen (z.B. Seminare zu Applied Ethics; Advanced Human-Technology Interaction; Current Topics of HCI). Über diese Einbindung des Kompetenzzentrums in die forschungsba-sierte Lehre und über Vorträge als auch Vorlesungen, Übungen, Seminare und Praktika an den beteiligten Hochschulen wird die Vermittlung der Erkenntnisse des Kompetenzzentrums an den wissenschaftlichen Nachwuchs sichergestellt. Die Erkenntnisse werden im Rahmen des Lehrauftrages in die Ausbildung von Pflegefachpersonen über die Ausbildungsakademie für Pflegeberufe der Uniklinik RWTH Aachen (Leitung Gabi Fleischmann) sowie über die Fliedner Fachhochschule (Prof. Astrid Stephan) einfließen. Ebenfalls einbezogen werden sollen die Pflegekammern NRW und Rheinland-Pfalz sowie der Deutsche Berufsverband für Pflegeberufe (DBfK), sodass die abgeleiteten Ergänzungs- und Erweiterungsbedarfe pflegerischer Kompetenzprofile gezielt in den fachlichen Diskurs, in Curricula oder Qualitätsanforderungen an Weiterbildungen einmünden können.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten: Neben den guten Aussichten für die erfolgreiche Fortführung des Kompetenzzentrums (siehe 4.2) sind auch die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten der beteiligten Unternehmen vielversprechend. Die *navel robotics GmbH* möchte die VIVA-Plattform zum Serienprodukt entwickeln und vertreiben. Es gibt derzeit keine vergleichbaren Produkte auf dem Markt, die die geplanten Fähigkeiten zu einem marktkonformen Preis abbilden. Die beiden etabliertesten Angebote im

Pflegebereich sind Pepper von Aldebran und die Roboterrobbe Paro. Sie unterscheiden sich jedoch von dem navel Konzept in zwei Punkten: 1) die ausgeprägten Fähigkeiten der verbalen und nonverbalen Kommunikation und 2) für den Einsatz wird keine zusätzliche Pflegeperson zur Steuerung und/oder Betreuung gebraucht. Die existierende Plattform kann zu Anfang der Projektlaufzeit evaluiert und auf Basis des Feedbacks verbessert werden, was eine verbesserte und schnellere Marktreife bedeutet. Weiterhin werden zusätzliche Use Cases entwickelt, umgesetzt und erprobt, so dass VIVA mit einem breiteren Leistungsangebot ausgestattet werden kann und somit als Produkt noch attraktiver wird für B2B und B2C Kund:innen. Die **Docs in Clouds TeleCare GmbH** hat mit “MedCast” ein modernes und sicheres Daten- und Kommunikationsmodell für die Telemedizin entwickelt. Es wird von der MedCast-Plattform, einer vollständig virtualisierten Systemumgebung als Cloud-Infrastruktur, genutzt und in verschiedenen Anwendungen eingesetzt (z.B. bei Telekonsultationen zwischen Pflegeheim und Hausarzt/ärztin oder bei Videosprechstunden zwischen Arzt/Ärztin und Patient:in). **DICT** ist zertifizierter Videodienstleister der Kassenärztlichen Vereinigung und die Leistungen können gemäß EBM und GOÄ abgerechnet werden. Neben der “einfachen” webbasierten Videosprechstunde “TeleDoc Starter” steht mit “TeleDoc Robot” auch eine spezielle App für das Temi-Robotersystem (vertrieben über medisana) zur Verfügung. Die App kann mit Hilfe dieses Vorhabens weiterentwickelt und um neue Use Cases erweitert werden, so dass sowohl App als auch Temi-System an Kund:innennutzen gewinnen und höheren Absatz finden. Weiterentwicklungen von DICT im Zusammenhang mit diesem Forschungsprojekt können auch in die MedCast-Plattform sowie in die Telekonsultationssoftware einfließen. Darüber hinaus strebt die DICT mit diesem Projekt die Erschließung weiterer Märkte und die Ausweitung auf andere medizinische Bereiche an. In diesem Zusammenhang ist insbesondere der Krankenhaus-Markt zu nennen. Die **medisana GmbH** vertreibt mit dem “Home Care Robot” (auf der Basis der Temi Roboter Plattform) einen persönlichen Assistenzroboter für Endanwender. Der Home Care Robot navigiert autonom durch die Wohnung und sorgt durch intuitive Sprachsteuerung (Alexa) für mehr Unabhängigkeit in den eigenen vier Wänden. Es können Videoanrufe getätigt werden mit Angehörigen, Freunden oder Ärzt:innen und bis zu vier autorisierte Personen können über eine App auf den Pflegeroboter zugreifen und ihn per Fernsteuerung durch die Wohnung bewegen. Der Home Care Robot unterhält mit Filmen oder Musik. Die integrierte Gesundheits-App VitaDock+ und die

Notfallvorrichtung sorgen für mehr Sicherheit. Die App ermöglicht es die Vitalwerte, wie beispielsweise Blutdruck, Gewicht und Blutzucker, täglich zu überwachen. Sie ist kompatibel mit allen medisana Connect-Geräten: Körperanalysewaagen, Blutdruckmessgeräte, Thermometer, Blutzuckermessgeräte, Activity-Tracker und Pulsoximeter. Die medisana hat als Partnerin im Projekt ebenso wie die DICT die Erschließung weiterer Märkte und die Ausweitung auf andere medizinische Bereiche im Blick. Über die Weiterentwicklung der App für Endkund:innen und die Exploration von Use Cases in Kliniken und die Anbindung an das Datenmanagement in Pflegeeinrichtungen und Kliniken könnte medisana stärker in den B2B Bereich vorzudringen. Die **Varomo UG** entwickelt den CAREcules in zwei Varianten. In der B2B Variante kommt der CAREcules in Form eines autonomen intelligenten Pflegewagens mit modularem Aufbau, kann also in seiner Beladungsstruktur verändert und Bedürfnissen unterschiedlicher Pflegestationen oder Pflegefachpersonen angepasst werden. Der CAREcules in der B2C Variante fungiert als Transporttisch mit Folgefunktion. Da CAREcules modular aufgebaut ist, kann er in der Höhe variiert werden und so den Bedürfnissen der Nutzer:innen angepasst werden. Die im Rahmen der durchzuführenden Testungen erlangten Erkenntnisse und Verbesserungen werden sich positiv auf das Geschäftsmodell und den wirtschaftlichen Erfolg auswirken. Der Markteintritt erfolgt zunächst in einem B2B Anwendungsfall. Geplanter Markteintritt ist im Jahr 2022.

2.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Die Uniklinik RWTH Aachen wird bis 2023 ein Center mit dem Schwerpunkt Pflege und neue Technologien auf dem RWTH Aachen Campus gründen (Center Nursing Care), das von der Einrichtung eines Lehrstuhls für Pflegewissenschaft flankiert wird. Der RWTH Aachen Campus (<https://www.rwth-campus.com/>) ist in Forschungscluster unterteilt und bringt interdisziplinäre Wissenschaftler:innenteams und Industriekonsortien in themenspezifischen Centern zusammen, um gemeinsam an speziellen Zukunftsfragen arbeiten. Das Center Nursing Care wird im Cluster Biomedizintechnik entstehen und ein einzigartiges nutzergesteuertes Innovations-Ecosystem darstellen, welches u.a. Zugang zu unterschiedlichsten Real-Laboren in den Feldern Pflege und Pflegebildung bieten wird. Schwerpunkte des Center Nursing Care werden Robotik und Digitalisierung der Pflege sowie nachhaltiges Management sein. Es ist

mit Blick auf die 2021 vollständig in Kraft getretenen Medical Device Regulation der EU (<https://eumdr.com/>) ein großer Bedarf an Expertise und Beratung im Rahmen der klinischen Prüfung und Zulassung pflegerischer Robotiksysteme zu erwarten. Kompetenzen zur Durchführung und Beratung derartiger Zulassungsprozesse sind kaum vorhanden, wodurch das (im Center Nursing Care verstetigte) Kompetenzzentrum eine in Deutschland einmalige Position erlangen kann. Diese einmalige Position wird durch die enge Verzahnung unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen mit Einrichtungen der Pflegepraxis - und zwar auch räumlich - nochmals hervorgehoben. Weiterhin sind nach Abschluss des Projektes im **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum Kompetenzen und Erfahrungen in einer einzigartigen Konstellation und Breite vorhanden für die Erforschung ethischer, rechtlicher und sozialer Fragen der pflegerischen Robotik sowohl im Kontext der Entwicklung als auch des praktischen Einsatzes in der Gesundheitsversorgung. Davon ausgehend sind auch weiterführende Forschungsaufträge aufgrund des Renommées der Partner und des Kompetenzzentrums als Ganzes zu erwarten. Das Kompetenzzentrum wird in das im Aufbau befindliche RWTH Center Nursing Care integriert. Als Center des RWTH Aachen Campus verfolgt dies den Immatrikulationsansatz für Unternehmen. Grundsätzlich erhalten alle Unternehmen Zugang zum Leistungsangebot des Centers. Immatrikulierte Mitglieder erhalten darüber hinaus für einen Jahresbeitrag Zugang zu festen Leistungen und können aktiv über Community Meetings des Centers das Leistungsangebot von Weiterbildungskursen bis hin zu kollaborativen interdisziplinären Forschungsvorhaben nutzen. Darüber hinaus sollen angebunden an das Center Nursing Care über Ausgründungen (Start-Up) bestimmte Dienstleistungen (z.B. Workshops) angeboten und gezielt Auftragsforschung auf Basis der im Kompetenzzentrum erworbenen und gebündelten Expertise als Komponente des Centers zur Verfügung gestellt werden.

2.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

2.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Das **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum wird von insgesamt 15 Projektpartner:innen getragen.

Prof. Dr. Astrid Rosenthal-von der Pütten leitet den **Lehrstuhl für Technik und Individuum (*iTec*)** am Department of Society, Technology, and Human Factors an der RWTH Aachen University. Mit breiter Methodenkompetenz werden unterschiedliche Fragestellungen in der Interaktionsforschung im Bereich Mensch-Roboter-Interaktion untersucht mit Fokus auf sowohl Usability, insbesondere im Bereich Kommunikation, als auch der Untersuchung von sozialpsychologischen Phänomenen wie Gruppendynamiken in Mensch-Roboter-Teams (Abrams and Rosenthal-von der Pütten 2020). Es besteht umfangreiche Vorerfahrung in Bezug auf die Durchführung von Feldstudien als auch mit besonderen Zielgruppen, beispielsweise über die Projekte UrbANT (BMBF, Feldstudien mit Lieferrobotern), KOMPASS (BMBF, sozial kooperativer Assistenten als Tagesbegleiter für Menschen mit Unterstützungsbedarf) und SERA (EU, robotischer Gesundheitsassistent für ältere Personen, Feldtests in der eigenen Häuslichkeit; Rosenthal-von der Pütten et al. 2011) und Expertise in der Metrikenentwicklung für den Bereich Mensch-Roboter-Interaktion (z.B. Fragebogenentwicklung: Self-Efficacy in Human-Robot-Interaction Scale (Rosenthal-von der Pütten and Bock 2018, Rosenthal-von der Pütten et al. 2017) Embodiment and Corporeality Scale (Hoffmann et al. 2018).

In der **Abteilung Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme** des **Instituts für Arbeitswissenschaft (IAW)** unter der Leitung von **Prof. Dr. Verena Nitsch** und **Dr. Dr. Alexander Mertens** liegt der Fokus auf der ergonomischen und menschenzentrierten Gestaltung der Mensch-Roboter-Kollaboration, der altersgerechten und inklusionsoffenen Produktgestaltung und der Erforschung von Technikakzeptanz. Am IAW bestehen umfangreiche Vorarbeiten zur benutzerzentrierten Entwicklung robotischer Assistenzsysteme im Gesundheitsbereich, beispielsweise über das Projekts MeRoSy (BMBF, robotisches Assistenzsystem für Tetraplegiker für die Unterstützung einer beruflichen Tätigkeit). Im Bayerischen Forschungsverbund FORobotics werden verschiedene arbeitswissenschaftliche Aspekte (u.a. Arbeitssicherheit und Roboterakzeptanz) in

der Gestaltung von Arbeitsplätzen, an denen menschliche Nutzer mit mobilen kooperativen Robotern zusammenarbeiten, beleuchtet. Aber auch im Bereich der MRK Grundlagenforschung hat das IAW mit BMBF Projekten, wie Anthrobot und den DFG Exzellenzclustern - Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer und Internet of Production zahlreiche Vorarbeiten vorzuweisen. Das IAW hat Expertise in der Metrikenentwicklung in den Themenbereichen Ergonomie, Usability und Akzeptanzforschung.

Das **Lehr- und Forschungsgebiet „Angewandte Ethik“** (*Ethics*) an der RWTH Aachen geleitet von **Prof. Dr. Saskia Nagel** forscht an der Schnittstelle zwischen Lebenswissenschaften / Technologie und Philosophie / Ethik und ist ausgewiesen in der Untersuchung konzeptueller und normativer Fragen in Bezug auf neue und zukünftige naturwissenschaftliche und technologische Entwicklungen. Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt auf den ethischen, anthropologischen und sozialen Implikationen neuer und aufkommender Technologien. Prof. Nagel arbeitet zu Fragen der Autonomie, Verantwortung und Vertrauen und kooperiert in einer Vielzahl internationaler, interdisziplinärer Projekte. In Bezug auf die Vorarbeiten wurden grundlegende Arbeiten zum Thema Autonomie entwickelt (Nagel 2013, 2015, Nagel et al. 2016, Nagel and Reiner 2013, Niker et al. im Erscheinen), die sich mit vielfältigen Fragen zum Werten, Vulnerabilität, Abhängigkeit und Beziehungen, u.a. in Pflegekontexten (Remmers and Nagel 2015, Lyreskog et al. 2020, Nagel accepted) beschäftigen. Die Gruppe hat einen Schwerpunkt in der philosophischen Diskussion um moralische Verantwortung (u.a. Tigard et al. 2020), in der Fragen nach individueller und geteilter Verantwortung und nach Vertrauen (Sattarov and Nagel 2019) im Kontext neuer Technologien (u.a. KI-unterstützter Systeme) eine zentrale Rolle spielen.

Die Uniklinik RWTH Aachen (UKA) verbindet mit ca. 2.000 Pflegefachpersonen in 34 Kliniken und 5 übergreifenden Einheiten patientenorientierte Medizin und Pflege mit Lehre und Forschung. Das UKA zeichnet sich durch den Forschungsschwerpunkt Medical Technology und Digital Life Sciences sowie ein hohes Translationspotential aus, sodass durch eine hervorragende Vernetzung mit Industriepartnern sehr gute Voraussetzungen für Unternehmensgründungen geboten werden. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Beteiligung an dem Netzwerk DIH Hero durch das Center for Robotics in Healthcare. Die Pflegedirektion des UKA (**UKA-P**) hat Kompetenzen

in der Implementierung von Technik in die pflegerische Versorgung sowie deren Ausrollung über den gesamten Pflegebereich und war eine der ersten Kliniken, die flächendeckend eine elektronische Dokumentation eingeführt hat. Aufgabenschwerpunkte des Stabsstellenbereich Pflegewissenschaft unter der Leitung von Prof. Dr. Astrid Stephan (zudem Professorin im Lehrgebiet Pflegewissenschaft an der Fließner-Fachhochschule Düsseldorf) sind die Durchführung von Projekten der klinischen Pflegeforschung sowie die Implementierung von Evidenzbasierter Pflege und neuer pflegerischer Berufsrollen. Im Rahmen des BMBF Projektes PflKoRo werden die Bedarfe und Nutzeranforderungen für Assistenzrobotik in der Pflege erhoben sowie Co-Creation Ansätze weiterentwickelt.

Das **Institut für Regelungstechnik (IRT)** unter der Leitung von **Prof. Dirk Abel** ist in der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen University angesiedelt und betreibt Forschung auf den Gebieten der Modellierung und Regelung komplexer technischer Systeme. Anwendungsübergreifend verfügt das IRT über spezielle Expertise in den Bereiche Modellierung, Modellidentifikation und -reduktion, moderne Regelungsverfahren wie prädiktive, adaptive und iterativ lernende Regelung sowie den rechnergestützten Entwurf von Regelungsverfahren und deren Applikation am realen Prozess. Das Institut ist neben den methodischen Arbeiten durch eine starke Anwendungsnähe geprägt und gliedert sich entsprechend seiner Kerngebiete in sieben Arbeitsgruppen. Eine der Kernkompetenzen in der Arbeitsgruppe “Biomedizintechnik” ist die Integration des Menschen in den geschlossenen Regelkreis von robotischen Systemen. Diese Kompetenz konnte das IRT bereits erfolgreich in den abgeschlossenen BMBF Projekten RoSylerNT, InRehaRob und RoPaRa nachweisen. Aktuell ist das IRT Teil des Konsortiums im BMBF Projekt PflKoRo und dort für die Perzeption und Regelung des Systems verantwortlich.

Die **Juniorprofessur Datenstrommanagement und -analyse (DSMA)** an der RWTH hat zwei zentrale Schwerpunkte. Der erste Schwerpunkt ist die Erforschung innovativer Methoden und Architekturen für ein leichtgewichtiges und verteiltes Datenstrommanagement on the Edge. Der zweite Schwerpunkt umfasst das intelligente Datenqualitätsmanagement und die Datentransparenz in Datenstromanwendungen, Data Lakes und in Datenökosystemen. Die Forschungsgruppe ist interdisziplinär ausgerichtet und wird ab Ende 2021 von **Dr. Sandra Geisler** geleitet. Sandra Geisler

leitet derzeit die Gruppe Digital Health Spaces am Fraunhofer Institut für angewandte Informationstechnik FIT und ist dort für Projekte im Bereich digitale Gesundheit verantwortlich (z.B. technische Leitung Projekt SALUS, das eine Versorgungsstudie mit 2000 geplanten Patienten umfasst, an der Krankenhäuser, niedergelassene Ärzte, Krankenkassen und Gerätehersteller beteiligt sind). Es bestehen viele Vorarbeiten im Bereich des Datenstrom- und Datenqualitätsmanagement, die im Kompetenzzentrum Anwendung finden (Geisler et al. 2021, Geisler 2020, Geisler et al. 2016, Geisler 2013, Frerich et al. 2021, Hai et al. 2016, Quix et al. 2013).

Das **Lehr- und Forschungsgebiet Rehabilitations- und Präventionstechnik (RPE)** wird geleitet von Frau **Prof. Dr. Catherine Dißelhorst-Klug**. Fokus des RPE liegt auf selbstadaptierenden Assistenzsystemen, die sich an die aktuellen Bedürfnisse des/der Patient:in anpassen, wobei Integration in den klinisch-rehabilitativen Workflow, Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit wesentliche Eckpfeiler der Entwicklung sind. Die langjährige Erfahrung in einem Arbeitsumfeld zwischen Medizin und Technik zeigt sich an einer besonderen Kompetenz in nutzer:innenzentrierten, interdisziplinären Entwicklungen, die immer von enger Zusammenarbeit mit Praxispartnern geprägt sind. Innerhalb des BMBF Projektes inRehaRob entwickelte RPE ein Verfahren zur Beurteilung der Qualität der Übungsausführung bei robotischer Assistenz. RPE ist Teil des EU-geförderten Projektes i2CoRT, in dem Strukturen für eine userzentrierte, partizipative Entwicklung und Testung komplexer Rehabilitationstechnik geschaffen werden, sowie Partner im BMBF Projekt PflKoRo und dort maßgeblich für die Entwicklung der Patient:in-Roboter-Schnittstelle verantwortlich.

Prof. Dr. Marc Hassenzahl ist Professor für „**Ubiquitous Design**“ in der Wirtschaftsinformatik der Universität Siegen (**USIEG**). Die Arbeitsgruppe (10 Designer*innen, 2 Psycholog*innen, eine Informatikerin, ein Techniker) beschäftigt sich wissenschaftlich und praktisch mit der Gestaltung interaktiver Produkte. Dies umfasst methodische Aspekte der benutzerzentrierten Analyse und Evaluation (sozialwissenschaftlich fundierte Durchführung und Analyse von Befragungen, Beobachtungen) und konkretes Erlebnis- und Interaktionsdesign. Teilbereiche des von Hassenzahl mitentwickelten „Experience Designs“ und des wohlbefindensorientierten Gestaltungsansatzes werden in mehreren aktuellen und vergangenen Projekten des BMBF gefördert (z.B. SymPartner, NoStress, HIVE, Nähe auf Distanz und e-VITA). Prof. Dr. Hassenzahl ist

Konsortialführer des RA2-Begleitforschungsprojekts GINA, unterstützt die Projekte der Förderlinie mit Gestaltungs- und Evaluationsmethoden (performative Methoden, Prototyping in VR, Partizipatives Design) und arbeitet an Qualitätsmodellen für wohlbefindensorientierte Mensch-Roboter-Interaktion. Außerdem finden seine Arbeiten Einsatz in Wirtschaftskooperationen mit z.B. Honda (Telerobotik in der Pflege) oder Siemens Healthcare (Arbeitszufriedenheit im Gesundheitswesen).

Prof. Dr.-Ing. Stefan Kopp (UBI) leitet die Arbeitsgruppe “Kognitive Systeme und soziale Interaktion” (Social Cognitive Systems) am CITEC und der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld. Er ist international ausgewiesen in der Entwicklung von KI-/lernbasierten Ansätzen für multimodale, konversationale Interaktion mit technischen Systemen wie virtuelle Agenten, VR-basierte Avatare oder soziale Roboter. Die Gruppe hat zahlreiche interaktive Assistenzsysteme und soziale Roboter in verschiedensten Kontexten entwickelt und verfügt über einschlägige Expertise im Bereich der Sprachverarbeitung/Dialogsysteme, Generierung und Verarbeitung nonverbaler Kommunikation (insbesondere Gestik) sowie der linguistisch-psychologisch/kognitiv fundierten Interaktionsanalyse und -modellierung. Stefan Kopp war u.a. koordinierend an Projekten zur intelligenten Mensch- Roboter/Technik-Interaktion beteiligt, u.a. gefördert durch EU (L2TOR, BabyRobot), DFG (Exzellenzcluster CITEC, SFB 673 Alignment in Communication, SFB/TRR 318 Constructing Explainability, EcoGest), BMBF (KOMPASS, VIVA), Land NRW (Arbeit 4.0) und VW-Stiftung (IMPACT). Die Arbeitsgruppe bringt zudem umfangreiche Erfahrungen in der ethisch-sozial reflektierten und akzeptablen Technikentwicklung ein, u.a. aus langjähriger Kooperation mit Anwendungspartnern wie den von Bodelschwingschen Stiftungen Bethel.

Die **Docs in Clouds TeleCare GmbH (DICT)** ist in den drei Themenschwerpunkten TeleCare, Consulting und medizinische Ingenieursdienstleistungen aktiv. DICT unterstützt Arztpraxen, Krankenhäuser sowie Pflegeheime bei der digitalen Transformation durch die Entwicklung und den Betrieb telemedizinischer Systeme. Ein herausragendes Produkt ist die moderne sowie sichere Anwendung „TeleDoc“, mit der Telekonsultationen durchgeführt werden können. „TeleDoc“ besitzt auch eine Zertifizierung als „Videosprechstunde“; entsprechend ist DICT bei der Kassenärztlichen Bundesvereinigung als Anbieter gelistet. Eingesetzt in der „MedCast-Plattform“, einer Cloud-basierten Systemumgebung, ermöglicht der „TeleDoc“ eine flexible telemedizi-

nische Betreuung. Eingesetzt wird das System in verschiedenen Applikationen, wie z.B. für Telekonsultationen zwischen Pflegeheim und Hausarzt oder bei Videosprechstunden zwischen Arzt und Patient.

In einem interdisziplinären Team entwickelt die **navel robotics GmbH (navel)** einen sozialen Roboter für die Pflege. Seit 2018 koordiniert navel das BMBF Projekt VIVA, in dem Interaktionsstrategien für einen Vertrauen und Sympathie schaffenden sozialen Roboter erforscht werden. Mit aktuellen Prototypen wurden bereits WoZ-Tests in Pflegeheimen durchgeführt. Der Fokus des sozialen Roboters liegt auf der verbalen und nonverbalen Kommunikation. Die mobile Roboterfigur ist ca. 80 cm hoch. Die besonderen Fähigkeiten liegen in den starken Wahrnehmungs- und Ausdrucksfähigkeiten. Durch Computer Vision und einer geplanten Soundanalyse lokal auf dem Roboter kann der Mensch ganzheitlich wahrgenommen werden (z.B. Kopf- und Blickausrichtung, Emotion). Zudem besitzt die Roboterfigur einen sehr agilen Kopf durch 3 lautlose Motoren und expressive Mimik für den nonverbalen Ausdruck. Über den Displays für Mund und Augen sind jeweils dreidimensionale Linsen gelegt. Mit den so erzeugten Augäpfeln kann ein authentischer Blickkontakt hergestellt werden.

Die **Medisana GmbH (medisana)** operiert seit 30 Jahren im Home Health Care-Markt und ist heute einer der führenden Spezialisten in der Gesundheitsvorsorge in Deutschland. Seit rund 10 Jahren widmet sich die Medisana GmbH und die 100%ige Tochter Space Technologies GmbH mit zusammen rund 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von 80 Mio. Euro der ‚Digitalen Gesundheit‘. Dabei entwickelt und vertreibt sie innovative Medizin- und Lifestyleprodukte für den Home Health Care-Markt und betreibt eine erfolgreiche Kombination aus Messgeräten, mobilen Applikationen und einer Online-Gesundheitsplattform mit über 1 Mio. registrierten Kunden. Mit der Entwicklung und Zulassung des Serviceroboters medisana robot RO 100 (Temi) wird Medisana in einem neuen, hochinnovativen Marktsegment aktiv.

Die 2017 gegründete **Varomo UG (Varomo)** entwickelt autonome Servicerobotik für das Gesundheitswesen. Der autonome Transportroboter CAREcules transportiert für seine Nutzer Lasten bis zu 60 kg. Durch die Follow-Me-Steuerung folgt der Roboter teilautonom der exakten Spur des Benutzers, unterstützt durch eine zentimetergenaue

Ortung in geschlossenen Räumen. Er ist außerdem in der Lage, vollständig autonom zu navigieren. Zum Schutz der Privatsphäre kommt CAREcules dabei ohne Internet und Kamera zurecht. Durch den modularen Aufbau ist das Transportsystem für weitere Nutzungsszenarien adaptierbar. Es kann mit Kamerasystemen, Internetverbindung und KI-gestützten Software-Erweiterungen aufgerüstet werden, um in neuen Bereichen wie Hygieneschutz zum Einsatz zu kommen.

Der **SKM Aachen e.V. (SKM)** ist ein im Jahre 1912 gegründeter gemeinnütziger Verein und als solcher Träger der Freien Wohlfahrtshilfe. Seinen regionalen Wirkungskreis fokussiert er auf die Stadt und die Städteregion Aachen. Der Verein offeriert versorgungs- und betreuungssektorenübergreifende Angebote, beginnend bei dem ambulanten Angebot der Familienpatenschaften mit seinem Schwerpunkt auf Frühe Hilfe bis hin zur stationären Langzeitpflege von Menschen in den Seniorenzentren Heilig Geist und Rothe Erde. Der SKM Aachen e.V. leistet im Rahmen seiner stationären Altenhilfe eine menschenwürdige, qualifizierte und auf die individuellen Bedürfnisse der Bewohnerinnen und Bewohner ausgerichtete Altenarbeit. Die Seniorenzentren Heilig Geist und Rothe Erde stellen durch ihr Angebot eine alternative Wohn- und Lebensmöglichkeit für pflegebedürftige alte Menschen im Sinne des SGB XI dar. Das Seniorenzentrum Rothe Erde spezialisiert sich mit seinem Angebot von 54 Betten auf demenziell erkrankte Menschen. Das Haus mit seiner vergleichsweise geringen Platzzahl für stationäre Altenhilfeeinrichtungen orientiert sich bewusst an der Tendenz der Altenhilfe zur Abkehr von institutionellen Heimmerkmale und großen Einrichtungen. Vielmehr sind Maßstäbe des Wohnungsbaus und das quartiersbezogene Einzugsgebiet handlungsleitend.

Das **FIR an der RWTH (FIR)** unter der Leitung von **Professor Volker Stich** ist seit mehr als 60 Jahren eine der führenden deutschen Forschungseinrichtungen in den Bereichen Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. Das FIR ist im Bereich der anwendungsnahen industriellen Forschung tätig und zeichnet sich durch vielseitige Methodenkompetenz bei der Gestaltung und informationstechnischen Unterstützung von Geschäftsprozessen produzierender und dienstleistender Unternehmen aus. Der Bereich Dienstleistungsmanagement befasst sich mit der konsequenten Ausrichtungen von physischen und digitalen Leistungsangeboten am Kund:innennutzen sowie die Organisation der Informations- und Wissensverteilung und Arbeitsgestaltung in

Unternehmen. Ein Fokus der Forschungsprojekte liegt dabei auf der Gestaltung von datenbasierten Geschäftsmodellen. Ein weiterer thematischer Fokus liegt auf der Gestaltung neuer Arbeitswelten. Im BMBF Forschungsprojekt GALA werden für die Gesundheitsregion Aachen digitale Werkzeuge und Modelle der Arbeitsgestaltung und Kompetenzmanagements für die Mensch-Maschine-Interaktion entwickelt.

2.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

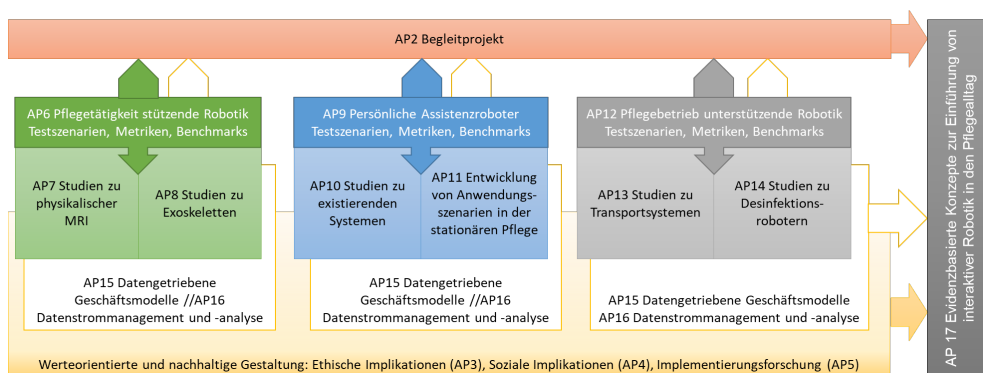


Abbildung 2.2: Arbeitspakete.

Die Konsortialführerschaft für das **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum übernimmt das **iTec** und somit auch die Leitung von AP 1 (Projektkoordination, Studienorganisation, Geschäftsmodell). Zur Mitarbeit im Begleitprojekt (AP 2, Leitung **UBI**) sind alle Projektpartner:innen aufgerufen (siehe Kapitel 2.5.4 für nähere Erläuterungen). Drei Arbeitspakete widmen sich der wertorientierten und nachhaltigen Gestaltung von Assistenzrobotik. In AP 3 Ethische Implikationen unter der Leitung von **Ethics** erfolgt die Erforschung der ethischen Randbedingungen und Implikationen der Pflegerobotik im Allgemeinen und der in diesem Projekt entwickelten Lösungen im Besonderen. AP 4 Soziale Implikationen unter der Leitung von **USIEG** hingegen fokussiert partizipatives Design in der langfristigen und kurzfristigen Perspektive realisiert über Zukunftswerkstatt und Co-Design-Methoden, im Austausch mit AP3 die Erarbeitung von Richtlinienenerweiterungen zu partizipativem Design bezüglich vulnerabler / autonomieeingeschränkter Personen sowie interdisziplinären Kompetenzaufbau und -erhalt im Projekt. Die in der Zukunftswerkstatt erarbeiteten Szenarien für Assistenzrobotik in

der Pflege werden in den APs 6, 9 und 12 einer systematisierten Anforderungsanalyse und Technologiebewertung unterzogen. Das AP 5 Nachhaltige Implementierung unter der Leitung von **UKA-P** abstrahiert und kontextualisiert die Ergebnisse der menschenzentrierten Akzeptanzforschung zu Pflegerobotik in den empirischen Arbeitspaketen (6 bis 14) als Begleitforschung zur Implementierung robotischer Systeme in der klinischen Pflege und der Langzeitpflege.

In den empirischen Arbeitspaketen werden für drei Robotersystemtypen Langzeitstudien im Feld mit existierenden Systemen durchgeführt, meist autonom teils aber auch teilautonom oder im Wizard of Oz Design. Die Arbeitspakete 6, 7 und 8 sind befasst mit Pflege- und Therapie unterstützender Robotik in physikalischer Interaktion mit Pflegefachpersonen und Patient:innen. In AP 7 untersuchen **IRT** (Leitung), **RPE** und **UKA-P** den Einfluss von technischen Gestaltungsparametern auf die Akzeptanz physikalischer Interaktion zwischen Mensch und robotische Unterstützungssystemen, während in AP8 (Leitung **IAW**) Langzeitstudien durchgeführt werden in beiden Testfeldern zum Einsatz von Exoskeletten zur Entlastung von Pflegefachpersonen. Für beide Arbeitspakete werden in AP 6 (Leitung **IAW**) übergreifend Testszenarien und Metriken entwickelt. Die Arbeitspakete 9, 10 und 11 untersuchen den Einsatz von persönlicher Assistenzrobotik. In AP10 (Leitung **iTec**) werden vier existierende Systeme (von **Varomo**, **navel**, **medisana** und **DICT**) evaluiert, auf der Basis der Evaluationsergebnisse optimiert und dann re-evaluiert. In AP11 (Leitung **UBI**) hingegen werden auf der Basis der vorhandenen Funktionen zweier Systeme partizipativ neue Use Cases entwickelt und diese ins Feld gebracht in WoZ und später autonomen Settings. Für beide Arbeitspakete werden in AP 9 (Leitung **UBI**) übergreifend Testszenarien und Metriken entwickelt. Die Arbeitspakete 12-14 untersuchen den Einsatz von den Pflegebetrieb unterstützender Robotik wobei sich AP13 (Leitung **IAW**) auf Transportsysteme fokussiert (Experteninterviews zu Logistiksystemen und Langzeitstudie mit Mikromobil im **UKA**) und AP14 (Leitung **iTec**) auf Desinfektionsroboter (Langzeiteinsatz bei **UKA** und **SKM**). Für beide Arbeitspakete werden in AP12 (Leitung **IAW**) übergreifend Testszenarien und Metriken entwickelt. Das **FIR** befasst sich in AP15 mit der Erstellung und Erprobung von innovativen, datengetriebenen Geschäftsmodellen für Assistenzrobotik im Bereich Pflege. In AP16 Datenstrommanagement und -analyse (Leitung **DSMA**) wird untersucht wie die Datenströme, die von Assistenzrobotern produziert werden, effizient

verarbeitet und für weiterverarbeitende Systeme in der Pflege aufbereitet werden können. In den abschließenden APs werden zum einen basierend auf den empirischen Ergebnissen aller im Projekt stattfindenden Studien Konzepte zur Einführung von interaktiver Robotik in den Pflegealltag erarbeitet (AP17, Leitung **IAW**). Zum anderen werden die Projektergebnisse über Transferveranstaltungen der breiten Öffentlichkeit als auch gezielt Technologieunternehmen und Pflegebetrieben zugänglich gemacht (AP18, Leitung **USIEG**).

2.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Mit Beginn der Projektlaufzeit beginnt auch die Öffentlichkeitsarbeit, sodass die ersten Projekt-ergebnisse bereits nach 18 Monaten im Rahmen von Transferveranstaltungen präsentiert werden. Somit werden Aufmerksamkeit und Kontaktmöglichkeiten geschaffen für eine Einbindung weiterer Pflegeeinrichtungen und Unternehmen in **AixistenzRobotik**. Die Veranstaltungen werden überregional beworben. Wir konnten bereits die St. Gereon Seniorendienste gmbH als assoziierten Partner gewinnen. St. Gereon ist sehr interessiert nicht nur an Transferveranstaltungen, sondern auch daran, direkt im Kompetenzzentrum mitzuwirken und in den eigenen Häusern Evaluationen von Assistenzrobotik zu ermöglichen und somit den Nutzen solcher Systeme für die eigenen Häuser zu explorieren. Sie stehen als weiteres Testfeld für Studien zur Verfügung. Auch nach Projektstart können sich interessierte Unternehmen in das Projekt einbringen und sich über die Ausgründung des Kompetenzzentrums immatrikulieren (siehe 4.2) und so weitere Studien beauftragen. Forscher:innengruppen werden über den **AixistenzRobotik** Think Tank eingebunden (AP 18), der in Kooperation mit dem KI-Center der RWTH Aachen University organisiert wird. Im Think Tank kommen Interessierte mit Projektpartner:innen in kleinen Workshops zusammen, in denen regelmäßig aus dem Projekt berichtet wird und Ergebnisse und sich daraus ergebende gemeinsame Forschungsideen bzw. die Zweit- oder Nachnutzung von aus dem Projekt verfügbar gemachten Daten besprochen werden können. Auch externe Forscher:innen werden eingebunden in den Think Tank, so beispielsweise Prof. Horst Michael Groß (TU Ilmenau). Assoziierter Partner ist die MetraLabs GmbH, die in AP 15 dem FIR als Anwendungsfall für innovative datengetriebene Geschäftsmodelle zur Verfügung stehen. Mit der AOK Rheinland/Hamburg haben Gespräche stattgefunden,

als assoziierte Partnerin mitzuwirken und Expert:innenwissen einzubringen bezüglich der gesetzlichen Rahmenbedingungen der Gesundheits- und Pflegeversicherung. Das OecherLab der Stadt Aachen (www.oecherlab.de) unterstützt das Projekt bei der Durchführung der Zukunftswerkstatt (AP4). Weitere relevante Infrastrukturen an der RWTH sind das CT² Center for Teaching and Training des UKA welches als Simulationsumgebung die Feldeinsätze in Realumgebungen vorbereiten kann sowie der Living Lab Incubator am Human-Technology Center (<https://www.humtec.rwth-aachen.de>). Die Ausbildungsakademie für Pflegeberufe an der RWTH, die Fließner Fachhochschule in Düsseldorf und der Deutsche Berufsverband für Pflegeberufe sind assoziierte Partner für den Transfer von Projektergebnissen in die Ausbildung von Pflegeberufen (AP 18). LoIs der Partner:innen liegen vor.

2.5.4 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Die Projektpartner:innen im **AixistenzRobotik** Kompetenzzentrum nehmen am Workshopangebot des Begleitprojekts RimA teil, in welchem insgesamt 12 Workshops zu den Themen Sicherheit, Geschäftsmodelle und Open Source Software geplant sind. Hier kann das Kompetenzzentrum nicht nur Nutznießerin sein, sondern sich inhaltlich in die Workshops einbringen, z.B. mit der Vorstellung der in AP 15 entwickelten datengetriebenen Geschäftsmodelle für die im Projekt beteiligten Anwendungspartner oder den Erkenntnissen aus AP 7 und 8 zu Sicherheitsaspekten physikalischer Interaktion, sowie mit Erfahrungen zur Aufbereitung der im Projekt generierten Daten zur Nach- und Zweitnutzung und entwickelten Softwarekomponenten zur Nutzung durch andere Forschende. Weiterhin nimmt das Kompetenzzentrum an den drei Wettbewerben, die durch das Begleitprojekt geplant werden, teil. Durch die Erarbeitung von standardisierten Testszenarien, beispielsweise für persönliche Assistenzroboter (AP 9.3), mit Spezifikation von Evaluationskriterien und entsprechenden Metriken, könnte **AixistenzRobotik** helfen, die Rahmenbedingungen zu liefern für einen der Wettbewerbe. Die in den APs zur „Übergreifenden Entwicklung von Testszenarien, Metriken und Benchmarks“ (AP6, AP9 und AP12) für die jeweiligen Robotersystem-Typen und Einsatzgebiete entwickelten Szenarien und Metriken werden auf ihre Übertragbarkeit auf andere Systemtypen und Einsatzgebiete überprüft. Gemeinsam mit dem Begleitprojekt kann untersucht werden, inwieweit sich die entwickelten Metriken

auf andere Domänen abstrahieren lassen, um somit das Ziel des Begleitprojektes zu unterstützen, roboterunabhängige Metriken und Benchmarks zur Bewertung von Assistenzrobotern zu realisieren sowie Assistenzroboter domänenübergreifend zu vergleichen. Zudem beteiligt sich das Kompetenzzentrum am Aufbau der im Begleitprojekt RimA geplanten Wissensplattform. Insbesondere kann Input geliefert werden in Form von 1) Handreichungen zu partizipativem Design mit vulnerablen und/oder autonomieeingeschränkten Personen als Ergänzung zu bestehenden Normen zu partizipativem Design; 2) der in **AixistenzRobotik** entwickelten disziplin-übergreifenden Wissensdatenbank in Form einer Entwurfsmustersprache in der die Kerneergebnisse des Forschungsprojekts als generische, wiederverwendbare und leicht übertragbare Lösungsschablonen für wiederkehrende Probleme direkt verfügbar sind (siehe AP 4.4). Weiterhin kooperiert das Kompetenzzentrum in Bezug auf die Verbesserung der Datenlage zur Assistenzrobotik und OSS Implementierungen (siehe z.B. AP 2.4, AP 7.4 und AP 9.5). Hierfür werden FAIRification-Workshops für die Projektpartner:innen angeboten, die für Teilnehmende aus anderen Kompetenz-zentren geöffnet werden können, um die Aufbereitung der in den Zentren anfallenden Daten für die Nachnutzung anzuleiten.

Literaturverzeichnis

- Anna M H Abrams and Astrid M Rosenthal-von der Pütten. I–C–E Framework: Concepts for Group Dynamics Research in Human-Robot Interaction. *International Journal of Social Robotics*, 12(6):1213–1229, Dec 2020.
- Véronique Aubergé, Yuko Sasa, Nicolas Bonnefond, Brigitte Meillon, Tim Robert, Jonathan Rey-Gorrez, Adrien Schwartz, Leandra Batista Antunes, Gilles De Biasi, Sybille Caffiau, and Florian Nebout. The EEE corpus: socio-affective "glue" cues in elderly-robot interactions in a Smart Home with the EmOz platform. In *5th International Workshop on EMOTION, SOCIAL SIGNALS, SENTIMENT & LINKED OPEN DATA*, page LREC, Reykjavik, Iceland, 2014. URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01003910>.
- James Auger. Speculative design: crafting the speculation. *Digital Creativity*, 24(1): 11–35, 2013.
- J-P Beck. Are we ready for AI? why innovation in tech needs to be matched by investment in people. *Eurohealth*, 25(3):9–11, 2019.
- Kirsten Beedholm, Kirsten Frederiksen, Anne-Marie Skovsgaard Frederiksen, and Kirsten Lomborg. Attitudes to a robot bathtub in danish elder care: A hermeneutic interview study. *Nursing & Health Sciences*, 17(3):280–286, 2015.
- Momotaz Begum, Rosalie Wang, Rajibul Huq, and Alex Mihailidis. Performance of daily activities by older adults with dementia: The role of an assistive robot. In *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pages 1–8, June 2013.
- Melanie Birks, Marie Bodak, Joanna Barlas, June Harwood, and Mary Pether. Robotic seals as therapeutic tools in an aged care facility: A qualitative study. *Journal of Aging Research*, 2016:1–7, 2016.
- Alain D Biron, Carmen G Loiselle, and Mélanie Lavoie-Tremblay. Work interruptions and their contribution to medication administration errors: An evidence review. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 6(2):70–86, 2009.

- Christina Bröhl, Jochen Nelles, Christopher Brandl, Alexander Mertens, and Verena Nitsch. Human–robot collaboration acceptance model: development and comparison for germany, japan, china and the usa. *International Journal of Social Robotics*, 11 (5):709–726, 2019.
- Christine Buchanan, M Lyndsay Howitt, Rita Wilson, Richard G Booth, Tracie Risling, and Megan Bamford. Predicted influences of artificial intelligence on the domains of nursing: Scoping review. *JMIR Nursing*, 3(1):e23939, 2020.
- Christian Buhtz, Denny Paulicke, Sebastian Hofstetter, and Patrick Jahn. Technikaffinität und fortbildungsinteresse von auszubildenden der pflegfachberufe: eine onlinebefragung. *HeilberufeScience*, 11(1):3–12, 2020.
- Sebastian Bußmann and Susanne Seyda. Fachkräfteengpässe in Unternehmen: Die Altersstruktur in Engpassberufen. Technical report, KOFA-Studie, 2015.
- Felix Carros, Johanna Meurer, Diana Löffler, David Unbehaun, Sarah Matthies, Inga Koch, Rainer Wieching, Dave Randall, Marc Hassenzahl, and Volker Wulf. *Exploring Human-Robot Interaction with the Elderly: Results from a Ten-Week Case Study in a Care Home*, pages 1–12. Association for Computing Machinery, 2020.
- Wendy Chaboyer, Emma Harbeck, Bih-O Lee, and Laurie Grealish. Missed nursing care: An overview of reviews. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 37(2): 82–91, 2021.
- Wan-Ling Chang, Selma Šabanović, and Lesa Huber. Use of seal-like robot PARO in sensory group therapy for older adults with dementia. In *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 101–102, 2013.
- Anthony Dunne and Fiona Raby. *Speculative everything: design, fiction, and social dreaming*. MIT press, 2013.
- Kai Frerich, Mark Bukowski, Sandra Geisler, and Robert Farkas. On the potential of taxonomic graphs to improve applicability and performance for the classification of biomedical patents. *Applied Sciences*, 11(2), 2021.
- Ainara Garzo, L. Martinez, Melvin Isken, Dietwig Lowet, and Anthony Remazeilles. User studies of a mobile assistance robot for supporting elderly: methodology and

- results. In *Workshop on Assistance and Service robotics in a human environment at IROS'12*, 10 2012.
- Sandra Geisler. Data Stream Management Systems. In Phokion G Kolaitis, Maurizio Lenzerini, and Nicole Schweikardt, editors, *Data Exchange, Integration, and Streams*, volume 5 of *Dagstuhl Follow-Ups*, pages 275–304. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2013. ISBN 978-3-939897-61-3.
- Sandra Geisler. Complex Event Processing. In *Encyclopedia of Big Data*. Springer International Publishing, 2020.
- Sandra Geisler, Christoph Quix, Sven Weber, and Matthias Jarke. Ontology-based data quality management for data streams. *Journal for Data and Information Quality*, 7(4):1–34, 2016.
- Sandra Geisler, Maria-Esther Vidal, Cinzia Cappiello, Bernadette Farias Lóscio, Avigdor Gal, Matthias Jarke, Maurizio Lenzerini, Paolo Missier, Boris Otto, Elda Paja, Barbara Pernici, and Jakob Rehof. Knowledge-driven data ecosystems towards data transparency. *CoRR*, abs/2105.09312, 2021. URL <https://arxiv.org/abs/2105.09312>.
- Christine Gustafsson, Camilla Svanberg, and Maria Müllersdorf. Using a robotic cat in dementia care: A pilot study. *Journal of Gerontological Nursing*, 41(10):46–56, 2015.
- Rihan Hai, Sandra Geisler, and Christoph Quix. Constance: An intelligent data lake system. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data, SIGMOD '16*, pages 2097–2100. Association for Computing Machinery, 2016. ISBN 9781450335317.
- Denise Hebesberger, Christian Dondrup, Tobias Koertner, Christoph Gisinger, and Juergen Pripfl. Lessons learned from the deployment of a long-term autonomous robot as companion in physical therapy for older adults with dementia: A mixed methods study. In *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction, HRI '16*, pages 27–34. IEEE Press, Mar 2016. ISBN 9781467383707.

- Denise Hebesberger, Tobias Koertner, Christoph Gisinger, and Jürgen Pripfl. A long-term autonomous robot at a care hospital: A mixed methods study on social acceptance and experiences of staff and older adults. *International Journal of Social Robotics*, 9(3):417–429, 2017a.
- Denise Viktoria Hebesberger, Christian Dondrup, Christoph Gisinger, and Marc Hanheide. Patterns of use: How older adults with progressed dementia interact with a robot. In *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '17, pages 131–132. Association for Computing Machinery, 2017b. ISBN 9781450348850.
- Dörte Heger. Wachstumsmarkt Pflege. In Klaus Jacobs, Adelheid Kuhlmeier, Stefan Greß, Jürgen Klauber, and Antje Schwinger, editors, *Pflege-Report 2021: Sicherstellung der Pflege: Bedarfslagen und Angebotsstrukturen*. Springer Berlin Heidelberg, 2021.
- Steven R Hirshorn, Linda D Voss, and Linda K Bromley. Nasa systems engineering handbook. Technical report, NASA, 2017.
- Laura Hoffmann, Nikolai Bock, and Astrid M Rosenthal-von der Pütten. The Peculiarities of Robot Embodiment (EmCorp-Scale): Development, Validation and Initial Test of the Embodiment and Corporeality of Artificial Agents Scale. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '18, pages 370–378. Association for Computing Machinery, 2018. ISBN 9781450349536.
- Lukáš Hruška, Peter Sinčák, Norbert Ferencík, and Ivan Čík. Application of cloud-based social robotics in cognitive exercises for elderly people. In *2020 IEEE 18th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, pages 57–62, 2020.
- Sooyeon Jeong, Deirdre E. Logan, Matthew S. Goodwin, Suzanne Graca, Brianna O'Connell, Honey Goodenough, Laurel Anderson, Nicole Stenquist, Katie Fitzpatrick, Miriam Zisook, Luke Plummer, Cynthia Breazeal, and Peter Weinstock. *A Social Robot to Mitigate Stress, Anxiety, and Pain in Hospital Pediatric Care*. Association for Computing Machinery, 2015.

- Elizabeth S. Kim, Lauren D. Berkovits, Emily P. Bernier, Dan Leyzberg, Frederick Shic, Rhea Paul, and Brian Scassellati. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(5):1038–1049, May 2013.
- Tobias Krick, Kai Huter, Dominik Domhoff, Annika Schmidt, Heinz Rothgang, and Karin Wolf-Ostermann. Digital technology and nursing care: a scoping review on acceptance, effectiveness and efficiency studies of informal and formal care technologies. *BMC Health Services Research*, 19(1):400, Jun 2019. ISSN 1472-6963. doi: 10.1186/s12913-019-4238-3. URL <https://bmchealthservres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12913-019-4238-3>.
- J Kriegel, V Grabner, L Tuttle-Weidinger, and I Ehrenmüller. Socially assistive robots (SAR) in in-patient care for the elderly. *Stud Health Technol Inform*, 260:178—185, 2019.
- Adelheid Kuhlmeiy, Stefan Blüher, Johanna Nordheim, and Jan Zöllick. Technik in der Pflege—Einstellungen von professionell Pflegenden zu Chancen und Risiken neuer Technologien und technischer Assistenzsysteme. Abschlussbericht für das Zentrum für Qualität in der Pflege (ZQP), Zentrum für Qualität in der Pflege (ZQP), 2019. URL <https://www.zqp.de/wp-content/uploads/ZQP-Bericht-Technik-profPflege.pdf>.
- Kaiko Kuwamura, Shuichi Nishio, and Shinichi Sato. Can we talk through a robot as if face-to-face? Long-term fieldwork using teleoperated robot for seniors with alzheimer’s disease. *Frontiers in Psychology*, 7:1066, 2016.
- Lundy Lewis, Ted Metzler, and Linda Cook. Evaluating human-robot interaction using a robot exercise instructor at a senior living community. In Naoyuki Kubota, Kazuo Kiguchi, Honghai Liu, and Takenori Obo, editors, *Intelligent Robotics and Applications*, pages 15–25. Springer International Publishing, 2016.
- Hwey-Fang Liang, Kuang-Ming Wu, Cheng-Hsing Weng, and Hui-Wen Hsieh. Nurses’ views on the potential use of robots in the pediatric unit. *Journal of Pediatric Nursing*, 47:e58–e64, 2019.

David M Lyreskog, Jason Karlawish, and Saskia K Nagel. Where Do You End, and I Begin? How Relationships Confound Advance Directives in the Care of Persons Living with Dementia. *The American Journal of Bioethics*, 20(8):83–85, Aug 2020. doi: 10.1080/15265161.2020.1781967. URL <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15265161.2020.1781967>. PMID: 32757921.

John C Mankins et al. Technology readiness levels. *White Paper, April*, 6(1995):1995, 1995.

Wendy Moyle, Cindy Jones, Jenny Murfield, Lukman Thalib, Elizabeth Beattie, David Shum, and Brian Draper. Using a therapeutic companion robot for dementia symptoms in long-term care: reflections from a cluster-RCT. *Aging & Mental Health*, 23(3):329–336, 2019.

Saskia K Nagel. Autonomy—a genuinely gradual phenomenon. *AJOB Neuroscience*, 4(4):60–61, 2013. doi: 10.1080/21507740.2013.827278. URL <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21507740.2013.827278>.

Saskia K Nagel. When aid is a good thing: Trusting relationships as autonomy support in health care settings. *The American Journal of Bioethics*, 15(10):49–51, 2015. doi: 10.1080/15265161.2015.1074316. URL <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15265161.2015.1074316>. PMID: 26479105.

Saskia K Nagel. Zwischen Autonomie und Abhängigkeit: die Bedeutung von Beziehung und Vertrauen in der Pflege. In Manfred Hülsken-Giesler, editor, *Neue Technologien in der Pflege – Grundlegende Reflexionen und pragmatische Befunde*. Vandenhoeck und Ruprecht, unipress, Göttingen, accepted.

Saskia K Nagel and Peter B Reiner. Autonomy support to foster individuals’ flourishing. *The American Journal of Bioethics*, 13(6):36–37, 2013. doi: 10.1080/15265161.2013.781708. URL <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15265161.2013.781708>. PMID: 23641849.

Saskia K Nagel, Saskia Kathi Nagel, Victoria Hrincu, and Peter B Reiner. Algorithm anxiety: Do decision-making algorithms pose a threat to autonomy? In *2nd IEEE International Symposium on Ethics in Engineering, Science and Technology, ETHICS 2016*, 2016.

- F Niker, . Felsen, S Nagel, and P B Reiner. Autonomy, evidence-responsiveness, and the ethics of influence. *Neuroscience and the Future of Freedom of Thought*, im Erscheinen.
- Joseph Andrew Pepito and Rozzano Locsin. Can nurses remain relevant in a technologically advanced future? *International Journal of Nursing Sciences*, 6(1):106–110, 2019.
- Michaela Pfadenhauer and Christoph Dukat. Robot caregiver or robot-supported caregiving? *International Journal of Social Robotics*, 7(3):393–406, Jun 2015.
- C Quix, J Barnickel, S Geisler, M Hassani, S Kim, X Li, A Lorenz, T Quadflieg, T Gries, M Jarke, S Leonhardt, U Meyer, and T Seidl. HealthNet: a system for mobile and wearable health information management. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Management for Mobile Applications, Riva del Garda, Italy, August 26, 2013.*, pages 36–43, 2013.
- Hartmut Remmers and Saskia K. Nagel. *Ethical Conflicts Regarding Technical Assistance Systems for the Elderly*, pages 7133–7141. Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition. IGI Global, 2015.
- Laurel D Riek. Wizard of Oz Studies in HRI: A Systematic Review and New Reporting Guidelines. *J. Hum.-Robot Interact.*, 1(1):119–136, July 2012. doi: 10.5898/JHRI.1.1.Riek. URL <https://doi.org/10.5898/JHRI.1.1.Riek>.
- Astrid M Rosenthal-von der Pütten and Nikolai Bock. Development and Validation of the Self-Efficacy in Human-Robot-Interaction Scale (SE-HRI). *J. Hum.-Robot Interact.*, 7(3), December 2018.
- Astrid Marieke Rosenthal-von der Pütten, Nicole C Krämer, and Sabrina C Eimler. Living with a robot companion: Empirical study on the interaction with an artificial health advisor. In *Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces, ICMI '11*, pages 327–334. Association for Computing Machinery, 2011. ISBN 9781450306416.
- Astrid Marieke Rosenthal-von der Pütten, Nikolai Bock, and Katharina Brockmann. Not Your Cup of Tea? How Interacting With a Robot Can Increase Perceived

- Self-Efficacy in HRI and Evaluation. In *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '17*, pages 483–492. Association for Computing Machinery, 2017. ISBN 9781450343367.
- Selma Šabanović, Casey C Bennett, Wan-Ling Chang, and Lesa Huber. Paro robot affects diverse interaction modalities in group sensory therapy for older adults with dementia. In *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pages 1–6, June 2013.
- Faridun Sattarov and Saskia K Nagel. Building trust in persuasive gerontechnology: User-centric and institution-centric approaches. *Gerontechnology : international journal on the fundamental aspects of technology to serve the ageing society*, 18(1): 1–14, 2019. ISSN 1569-1101.
- Rhonda R Schoville and Marita G Titler. Guiding healthcare technology implementation: A new integrated technology implementation model. *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, 33(3), 2015.
- Renate Stemmer. Beruflich Pflegende – Engpass oder Treiber von Veränderungen? In Klaus Jacobs, Adelheid Kuhlmei, Stefan Greß, Jürgen Klauber, and Antje Schwinger, editors, *Pflege-Report 2021: Sicherstellung der Pflege: Bedarfslagen und Angebotsstrukturen*, pages 173–184. Springer Berlin Heidelberg, 2021.
- S Shyam Sundar, Eun Hwa Jung, T Franklin Waddell, and Ki Joon Kim. Cheery companions or serious assistants? Role and demeanor congruity as predictors of robot attraction and use intentions among senior citizens. *International Journal of Human-Computer Studies*, 97:88–97, 2017.
- Huei-Chuan Sung, Shu-Min Chang, Mau-Yu Chin, and Wen-Li Lee. Robot-assisted therapy for improving social interactions and activity participation among institutionalized older adults: A pilot study. *Asia-Pacific Psychiatry*, 7(1):1–6, Mar 2015.
- Craig J Sutherland, Byeong Kyu Ahn, Bianca Brown, Jongyoon Lim, Deborah L Johanson, Elizabeth Broadbent, Bruce A MacDonald, and Ho Seok Ahn. The doctor will see you now: Could a robot be a medical receptionist? In *2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 4310–4316, 2019.

- Tetsuya Tanioka. Nursing and rehabilitative care of the elderly using humanoid robots. *The Journal of Medical Investigation*, 66(1.2):19–23, 2019.
- Adriana Tapus, Cristian Tapus, and Maja J Mataric. The use of socially assistive robots in the design of intelligent cognitive therapies for people with dementia. In *2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pages 924–929, 2009.
- Techniker Krankenkasse. Gesundheitsreport 2019 – Pflegefall Pflegebranche? So geht’s Deutschlands Pflegekräften. Hauptabschnitt Themenschwerpunkt, Techniker Krankenkasse, Hamburg, 2019.
- Sofia Thunberg, Fredrik Angström, Tim Carsting, Petra Faber, Jens Gummesson, Alexander Henne, Daniel Mastell, Jesper Mjörnman, Joel Tell, and Tom Ziemke. *A Wizard of Oz Approach to Robotic Therapy for Older Adults With Depressive Symptoms*. Association for Computing Machinery, 2021.
- Daniel W Tigard, Niël H Conradie, and Saskia K Nagel. Socially responsive technologies: toward a co-developmental path. *AI & SOCIETY*, 35(4):885–893, Dec 2020.
- Emmanouil G Tsardoulias, Athanassios M Kintsakis, Konstantinos Panayiotou, Aristeidis G Thallas, Sofia E Reppou, George G Karagiannis, Miren Iturburu, Stratos Arampatzis, Cezary Zielinski, Vincent Prunet, Fotis E Psomopoulos, Andreas L Symeonidis, and Pericles A Mitkas. Towards an integrated robotics architecture for social inclusion – the RAPP paradigm. *Cognitive Systems Research*, 43:157–173, 2017.
- Sherry Turkle, Will Taggart, Cory D Kidd, and Olivia Dasté. Relational artifacts with children and elders: the complexities of cybercompanionship. *Connection Science*, 18(4):347–361, 2006.
- Tijs Vandemeulebroucke, Bernadette Dierckx de Casterlé, Laura Welbergen, Michiel Massart, and Chris Gastmans. The ethics of socially assistive robots in aged care. a focus group study with older adults in flanders, belgium. *The Journals of Gerontology. Series B*, 75(9):1996–2007, October 2020. ISSN 1079-5014. doi: 10.1093/geronb/gbz070.

Justin Walden, Eun Hwa Jung, S. Shyam Sundar, and Ariel Celeste Johnson. Mental models of robots among senior citizens: An interview study of interaction expectations and design implications. *Interaction Studies*, 16(1):68–88, 2015.

Oded Zafrani and Galit Nimrod. Towards a holistic approach to studying human-robot interaction in later life. *The Gerontologist*, 59(1):e26–e36, 2018.

Jürgen Zerth, Peter Jaensch, and Sebastian Müller. Technik, Pflegeinnovation und Implementierungsbedingungen. In Klaus Jacobs, Adelheid Kuhlmeier, Stefan Greß, Jürgen Klauber, and Antje Schwinger, editors, *Pflege-Report 2021: Sicherstellung der Pflege: Bedarfslagen und Angebotsstrukturen*. Springer Berlin Heidelberg, 2021.

Alltagsassistentz-Roboterlabor (CeRA4HRI)

Förderkennzeichen 16SV8622

Michael Beetz¹, Frank Kirchner², Rainer Malaka³, Andreas Breiter⁴, Uwe Engel⁵,
Dagmar Borchers⁵, Martin G. Moehrle⁶, Iris Kirchner-Freis⁷, Elsa A. Kirchner⁸,
Juliane Jarke⁵, Jonas Reiling⁹, Holger Bothmer¹⁰, Michael Lawo⁵, Nils Denter⁶,
Niels Will² und Daniel Nyga⁵



⁵Universität Bremen
Bibliothekstraße 1
28359 Bremen

⁸Universität Duisburg Essen
Forsthausweg 2
47057 Duisburg

⁹Ubica Robotics GmbH
Konsul-Smidt-Straße 20
28217 Bremen

¹⁰neusta mobile solutions GmbH
Konsul-Smidt-Straße 24
28217 Bremen

¹ Universität Bremen, IAI
Am Fallturm 1
28359 Bremen

³Universität Bremen, TZI
Am Fallturm 5
28359 Bremen

⁷Institut für IT-, Medien- und Immaterialgüterrecht
Parkallee 231
28213 Bremen

⁶Universität Bremen
Institut für Projektmanagement
und Innovation
Enrique-Schmidt-Straße 1
28359 Bremen

⁴Universität Bremen
Zentrum f. Medien-, Kommunikations-
und Informationsforschung
Linzer Str. 4
28359 Bremen

²Deutsches 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.

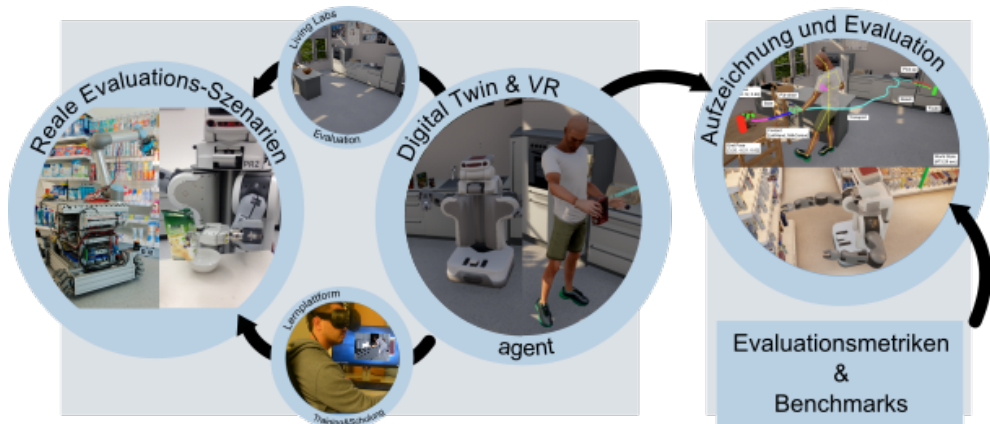


Abbildung 3.1: Architektur des Kompetenzzentrums CeRA4HRI.

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).

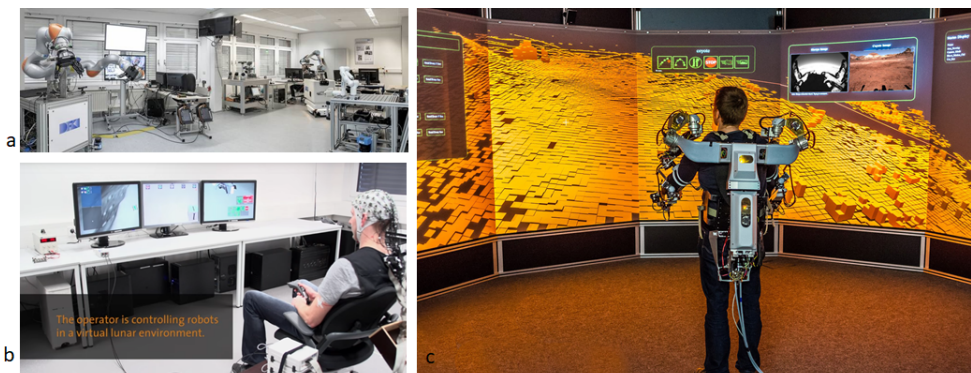


Abbildung 3.3: a) MRK Labor, b) Brain Behavioral Integration Lab, c) Virtual Reality Lab (Fotos: DFKI)

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 niedrighwellige 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.

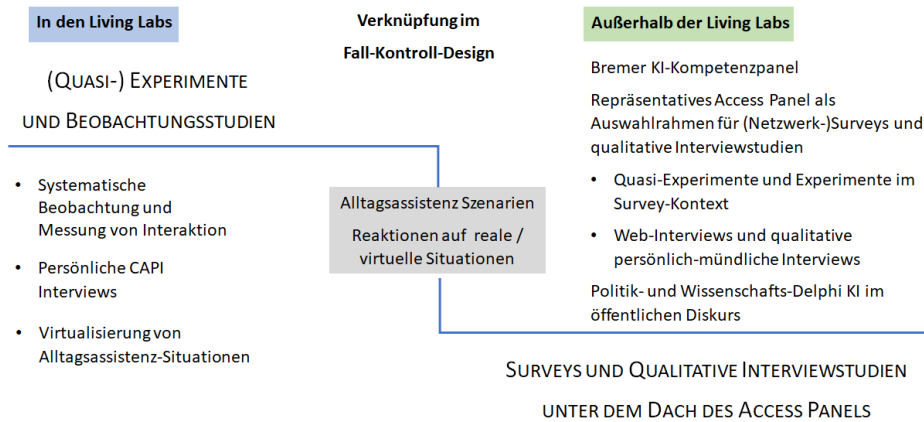


Abbildung 3.8: Darstellung des methodischen Vorgehens in CeRA4HRI innerhalb und außerhalb der Living Labs zur Absicherung der Ergebnisse bezüglich der Interaktion mit Assistentenrobotern

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 Efrting, 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.

Kompetenzzentrum für Baurobotik im Hochbau (CONSAS)

Förderkennzeichen 16SV8637

Alexander Kuhn¹, Jan Niklas Franzius¹, Dennis Möller¹, Norbert Pralle¹, Franziska Reich¹, René Hellmuth², Anne-Sophie Tombeil², Günter Wenzel², Thomas Linner³, Marc Schmailzl³, Rongbo Hu³, Thomas Bock³, Christophe Maufroy⁴, Verena Kopp⁴, Nico Bölke⁴ und Urban Daub⁴



¹Ed. Züblin AG
Albstadtweg 3
70567 Stuttgart

²Fraunhofer IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

³Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik
der Technischen Universität München
Universitätsstraße 25
33615 Bielefeld

⁴Fraunhofer IPA
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

4.1 Ziele des Kompetenzzentrums

4.1.1 Hintergründe und Problemstellung

Die Bauindustrie hat eine Schlüsselfunktion im Hinblick auf zentrale gesellschaftliche Themen und Innovationsbereiche in Deutschland. Sie stellt die Basis dar für: smarte und resiliente Städte, effiziente Renovierung im Hinblick auf nachhaltige Gebäude, Lösung der Wohnraum- und Mietpreisproblematik, qualitativ hochwertige Krankenhäuser, Schulen, und Altenheime sowie dazu notwendige Maßnahmen im COVID-19-Kontext, etc. Die Digitalisierung und Automatisierung in der deutschen Bauindustrie verspricht sowohl für die mittelständischen Unternehmen dieser Industrie als auch für die vielfältige Landschaft an deutschen Technologieunternehmen enorme Chancen und Wettbewerbsvorteile im internationalen Kontext. Insbesondere die Assistenzrobotik für das Bauwesen bietet die Möglichkeit Deutschland zu einem Vorreiter zu machen und neue Berufsfelder und Arbeitsplätze zu erschließen. Assistenzrobotik für das Bauwesen erlaubt es über dringend notwendige Produktivitätssteigerungen hinaus Aspekte wie Qualität, Gesundheit am Arbeitsplatz, Nachhaltigkeit und Zirkularität integrativ zu adressieren. CONSAS wird diese Potenziale erschließen und die Grundlage für die Entwicklung der ersten, funktionierenden Wertschöpfungskette in diesem Bereich bilden.¹

Die Bauindustrie und insbesondere die deutsche Bauindustrie stellt aufgrund der mit ihr in Verbindung stehenden Arbeitsplätze, Wertschöpfungsketten und weiterer an der Bauwertschöpfungskette beteiligter Akteure eine der wichtigsten Industrien Europas dar. Dennoch gibt es kaum eine andere Industrie, in der noch ähnlich viel schwere, körperliche aber auch gleichzeitig gefährliche Arbeiten verrichtet werden, wie in der Bauindustrie. Hinzu kommen Schadstoffbelastungen durch giftige Dämpfe oder Feinstaubbelastung durch „Baustellenstaub“. Wenngleich sich die Arbeitssicherheitsvorkehrungen auf sehr hohem Niveau befinden, werden in kaum einer anderen Industrie noch ähnlich viele Tätigkeiten manuell verrichtet. Gleichzeitig steigen die Anforderungen durch einen höheren Montageanteil aufgrund größerer und komplexer

¹<https://www.rolandberger.com/en/Media/\Digitization-in-the-construction-sector.html>; FIEC, Construction Industry in Europe, 2019 Report <https://www.fiec.eu/library/publications/blabla>

Bauteile kontinuierlich. Die Folge ist ein früheres Ausscheiden aus dem Arbeitsleben durch die Schwere der körperlichen Arbeit – häufig mit negativen Gesundheitsfolgen. Ebenso wie andere physisch beanspruchende Branchen, beispielsweise die Pflegebranche, kämpft die Baubranche aktuell mit einem akuten Personal- und Fachkräftemangel, der sich durch den demographischen Wandel zukünftig noch verschärfen wird. Die hohe physische Belastung in Verbindung mit dem geringen Einsatz von Technologie zur Verbesserung von Faktoren wie Arbeitsumfeld, Arbeitsorganisation und Ergonomie ist einer der Hauptgründe für die mangelnde Attraktivität der vielfältigen Berufsbilder in der Bauindustrie bei jungen Leuten. Insofern ist der Bedarf und gleichzeitig auch das Potenzial für den Einsatz von Assistenzrobotik im Bausektor außerordentlich hoch.

Damit einher geht die Tatsache, dass die Bauindustrie eine der am wenigsten automatisierten Industrien ist². Bock (2007) konstatiert ein nur mäßiges Interesse an Baurobotik, einem forschungs- und entwicklungsintensiven Teil des zukünftigen Baugeschehens, und fürchtet sogar, dass langfristig der Markt an ausländische Konkurrenten verloren gehen wird.³ Zum einen fehlen in Deutschland für die Schaffung grundlegend neu konzipierter, flexibel automatisierter oder robotisierter Systeme und Prozesse bisher noch die wesentlichen Voraussetzungen. Zum anderen ist verglichen mit anderen Branchen eine ausgeprägte FuE-Tätigkeit bzw. eine wissenschaftliche Herangehensweise an Probleme historisch wenig bis gar nicht entwickelt. Herausforderungen werden *ad hoc* und im Einzelfall durch Bauleiter auf der Baustelle gelöst. Systematische und nachhaltige Problemlösungsansätze werden in der Regel nicht verfolgt. Jedes Bauwerk wird als Unikat gesehen: dieses „Projektdenken“ bremst die automatisierungsgerechte Strukturierung und Standardisierung von Bauprozessen, die für einen konsequenten Einsatz von Robotern auf der Baustelle notwendig wäre. Die gewerkeweise Vergabe von Bauleistungen an Nachunternehmer (NU) stellt ein weiteres Hemmnis für die Einführung von Baurobotik durch den Generalunternehmer (GU) dar: nicht nur Prozesse müssen neu entworfen auch die klassischen Geschäftsmodelle müssen in diesem Zusammenhang überdacht werden.

Neben den technischen und baukulturellen Faktoren stehen die wirtschaftlichen Belan-

²Gründe für die mangelnde Automatisierung am Bau wurden u. a. von Delgado et al. (2019) und Yahya et al. (2019) herausgearbeitet, ausführlicher bei Mahbub (2008).

³Bock (2007), S. 29.

ge. Auf Seiten der Bauunternehmer sind die hohen anfänglichen Investitionskosten und die nicht zwingende Notwendigkeit, die Produktivität zu verbessern, als wichtigste Hemmnisse zu nennen. Das Bauwesen ist eine Industrie mit geringen Gewinnmargen und hohem Risiko, deshalb ist die Einführung von innovativen und kostspieligen Technologien in der Praxis selten umsetzbar. Der unklare Nutzen, den ein Bauunternehmen aus der Robotisierung seiner Prozesse ziehen kann, ist ein weiterer bremsender Faktor. Aktuell stehen keine belastbaren Daten zur Verfügung, die belegen, dass der Einsatz von Robotern eine signifikante Kostenreduktion herbeiführt. Auf Seiten der Auftraggeber spielt die öffentliche Hand als größter Bauherr in den meisten industrialisierten Ländern eine entscheidende Rolle bei der Einführung neuer Technologien. Die derzeitige Ausschreibungspraxis, die den „niedrigsten Preis“ als wichtigstes Kriterium für die Vergabe von Projekten vorschreibt, stellt eine große Einschränkung für Innovationen dar. In einem hart umkämpften Markt neigen Bauunternehmen dazu, ihre Gewinnspannen aggressiv zu reduzieren, und die Möglichkeit neue Technologien einzuführen bleibt begrenzt. Erst mit den Instrumenten der digitalen Informationsverarbeitung hat in den letzten Jahren auch im Bauwesen ein Umdenken eingesetzt. Durch den zunehmenden Einsatz digitaler Tools und Methoden und v. a. durch die Möglichkeit Bauabläufe digital zu planen, reift das Bewusstsein, dass Prozesse automatisiert und standardisiert, und sich wiederholende Tätigkeiten auch von Robotern unterstützt werden können.

4.1.2 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Gesamtziel des Vorhabens ist die Erarbeitung eines systematischen, integrativen Ansatzes für den Einsatz von Assistenzrobotik auf Hochbaubaustellen unter Einbindung aller Akteure der Baurobotik. Durch systematisches Testen von bauspezifischen Roboterlösungen sollen strukturierte Erfahrungen mit der Anwendung von mobilen Roboterassistenten (Cobots) und bewegungsunterstützenden Robotern (Exoskelette) *in situ* auf der Baustelle gesammelt und grundlegende Vorbereitungen für deren flächendeckenden Einsatz geschaffen werden. Das Kompetenzzentrum CONSAS adressiert folgende Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte:

- Auswertung und Bewertung von Assistenzrobotern auf physische Entlastung, Ergonomie und Vermeidung gesundheitlicher Schäden bei den BaustellenmitarbeiterInnen,
- Integration von Assistenzrobotern in bestehende Bauprozesse bzw. Anpassung der Bauprozesse an neukonzipierte modellbasierte Roboterprozesse,
- Entwicklung von Use-Cases, Test-Szenarien, Metriken und Benchmarks für die qualitative Bewertung von Mensch-Roboter-Interaktionen (MRI) mit besonderem Fokus auf die Usability und User Experience der Nutzergruppen, die Funktionsfähigkeit und Aufgabenerfüllung im Baustellen-Kontext, sowie die ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen,
- Erhebung einer konsistenten Datenbasis zum Langzeiteinsatz von Assistenzrobotern auf Baustellen, sowie Auswertung aller erhobenen Daten und Bewertung von Assistenzrobotern auf deren Potenzial für Sicherheit, Gesundheitsschutz, Effizienz- und Qualitätssteigerung,
- Stakeholder-gerechte Aufbereitung der Ergebnisse, insbesondere detailliertes Feedback an Bauroboterhersteller in Bezug auf die erhobenen Anforderungen von Nutzern und Anwendungsgebiet, sowie auf identifiziertes Optimierungspotenzial,
- Entwicklung von Geschäftsmodellen und Dienstleistungen für Robotik-Einsätze im Hochbau,
- Entwicklung eines industrieorientierten Konzepts für die Integration von Baurobotik in Ausbildung, Weiterbildung und Lehre,
- Kontinuierlicher und praxisorientierter Transfer der Projektergebnisse zu Unternehmen der Bauindustrie inkl. Beratung bzgl. robotisierter Tätigkeiten am Bau, Demonstration, Aus- und Weiterbildungsangebote, zu den industriellen Entwicklern (branchenübergreifend) und Entscheidungsträgern,
- Kontinuierliche Weiterentwicklung und Nachjustierung der Leistungen des Kompetenzzentrums CONSAS als Ansprechpartner für alle Akteure der Baurobotik.

4.2 Stand der Wissenschaft und Technik

4.2.1 Automatisierung und Robotik im Bauwesen

Die ersten speziell für das Bauwesen bestimmten Roboter wurden in den 1970er Jahren in Japan entwickelt mit dem Ziel Qualität und Standardisierung zu erhöhen und dem damals schon vorherrschenden Arbeitskräftemangel entgegen zu wirken. Die Entwicklung der Automatisierung und Robotisierung in der Vorfertigung kann in direktem Zusammenhang mit dem erfolgreichen Einsatz von Robotern in anderen Fertigungsbranchen gesetzt werden. Erst die Einführung der großanlagentechnischen und vermarktungsorientierten Fertigungsverfahren, der Qualitätssteuerung und die Erkenntnis, dass die industrielle Produktion der Nachfrage entsprechende kundenindividuelle Produkte liefern muss, gewährleisten seit den achtziger Jahren eine konstante und auf den Kunden zugeschnittene Produktqualität.⁴ Automatisierte Off-Site-Vorfertigungssysteme umfassen *Building Component Manufacturing* (BCM)-Ansätze die Materialien (Beton, Ziegel, Holz, Stahl, etc.) und Low-Level-Komponenten in hochwertige Gebäudekomponenten umwandeln, bspw. können heute komplexe Betonfertigteile, Stahlträger, Holzbauteile, Wand-, Boden- oder Dachelemente weitestgehend automatisiert in Produktionshallen gefertigt werden. Dabei kommen vorwiegend sogenannte Roboterzellen zum Einsatz: diese industriellen Robotersysteme bleiben vom menschlichen Arbeitsraum getrennt und werden durch hochautomatisierte Prozessketten und Informationsflüsse gesteuert. Kollaborative Systeme (MRK) sind noch selten, weisen aber bspw. als Power Tool bei repetitiven Tätigkeiten ein großes Entlastungspotenzial für den Menschen auf.⁵ In *Large-Scale-Prefabrication* (LSP)-Ansätzen werden z. B. Gebäudemodule (vorgefertigte Bad- oder Küchenmodule) oder ganze Gebäudeeinheiten

⁴Die wissenschaftlichen Arbeiten von T. Bock und T. Linner 2012, 2015, 2015, 2016a, 2016b, 2019 (Institut für Baurealisierung und Baurobotik, TU München) bilden die Grundlage für das heutige Verständnis der Entwicklung von Automatisierung und Robotisierung im Bauwesen. Zukunftsweisende theoretische Arbeiten sowie systematische Auswertungen von Roboterapplikationen bereits in den 1970-1980er Jahren in Japan, sowie die Mitarbeit an Produktionssystemen in Europa, USA und Asien zeichnen die Forschungsarbeit des Institutes aus und fließen in diese Darstellung mit ein. Die Serie "Cambridge Handbooks in Construction Robotics" (2015-2019) bietet einen nahezu vollständigen Überblick zur Thematik. Eine Auswahl weiterer einschlägiger Publikationen ist im Literaturverzeichnis zu finden.

⁵Der Anteil kollaborativer Roboter im Verhältnis zur Gesamtmenge aller installierten Industrieroboter betrug im Jahr 2018 laut World Robotics Report der IFR (2019) lediglich 3,24 %. Das entspricht knapp 14.000 Einheiten weltweit. Siehe Brandstötter and Komenda (2020), S. 2-3.

ten in der Fabrik gefertigt und auf der Baustelle montiert. Auch in diesem Bereich gelten frühe japanische Entwicklungen als Impulsgeber.⁶ Der Erfolg der automatisierten Vorfertigung im Bauwesen kann zum einen auf die Gewährleistung hoher Qualitätsstandards in einer Produktion unter kontrollierten Bedingungen zurückgeführt werden; zum anderen birgt das Bauen mit vorgefertigten Gebäudekomponenten großes Optimierungspotenzial im Bauprozess: Planungssicherheit, schnelle Montagezeiten, genau kalkulierbare Zeit- und Ablaufpläne führen zu kürzeren Bauzeiten und somit zu wirtschaftlich interessanten Projekten. Momentan rückt die Digitale Fabrikation immer weiter in den Vordergrund: dieser Ansatz möchte die Lücke zwischen digitalen Technologien in der Planung und physischem Bauprozess schließen.⁷

Nachdem die ersten Versuche zur großindustriellen, automatisierten und robotisierten Vorfertigung von Systemhäusern in Japan erfolgreich durchgeführt wurden und sich die ersten Produkte auf dem Markt durchsetzen konnten, richtete der GU Shimizu 1975 in Tokio eine Forschungsgruppe für Baurobotik ein.⁸ Ziel war nicht mehr die bloße Verlagerung der komplexen Montage in eine Fabrik, sondern auch die Entwicklung von Systemen, welche vor Ort auf der Baustelle eingesetzt werden können. Der Fokus lag zunächst auf einfachen Systemen, sogenannte *single-task construction robots* (STCRs) die eine einzelne Tätigkeit in repetitiver Weise ausführen. Die Tatsache, dass STCRs aufgabenspezifisch arbeiten, machte sie zunächst sehr flexibel (sie konnten zusammen mit konventionellen Arbeitsprozessen eingesetzt werden und erforderten nicht, dass die gesamte Baustelle automatisiert werden muss), stellte aber auch ihre große Schwäche dar.⁹ Da sie in den meisten Fällen nicht in die vor- und nachgelagerten Bauprozesse integriert waren, was zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen erfordert und die parallele Ausführung von Arbeitsaufgaben von Menschen im gleichen Raum behindert, konnte keine maßgeblichen Produktionssteigerungen erreicht werden.

⁶z. B. Sekisui Heim (M1) kam in den 1970er auf den Markt. Abbildungen verfügbar unter: https://www.researchgate.net/figure/Sekisui-Heims-legendary-M1-was-the-first-prefabricated-housing-model-which-reached-an_fig1_235271549

⁷Einen Überblick zum internationalen Stand der Technik des 3D-Drucks in Bauwesen bieten Perkins and Skitmore (2015) sowie Tay et al. (2017). Zusammenfassend Melenbrink et al. (2020), S. 12-14.

⁸Neben den Arbeiten von Bock & Kinner gibt Yoshida (2006) einen guten Überblick zu den Entwicklungen von Baurobotern in japanischen Unternehmen.

⁹Bock and Linner (2015), S. 115-116.

Die Auswertung dieser ersten Generationen von Baustellenrobotern führte zu teilweise gegensätzlichen Ansätzen und Entwicklungen. Um die oben genannten Herausforderungen anzugehen, wurden Konzepte für durchgängig automatisierte Hochbaustellen entworfen, deren Hauptziel die Integration von STCRs in eine fabrikähnliche Baustellenumgebung war. Anfang der 1990er Jahre wurden bereits zwei Prototypen in Japan erfolgreich umgesetzt.¹⁰ Einige Unternehmen konnten in den letzten Jahren integrierte, automatisierte Hochbausysteme auf Experimentalbaustellen realisieren. Die meisten Systeme basieren auf einer Stahlskelettbau-Konstruktion, an der sich ein automatisiertes Arbeitsgeschoss als vertikal bewegende Fabrik gleichsam nach oben arbeitet.¹¹ In diesem Zusammenhang können auch verschiedene Entwicklungen im Bereich der Montage von tragenden Bauelementen erwähnt werden. Im automatisierten Mauerwerksbau leistete das australische Unternehmen *Fastbrick Robotics* mit dem autonomen Hadrian X Pionierarbeit.¹² Andere Hersteller setzen auf kollaborierende Systeme: der MULE 135 vom US-Unternehmen *Construction Robotics* ist als Allzweck- und Präzisionsverlängerungsarm so konzipiert, dass er mit dem menschlichen Maurer zusammenarbeitet.¹³ Jüngste Forschungsansätze entwickeln vollautonome, kommunizierende Robotergruppen, die ohne jegliche zentrale Steuerung in der Lage sind, Bauelemente zu transportieren und zu montieren. Basierend auf Prinzipien der Schwarmintelligenz bauen im Projekt TERMES von Termiten inspirierte Kletterroboter selbstständig Strukturen auf Schaumstoffsteinen auf.¹⁴ Auch autonome Fahrzeuge und Drohnen werden zunehmend relevant im Bauwesen vorwiegend in den Bereichen (Baustellen)-Logistik, schwere Baumaschinen, Zustandserfassung und Überwachung.¹⁵ Parallel wurde die Entwicklung von Service- und Assistenzrobotern vorangetrieben, die im letzten Jahrzehnt von Fortschritten in den Kommunikation- und Informationstechnologien, insbesondere in den Bereichen der Datenhaltung und

¹⁰SMART-System (Shimizu Manufacturing System by Advanced Robotics Technology) von Shimizu. Siehe Yamazaki and Maeda (1998).

¹¹Melenbrink et al. (2020), S. 7-9.

¹²Melenbrink et al. (2020), S. 9-10. <https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x>

¹³<https://www.construction-robotics.com/mule/>

¹⁴<https://www.seas.harvard.edu/news/2014/02/robotic-construction-crew-needs-no-foreman>. Weitere Ansätze bei Petersen et al. 2019.

¹⁵Melenbrink et al. (2020), S. 2-7; Delgado et al. (2019), S. 2-3. Markreife Systeme werden bspw. von Volvo (<https://www.volvoce.com/united-states/en-us/about-us/news/2017/volvo-ce-unveils-the-next-generation-of-its-electric-load-carrier-concept/>) oder BuiltRobotics (<https://www.builtrobotics.com/>) angeboten.

-verarbeitung, der Interaktions- und der Autonomiefähigkeit profitieren konnte. In Zusammenarbeit mit dem norwegischen Startup nLink hat Hilti im Jahr 2020 den Jaibot auf den Markt gebracht. Seit 2018 sorgt das israelische Start Up Okibo mit seinem Mal- bzw. Putzroboter für Aufsehen.¹⁶

Neben mobilen Roboterassistenten werden im letzten Jahrzehnt zunehmend körpergetragene Assistenzsysteme, auch industrielle Exoskelette genannt, für die Unterstützung von Bauarbeitern bei schweren körperlichen Arbeiten eingesetzt. Dabei gibt es *passive* Exoskelette, bei denen die inhärente Spannung des Materials bzw. der Konstruktion (Feder) bionisch unterstützt und *aktive* Exoskelette, bei denen Elektromotoren die körperlichen Fähigkeiten des Menschen erweitern.¹⁷ Bis auf wenige Ausnahmen, wie das Guardian XO der US-Firma Sarcos¹⁸, sind industrielle Exoskelette für die Unterstützung von bestimmten Körperpartien (wie der Hüft- und Rückenbereich, der Schulter- und Armbereich und der Handbereich) konzipiert und damit auch für die Unterstützung von spezifischen Tätigkeiten bestimmt. In den letzten Jahren konnte das Potenzial von Systemen zur Reduktion körperlicher Belastungen, die den Träger bei Tätigkeiten wie Überkopfarbeiten oder beim Heben von Lasten unterstützen, in zahlreichen Studien bewiesen werden.¹⁹ Obwohl die meisten kommerziellen Exoskelett-Systeme noch passiv sind,²⁰ treten vermehrt Firmen mit aktiven Exoskelett-Systemen auf dem Markt auf, insb. für die Unterstützung des Hüft- und Rückenbereiches (das Cray X der deutschen Firma German Bionic Systems²¹ und das Exoback der französischen Firma RB3D²² sind dabei zwei prominente Beispiele). Die Entwicklung von aktiven Exoskeletten für die Unterstützung des Schulter- und Armbereiches, für die noch keine kommerzielle Lösung existiert, ist Gegenstand zahlreicher aktueller und vor kurzem abgeschlossener Forschungsprojekte, davon einige in Deutschland.²³ Obwohl die meisten

¹⁶<https://www.hilti.de/content/hilti/E3/DE/de/engineering/news-and-reference/s/semi-autonomer-baustellenroboter-jaibot.html>; <https://okibo.com/>; Siehe ab S. 17 eine ausführliche Darstellung dieser Roboter.

¹⁷Nussbaum et al. 2019.

¹⁸<https://www.sarcos.com/products/guardian-xo-powered-exoskeleton/>

¹⁹siehe z.B. Theurel & Desbrosses, 2019.

²⁰<https://exoskeletonreport.com/>

²¹<https://www.germanbionic.com/en/cray-x-solution/>

²²<https://www.rb3d.com/en/exosquelettes/exoback>

²³<https://www.interaktive-technologien.de/projekte/powergrasp>; <https://www.interaktive-technologien.de/projekte/exopflege>; <https://www.interaktive-technologien.de/projekte/leviaktor>.

Exoskelett-Systeme in verschiedenen Anwendungen und Branchen eingesetzt werden können, sind einige besonders für die Baubranche bestimmt, wie das Fraco Exoskelett²⁴ für Mauerarbeiten von der kanadischen Firma Mawashi und das Exopush von RB3D²⁵ für das Nivellement von den Bodenflächen mit einem Rechen. Mit sehr hohen Prävalenzraten muskuloskelettaler Symptome²⁶ besteht in der Baubranche ein hohes Potenzial für den Einsatz von Exoskeletten neben herkömmlichen Robotikansätzen, was beispielsweise die vor kurzem angekündigte Partnerschaft zwischen den Firmen Hilti und Ottobock zur Entwicklung von Exoskelett-Systemen für Bau-Anwendungen bestätigt.²⁷

4.2.2 Begriffsbestimmung

„Roboter für Assistenzfunktionen“²⁸ umfassen ein weites Feld an robotischen Systemen, deren Gestalt, Anwendungsbereiche und Interaktionsformen vielfältig sind. Trotz einiger bekannter Klassifikationsansätze gibt es bisher keine allgemeingültige Taxonomie. Ein vielgenutzter Ansatz ist die Interaktionsklassifikation, wobei die Interaktionsform Mensch-Roboter deutlich aussagekräftiger ist als die vom Menschen eingenommene Interaktionsrolle²⁹. Unterschieden wird zwischen Kollaboration, Kooperation und Koexistenz³⁰. Bei der Koexistenz treffen Mensch und Roboter episodisch aufeinander, verfolgen jedoch kein gemeinsames Arbeitsziel. Die Interaktion beschränkt sich auf die Vermeidung von Kollisionen. Im Gegensatz zur Koexistenz beschreiben Kooperation und Kollaboration echte Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter. Bei der Kooperation wird auf ein übergeordnetes gemeinsames Ziel hingearbeitet, die Handlungen sind aber nicht direkt voneinander abhängig. Die Kollaboration beschreibt die engste Interaktionsform: im gleichen Arbeitsraum verfolgen Mensch und Kollaborationsroboter (*Cobot*) eine gemeinsame Zielstellung und verrichten Teilaufgaben gemeinsam. Je nach

²⁴<https://www.fraco.com/en/exoskeleton>

²⁵<https://www.rb3d.com/en/exosquelettes/exopush>

²⁶Umer et al. 2018.

²⁷https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/media-relations/media-releases/HILTI_OTTBOCK.html

²⁸Entsprechend der Bekanntmachung Banz AT 27.01.2020 B4, S. 1.

²⁹Rollenbeschreibung nach Scholtz 2002: der Mensch kann Supervisor, Operateur, Kollaborateur, Kooperator oder Nicht-Beteiligter sein. Diese Rollen spiegeln sich jedoch in den Interaktionsformen wider und hängen auch vom Level der Autonomie des Roboters ab (siehe unten S. 4)

³⁰Onnasch et al. (2016). Siehe auch: Yanco and Drury (2002).

Anwendungsszenario sind sowohl kooperierende als auch kollaborierende robotische Assistenzsysteme auf der Baustelle denkbar. Der Autonomiegrad (LoA: Level of Autonomy) eines robotischen Systems trägt ebenfalls zu dessen Charakterisierung bei. Der LoA bestimmt den Grad der Intervention durch den Menschen³¹: vier Stufen von „gering“ bis „hoch“ beschreiben die Fähigkeit der Informationsaufnahme, der Informationsanalyse, der Entscheidungsauswahl und der Handlungsführung.³² Die Mobilität ist ein weiteres, entscheidendes Merkmal für den Einsatz von Assistenzrobotern auf der Baustelle, welches durch den laufenden Baufortschritt sich ständig verändert und daher für stationäre Systeme ungeeignet scheint. Von Vorteil sind im Baustellenkontext auch eine gewisse Robustheit bei der Navigation und Manipulation, der Lokalisierung, der Umgebungs- und Objekterkennung sowie der Bahnplanung. In Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 13482:2014³³ soll daher in diesem Projekt für Assistenzroboter folgende zusammenfassende Definition angewandt werden: „Mobile Roboterassistenten (Cobots) oder bewegungsunterstützende Roboter (Exoskelette) sind teilautonome Systeme, welche in Kooperation bzw. Kollaboration den Menschen bei Tätigkeiten auf der Baustelle unterstützen.“

4.2.3 Innovationshöhe und Innovationseffekt

Ein Kompetenzzentrum für Assistenzrobotik im Hochbau gibt es nach aktuellem Wissensstand in Deutschland noch nicht und auch im internationalen Vergleich ist es mit ähnlichen Randbedingungen bzgl. des Vorhandenseins technologie- und produktionsnaher Akteure nur an ganz wenigen Orten weltweit realisierbar. Das Kompetenzzentrum wäre somit ein Pilot für den gesamten Bausektor. Alleinstellungsmerkmal des Projektes ist die Erprobung von robotischen Assistenzsystemen, deren grundlegende Entwicklung abgeschlossen ist, in der Bauproduktion auf realen Baustellen. In diesem Punkt unterscheidet sich CONSAS grundlegend vom Center Construction Robotics (CCR) der RWTH³⁴ Aachen, das die Entwicklung neuer Systeme und deren erste Einsätze im Reallabor erprobt. Der Fokus des CCR liegt zurzeit auf der Schließung der digitalen Kette im Bauwesen, von Planung bis zur Realisierung, und kann somit nicht mit den

³¹Onnasch et al. (2016), S. 7.

³²Melenbrink et al. (2020), S. 14.

³³DIN EN ISO 13482:2014, S. 7.

³⁴<https://construction-robotics.de/>

Forschungsschwerpunkten von CONSAS gleichgestellt werden. Um von Beginn an gewährleisten zu können, dass das Vorhaben eine nachhaltige und tragfähige Initiative darstellt, soll das Vorhaben von Anfang an so konzipiert sein, dass es jederzeit bundesweit skalierbar ist und alle relevanten Stakeholder mit einbezieht. Ausgangspunkt für die Konzeptionierung des Kompetenzzentrums ist also der Gedanke eines langfristigen, über eine mögliche Förderdauer hinausgehenden Konzepts, um Baurobotik für den Industriestandort Deutschland attraktiv zu gestalten. Aus Literaturrecherchen und basierend auf den eigenen Erkenntnissen von Baustellen im europäischen Raum sind uns keine anderen Ergebnisse bekannt, die über den aufgezeigten Forschungsstand hinausgehen. Es sind gleichzeitig keine Unternehmen im europäischen Raum bekannt, die flächendeckend und systematisch Roboter zur Unterstützung des Baustellenpersonals einsetzen. Ebenso wurde bisher in den existierenden wissenschaftlichen Ansätzen kaum auf vermeintliche Randfaktoren eingegangen wie u. a. Akzeptanz und User Experience oder Arbeitsabläufe und -Prozesse.

4.2.4 Technische und wirtschaftliche Risiken

Bei der Anwendung von Assistenzrobotik im Hochbau bestehen technische und wirtschaftliche Risiken auf ganz unterschiedlichen Ebenen. Zunächst ist die technische Funktionsfähigkeit, die Aufgabenerfüllung und die Qualität der Mensch-Roboter-Interaktionen bei bauspezifischen Roboterlösungen aufgrund des in der Vergangenheit seltenen Einsatzes auf Baustellen wenig erprobt und daher mit einem großen Risiko behaftet. Diese von der Maschine ausgehenden technischen Risiken haben einen direkten Einfluss auf die Bewertung der MitarbeiterInnen von Qualität und Produktivität des Robotereinsatzes, was sich in der Nutzerakzeptanz widerspiegelt. Der systematische Einsatz von Assistenzsystemen auf Baustellen setzt auch eine Anpassung bzw. eine Umgestaltung der Bauprozesse voraus. Eine große Herausforderung besteht in der Anpassung der neu konzipierten Roboterprozesse an das komplexe Baustellenumfeld (u. a. wechselnder Untergrund, Unter- und Obergeschosse, Hindernisse durch Materiallagerung oder Abfälle, Staub, Feuchtigkeit, große Temperaturunterschiede), an die hohe Interdisziplinarität der Gewerke, an Abläufe und Taktung und natürlich an die Anforderungen der MitarbeiterInnen. Auch die Anbindung an die Bauplanung, welche eminent wichtig für die Automatisierung der Bauprozesse ist, birgt technische Risiken

bspw. in Bezug auf die Schnittstellen zum BIM³⁵-Modell in der Planung. Je nach Ausprägung der robotisierten Unterstützung kann sich ein erhöhter Planungsaufwand ergeben. Defizitäre Planungen hätten eine noch größere Auswirkung auf den ganzen Bauprozess als bisher, da durch die neu geschaffenen Verknüpfungen der Prozesse auch neue Abhängigkeiten entstehen. Hier sind große Ansprüche an den Entwurf eines effizienten und praxisnahen Bauprozesses gesetzt.

Durch die Einbindung aller Akteure in die Definition Robotisierungs-relevanter Gewerke und Tätigkeiten, den Entwurf von Anwendungsszenarien sowie eine umfassende Erhebung der Nutzerbedarfe möchte CONSAS diesen technischen Risiken vorbeugen und die Akzeptanz der Nutzergruppe fördern. Die Schaffung allgemeiner Bewertungskriterien, die iterativ durch die Auswertung zahlreicher Baustelleneinsätze verbessert werden, soll das technische aber auch das wirtschaftliche Risiko für den Einsatz von Assistenzrobotik weiter minimiert werden. Wirtschaftliche Risiken bestehen durch die hohen anfänglichen Investitionskosten für den Erwerb von Assistenzrobotern und der Gefahr keine eindeutige Qualitäts- und Effizienzsteigerung zu erreichen. Die unter wachsendem Termin- und Kostendruck stehenden Verantwortlichen auf den Baustellen, lassen nur Lösungen zu, die eine sehr klare Kosten/Nutzen-Gesamtbilanz haben und welche die Anforderungen der BaimitarbeiterInnen vollständig erfüllen. Die Roboterprozesse müssen einen spürbaren Mehrwert gegenüber „manuellen“ Tätigkeiten aufweisen und sich unter den harten Bedingungen auf der Baustelle bewähren. Ein weiteres erhebliches Risiko für den systematischen Einsatz von Assistenzrobotern auf Baustellen sowie für den Erfolg des Kompetenzzentrums CONSAS als Ganzes ist die Adaptierung bzw. die Neuentwicklung von Geschäftsmodellen, die das heute übliche Zusammenspiel von GUs und NUs miteinbeziehen, ohne das Interesse handwerklicher Betriebe und KMUs für Baurobotik zu beeinträchtigen. Auch die Skalierbarkeit der Ergebnisse und der Transfer sind von dieser Problematik direkt betroffen. Durch einen starken Fokus auf Geschäftsmodellentwicklung, einem innovationsorientierten Stakeholdermanagement und kontinuierlicher Kommunikation- und Transferleistungen soll diesen Hemmnissen entgegengewirkt werden.

³⁵Building Information Modelling (BIM) ist keine Software, sondern eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und ausgetauscht werden. BIM ist das zentrale Bindeglied zwischen Planung, Bauausführung und Betrieb eines Gebäudes.

4.3 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie, wissenschaftliche und technische Methoden des Forschungsvorhabens

Die zwischen März und Juli 2021 durchgeführte Machbarkeitsstudie verfolgte das Ziel das Konzept eines Kompetenzzentrums für Assistenzrobotik am Bau wissenschaftlich zu überprüfen, die methodischen Herangehensweisen zu validieren und die Arbeitsziele der Umsetzungsphase qualitativ und quantitativ abzustecken. Grundlage der Studie war eine Analyse der im Hochbau aufkommenden Gewerke und Tätigkeiten zum einen auf deren gesundheitliche und körperliche Belastung, zum anderen auf das technische und wirtschaftliche Einsatzpotenzial von Assistenzrobotern auf der Baustelle. Anhand von Belastungsanalysen einzelner Tätigkeiten konnten Profile erstellt werden, die Aufschluss über den Grad der physischen Belastung der MitarbeiterInnen geben und den Bedarf nach ergonomischen oder assistierenden Lösungen verdeutlichen (4.3.1). Für Assistenzrobotik prädestinierte Gewerke und Tätigkeiten konnten in einer Matrix zusammengetragen (4.3.2.1 und Abb. 4.5) werden, die als Übersicht und Rahmen für die langfristig angelegten Erprobungsstudien in der Umsetzungsphase dienen. Die Integration der Assistenzroboter in die Bauprozesse ist eine wichtige Voraussetzung für deren Einsatz auf der Baustelle: die methodische Grundlage hierfür bilden die Prozessdarstellung und der modellbasierte Roboterprozess (4.3.2.2); erste Einsätze auf der Baustelle konnten erfolgen (4.3.2.3). Methodische Überlegungen zu ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen des Einsatzes von Assistenzroboter basieren auf Ergebnisse erster Umfragen von Anwendern auf den Pilotbaustellen (4.3.3). Schließlich beschreibt 4.3.4 mit dem in der Machbarkeitsstudie entwickelten Onion-Modell das geplante Business-Ecosystem rund um Assistenzrobotik am Bau.

4.3.1 Belastungsanalysen

In die Analyse der Belastung auf den Bewegungsapparat wurden zwei Großbaustellen im Raum Stuttgart einbezogen, bei denen vielseitige Tätigkeiten verschiedener Gewerke untersucht werden konnten. Jeweils zwei Ergonomie-Experten des Fraunhofer IPA statteten die BaustellenmitarbeiterInnen mit einem Inertialsensor basierten körpergetragenen Motion Capture System (Xsens AWINDA) aus, um die Bewegungsabläufe unter realen Bedingungen auf der Baustelle zu erfassen. Anschließend wurden diese

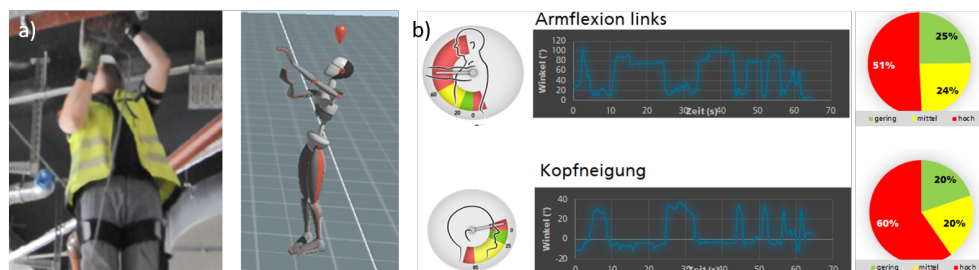


Abbildung 4.1: a) Baustellenmitarbeiter beim Vorbereiten der Elektrik (links). b) Darstellung des Avatars aus Xsens MVN (rechts) Über eine typische Bewegungssequenz von ca. 65 Sek. zeigt sich eine auffällige Überstreckung des Nackens (unten) über knapp 80 % der Zeit (60 % der Zeit im roten Bereich). Ebenfalls auffällig das Anheben der Arme über 75 % des gelben bzw. roten Grenzbereichs (oben) (Darstellung aus Industrial Athlete by scalefit UG).

Bewegungsdaten, mit separater Betrachtung aller großen Gelenke, nach arbeitswissenschaftlichen, orthopädischen und sportwissenschaftlichen Prinzipien ergonomisch bewertet. Als Grenzwerte für die Bewegungsausmaße wurden die Grenzbereiche und Farbkodierung der DGUV zur Erfassung und Bewertung manueller Arbeitsprozesse angewendet³⁶ (vgl. Abb. ?? Kreisdarstellungen). Bei der Analyse wurden mit dem Messsystem die Tätigkeiten (1) Vorbereitung der Elektrik und (2) Legen von Kabeltrassen, (3) Kabel ziehen und befestigen, (4) Abtrennen von Überständen der Hängestiele, (5) Umsetzen und Bewegen von Kabeltrommeln sowie in einem separaten Gewerk (6) Estrich verlegen erfasst und anschließend untersucht. Beispielhaft sollen nun Auszüge aus der ergonomischen Betrachtung des ersten Anwendungsfalls dargestellt werden: (1) Vorbereitung der Elektrik. Die Tätigkeiten umfassen Bohren, Hämmern und das Montieren durch Einsetzen in Klemmen, vorwiegend im Überkopfniveau, über langanhaltende Sequenzen von teilweise mehreren Minuten (nach DGUV gelten Haltungen ab einer Dauer >4 Sekunden als statisch).

³⁶IFA: Bewertung physischer Belastungen gemäß DGUV-Information 208-033 (bisher: BGI/GUV-I 7011) (Anhang 3). Internet: http://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/ergonomie/pdf/bewertung_physischer_belastungen.pdf

Die statische Beanspruchung ist für die Schulter-, Arm-, und Nacken-Muskulatur sehr belastend. Eine besondere Herausforderung ergibt sich auch dadurch, dass in dieser für die Muskulatur auf Dauer nur schwer kompensierbaren Haltung, feinmotorische Arbeiten zur erfolgreichen Durchführung der Tätigkeit erforderlich sind. Die Haltung lässt auf die Kompression von Wirbelsegmenten, insbesondere im Nacken und Lendenbereich schließen. Im darauffolgenden Arbeitsschritt, dem Verlegen von Kabeltrassen (2) und Kabelziehen (3) zeigt sich ein ähnliches Bild der haltungsbedingt belasteten Bereiche. Darüber hinaus müssen die Arbeitenden zum Befestigen die Gewichte der Kabel, der Kabeltrassen (ca. 15 kg) und deren Aufnehmer (bis zu 10 kg) aufnehmen und über Kopf montieren. Auch beim (4) Trennschleifen von Überständen muss das Zusatzgewicht des Trennschleifers mit angehoben und gehalten werden. Diese Tätigkeiten verbindet eine statisch ungünstige Körperhaltung, bei der eine durchaus feinmotorische Aufgabe, teilweise mit einem Zusatzgewicht durchgeführt werden muss. Die Kombination ist als ergonomisch höchst anspruchsvoll und stark belastend einzustufen. Beim Estrich Verlegen zeigen sich andere ergonomische Auffälligkeiten. Hier ist es vielmehr die dauerhaft gekniete Haltung mit vorgeneigtem, häufig nur teilweise abgestütztem Oberkörper, was zu einer gesteigerten Belastung der Bandscheiben der Lendenwirbelsäule führt.³⁷ Neben der Betrachtung der Grenzwerte der DGUV muss hier insbesondere auch die permanente Druckbelastung auf die Kniegelenke beachtet werden, welche ein erhöhtes Arthrosrisiko darstellt.³⁸ Weitere Tätigkeiten, wie das Umsetzen von Kabeltrommeln, beinhalten hohe Gewichte, die täglich bewegt werden müssen und zu Überbeanspruchungen führen.

Die daraus resultierenden Muskel-Skelett-Erkrankungen treten besonders häufig auf.³⁹ Hervorzuheben sind hier die Rückenschmerzen unter Bauarbeitern.^{40, 41, 42} Sowohl die

³⁷Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2108 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) "Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können".

³⁸Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 2112 „Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knien oder vergleichbare Kniebelastung mit einer kumulativen Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13.000 Stunden und einer Mindesteinwirkungsdauer von insgesamt einer Stunde pro Schicht“ Bek. des BMAS vom 30.12. 2009 – IVa 4-45222-2112 - GMBI 5/6/2010, S. 98 ff.

³⁹Di Wang et al. 2015, p. 4015008.

⁴⁰Boschman et al. 2012, p. 196.

⁴¹Rothenbacher et al. 1997, p. 1481-1486.

⁴²Ulmer et al. 2018, p. 125-144.



Abbildung 4.2: a) Baustellenmitarbeiter beim Verlegen von Estrich (links), Darstellung des Avatars aus Xsens MVN (rechts). b) In einer aufgezeichneten, beispielhaften Bewegungssequenz von ca. 130 Sek. ist der Rumpf 85 % der Zeit in einer vorgeneigten Haltung. Die Kniegelenke sind in der meisten Zeit mehr als 90° angewinkelt. Darüber hinaus besteht ein hoher Druck auf die Kniegelenke (Darstellung aus Industrial Athlete by scalefit UG). c) Baustellenmitarbeiter beim Umsetzen einer Kabeltrommel. Im Beispiel ist kein Kabel mehr aufgerollt

überstreckte Haltung bei Überkopfarbeiten als auch die Haltung beim Estrichlegen oder die hohen Gewichte bei Nebentätigkeiten sind hierfür klar identifizierte Risikofaktoren. Aber auch die auffällig statische Belastung und die gehäuften Überkopf-Tätigkeiten, mit hohen Gewichten, sind deutliche Belastungsmerkmale und klare Indizien für die vielfältigen Ursachen der hohen Krankheitszahlen in der Baubranche. Die dargestellte, mit Messtechnik unterstützte Methode der ergonomischen Untersuchung, konnte somit relevante Merkmale identifizieren und liefert quantitative Bewertungskriterien für die

Ergonomie. Sie kann im Projekt eingesetzt werden, um besonders kritische Tätigkeiten zu priorisieren. Zur Bewertung und dem Benchmarking des ergonomischen Effektes der Roboter für Assistenzfunktionen werden weitere biomechanische Messtechnologien eingesetzt.

4.3.2 Grundlagen für die Integration in die Bauprozesse

4.3.2.1 Bauproduktion und Gewerke-Tätigkeiten-Matrix

Die Anwendung von robotischen Assistenzsystemen auf der Baustelle hängt stark von deren Integration in die komplexen Bauprozesse ab. Faktisch ist der Roboter nur während der Bauproduktion (Abb. 4.3), der eigentlichen, ortgebundenen Herstellung des Gebäudes, im Einsatz.

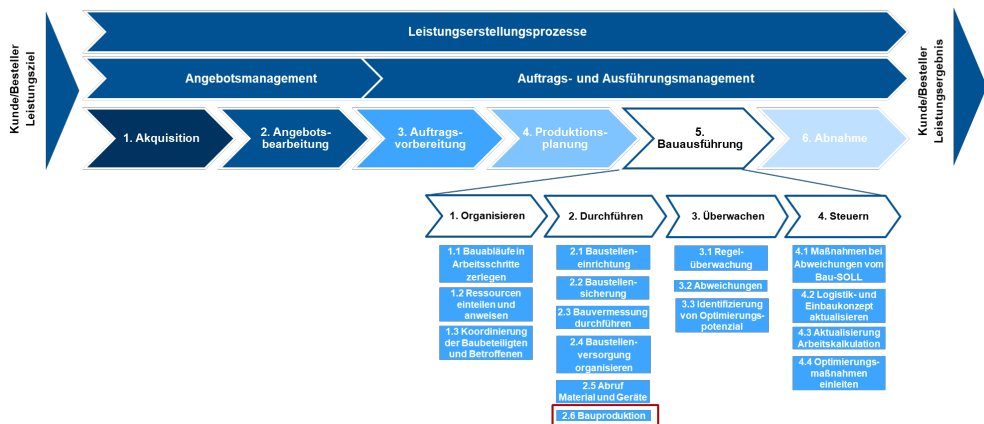


Abbildung 4.3: Darstellung des IST-Prozesses

Doch auch sämtliche vor- und nachgelagerte Organisations- (1.) Durchführungs- (2.1.-2.5.), Überwachungs- (3.) und Steuerungsabläufe (4.), die für die Bauausführung (5.) notwendig sind, sind direkt oder indirekt betroffen. Auch die digitalen Planungsprozesse (4.) müssen auf den Robotereinsatz abgestimmt werden. Die Bauproduktion ist konventionell in Gewerke aufgeteilt, die eine spezifische Bauleistung oder Teilaufgaben einer Bauleistung beschreiben, z. B. Trockenbau, Malerarbeiten. Ein Gewerk ist meist geschäftsfeldbezogen und erfordert eine berufliche Spezialisierung (Elektriker, Sanitär besser Sanitärtechniker oder Heizungsmonteur oder Klempner, Trockenbauer, etc.).

Entsprechend dem Bauablauf sind die Gewerke und die ausführenden NUs eingetaktet. Um Robotik auf der Baustelle erfolgreich einsetzen zu können, müssen die Gewerke auf die Tätigkeiten, d. h. auf spezifische Aktionen (z. B. Bohren, Streichen etc.), welche der Roboter ausführen bzw. unterstützen kann, heruntergebrochen werden. Um einen Bezug zu Tätigkeiten herzustellen, ist eine Gewerke-Tätigkeiten-Matrix (siehe Abb. 4.5) in Zusammenarbeit mit Bauleitern erarbeitet worden. In dieser Darstellung wird deutlich, dass die meisten Gewerke ähnliche oder sogar deckungsgleiche Tätigkeiten, wie bohren, schneiden/fräsen, vermessen, etc. aufweisen und das Einsatzpotenzial für Assistenzrobotik im Hochbau entsprechend hoch ist.

4.3.2.2 Prozessdarstellung und modellbasierte Roboterprozesse

Die Prozessdarstellung bietet die Möglichkeit eine chronologische Abfolge von Tätigkeiten in einem übergeordneten Geschäftsprozess zu beschreiben. Die Darstellung hilft Abläufe anschaulich und eindeutig zu dokumentieren, sodass ein tieferes Verständnis von Tätigkeiten, Funktionen, Rollen, aber auch Schnittstellen geschaffen werden kann. Die Prozessdarstellung kann Schwachstellen aufdecken, Optimierungspotenziale aufzeigen, zu einem hohen Qualitätsniveau beitragen, Zertifizierungen für Normen unterstützen und letztendlich im Prozess Kosteneinsparungen transparent darstellen. Basierend auf der Prozessdarstellung kann dann die Auswirkung von Veränderungen etwaiger Prozessparameter analysiert, getestet und evaluiert werden. Ausgangspunkt der Prozessdarstellung in CONSAS ist ein definierter Anwendungsfall (bestehend aus einem Gewerk und einer Tätigkeit). Die Prozessdarstellung folgt einem linearen Schema und gliedert sich in Prozesskisten. Sie beginnt mit der Aufstellung der Prozessebenen in der Ist-Prozess Hierarchie – ein integrativer Ansatz, der bestehende Strukturen aufnimmt und Umbrüche zunächst vermeidet. Anschließend folgt die Darstellung der Ist-Prozesse ohne und mit Roboter, um den heutigen Stand als Ausgangslage zu beschreiben. Danach kommt die Prozessanalyse der Ist-Prozesse, welche der Identifikation struktureller Erfordernisse und bestehender Innovationshemmnisse (z. B. Gemeinsamkeiten in den Prozessebenen wie gleiche Endeffektoren oder Kinematiken) dient. Durch diese Informationssynthese kann eine Bewertung der Ist-Prozesse und des Innovations- und Effizienzpotenzials erfolgen. Anschließend wird der Soll-Prozess für die Anwendung eines Roboters auf der Baustelle abgeleitet und damit Wissenslücken

identifiziert und zielgerichtet adressiert.

Der Roboterprozess (siehe Beispiel Abb. 4.6) beschreibt den Ablauf (mehrere Vorgänge in einer geplanten Reihenfolge), den ein Roboter auf der Baustelle erfährt und veranschaulicht den Maschinenablauf, d. h. die kinematische Kette des Roboters, um eine bestimmte Tätigkeit auszuführen. Der Informationsprozess beschreibt den Informationstransfer zwischen den verschiedenen Aktionen des Roboters. Gibt es Veränderungen im Informationsprozess, ändert sich der Ablauf und die Roboterkonfiguration, und umgekehrt. Dieser Prozess bildet die unterste Prozessebene und ist integraler Bestandteil jeder Roboterhandlung: der Roboter muss für jede auszuführende Tätigkeit eine explizite Information bekommen, wohingegen der Baustellenarbeiter implizit handelt und mehrere Tätigkeiten ohne zusätzliche Informationen ausführt. Der Prozessdarstellung folgt eine modellbasierte Vorvalidierung des jeweiligen Roboters auf seinen Anwendungsfall hin. Mit den Parametern des Assistenzrobotersystems und den vorhandenen Planungsdaten (z. B. BIM-Gebäudedaten) können die Arbeitsprozesse erprobt und validiert werden. Hierbei werden sowohl die Systemgeometrie und die kinematischen Eigenschaften als auch die Versorgungsinfrastruktur berücksichtigt. Idealerweise sollen die Produktionsdaten der Robotersysteme direkt mit den BIM-Modellen verknüpft und abgeglichen werden. Diese Methodik soll während der Umsetzungsphase für jedes System angewandt und iterativ nach jeder Testphase optimiert werden.

4.3.2.3 Einsatzfähige Robotersysteme und erste Baustellentests

Das Potenzial, Tätigkeiten der Bauproduktion zu automatisieren bzw. den Menschen durch robotische Systeme zu unterstützen, ist im letzten Jahrzehnt weltweit von Entwicklern und Herstellern erkannt und entsprechend umgesetzt worden. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie CONSAS ist von der TU München eine ausführliche Recherche zu marktreifen Assistenzrobotern bzw. vielversprechenden Prototypen durchgeführt worden. Aufschlussreiche Ergebnisse von zwei Robotereinsätzen auf Baustellen sollen hier exemplarisch skizziert werden.

Bereits 2019 ist der Bohrroboter „Jaibot“, der in Zusammenarbeit zwischen Hilti und dem norwegischen Startup nLink entwickelt wurde, als Prototyp am Bauvorhaben

„Office V“ in Stuttgart-Vaihingen zum Einsatz gekommen (siehe Abb. 4.6). Der mobile und semi-autonome Roboter ist speziell für Deckenbohrungen und Überkopfarbeiten konzipiert. Mit Hilfe der mitgelieferten Totalstation werden die Vermessungspunkte genau bestimmt und dienen gleichzeitig dem Jaibot zur Orientierung im Objekt. Idealerweise werden die entsprechenden Daten durch das BIM-Modell bereitgestellt – dieser Schritt konnte bei den 2019 durchgeführten Tests nicht durchgeführt werden. Als positiv wurde die Zeiteinsparung beim Messen und Bohren sowie die hohe Präzision bei der Ausführung und dem Setzen von Dübeln bewertet. Die Entlastung und Vorbeugung gesundheitlicher Schäden und Unfällen bei Überkopfarbeiten waren den MitarbeiterInnen des NU offenkundig. Die zusätzliche Vermeidung der Belastung durch Bohrstaub wurde als sehr vorteilhaft angesehen. Logistische Herausforderungen entstehen wiederum durch die Größe und das Gewicht des Jaibot: nicht alle Bauabschnitte sind zugänglich, Hohlraumböden sind bspw. nicht befahrbar und das Vorhandensein von Aufzügen ist eine Voraussetzung. Bei einem Kostenvergleich zwischen konventionellem Bohren mit Totalstation und dem Bohren mit Roboter erweist sich der Einsatz des Jaibots nur unter bestimmten Bedingungen als wirtschaftlich.⁴³ Im April/Mai 2021 wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Okibo Ldt ein Malerroboter zwei Wochen lang intensiv am Projekt „EWB Alleenstraße“ in Esslingen getestet (siehe Abb. 4.4), indem in Kellerräumen sowie auf Tiefgaragenwände, -decken und -stützen Farbe aufgetragen wurde. Mittels Fernsteuerung wird der Roboter vor der zu bearbeitenden Wand platziert. Eine Reinigung und Befeuchtung des Bodenbereichs vor den Wänden wird empfohlen, um Staubaufwirbelungen während des Sprühvorgangs zu vermeiden. Dann beginnt der Roboter mit dem Scannen und Erstellen eines Raummodells und berechnet seine eigenen Produktionsdaten. Der anschließende Farbauftrag und das Verfahren im Raum erfolgen vollautomatisiert. Dabei erkennt der Roboter auch Aussparungen für Fenster und Türen und sprüht in diesen Bereichen keine Farbe. Der Testeinsatz hat gezeigt, dass der Roboter sich insbesondere auf größeren Flächen (lange Wände einer Tiefgarage, große und einfach geschnittene Räume) bewährt.

Hierbei werden gleichwertige Aufwandswerte wie bei einer manuellen Bearbeitung

⁴³3,58 EUR pro Loch (Bohren mit Totalstation); 4,94 EUR pro Loch (Bohren mit Roboter, Tagesmiete, 1-Schichtbetrieb); 3,96 EUR (Bohren mit Roboter, Flottenmanagement 36 Mo., 1-Schichtbetrieb); 3,77 EUR (Bohren mit Roboter, Tagesmiete, 2-Schichtbetrieb); 3,02 EUR (Bohren mit Roboter, Flottenmanagement 36 Mo., 2-Schichtbetrieb).



Abbildung 4.4: Einsatz des Bohrroboters Jaibot, BVH „Office V“, Stuttgart-Vaihingen (links) und des Malerroboters von Okibo, BVH „EWB Alleenstraße“, Esslingen (Mitte); Produktionsdaten des Malerroboters Okibo (rechts): Fotos: Ed. Züblin AG

mit einem Farbsprüngerät erzielt. Schwierigkeiten hat der Roboter dagegen bei kleineren Flächen und Nischen, da hierbei das Wenden aus platztechnischen Gründen schwierig ist und viel Zeit in Anspruch nimmt. Außerdem ist der Transport des Roboters zwischen einzelnen Etagen ohne Kran und Aufzug aufgrund des Gewichts schwierig. Die Qualität des Farbauftrags ist hingegen sehr gut. Dies bestätigten auch Vertreter des Farsherstellers sowie Maler-NUs vor Ort. Die vom Hersteller angestrebte Funktionserweiterung Auftragen und Bearbeiten von Putz und weitere Tests der Malertätigkeiten könnten in der Umsetzungsphase von CONSAS vertieften Studien unterzogen werden.

Gewerke	Rohbau			Ausbau				TGA			Fassade			Bauwerkverhaltung (Hochbau)													
	Beton/Schalung	Bewehrung	Maanwerk	Abbruch	Abdichtung	Grundierungen	Trockenbau	Türen/Estrich	Doppelboden	Bofenbeleg	Putz	Maierarbeiten	Beschichtung	Trassen	Brüggelände	Elementfassade	PF-Fassade	Fenster	Aufbau	Abbruch	Stützen	Beschichtung	Spritzbeton	Bewehrung	Trassen		
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
10																											
11																											
12																											
13																											
14																											
15																											
16																											
17																											
	robotische Anwendung grundsätzlich möglich mit Potenzial für mehr Sicherheit und Gesundheitsschutz																										
	robotische Anwendung mit Verknüpfung an die Planung mit BIM möglich																										
	EF Potenzial für Effizienzsteigerung																										
	G Potenzial für Qualitätssteigerung																										

Abbildung 4.5: Gewerke-Tätigkeiten-Matrix mit Legende

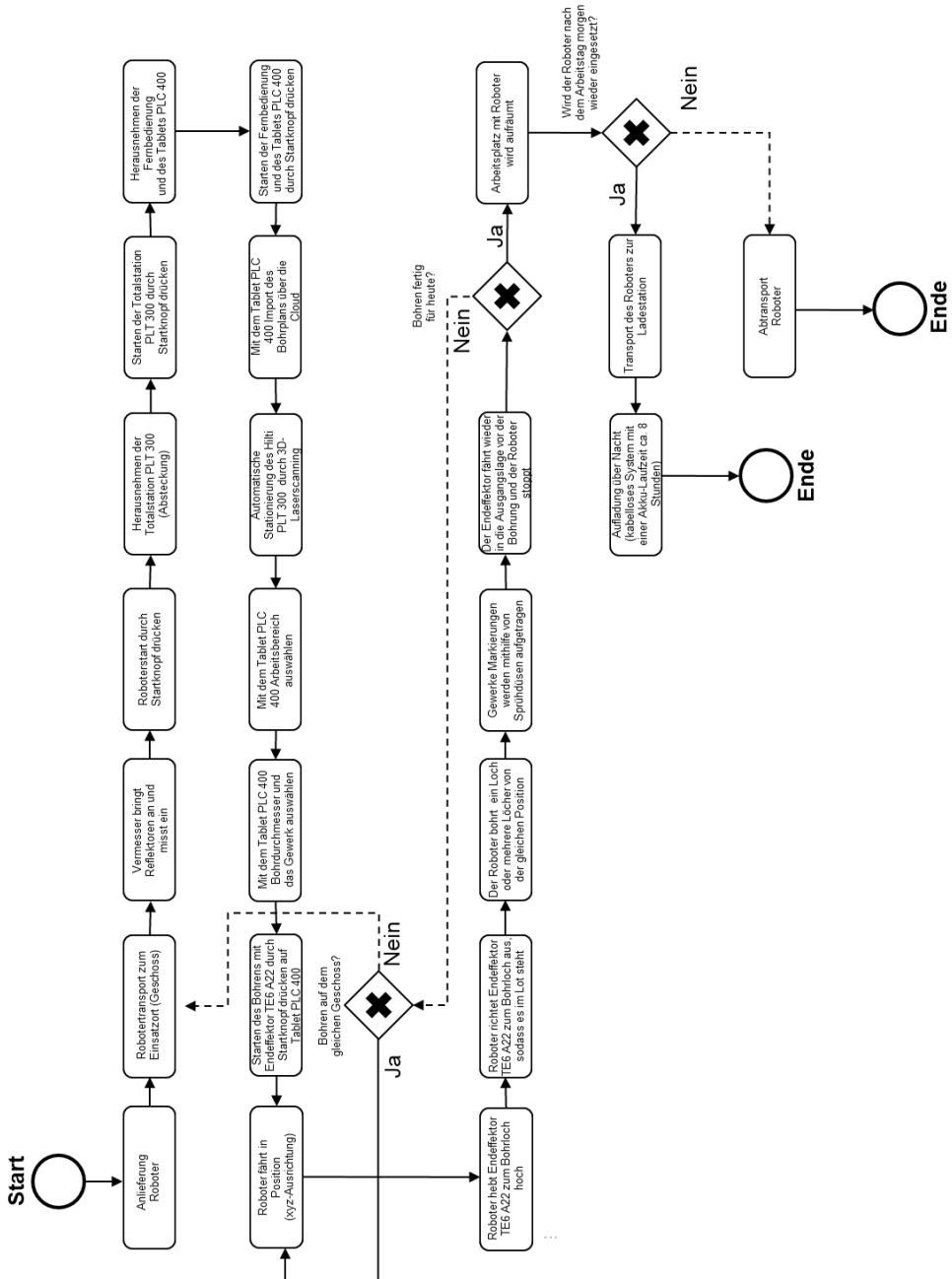


Abbildung 4.6: Prozessdarstellung am Beispiel des Jaibot Hilti AG/nLink – Gewerk: Rohbau, TGA; Tätigkeit: Bohren

4.3.3 Evaluierung des sozial-ethischen Impacts

Ergebnisse einer Umfrage während der Machbarkeitsstudie von Anwendern, die bereits in Pilotprojekten mit Assistenzrobotern auf der Baustelle zusammengearbeitet haben, ordnen den Einsatz in die vom MEESTAR Modell⁴⁴ vorgeschlagene Stufe II ein: Die Anwendung von Assistenzrobotern auf der Baustelle weist ethische Sensibilität auf, was aber in der Praxis entsprechend berücksichtigt werden kann. Konkret wurden von den Umfrageteilnehmern in Hinblick auf die ethische Einschätzung die Aufklärung und Einbeziehung des Bauherrn als wesentlich eingestuft. Dies wurde mit den neuartigen Bauprozessen, die mit dem Einsatz von Assistenzrobotern auf der Baustelle einhergehen, begründet. Eine Erlaubnis des Bauherrn, Assistenzroboter auf der Baustelle einsetzen zu dürfen, wurde auf bisherigen Pilot-Baustellen immer vor dem Einsatz eingeholt, um Konflikte beispielsweise hinsichtlich Datenschutz und Arbeitssicherheit im Vorfeld auszuschließen. Im Kompetenzzentrum CONSAS sollen die konkreten ethischen Bedenken klar identifiziert und Lösungen erarbeitet werden, um diese nachhaltig zu berücksichtigen. Ziel ist es an Beispielen demonstrierbare Lösungen zu entwickeln, die in der gesamten Baubranche aufgegriffen und umgesetzt werden können.

Der Einsatz von Assistenzsystemen auf der Baustelle wirft auch Fragen hinsichtlich der Selbstbestimmung des Arbeitsprozesses oder der Privatheit auf, die durch Ton- oder Videoaufnahmen von Assistenzrobotern beeinträchtigt werden könnte. Ob und in welchem Maße die Unterstützung in technischer Form auf Baustellen geleistet wird, ist nicht nur eine Frage der moralischen und politischen Verpflichtungen, die in einer alternden Gesellschaft notwendig wird, sondern auch eine Frage der technischen Umsetzung der Unterstützung. Das Kompetenzzentrum CONSAS stellt die Frage, wie die eingesetzte Technik das gesellschaftliche Gefüge auf der Baustelle verändert, wie Anwender informiert werden können, um dazu beizutragen, dass notwendige Fragen konstruktiv bearbeitet werden. Bei der Evaluation der ethischen Auswirkungen beim Einsatz von Assistenzrobotern auf der Baustelle kommen die unterschiedlichen Perspektiven (Anwender, Hersteller usw.) zum Tragen, und werden berücksichtigt. Sind problematische Effekte identifiziert, werden durch die konsequente Anwendung des MEESTAR-Modells Lösungsansätze entwickelt. Aufgrund der bisher seltenen

⁴⁴K. Weber, 2015, S. 252. Das MEESTAR Modell ist ein Modell zur ethischen Evaluierung soziotechnischer Arrangements.

Einsätze von Assistenzrobotern auf der Baustelle sollen bei der verstärkten Nutzung der Systeme während der Erprobungsstudien neue und unerwartete ethische Problempunkte identifiziert und gelöst werden. Als Ergebnis können Aspekte und Funktionalitäten von Assistenzrobotern auf der Baustelle genannt und adressiert werden, die aus ethischer Sicht besonders beachtet werden müssen.

Als Abschluss der Machbarkeitsstudie wurden Experteninterviews durchgeführt, um die Ergebnisse und das daraus resultierende Gesamtkonzept des Kompetenzzentrums zu überprüfen. Durchgeführt wurden die Interviews mit 5 Teilnehmern. Dabei handelt es sich um 3 Mitarbeiter der Ed. Züblin AG, die erste Erfahrungen in der Anwendung mit Assistenzrobotern auf der Baustelle in Pilotprojekten gesammelt haben. Außerdem konnte Feedback von zwei Herstellern von Assistenzrobotern eingeholt werden. Die Ist-Situation zur Häufigkeit des Einsatzes von Assistenzrobotern auf der Baustelle wurde von allen Interviewteilnehmern als selten eingestuft, was auf den ausschließlichen Einsatz in Pilotprojekten zurückzuführen ist. In Bezug auf die bisherigen Einsätze von Assistenzrobotern auf der Baustelle wurde abgefragt, ob bereits eine Netzwerkstruktur besteht, um Erfahrungen an die Hersteller zurückzuführen. Es wurde berichtet, dass bisher nur ein sehr schwacher und unregelmäßiger Informationsaustausch stattfindet. Dieser Informationsaustausch soll im Kompetenzzentrum CONSAS systematisch aufgebaut werden. Alle Interviewteilnehmer schätzen den technologischen Reifegrad der bisher am Markt verfügbaren Assistenzroboter als niedrig ein. Durch strukturiertes Feedback innerhalb des Kompetenzzentrums insbesondere mit den Herstellern kann der technologische Reifegrad von Assistenzrobotern auf der Baustelle in Deutschland kontinuierlich gesteigert werden. In den Interviews wurde das entwickelte Business-Ecosystem (4.3.4) vorgestellt und von allen Interviewteilnehmern bestätigt. Ebenfalls bestätigt wurden die für die Erprobungsstudien geplanten Gewerke und Tätigkeiten (4.3.2.1), für die Assistenzroboter auf der Baustelle eingesetzt werden sollen. Abschließend wurde die Einschätzung der Interviewteilnehmer bzgl. des Zeitpunktes der Befragung, die Dauer der Befragung und die Anzahl der Befragungen während der Erprobungsstudien eingeholt. Daraus ergeben sich am Nachmittag 20-30-minütige Befragungen während der Erprobungsstudien, die je nach Dauer der Erprobungsstudien zyklisch wiederholt werden. Alle Ergebnisse und Anregungen aus den Interviews der Machbarkeitsstudie sind in das Gesamtkonzept des Kompetenzzentrums CONSAS eingeflossen.

4.3.4 Business-Ecosystem zum Kompetenzzentrum CONSAS

Zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für Assistenzrobotik wurden während der Machbarkeitsstudie zunächst alle relevanten Stakeholdergruppen identifiziert. Daraus leitet sich als Ergebnis das Business-Ecosystem von CONSAS ab (Abb. 4.7). Um die verschiedenen Stakeholdergruppen hinsichtlich ihres unterschiedlich starken Einflusses zu kategorisieren und diese in die damit verbundenen Hierarchien im Ecosystem einordnen zu können, wurde ein Onion Modell (Zwiebelmodell) als Repräsentationsmedium gewählt. Dieses besteht aus drei Layern, je weiter der Layer vom Zentrum entfernt ist, desto geringer ist die relative Beziehung und der Einfluss auf das Zentrum. Die Stakeholder werden neben den Verbundpartnern in drei Kategorien gegliedert. Das Modell dient als Ausgangspunkt für die Stakeholder-Analyse, welche sich für spezifische Anwendungsgefälle (abhängig von Gewerk und Tätigkeit) ändert. Das Modell reagiert je nach Anwendungsfall unterschiedlich in Relation zum Informationsfluss, wie auch Geldfluss. Im Zentrum der Betrachtung steht das Kompetenzzentrum CONSAS, das aus den Verbundpartnern besteht. Der erste Layer (Geschäftssystem) beinhaltet alle Stakeholder, die direkt vom Kompetenzzentrum adressiert werden. Dazu gehören beispielsweise Firmen, welche Wertschöpfung auf der Baustelle betreiben und Hersteller von Robotersystemen. Aus diesem Layer rekrutieren sich u. a. die assoziierten Partner (siehe 4.5.2). Im zweiten Layer sind Stakeholder angesiedelt, die indirekt betroffen sind. Dieser Layer kann als eine Serviceebene angesehen werden, der Stakeholder mit Aufgaben zu Wartungsarbeiten oder Logistik beinhaltet. Der dritte Layer stellt die Umgebung des Business-Ecosystems von CONSAS dar und beinhaltet Stakeholder, welche indirekt in Beziehung zur Assistenzrobotik auf der Baustelle stehen. Hierzu zählen beispielsweise Behörden und Investoren. Die Beziehungen zwischen den Stakeholdern sollen sich im geplanten Ecosystem in Form von Informations- und Geldflüssen ausdrücken. Beispielsweise können Informationsflüsse Erfahrungen aus den Erprobungsstudien auf der Baustelle an die Hersteller der Assistenzrobotersysteme weiterleiten.

Der Einsatz von Assistenzrobotik am Bau, so zeigt die Machbarkeitsstudie, steht vor der Herausforderung, komplexe, hybride (aus physischem Produkt und Dienstleistungen bestehende) Leistungsangebote zu schaffen. Im Fall der Baurobotik kommt noch hinzu, dass die unterstützenden Systeme tief in die Gestaltung menschlicher Arbeit

eingreifen und daher ein hohes Maß an Akzeptanz und Kompetenzentwicklung in der Handhabung und Wartung erfordern. Es ist davonauszugehen, dass die notwendigen Leistungen nicht mehr von einem Anbieter konzipiert und erbracht werden können. Zukunftsfähige Geschäftsmodelle müssen in der Lage sein, Wertschöpfungskonstellationen zu gestalten, in denen gemeinschaftliche Ressourcennutzung verlässlich organisiert, heterogene materielle und immaterielle Kosten und Werte, die durch die übergreifende Ressourcennutzung entstehen, fair verteilt werden. Hinzu kommt, dass es sich bei Business-Ecosystemen um ein System von Systemen handelt. Das bedeutet, dass jeder beteiligte Akteur zunächst den Zielen, Werten und Handlungslogiken der jeweiligen Ursprungsorganisation verpflichtet ist. Es stellt sich die Frage der Elastizität dieser Ursprungsgeschäftsmodelle und der Gestaltung von Anschlussfähigkeit an neue, kollaborative Geschäftsmodelle. Eine besondere Herausforderung liegt dabei in der Formulierung gemeinsamer Wertversprechen sowie der operativen Ressourcenintegration über Unternehmensgrenzen hinweg.

4.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

4.4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Durch die Schaffung eines bei der Industrie angesiedelten Kompetenzzentrums wird tiefgreifendes Wissen über Möglichkeiten des Einsatzes von Assistenzrobotik im Hochbau für die Praxis generiert. Die Ed. Züblin AG als federführendes Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft hat ein inhärentes Interesse die Ergebnisse des Projektes zu verwerten sowie das Kompetenzzentrum langfristig zu betreiben. Züblin ist als technologieaffiner Anwender und damit in Verbindung stehender Signalwirkung an die weiteren Akteure ausgezeichnet geeignet, um als Orchestrator eines Business-Ecosystems für Assistenzroboter im Bausektor zu agieren. Es ist aus zweierlei Gründen eine großflächige Verbreitung zu erwarten. Züblin verfügt in der DACH-Fläche über die notwendige Marktdurchdringung. Viele Gewerke werden von mittelständischen und kleinen NUs ausgeführt. Da auch bei NUs akuter Personalmangel herrscht, dort aber keine Ressourcen für ein eigenes Kompetenzzentrum vorhanden sind, sollen diese Unternehmen ebenfalls von den Erkenntnissen des Kompetenzzentrums profitieren. Ebenso können die Technologiehersteller profitieren, deren Absatz sich durch eine

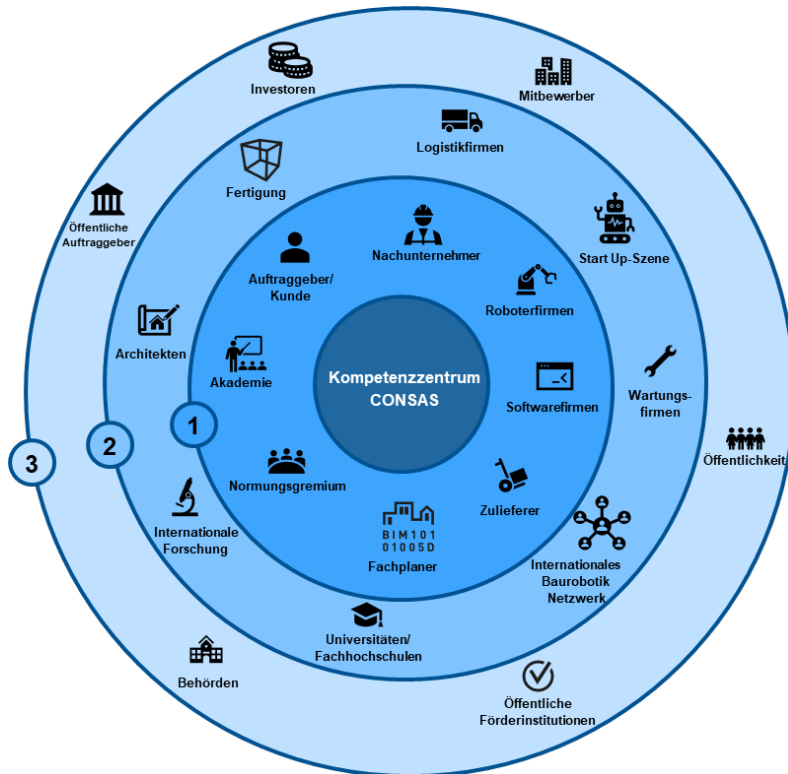


Abbildung 4.7: Business-Ecosystem CONSAS

zunehmende Anzahl von Einsatzbaustellen steigert und dadurch befähigt werden neue Lösungen zu entwickeln.

Allgemein sind die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten einer zunehmenden Automatisierung und Robotisierung im Bauwesen groß: der vermehrte Einsatz von Assistenzrobotern könnte dem akuten Personalmangel entgegenwirken und die gesamte Branche für ArbeitnehmerInnen attraktiver machen. Durch die Senkung der Arbeitsunfälle, Arbeitsunfähigkeit und Arbeitsabwesenheit als Konsequenz der Unterstützung bei den schweren körperlichen Tätigkeiten könnten nicht nur massive Einsparungen bei den Bauunternehmen, sondern für die Gesellschaft als Ganze entstehen. Weitere Einsparungen würden durch Steigerung der Produktivität erlangt werden können.

4.4.2 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten

Neben der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten hält das Konsortium auch die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten und die Anschlussfähigkeit für hoch. Als eines der Kernergebnisse des Projekts entsteht eine neuartige multidimensionale Bewertungsmethodik, die alle wesentlichen Aspekte (wie die Mensch-Roboter-Interaktionsqualität, Usability, technische Funktionsfähigkeit, Aufgabenerfüllung, physische Entlastung der Nutzer, Roboter-Autonomie und Sicherheit sowie die soziale Effekte in der Interaktion), die relevant für den Einsatz der Roboter auf die Baustelle und die Kooperation bzw. Kollaboration mit deren menschlichen Nutzer sind, betrachtet. Dies wird von der im Konsortium vorhandenen optimalen Zusammensetzung von Expertise und tiefgreifender Erfahrung im Bereich der Robotik, der Bauprozesse, der Analyse von mensch-zentrierten Faktoren (wie Biomechanik, Ergonomie, User Experience) und der Arbeitsorganisation ermöglicht. Darüber hinaus wird die Generalisierung der methodischen Arbeiten zur Entwicklung einer übergreifenden branchenneutralen Bewertungsmethodik für Assistenzroboter im Projekt angestrebt. Die zu entwickelnden Metriken können für andere Branchen als Leitplanken zur Bewertung von Assistenzrobotern dienen. Die Verbreitung dieser neuen Ergebnisse ist durch die Mitwirkung der drei wissenschaftlichen Partner (TUM, IAO und IPA) in den wesentlichen Anwendungsfeldern der Assistenzrobotik sichergestellt.

Im Rahmen der geplanten Umfragen vor und während der Erprobungsstudien werden die biomechanischen Parameter während der Durchführung der Tätigkeiten mit und ohne Roboter systematisch und über die Dauer der gesamten Testphase regelmäßig erfasst. Diese Daten werden anschließend auf Basis von orthopädischen, sportwissenschaftlichen und arbeitsmedizinischen Grundlagen hinsichtlich der Entlastung und Ergonomie der Systeme analysiert. Dem Konsortium ist kein vergleichbares Projekt zur Evaluation der physischen Entlastung und Ergonomie von Assistenzrobotern auf deutschen Baustellen bekannt. Insbesondere im Kontext des Einsatzes von Exoskelett-Systemen, wo biomechanische Wirkungen und Langzeiteffekte der Nutzung immer wieder hinterfragt und diskutiert werden. Die entstehende Datenbasis und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse sind von großer Bedeutung und haben Einfluss auf den zukünftigen Einsatz von Assistenzrobotern sowohl in der Baubranche als auch in vielen weiteren Anwendungsbereichen wie der Produktion, der Logistik und der Landwirtschaft.

In Bezug auf die Entwicklung von Geschäftsmodellen und Dienstleistungen für den Einsatz von Assistenzrobotik im Hochbau steht mit dem Business Model Canvas und den erweiterten Methodiken zu dessen Anwendung auf Multi-Akteurs-Konstellationen ein robustes Instrumentarium zur Verfügung, um das hochgradig neue Feld der Realisierung von smarten, hybriden Leistungen in komplexen und hochsensiblen sozio-technischen Systemen zu erschließen. Von besonderem Interesse ist es dabei, belastbare und mit einem Multi-Akteurs-Setting Praxisfälle zu entwickeln, die es erleichtern, die bislang zu beklagende, große Spreizung im Niveau von Digitalisierung, Einsatz von KI und Transformation von Arbeit zwischen Branchen und Unternehmensgrößen zu verringern. Eine besondere Chance für die Generierung neuen Wissens stellt dabei die Bearbeitung der Geschäftsmodell-Thematik auf zwei Ebenen dar: erstens der operativen Anwendungs-/Nutzerebene mit Fachleuten am Bau als “Experts of their Experience” sowie zweitens der übergreifenden Ebene von flankierenden Mehrwertdienstleistungen eines Kompetenzzentrums für Assistenzrobotik. Die Bearbeitung der Fragen, wie gemeinschaftliche Leistungsangebote entstehen, welche Schlüsselprozesse der Ressourcenintegration zur operativen Umsetzung von neuartigen Wertversprechen zu gestalten sind und wie eine Roadmap der Geschäftsmodelltransformation aussehen kann, lassen wertvolle Beiträge für Forschung und Innovation rund um neue Konzepte vernetzter Wertschöpfung erwarten. Das Übertragungspotenzial der angestrebten Entwicklungsprozesse und Ergebnisse in andere Bereiche wird als hoch eingeschätzt.

4.4.3 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

An diesen Gedanken anschließend wird die Schaffung eines zentralen Hub (um das sich das Ökosystem organisieren und entwickeln kann) für Baurobotikentwicklung im deutschen Raum angestrebt, was eben diese Lösungen für die Stakeholdergruppen beinhaltet. Durch die gezielte Kombination mit anderen Konzern-Programmen, wie z. B. dem Start-up-Programm, das gezielte, gemeinsame Entwicklungen mit Start-Ups vorsieht, können weitere passende Tech-Firmen eingebunden werden. Züblin würde im Anschluss an eine Förderung die notwendigen personellen und finanziellen Ressourcen zur Verfügung stellen, um das Kompetenzzentrum gemeinsam mit geeigneten Partnern aus Wissenschaft und/oder Intermediären zu betreiben und weitere wissenschaftliche Fragestellungen anzustoßen. Des Weiteren beinhaltet der Arbeitsplan

die Entwicklung von Geschäftsmodelloptionen für ein nachhaltig leistungsfähiges Kompetenzzentrum CONSAS. Hier geht es darum Mehrwertdienstleistungen, Schlüsselprozesse und Gegenwertoptionen zu formulieren, die es ermöglichen, ein nachhaltig wirksames Kompetenzzentrum zu etablieren. Damit wird zum Ziel „einer grundlegenden Vorbereitung für flächendeckenden Einsatz“ von Roboterlösungen beigetragen (vgl. Abschnitt 1.2). Der Baurobotik-Hub soll als langfristige Weiterentwicklung des Kompetenzzentrums CONSAS sowohl Industriepartnern als auch Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen offenstehen und folgende Dienstleistungen anbieten:

- Möglichkeit der schnellen und kostengünstigen Evaluation robotischer Technologien unter Realbedingungen und dadurch erleichterter Marktzugang,
- Know-How im Bereich Baurobotik mit Fokus auf die baupraktische Anwendung,
- Nutzung der bereitgestellten Infrastruktur, Ort der Vernetzung zwischen Industrie, Start-ups und Wissenschaft,
- Aus- und Weiterbildungszentrum

Denkbar ist ebenso neben dem Use Case Hochbau zukünftig auch weitere Anwendungsfälle wie Verkehrswegebau oder Tunnelbau mit einzubeziehen, um langfristig die komplette Wertschöpfungskette Bau abzudecken. Ein mögliches Geschäftsmodell inkl. Leistungsportfolio für das Kompetenzzentrum soll im Projekt mit den potenziellen Partnern des Kompetenzzentrums erarbeitet werden.

4.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

4.5.1 Vorstellung der Verbundpartner

4.5.1.1 Ed. Züblin AG

Die Ed. Züblin AG gegründet 1898 mit Hauptsitz in Stuttgart, beschäftigt rund 14.000 MitarbeiterInnen und besitzt eine jährliche Bauleistung von rund 4 Mrd. EUR. Somit gehört das Unternehmen zu den führenden deutschen Baukonzernen. Die Ed. Züblin AG gehört zum Unternehmensverbund der österreichischen STRABAG SE, einem der führenden Baukonzerne Europas. Als ausführende Baufirma verfügt Züblin über das notwendige Know-How zu Bauplanungs- und Ausführungsprozessen und treibt proaktiv die Entwicklung und Umsetzung neuer Technologien voran. Im Rahmen einer konzernweiten Robotik-Strategie soll das Thema Assistenzrobotik eine zentrale

Rolle spielen. In den letzten Jahren konnten Cobots für Handwerkerfunktionen sowie passive Exoskelette in mehreren Konzernunternehmen getestet und erste Erfahrungen gesammelt werden. Um den Einsatz von Assistenzrobotern auf Baustellen voranzutreiben ist eine starke Einbindung der Bauplanung notwendig. In der Zentralen Technik (ZT) sind die wichtigen planungstechnischen Kompetenzen des Konzerns gebündelt. Die Dienstleistungen für die konzernweite Unterstützung der operativen Einheiten umfassen den Schlüsselfertigbau, den Konstruktiven Ingenieurbau, den Tief- und Tunnelbau, das Bauprozess Management sowie Digitalisierung und Software Engineering. Dabei begleitet die ZT den gesamten Bauprozess: von der Akquisitionsphase über die Angebotsbearbeitung, die Ausführungsplanung bis hin zur Fachbauleitung. Um die technische Wettbewerbsfähigkeit des Konzerns für die Zukunft zu stärken, forciert die ZT sämtliche fachspezifischen sowie interdisziplinären Innovationen. So ist die ZT auch für das Thema BIM 5D® zentrale Know-how-Trägerin und treibt dieses für den Konzern voran. Mit rund 50 MitarbeiterInnen verfügt diese Abteilung über das notwendige Expertenwissen und über die Erfahrung, die für die Umsetzung des Projekts nötig sind. Die BIM (Content) Entwicklung ist Kernbestandteil der Digitalisierungsstrategie des Konzerns. Aktuelle BIM geplante Referenzprojekte sind z. B. die neue Hauptzentrale von Adidas „World of Sports“ oder der Axel Springer Neubau in Berlin. Teil der BIM-Entwicklungsabteilung, die mittlerweile weit über 50 Personen beschäftigt, ist auch ein Team, das sich mit digitaler Fabrikation befasst. Erste konkrete Erfahrungen in diesem Bereich konnten beim 3D-Druck gesammelt werden.

4.5.1.2 Technische Universität München - Baurealisierung und Baurobotik

Die Technische Universität München (TUM) wurde 1868 gegründet und zählt zu den besten Universitäten Europas mit Spitzenleistungen in Forschung und Lehre, Interdisziplinarität und Talentförderung. Der Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik der TUM versteht sich als Inkubator und Erweiterung der Kernkompetenzen des Planens und Bauens und zählt zur Fakultät für Architektur. Angesiedelt im bayrischen Hightech-Cluster ist der Lehrstuhl gut vernetzt und untersucht die Möglichkeiten der Baurobotik auf praktischer, wie auch theoretischer Basis und insbesondere in

Verbindung zu soziotechnisch integrierten und gebäudenahen Technologien seit vielen Jahren. Der Lehrstuhl definiert Architektur als Dienst an der Gesellschaft und Bauen als Produktionsprozess. Auch wenn Architektur und Bauwesen die Schwerpunkte des Lehrstuhls sind, verzahnt er sich erheblich mit anderen Disziplinen und Fakultäten (wie z. B. Wirtschaftsingenieurwesen, Elektrotechnik, Bauingenieurwesen, Wirtschaftswissenschaften, Innenarchitektur, Informatik, Maschinenbau) um die Wissensgenerierung durch gebündeltes Knowhow zielgerichtet zu fördern. Besondere Kompetenz hat der Lehrstuhl durch die Forschung in den Bereichen der Produktionstechnik, IKT, Mikrosystemtechnik, Mechatronik, Automatisierung, Robotik und Assistenztechnik gewonnen und wendet dieses Wissen zur Lösung von Zukunftsproblemen an (z. B. demografische Herausforderungen unserer Gesellschaft unter Berücksichtigung aller Phasen des Gebäudelebenszyklus). Viele Forschungsprojekte sind dabei Ausdruck der Expertise. Angefangen mit dem Projekt USA welches einen robotischen, minifabrikanähnlichen Arbeitsplatz entwickelte, der neuartige Technologien aus den Bereichen Telepräsenz, kooperative Robotik, nahtlose Interaktion, 3D-Druck und Cloud Manufacturing integrierte. Ein weiteres Anwendungsbeispiel aus der Forschung in Relation zur Baurobotik ist das HEPHAESTUS-Projekt. Dieses untersucht den innovativen Einsatz von Robotern und autonomen Systemen im Bauwesen und zielt auf die erhöhte Marktreife und Akzeptanz bei der Anwendung von Seilrobotern für die Montage von Vorhangfassaden ab. Das Forschungsprojekt ENSARE hingegen fördert die Sanierung von Wohngebäuden in Europa mit dem Ziel Gebäudekomponenten und digitale Lösungen dafür zu entwickeln. All diese Projekte sind Ausdruck der roboterbasierten Anwendung/Verwertung von in der Forschung generiertem Wissen und veranschaulicht das breite Spektrum des Lehrstuhls in den Bereichen Baurobotik und Baurealisierung.

4.5.1.3 Fraunhofer-Institute IAO und IPA

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 74 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Rund 28.000 MitarbeiterInnen überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Mrd. EUR.

Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart ist seit

knapp 40 Jahren ein renommierter Anbieter von Dienstleistungen in den Bereichen Unternehmens- und Arbeitsorganisation, Technologiemanagement sowie Informations- und Kommunikationstechnik. Das Institut unterstützt Unternehmen dabei, die Potenziale innovativer Organisationsformen sowie zukunftsweisender Informations- und Kommunikationstechnologien zu erkennen, individuell auf ihre Belange anzupassen und konsequent einzusetzen. Das Team "Building Culture Innovation" setzt sich mit der Anwendung der digitalen Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse in der Wertschöpfungskette Bau und Immobilien auseinander. Im Fokus stehen Studien und Projekte mit Planern, ausführenden Unternehmen und öffentlichen und privaten Bauherren in der Bau- und Immobilienbranche. Das Team ist aktiv in zahlreichen Netzwerken in den Bereichen Extended Reality XR, Building Information Modelling (BIM) tätig und prägt damit zukünftige Entwicklungen in diesen Bereichen. Das Team "Service Business Innovation" leistet Forschungs- und Innovationsarbeit zur Kreation und nachhaltigen Erbringung neuer, häufig smarterer Dienstleistungen. Ein fachlicher Schwerpunkt liegt dabei auf der Gestaltung von Geschäftsmodellen für serviceorientierte, vernetzte Wertschöpfung die zunehmend in Multi-Akteurs-Konstellationen sich formierender Business-Ecosysteme stattfindet.

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA – eines der größten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft – wurde 1959 gegründet und beschäftigt annähernd 1000 MitarbeiterInnen. Die 15 Fachabteilungen des Fraunhofer IPA decken den gesamten Bereich der Produktionstechnik ab und entwickeln stetig neue Lösungen für die Automatisierung in verschiedenen Bereichen, Branchen und Ebenen, von der Fabrikplanung bis hin zu der Laborautomatisierung. Die Abteilung "Biomechatronische Systeme" besteht aus einem Team von Experten aus den Bereichen Medizin, Medizintechnik, Physiotherapie und Sportwissenschaften sowie Ingenieurwesen und Informationstechnologie. Dies ermöglicht eine ganzheitliche, quantitative und qualitative Betrachtung von Exoskelett-gestützten Arbeitsprozessen. Die Gruppe "Ängewandte Biomechanik" führt seit Jahren praxisorientierte Ergonomie-Analysen und Workshops bei Unternehmen durch und zeichnet sich durch interdisziplinäre Expertise im Bereich Arbeitsergonomie aus. Die Abteilung "Roboter- und Assistenzsysteme" entwickelt Schlüsseltechnologien für Roboter und Automatisierungslösungen, und setzt diese in innovative Industrieroboter, Serviceroboter und intelligente Maschinen um. In diesem

Kontext hat sie umfangreiche Kompetenzen und Erfahrungen im Bereich der sicheren Mensch-Roboter-Interaktion aufgebaut.

4.5.2 Assoziierte Partner

Das hier vorgestellte Konsortium wird von 18 assoziierten Partnern unterstützt. Zum einen sind industrielle Partner (IND), vorwiegend Entwickler und Hersteller von Assistenzrobotern und Exoskeletten, daran interessiert ihre für die Baustelle spezialisierten Systeme unter realen Einsatzbedingungen zu testen, um durch wissenschaftliche Erkenntnisse diese zu optimieren und an die Bauprozesse anzupassen. Zum anderen konnten industrielle Stakeholder, wissenschaftliche Einrichtungen und Verbände zur Teilnahme an einem Advisory Board (ADV) für die Umsetzung des Kompetenzzentrums einladen werden.

1	ABB AG / Österreich	Wiener Neudorf, Österreich	Unternehmen	IND	Entwickler und Hersteller von Industrierobotern, kollaborativen Robotern, Robotersteuerung und Software
2	Assisted Working and Automation	Darmstadt, DE	Hochschule	IND	Forschung und Entwicklung in den Bereichen des Bauwesens und des Handwerks
3	baua	Dortmund, DE	Bundesanstalt	ADV	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
4	Bauwirtschaft BW	Stuttgart, DE	Verband	ADV	Branchenverband Bauwirtschaft in Baden-Württemberg
5	BG Bau	Berlin, DE	Verband	ADV	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
6	Biersack Technologie GmbH & Co.KG	Beilngries, DE	Unternehmen	IND	Hersteller aktiver Exoskelette
7	BW-Handwerkstag e.V.	Stuttgart, DE	Verband	ADV	Zusammenschluss sämtlicher Handwerksorganisationen in Baden-Württemberg
8	Cobod	Kopenhagen, Dänemark	Unternehmen	ADV	Entwickler und Hersteller von 3D-Druck-Systemen, Steuerung und Software
9	CREDO Robotics GmbH	München, DE	KMU	IND	Kommunikation und Transfer für Baurobotik
10	DIN - Deutsches Institut für Normung e.V.	Berlin, DE	Verband	ADV	Nationale Normungsorganisation
11	German Bionic Systems	Augsburg, DE	KMU	IND	Hersteller aktiver Exoskelette (z. B. Cray X), Marktführer bei Hüft-Unterstützenden-Systemen
12	Hilti DE AG	Kaufering, DE	Unternehmen	IND	Hersteller von Assistenzrobotern und intelligenten Werkzeugen
13	ISG GmbH	Stuttgart, DE	KMU	IND	Hersteller von Steuerungssoftware
14	Iturri	Sevilla, Spanien	Unternehmen	IND	Vertrieb von vielen passiven Exoskelett-Systemen in DE und Europa
15	Okibo Ltd	Petach Tikva, Israel	KMU	IND	Hersteller von Assistenzrobotern für die Bauwirtschaft
16	RB3D	Monéteau, FR	Unternehmen	IND	Hersteller aktiver Exoskelette
17	Robotics, University of Southern Denmark (SDU)	Odense, Dänemark	Hochschule	ADV	Forschung auf den Gebieten der kognitiven und angewandten Robotik mit Ziel an Forschungsproblemen aus realen Robotik-Anwendungen zu arbeiten
18	SoKo Fussboden GmbH	Elmenhorst, DE	KMU	IND	Hersteller von Zusatzmittel für Estrich und eines Estrichabzieherroboters

Tabelle 4.1: Partner

4.6 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Das Forschungsvorhaben CONSAS hat ein Arbeitspaketübergreifendes Kommunikations- und Transferkonzept aufgestellt, das die Ziele des wissenschaftlichen Trans-

ferprojektes adressiert und unterstützt. Kommunikation und Transfer der Ergebnisse finden auf unterschiedlichen Leveln statt:

1. Erkenntnisse aus der Auswertung der getesteten Assistenzrobotersysteme fließen zunächst zu den Herstellern und anderen beteiligten Stakeholdern,
2. Kommunikation der Ergebnisse innerhalb der Baubranche u. a. in Form von Aus- und Weiterbildung für den Mittelstand, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Vorträgen,
3. Wissenschaftliche Veröffentlichungen und Einbindung in die akademische Lehre,
4. Aufbau einer öffentlichen Datenbasis zur Baurobotik für Interessierte und Öffentlichkeit u.a. über eine Projekt-Webseite und Social-Media-Kanäle

Die Zielgruppengerechte Aufbereitung der Ergebnisse sowie die öffentliche Datenbasis spricht auch das Transferprojekt sowie die anderen geförderten Zentren an und soll Austausch bspw. zu Methoden und Herangehensweisen und den Transfer der Ergebnisse fördern.

Eine Zusammenarbeit mit dem wichtigsten deutschen Normungsinstitut, dem DIN, soll schon während der Projektlaufzeit die Potenziale einer Standardisierung der Projektergebnisse herausarbeiten – da methodische Ansätze in andere Anwendungsfelder übertragen werden können, wäre auch hier eine Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt interessant.

Die Entwicklung eines Geschäftsmodells für das Kompetenzzentrum CONSAS wird ebenfalls in den Arbeitspaketen adressiert (AP 6.5). Des Weiteren soll CONSAS während der Projektlaufzeit iterativ verbessert werden (AP 6.6) und neue Erkenntnisse anderer Projekte stetig miteinfließen lassen. Die erlangten Ergebnisse können im Rahmen des Austausches mit dem Transferprojekt kommuniziert und diskutiert werden.

Literaturverzeichnis

- Thomas Bock. Construction robotics. *Autonomous Robots*, 22(3):201–209, 2007.
- Thomas Bock. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in construction*, 59:113–121, 2015.
- Thomas Bock and Thomas Linner. *Robotic industrialization*. Cambridge University Press, 2015.
- Thomas Bock and Thomas Linner. *Construction Robots: Volume 3: Elementary Technologies and Single-task Construction Robots*. Cambridge University Press, 2016a.
- Thomas Bock and Thomas Linner. *Site Automation: Automated/robotic On-site Factories*. Cambridge University Press, 2016b.
- Thomas Bock, Thomas Linner, and W Ikeda. Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment. *The future of humanoid robots-research and applications*, pages 111–144, 2012.
- Thomas Bock, Thomas Linner, Jörg Güttler, and Kepa Iturralde. *Ambient Integrated Robotics: Automation and Robotic Technologies for Maintenance, Assistance, and Service*, volume 5. Cambridge University Press, 2019.
- Mathias Brandstötter and Titanilla Komenda. Gegenwart und Zukunft kollaborationsfähiger Robotersysteme. *Stellenwert menschlicher Arbeit im Zeitalter der digitalen Transformation*, 2020.
- Juan Manuel Davila Delgado, Lukumon Oyedele, Anuoluwapo Ajayi, Lukman Akanbi, Olugbenga Akinade, Muhammad Bilal, and Hakeem Owolabi. Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. *Journal of Building Engineering*, 26:100868, 2019.
- International Federation of Robotics IFR. World robotics 2019 – industrial robots and service robots. Frankfurt: VDMA Services GmbH, 2019.

- Rohana Mahbub. *An investigation into the barriers to the implementation of automation and robotics technologies in the construction industry*. PhD thesis, Queensland University of Technology, 2008.
- Nathan Melenbrink, Justin Werfel, and Achim Menges. On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building. *Automation in construction*, 119: 103312, 2020.
- Linda Onnasch, Xenia Maier, and Thomas Jürgensohn. *Mensch-Roboter – Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund, 2016.
- Isaac Perkins and Martin Skitmore. Three-dimensional printing in the construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*, 15(1):1–9, 2015.
- Yi Wei Daniel Tay, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed Noor Mohamed, Ming Jen Tan, and Kah Fai Leong. 3d printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(3):261–276, 2017.
- Mohd Yamani Bin Yahya, Yin Lee Hui, Azlina Binti Md Yassin, Roshartini Omar, Rolyselra Orbintang anak Robin, and Narimah Kasim. The challenges of the implementation of construction robotics technologies in the construction. In *MATEC Web of Conferences*, volume 266, page 05012. EDP Sciences, 2019.
- Yusuke Yamazaki and Junichiro Maeda. The smart system: an integrated application of automation and information technology in production process. *Computers in Industry*, 35(1):87–99, 1998.
- Holly A Yanco and Jill L Drury. A taxonomy for human-robot interaction. In *Proceedings of the AAAI fall symposium on human-robot interaction*, pages 111–119, 2002.
- T Yoshida. A short history of construction robots research & development in a japanese company. In *Proceedings of the international symposium on automation and robotics in construction*, volume 188, page 193, 2006.

Kompetenzzentrum für menschenzentrierte Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen (KARoKAS)

Förderkennzeichen 16SV8631

Adrian Schischmanow¹, Alfred Iwainsky², Sandra Böhm³, Lina Figueiredo⁴, Michael Melzer⁵, Patrick Neumann⁵, Astrid Oehme³, Angelika Trübswetter⁴ und Elise Werner⁴



¹Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin-Adlershof

²Gesellschaft zur Förderung
angewandter Informatik e.V. (GFaI)
Volmerstraße 3
12489 Berlin

³HFC
Human-Factors-Consult GmbH
Köpenicker Straße 325
12555 Berlin

⁴YOUSE GmbH
Florastraße 47
13187 Berlin

⁵Bundesanstalt für
Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

5.1 Ziele des Kompetenzzentrums

5.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Während Industrieroboter längst breitenwirksam sind, ist bei Assistenzrobotern ein technischer Stand erreicht, bei dem von Praxisreife in vielen Fällen noch nicht gesprochen werden kann. Insbesondere die Entwicklung von Assistenzrobotik und deren produktiver Einsatz im Katastrophenfall und bei komplexen Schadensereignissen steht noch am Anfang, da hier die Probleme der Einsatzlogistik, schwieriger Umgebungsbedingungen und erweiterte Ansprüche an die Zuverlässigkeit hinzukommen, so dass

letztendlich die ersten Einsatzkräfte vor Ort noch immer Menschen sind und Roboter deutlich an ihre Grenzen stoßen. Die Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) findet in diesen Domänen in so komplexen Prozess-, Entscheidungs- und Handlungsräumen statt, dass es bisher selbst an formalisierten Konzepten und Bewertungen fehlt. Die Anforderungen an die Robustheit, Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit (Usability) der Roboter im Feldeinsatz sind hierbei besonders hoch (vgl. De Greeff et al. 2018).

Insgesamt gibt es bei Katastrophen und komplexen Schadensereignissen derzeit keine flächenhaften Praxiserprobungen von Assistenzrobotik. Deren systematische Einbindung in operative Abläufe von Vor-Ort-Kräften wird mittlerweile aber immer stärker von Endanwender:innen gefordert. Dabei geht es um die Erstellung aussagekräftiger ad-hoc Lagebilder, die Erfassung und Vermittlung weiterer relevanter Daten für die Einsatzkräfte und auch um robotische Unterstützung beim Rettungs- und Bergungsvorgang. Ziel ist die Erhöhung der Sicherheit – sowohl der Einsatzkräfte als auch der Bevölkerung – sowie die effektive und effiziente Bewältigung der Lage.

Große Hürden für den Einsatz von Assistenzrobotik in dieser Anwendungsdomäne sind die zum Teil gravierenden technischen Schwächen, Störanfälligkeiten und damit verbundene potentielle Sicherheitsrisiken sowie nicht ausreichende und nicht einheitliche Standards, Normen, Zertifizierungen und Dokumentationen. Darüber hinaus erfüllen weder die Sensorik, Kommunikation und Navigation noch die Datenverarbeitung die hohen Anforderungen an sichere, operationell einsatzfähige Systeme. Es gibt auch nicht unerhebliche Defizite in der Ausbildung und somit ungeübten Umgang mit robotischen Systemen in der Praxis.

Auf dem Weg zu praxistauglichen und nutzenbringenden robotischen Assistenzsystemen für Einsätze in Katastrophensituationen und bei komplexen Schadensereignissen ist deshalb interdisziplinäre Forschung notwendig, die alle genannten Aspekte aufgreift und integriert. Am Deutschen Rettungsrobotik Zentrum (DRZ) in Dortmund wird dies bereits aus technischer Perspektive vorangetrieben. Eine wissenschaftlich begleitende Forschung zur Bewertung der MRI, der Gebrauchstauglichkeit und des Nutzer:innenerlebens (Usability und User Experience, UUX) sowie von ethischen, rechtlichen und sozialen Belangen (Ethical, Legal and Social Implications, ELSI) wird am DRZ jedoch nicht betrieben und ist dort so auch nicht geplant. Diese Themen stellen

indes das entscheidende Bindeglied zwischen der Technik und den Anwender:innen dar. Sie stellen sicher, dass technische Lösungen nicht an den Nutzenden vorbei entwickelt werden und nehmen eine Schlüsselrolle in der erfolgreichen Überführung von Assistenzrobotik in die Praxis sowie bei der Akzeptanz und sicheren Nutzung der Assistenzsysteme ein. Das Forschungsprojekt „Kompetenzzentrum für menschenzentrierte Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen“ (KAroKas) schließt diese Lücke und bildet damit eine sinnvolle und nachhaltige Ergänzung zu bereits bestehenden Kompetenzzentren wie dem DRZ.

Gesellschaftliche Relevanz der Anwendungsdomäne

Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels und den infolgedessen zunehmenden Wetterextremen mit Hitze- und Starkregenereignissen, den daraus resultierenden Katastrophen und komplexen Schadensereignissen der letzten Zeit ist absehbar, dass es zukünftig einen Mehrbedarf an technischen Weiterentwicklungen zur Rettung von Menschenleben sowie zur Entlastung von Einsatzkräften geben wird. In diesem Kontext gibt es Nachholbedarf an technischer Unterstützung (IFAFRI 2019), dem zukünftig u. a. auch mit robotischen Assistenzsystemen begegnet werden sollte.

Das Thema Katastrophenschutz wurde zuletzt auf bundespolitischer Ebene von Unionsfraktionschef Ralph Brinkhaus adressiert: „Das Land ist nicht darauf vorbereitet, auf Krisen schnell, flexibel und einheitlich zu reagieren. Es gibt nahezu keine Notstandsgesetzgebung für zivile Krisen. Es gibt keine schnell aktivierbaren gemeinsamen Bund-Länder-Kommunal-Krisenstäbe.“ (ntv.de, 2021). Dieser Umstand hemmt auch die Innovationskraft auf der Technikseite, wodurch wiederum ein effektives und effizientes Handeln erschwert wird.

KAroKas möchte diese gesellschaftlich wichtige Herausforderung annehmen, indem es sich der Entwicklung, Anpassung und Evaluierung robotischer Assistenzsysteme für den Einsatz in Katastrophen und komplexen Schadensereignissen mit der wissenschaftlichen Bewertung von UUX und ELSI als Schwerpunkt widmet und damit den Einsatz gebrauchstauglicher und im Sinne der MRI sicherer Systeme voranbringt. KAroKas wirkt dabei komplementär zur technischen Ausrichtung des DRZ und bezieht teilweise auch die polizeiliche Gefahrenabwehr ein. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit beider Kompetenzzentren ermöglicht einen ganzheitlichen Erkenntnisgewinn und

die Entwicklung menschenzentrierter, in die Organisations- und Interaktionsprozesse optimal integrierter Assistenzroboter. Vor dem Hintergrund des Klimawandels, seiner Auswirkungen und des Bedarfs an robotischer Assistenz in der Anwendungsdomäne „Katastrophenschutz und komplexe Schadenslagen“ wäre die Kombination beider Zentren damit von großem gesellschaftlichem Nutzen.

5.1.2 Thema des Verbundprojektes

Im Fall komplexer Schadenslagen und Katastrophen können robotische Systeme sehr unterschiedliche Unterstützung leisten. Durch Erdbeben, Überflutungen und andere Katastrophen beschädigte und einsturzgefährdete Gebäude können von Einsatzkräften nicht immer sofort betreten werden. Jedoch ist es für den Einsatzauftrag zwingend notwendig, Informationen über den Zustand des Gebäudes zu erhalten sowie darüber, ob sich Personen in dem Gebäude befinden und deren Aufenthaltsort zu kennen. Die Einsatzkräfte nutzen daher Unbemannte Luftfahrzeuge (Unmanned Aerial Vehicles (UAV) bzw. Unmanned Aerial Systems (UAS)) sowie Bodenroboter, die räumliche Daten und Informationen zum Gebäudezustand sowie einzelner Räume erheben und dazu beitragen, ein Lagebild mit allen wichtigen Informationen zu erstellen. Daraus erkennen Expert:innen, ob und welche Räume ggf. (nicht) betreten werden können. Daneben können die Roboter detektieren, ob sich Menschen in dem Gebäude aufhalten und wo. Haben sie eine Person gefunden, teilen sie das den Einsatzkräften mit, so dass die Einsatzleitung entscheiden kann, wie für die Rettung vorgegangen wird. Außerdem sind Roboter in der Lage, eine Sprachverbindung zwischen der hilfebedürftigen Person und den Einsatzkräften herzustellen. Die Roboter unterstützen die Einsatzkräfte als Begleiter, indem sie sie zu georteten Personen navigieren und dabei darauf achten, dass etwaige gefährliche Räume/ Orte im Gebäude gemieden werden. Zusätzlich unterstützen sie die Einsatzkräfte durch den Transport von Gerätschaften, Material oder Personen.

Die Beschreibung der Unterstützungsmöglichkeiten verdeutlicht die Heterogenität der speziellen Fähigkeiten der Roboter, aber auch ihrer Schnittstellen zur Interaktion mit den Einsatzkräften einerseits und den betroffenen Personen andererseits. Beide Nutzer:innengruppen haben zudem unterschiedliche Anforderungen an die robotische Assistenz. Diese Anforderungen, deren Umsetzung in adäquate Interaktionskonzepte,

die Prüfung dieser Konzepte und die sinnvolle Einbettung in den organisatorischen Ablauf der Rettungskette sind Gegenstand des Kompetenzzentrums. Hierfür stehen KAroKas eine Reihe an dezentralen Einrichtungen und Infrastrukturen zur Verfügung (Abbildung 5.1), die zur Evaluation von Assistenzrobotern in simulierten Katastrophen und komplexen Schadenslagen, wie sie oben skizziert wurden und für alle weiteren adressierten Use Cases geplant sind, genutzt werden können. Die Testzentren sind über Deutschland verteilt und jedes bietet einzigartige Evaluierungsumgebungen (Trümmerstrecken, beschädigte Gebäude, Brandkammern, Verkehrsversuchsanlagen, Flughäfen). In diesen Einrichtungen werden Abläufe im Zusammenspiel zwischen Menschen und Robotern in simulierten Katastrophen und komplexen Schadensereignissen für verschiedene Use Cases evaluiert.



Abbildung 5.1: KaRoKas-Testumgebungen (Auswahl)

o.l.: Verwindungsbahn, Foto: FKVV Urban; o.r.: VW Roadshow Nutzfahrzeuge 2013, Foto: FKVV Urban; u.l.: Toyota Off-Road Event 2008, Foto: FKVV Urban; u.r.: Feuerwehr Ausbildung am Waldbrand-Tanklöschfahrzeug TLF 20/50 Typ "Brandenburg"2009, Foto: FKVV Urban

Vision für die Assistenzrobotik in der gewählten Anwendungsdomäne

KAroKas ist ein Kompetenzzentrum mit dezentralen Test- und Evaluierungsmöglichkeiten, bei dem Hersteller ihre Assistenzroboter für den Anwendungsbereich Katastrophenschutz und komplexe Schadenslagen unter realistischen Einsatzbedingungen im Hinblick auf MRI-, UUX- und ELSI-Fragestellungen untersuchen lassen können und Gebrauchstauglichkeitsbewertungen, Technology Readiness Level (TRL) und Hinweise zu technologischen Lücken und Zertifizierungen aus Sicht der Nutzer:innen erhalten. Endanwender:innen können ihrerseits die Systeme in möglichst realitätsnahen Szenarien in den operativen Abläufen erleben und die Usability von Expert:innen bewerten lassen. Sie werden für das Thema ELSI

sensibilisiert und erhalten Workshops und Trainings. KARoKas nutzt einen szenarienbasierten Ansatz der darauf abzielt, Endanwender:innen unmittelbar und kontinuierlich in die MRI- und UUX-Evaluierungsprozesse einzubeziehen. Innerhalb von KARoKas werden ganzheitliche Konzepte für die MRI- und UUX-Beurteilung von Assistenzrobotik für die Anwendungsdomäne unter Einbezug von ELSI-Fragestellungen entworfen und dabei von Anforderungen der Endanwender:innen sowie sozialer, ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeitsaspekte geleitet. KARoKas gibt Hinweise zur optimalen Gestaltung der Roboter, Schnittstellen und der Interaktion zwischen Menschen und Robotern und trägt zur Erhöhung von Usability, Anwendungssicherheit und Akzeptanz von Assistenzrobotern in der Anwendungsdomäne bei. Mit der Vernetzung der Akteur:innen entlang der Wertschöpfungskette entstehen Nutzungs- und Geschäftsmodelle für den Einsatz zukünftiger Assistenzroboter in Katastrophen und in komplexen Schadenslagen.

Bezug des Verbundprojektes zur Bekanntmachung des BMBF

Die Bekanntmachung erfolgte auf Grundlage des BMBF-Forschungsprogramms zur Mensch-Technik-Interaktion (MTI) „Technik zum Menschen bringen“. Genau in dieser Interaktion, und zwar in einer gesamtgesellschaftlich besonders bedeutenden Anwendungsdomäne, liegt der Fokus von KARoKas. Hier ist die MTI hinsichtlich Komplexität der eintretenden Situationen, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Roboter sowie der Akzeptanz der Nutzer:innengruppen besonders herausgefordert.

Die Hightech-Strategie (BMBF, 2019), die Strategie Künstliche Intelligenz (BMW, 2020) sowie der Aktionsplan „Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ (BMVI, 2020) der Bundesregierung adressieren Assistenzroboter als wichtigen Bestandteil der technologischen Weiterentwicklung bis zur Anwendung. Der damit verbundene Technologietransfer erfordert umfangreiche Tests solcher Gesamtsysteme und Systemkomponenten unter einsatzrealistischen Bedingungen, um in der Umsetzung die Systemsicherheit vollumfänglich zu gewährleisten.

Adressierte Forschungsfragen und deren Relevanz im Kontext der Anwendungsdomäne

Die von KARoKas adressierten Forschungsfragen sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Sie sind auf die Anwendungsdomäne „Katastrophenschutz und komplexe Schadenslagen“

zugeschnitten. Ihre Behandlung ist für den erfolgreichen Einsatz von Assistenzrobotik in dieser Domäne unabdingbar.

Interaktionsformen

- Wie kann MRI bei Großschadenslagen in welchen Situationen über welche Interaktionsformen hinreichend zuverlässig durchgeführt werden? Welche Alternativen sind denkbar und unter welchen Bedingungen sind sie akzeptabel?

Interaktionsgeräte

- Welche Verbesserungen in der MRI ergeben sich durch den Einsatz verschiedener Interaktionsgeräte? Welche Interaktionen seitens des Roboters sind gut realisierbar und für Menschen verständlich?

Intelligente Kleidung

- Welche Rollen können intelligente Kleidungen, Helme und Schuhe in der MR-Kooperation spielen? Welche neuen Funktionen sind zu entwickeln?

Reproduzierbare Bewertung

- Wie kann man Assistenzroboter in ihrer Kooperation mit Menschen und anderen technischen Systemen im Katastropheneinsatz und in komplexen Schadenslagen sachlich und reproduzierbar bewerten?

Gezielte Informationsbeschaffung

- Wie können Roboter zur gezielten Informationsbeschaffung eingesetzt werden? Welche Mechanismen, insbesondere KI-Funktionen, führen zu guten Lagebeschreibungen und Entscheidungshilfen?

MRI zwischen Roboter und Verunglückten

- Wie kann MRI zwischen Roboter und einer verunglückten Person gestaltet werden. Welche Erklärung von Hilfestellungen sind in welcher Situation von Vorteil?

Abbildung 5.2: Zentrale Auswahl von Forschungsfragen, die in der Konzeptphase von KAroKas diskutiert wurden

5.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Strukturierte Erfahrungen mit der Anwendung von Assistenzrobotik

Das Projekt folgt einem menschenzentrierten Entwicklungsprozess (human-centered design process, HCD) mit dem besonderen Schwerpunkt des Einbezugs verschiedener Akteur:innen von heterogen zusammengesetzten Einsatzteams einerseits und heterogenen robotischen Systemen andererseits, die das Team während eines Einsatzes unterstützen (vgl. KARoKas Use Cases). Hierbei werden zum einen die Prozessketten während eines Einsatzes betrachtet, so dass lückenlose und intuitive Interaktionsabläufe zwischen den Einsatzkräften und Robotern entstehen. Zum anderen rückt auf Betroffenseite die Interaktion zwischen Roboter und Laien in den Vordergrund, und zwar Laien, die sich gerade in einer Notlage befinden. Beide Interaktionsperspektiven werfen vielfältige ethische, rechtliche und soziale Fragestellungen auf, deren Beantwortung die Auslegung der MRI-Schnittstellen leiten wird.

Entwicklung von Test-Szenarien, Metriken und Benchmarks

Zu den wichtigsten Aktivitäten des KARoKas-Konsortiums in der Konzeptphase gehörte die Ausarbeitung, Diskussion, Bewertung und Priorisierung einer Vielzahl verschiedener Varianten von Use Cases (szenarienbasierte Entwicklung). Dabei spielte die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Partner mit ihren spezifischen Perspektiven eine große Rolle. Es ging vor allem darum, Assistenzrobotik zunächst gedanklich auf Basis vorhandener Kompetenzen und Erfahrungen in realistische Szenarien bei komplexen Schadenslagen zu integrieren. Dabei hatte die Sicht der menschlichen Nutzer:innen höchste Priorität. In die Arbeiten im Juli 2021 flossen Erfahrungen aus der aktuellen Flutkatastrophe ein, bei der sich auch KARoKas-Partner:innen bzw. deren Technik im Einsatz befanden. Fünf repräsentative Use Cases wurden ausgewählt, die im Projekt abgebildet werden sollen:

- Vermisstensuche und -bergung nach Erdbeben, Beyond-the-Rubble-Aufträge
- Großschadenslage nach Wetterereignis
- Wald- und Vegetationsbrand
- Terroranschlag in Stadion mit Massenansturm von Verletzten
- Großbrand in Industriehalle

Diese und weitere in der Machbarkeitsstudie ausgearbeitete Use Cases sollen als Konkretisierungen allgemeiner Leitlinien dienen, aber kein starres Korsett bei der

Umsetzung des Kompetenzzentrums sein. Vielmehr soll auf neu entstehende Prioritäten im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes (z. B. aufgrund sich häufender Großschadenslagen) und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Assistenzrobotik und anderer relevanter Techniken flexibel reagiert werden.

Werteorientierte und nachhaltige Gestaltung von Assistenzrobotik

Mit Responsible Research and Innovation (RRI) ist auf europäischer Forschungsebene ein Konzept entwickelt worden, das mögliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft stärker in den Fokus rücken soll. „Im Sinne der »RRI-Philosophie« geht es bei der Ausgestaltung von Forschungs- und Innovationsprozessen somit um die stärkere und frühzeitige Adressierung sozialer, ökonomischer und ökologischer Herausforderungen unter Berücksichtigung bestimmter ethischer Prinzipien und normativer Ziele.“ (Lindner et al., 2016). Die soziale, ökonomische und ökologische Verantwortung rückt damit auch für die Assistenzrobotik immer weiter in den Fokus und wird daher in KAroKas eine wichtige Rolle einnehmen. In der Anwendung der ELSI-Workshop-Konzeptionen in KAroKas werden Expert:innen aus verschiedenen Bereichen mit ihrer interdisziplinären Wertevielfalt ethische, rechtliche und soziale Bedingungen für den Einsatz von robotischen Assistenzsystemen (RAS) reflektieren und debattieren. Als Grundlage werden hierfür im Projekt sieben Bewertungsdimensionen von MEESTAR (Manzeschke et al., 2013) mit Risiken aus dem UK-RAS Network (McDermid et al., 2019) verknüpft.

Gesellschaftliche Anforderungen an interaktive Assistenzrobotik

Der gesellschaftliche Nutzen von technischen Assistenzsystemen ist groß. Wichtig dabei ist vor allem die Anpassung der Technologien an gesellschaftliche Bedürfnisse und Anforderungen. Gesellschaftliche Grundwerte und Freiheiten dürfen durch sie nicht verletzt werden. Dies gilt vor allem auch im Bereich des Katastrophenschutzes und in komplexen Schadenslagen, wo buchstäblich jede Sekunde zur Rettung von Leben zählt. Im ELSI-Konzept bilden die sieben MEESTAR-Dimensionen den Rahmen für verschiedene Bedürfnisse, Grundwerte sowie Freiheiten, welchen bei der Implikation von robotischen Assistenzsystemen (RAS) Beachtung geschenkt werden muss. Bei der Bewertung entstehen dabei jedoch auch mögliche Zielkonflikte, da jede Technik Folgen implizieren kann, die für Einzelne negativ sind, aber dennoch aus gesellschaftlicher Perspektive legitim erscheinen (Grunwald, 2005). Ein Beispiel hier-

für ist die Müllverbrennungsanlage, die niemand vor seinem Haus haben möchte, die aber trotzdem notwendig ist, um das gesellschaftliche Müllaufkommen zu bewältigen. In der Konzeptphase von KARoKas wurden solche Spannungsfelder beispielsweise in Rettungsszenarien identifiziert – hier können Fürsorge- und Sicherheitsaufträge, welche dem generellen Wohl von Personen dienen, im Einzelfall Eingriffe in die Privatheit oder auch Bevormundung bedeuten.

Ethische und soziale Aspekte einer MRI zeigen sich vor allem im Rahmen der Verantwortungsproblematik, wie bereits in der ersten Erhebung (ELSI-Workshop) der Konzeptphase durch die hohe Priorisierung von Sicherheits- und Haftungsfragen durch die Teilnehmenden deutlich wurde. Ganz oder teilautonom agierende Roboter können Schäden verursachen, sind aber offensichtlich nicht auf dieselbe Weise verantwortlich wie natürliche oder juristische Personen. Darüber hinaus kann in bestimmten Interaktions- und Teamformen die Verantwortung für die Handlungsergebnisse unter Umständen nicht mehr eindeutig zugeordnet werden. Das gilt insbesondere für autonome und lernende Robotersysteme, in denen nicht mehr nur Entwurf, Konstruktion und Programmierung, sondern auch die jeweilige Lerngeschichte und damit auch der Verlauf der Interaktion selbst die Handlungen bestimmen (Marino and Tamburrini, 2006). So müssen RAS dem Nutzen des Menschen unterstellt sein – nur so kann ihnen Legitimität und Akzeptanz entgegengebracht werden.

5.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

5.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Für die robotische Exploration in Katastrophenfällen und bei komplexen Schadensereignissen werden bereits UAV/ UAS (DLR, 2019a) und punktuell Bodenroboter (T-Online.de, 2019) eingesetzt. Der Entwicklungsstand reicht von Forschungsprototypen bis zu kommerziellen Systemen. Letztere sind auf haptische MRI ausgelegt, Gestik- und Sprachsteuerung haben sich hier noch nicht durchgesetzt. Flugroboter sind wesentlich häufiger im Gebrauch als Bodenroboter.

Der Fokus in der Anwendungsdomäne liegt aktuell auf kleinen Flugrobotern. Obwohl

oft nicht explizit dafür entwickelt, werden sie vermehrt von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) eingesetzt. Produkte wie DJI Mavic 2¹, DJI Mavic 2 Advanced², Evo II³, Parrot⁴ oder Skydio-X2⁵ zeichnen sich durch umfangreiche Funktionalität aus und verfügen z.T. bereits über eine Kollisionsvermeidung, Gesichtserkennung, Tracking und Folgefunktion. UAV sind zum Teil so konstruiert, dass Anwender:innen eigene Spezialsensoren, z. B. zur Gaskdetektion (Neumann et al., 2019a,b), integrieren können. Autonomer Indoor-Flug und autonomes Schwarmverhalten (University of Zurich, o.D.) sind derzeit noch Gegenstand von Forschung. UAV-Hersteller stehen jedoch bereits an der Schwelle zu autonomen Indoor-Systemen (Staff, 2017) oder haben sie bereits überschritten.

Im Gegensatz zu UAV sind kommerzielle Bodenroboter weniger breit aufgestellt. Vereinzelt gibt es kommerzielle Assistenzsysteme für dedizierte Aufgaben, z. B. Inspektion, autonome Erkundung (Husky UGV⁶) oder Transport (Moose UAV⁷). Diese sind aber nur bedingt in der Anwendungsdomäne erprobt und die Hürden für den operativen Einsatz scheinen insgesamt wesentlich höher als bei UAV zu sein.

Einige KMU bieten vornehmlich im UAV-Bereich speziell konfektionierte Lösungen für Inspektions- und Erkundungsaufgaben an, z. B. zur Feuer- und Gaskdetektion, wie den AirRobot⁸ oder die Lösungen der Firma THOLEG Civil Protection Systems⁹ und auch bodengestützte Roboter, z. B. zur Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung von Alpha Robotics¹⁰.

Neben Universitäten und Hochschulen werden in Deutschland von Forschungseinrichtungen, beispielsweise dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT)¹¹, dem

¹<https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise?site=brandsite&from=nav>

²<https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise-advanced?site=brandsite&from=nav>

³<https://autel drones.com/pages/evo-ii-collections>

⁴<https://www.parrot.com/en/drones>

⁵<https://www.skydio.com/skydio-x2>

⁶<https://clearpathrobotics.com/husky-unmanned-ground-vehicle-robot/>

⁷<https://clearpathrobotics.com/moose-ugv/>

⁸<https://www.airrobot.de/projekte>

⁹<https://THOLEG.com/>

¹⁰<https://www.alpha-wolf.de/alpha-wolf-r1>

¹¹<https://www.informatik.kit.edu/>

Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)¹², dem Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE)¹³, dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB)¹⁴, dem Forschungszentrum Informatik (FZI)¹⁵ und dem Institut Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)¹⁶, Assistenzroboter und/oder mit ihnen in Zusammenhang stehende Technologien mit Bezug zum Zivil- und Katastrophenschutz entwickelt. Daneben gibt es BMBF-geförderte Kompetenzzentren, z. B. ROBDEKON¹⁷, mit Fokus auf Robotersysteme für Dekontaminationsaufgaben. Das Deutsche Kompetenzzentrum für Rettungsrobotik DRZ ist mit Technologien für die zivile terrestrische Gefahrenabwehr in menschenfeindlicher Umgebung bzw. zur Unterstützung bei Rettung und Schutz von Menschen und Sachwerten aufgestellt¹⁸.

Weiterhin gibt es ein breites Spektrum nationaler UAV-FuE-Förderprojekte mit Bezug zur Anwendungsdomäne, beispielsweise: Drohnen-Autonomie und Vereinfachung der Nutzung von Drohnen-Schwärmen (HTW Berlin)¹⁹, vernetzte und integrierte UAV-gestützte Datenerfassung im Bevölkerungsschutz (Projekt Vision)²⁰, fliegende Robotersysteme zur Detektion und Analyse gasförmiger Schadstoffe mittels FTIR-Spektroskopie (Projekt ATHMOS)²¹, schnelle Hilfe für Ertrinkende (Projekt GUAR-

¹²<https://www.dfki.de/web/forschung/forschungsbereiche/robotics-innovation-center/>

¹³<https://www.fkie.fraunhofer.de/de/Pressemeldungen/WeltweiteBerichterstattungUeberDrohnenforschung.html>

¹⁴<https://www.iosb.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/kuenstliche-intelligenz-autonome-systeme.html>

¹⁵<https://www.fzi.de/forschung/forschungsfelder/detail/ffeld/service-robotik-und-mobile-manipulation/>

¹⁶<https://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11370/>

¹⁷<https://www.iosb.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2018/start-kompetenzzentrum-robdekon.html>

¹⁸<https://rettungsrobotik.de/>

¹⁹<https://www.htw-berlin.de/forschung/online-forschungskatalog/projekte/projekt/?eid=2927>

²⁰https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/sicherheit_und_recht/feuerwehr/forschung_fw/laufende_projekte_fw/projekt_vision/index.html

²¹https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/sicherheit_und_recht/feuerwehr/forschung_fw/laufende_projekte_fw/projekt_athmos/index.html

DIAN)²², Suche nach Verschütteten (Projekt SORTIE)²³, humanitäre Hilfe (Projekt Drones4Good)²⁴, Aufklärung von Großschadens- und Katastrophenlagen aus der Luft (Projekt Livelage)²⁵.

Auf EU-Ebene gibt es die H2020-Forschungsprojekte ASSISTANCE²⁶, CURSOR²⁷, FASTER²⁸, INGENIOUS²⁹, ResponDrone³⁰ und TERRIFIC³¹, die das Ziel vereint, Technologien für Einsatzkräfte weiterzuentwickeln und sinnvoll miteinander zu verknüpfen. Sie unterscheiden sich im technischen Fokus, nutzen aber alle robotische Systeme. Je nach Projekt liegt der Schwerpunkt mehr auf Flug- oder Bodenrobotern, Einzelsystemen, Kombinationen oder Schwärmen oder der Verknüpfung mit weiteren Technologien für Einsatzkräfte, z. B. smartere persönliche Schutzausrüstung (PSA) und/ oder Wearables.

Aktuelle Forschungstrends in der Rettungsrobotik beschäftigen sich bisher weniger mit MRI als mit technischen und informatischen Innovationen (Dadvar and Habibian, 2021). Die Kategorisierung und Bewertung robotischer Systeme wird vorwiegend basierend auf technischen Eigenschaften der Roboter durchgeführt (z. B. auf Basis der Fortbewegung, Sensorik, etc.). Erst neue Ansätze der Klassifizierung aus menschenzentrierter Sicht unterstützen hier bei der szenarienbasierten Entwicklung von MRI (Schweidler et al., 2020b, Schuchardt et al., 2017b).

Für die MRI-Forschung in der Rettungsrobotik liegt der Fokus auf der Fernsteuerung teilautonomer Systeme (siehe Delmerico et al. 2019 für einen Überblick). Neben klassischen Interfaces wie Joysticks werden in Forschungsprojekten auch Exoskelette (Wang et al., 2015) und Wearables (Miehlbradt et al., 2018) für deren Steuerung

²²https://www.th-koeln.de/hochschule/schnelle-hilfe-fuer-ertrinkende-per-drohne_83962.php

²³https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/sortie_72838.php

²⁴https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2021/01/20210208_launch-of-the-drones4good-project.html

²⁵<https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/sicherheitsforschung-live-lage-1806820>

²⁶<https://assistance-project.eu/>

²⁷<https://www.cursor-project.eu/>

²⁸<https://www.faster-project.eu/>

²⁹<https://ingenious-first-responders.eu/>

³⁰<https://responldroneproject.com/>

³¹<https://www.terrific.eu/>

entwickelt. Während es vielfältige Interaktionsmöglichkeiten gibt, wenn sich Roboter und Einsatzkraft in Sichtnähe zueinander befinden (Zeigegesten, Sprachkommandos, etc.), schränken sich die Möglichkeiten bei einer Fernkontrolle ein und es ergeben sich neue Herausforderungen: Die durch Entfernung und Bandbreite beeinflusste Interaktionslatenz wirkt sich negativ auf das Situationsbewusstsein des Operators, dessen Beanspruchung und die empfundene Akzeptanz bzgl. der robotischen Assistenz aus (Khasawneh et al., 2019).

5.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Die KARoKas-Verbundpartner bringen Assistenzroboter mit verschiedenen Fähigkeiten (Abbildung 5.3) in das Zentrum ein. Ergänzt wird die Palette durch robotische Systeme und flankierende Technologien, die im Projekt identifiziert und angemietet oder gekauft werden, einschließlich Ergebnissen aus H2020-Projekten, an denen der Koordinator (DLR) beteiligt ist. Zudem stehen Spezialfahrzeuge assoziierter Partner, z. B. das Amphibienfahrzeug PIONIER von CTM³² und Räummaschinen von ReloConsult³³ (u. a. Dachschneeberäumung mittels Auslegerarm) für die KARoKas-Use-Cases zur Verfügung.

Das Vorhaben KARoKas geht über den Stand von Wissenschaft und Technik hinaus, indem es explizit einen gesonderten Forschungsfokus auf die Bewertung des Interaktionsverhaltens zwischen Menschen und Assistenzrobotern legt. Dafür werden Interaktionsstrategien und Prozessabläufe entwickelt, Evaluationsmethoden angewendet und in einen formalisierten Gesamtprozess eingebunden. Zwar gibt es international und auch in Deutschland bereits Kompetenz-, Versuchs- und Ausbildungszentren im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes, aber KARoKas adressiert zusätzlich folgende Schwerpunkte und Aspekte in Kombination:

Interaktionsverhalten: Untersuchung der Kooperation von Assistenzrobotern (ggf. mehrerer, Multi-Agenten-Teams) mit Einsatzkräften und anderen technischen Systemen (z. B. Smart PSA) unter möglichst realistischen Einsatzbedingungen mit Schwerpunkt der Bewertung von MRI und UUX unter Einbeziehung von ELSI und Nachhaltigkeitsaspekten. Letztere können sich sowohl auf Effizienz und Energieverbräuche des

³²<https://www.ctm-fahrzeugbau.de/>

³³<http://www.reloconsult.de/>

Gesamtsystems beziehen (z. B. Yang and Parasuraman 2020), aber auch auf die soziale Nachhaltigkeit der Assistenzroboter (Kohl et al., 2020).

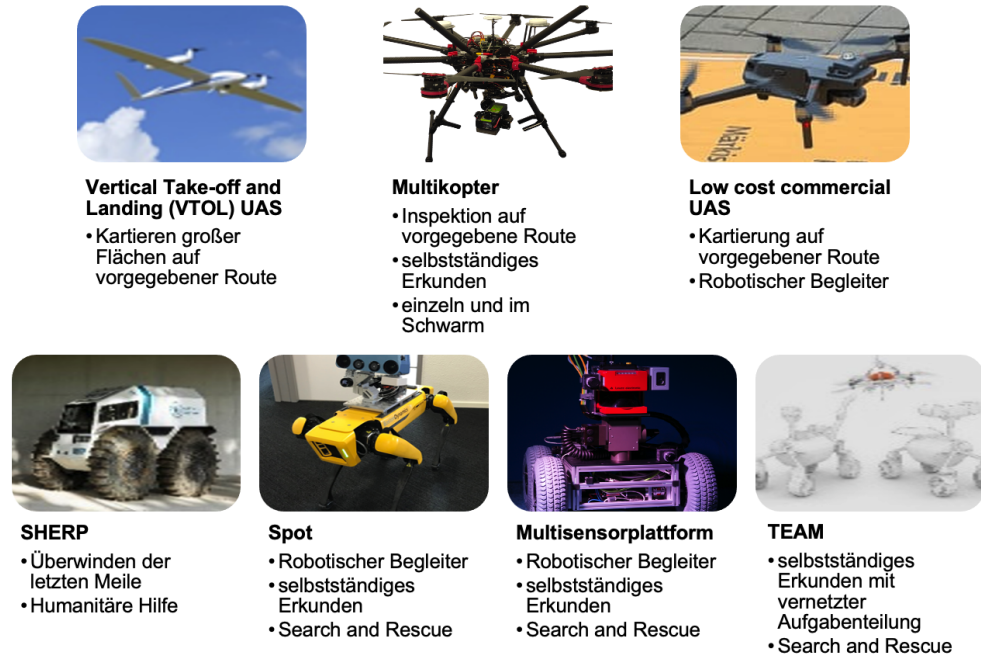


Abbildung 5.3: Assistenzroboter des Kompetenzzentrums KAroKas (Auswahl).

Evaluationstechniken: Im Feldeinsatz werden hohe Anforderungen an die Roboter bezüglich Gebrauchstauglichkeit und einfacher Bedienung, wahrgenommener technischer Fähigkeiten wie die Zuverlässigkeit, Robustheit und Sicherheit sowie die Unterstützung des Situationsbewusstseins der bedienenden Personen gestellt (Delmerico et al., 2019). Der Kern des Vorhabens besteht darin, sowohl das Zusammenspiel zwischen Assistenzrobotern und Endanwender:innen (MRI) in den Use Cases mittels UUX- und ELSI-Methoden als auch die Assistenzroboter und Einsatzprozesse mehrkriteriell zu bewerten. Hierfür wird auf den umfangreichen Vorarbeiten der Projektpartner aufgebaut und es werden bereits vorhandene Konzepte zur Taxonomierung von MRI-Szenarien genutzt und weiterentwickelt (Onnasch et al., 2016, Schweidler et al., 2020b). Einschlägige Bewertungsinstrumente für Kriterien der Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241-11) und User Experience (DIN EN ISO 9241 Teil 210) werden in Bewertungsmetriken überführt und getestet. Um eine möglichst breite assistenzro-

botische Vielfalt funktionaler und interaktiver Fähigkeiten vorzuhalten, bringen die Projektpartner ihre Assistenzroboter in das Zentrum ein (siehe Abbildung 5.3).

Prozess-Kaskaden: Eine der größten Herausforderungen in der Rettungsrobotik ist das Zusammenspiel innerhalb der Multi-Agenten-Teams, insbesondere bei der Einbindung unterschiedlicher robotischer Systeme (Lewis et al., 2019). Diese sollte nach den Bedarfen der Agenten innerhalb der Teams erfolgen, um die Effektivität des Teams und auch dessen Energieverbrauch zu optimieren (Yang and Parasuraman, 2020). Zur Bewertung von MRI und UUX adressiert KARoKas Prozess-Kaskaden sowie die Konzeption, Erprobung und Bewertung technischer Systeme und ihres Zusammenspiels unter Berücksichtigung organisatorischer und räumlicher Aspekte. Besonderes Augenmerk liegt auf der Mensch-Roboter-Interaktion / -Kommunikation / -Kooperation, deren Untersuchung und intuitiven Gestaltung entsprechend den Anforderungen der Einsatzkräfte und des Einsatzablaufes. Dabei werden unterschiedliche Kommunikationsformen (Gestik, Sprache, Haptik) einbezogen. Die Bewertungen der technischen Systeme erfolgt entsprechend den Prämissen von Usability und ELSI und anhand objektiver Verfahren zur mehrkriteriellen quantitativen Bewertung von Assistenzrobotern und der MRI. Jedwede Aspekte der Gefahrensituation werden dabei betrachtet: Umgebungsfaktoren (Gelände, Zugang etc.), Stakeholder (Einsatzkräfte, Gerettete, ggf. freiwillige Helfende), Technik (zur Verfügung stehende Roboter, Gerätschaften, weitere Technik) sowie – ganz wichtig – das Zusammenspiel aller Gegebenheiten.

Großräumige Feldversuche: Komplexe Feldversuche werden in eigenen ausgedehnten Testgeländen (siehe auch Abbildung 5.1) durchgeführt. Einzelne Projektpartner sind in der Lage, den Einsatz von Assistenzrobotern in echten komplexen Schadenslagen zu organisieren. Mit dem DLR als Projektkoordinator besteht darüber hinaus ein einzigartiger Zugriff auf Daten für Lagebeschreibungen simulierter und echter komplexer Schadenslagen.

KARoKas verfolgt damit einen Forschungsansatz, der MRI, UUX, ELSI und Nachhaltigkeitsaspekte integrativ betrachtet und damit entscheidende Mehrwerte und Synergien für die Weiterentwicklung von Assistenzrobotik und deren Anwendung in Katastrophen und komplexen Schadensereignissen generiert. Dies schließt das grundlegende Anliegen von KARoKas ein, nicht eine einzelne Roboter-Anwendung bis zur Perfektion

voranzutreiben, sondern eine innovative Methodik und zugehörige technische, organisatorische und räumliche Mittel für die nachhaltige Etablierung von Assistenzrobotik in der Anwendungsdomäne zu schaffen, die für Einsatzkräfte und auch übergeordnete Entscheidungsebenen breit nutzbar sind. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur institutionellen Infrastruktur im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes in Deutschland geleistet und ergänzt bereits vorhandene Institutionen (z.B. DRZ) in der Anwendungsdomäne. Abbildung 5.4 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen den Projekten KAroKas und Living Labs des DRZ sowie Kooperationspotentiale.



Abbildung 5.4: Vergleich zwischen KAroKas und dem DRZ

5.2.3 Risikodarstellung

Auch wenn mittlerweile eine solide technologische Basis vor allem an Flugrobotern vorhanden ist (und mit Abstrichen auch an bodengestützten Assistenzrobotern), die po-

tentiell auch für den Einsatz in Katastrophensituationen und komplexen Schadenslagen denkbar wäre, müssen die Systeme i. d. R. doch noch anwendungsspezifisch adaptiert und in eine übergeordnete Anwendungssoftware eingebunden werden. In KARoKas werden deshalb ebenfalls Delta-Entwicklungen nötig sein, um die Roboter für die Use Cases Fit-for-Duty zu bekommen und Akzeptanz bei den Nutzer:innen zu erzielen. Die Risiken bestehen also in der in KARoKas angestrebten Szenarien- und HMI-orientierten Entwicklung. Sie liegen vor allem in der Komplexität der Anwendungsszenarien selbst: viele Akteur:innen (Menschen und Roboter), verschiedene Verantwortungsbereiche und Umgebungen, Stresssituationen. Darüber hinaus beinhaltet die Etablierung eines arbeitsfähigen Kompetenzzentrums weitere Risiken, selbst wenn einzelne Szenarien des Einsatzes von Assistenzrobotern in der Anwendungsdomäne gut funktionieren. Der Grund besteht in der Notwendigkeit einer interdisziplinären Kooperation von Partnern mit sehr verschiedenen Sichten und Kompetenzen und der damit verbundenen hohen organisatorischen Komplexität.

5.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

5.3.1 Use Cases und Formalisierungen, Prozess- und Interaktionsstrategien

Die in der Machbarkeitsstudie identifizierten und ausgearbeiteten Use Cases werden im Projekt weiter detailliert und formalisiert sowie Prozess- und Interaktionsstrategien für den möglichst effizienten Einsatz der robotischen Assistenten in Kooperation mit Menschen im Nah- und Fernbereich erarbeitet. Die Ergebnisse sind die Basis für anschließende Adaptionen der robotischen Assistenten, um sie Fit-for-Duty zu bekommen. Für die praxisnahe Evaluierung der Assistenzrobotik werden bestehende Testgebiete weiter ausgebaut. Um z. B. parallele Brandausbrüche und Gasfreisetzungen innerhalb eines größeren Geländes simulieren zu können, wird ein entsprechendes System aus Emissions- (und ggf. Zündquellen) entworfen und aufgebaut, welches von einer mobilen Operationsbasis aus zentral gesteuert werden kann. Diese versuchstechnische Infrastruktur wird modular und flexibel gestaltet und zudem umsetzbar sein, um auf allen beteiligten Testfeldern instrumentiert werden zu können. Damit lassen sich verschiedenste Einsatzszenarien in unterschiedlichen Umgebungen (z. B. offenes Gelände oder Wald, Wohn- oder Fabrikgebäude, Infrastruktur- und verkehrstechnische Anlagen) realisieren.

5.3.2 Bewertung von MRI, UUX und ELSI

Den Verbund-Expert:innen für ELSI und HCD, YOUSE und HFC, stehen etablierte Methoden zur Verfügung. Eine wichtige Aufgabe besteht darin, diese Methoden in einen gemeinsamen Arbeitsprozess zu integrieren, der die Forschungsroutine des Kompetenzzentrums nachhaltig leitet, d. h. die verschiedenen Nutzer:innengruppen konsequent einbezieht und zudem den Erkenntnisgewinn im Sinne eines lernenden Systems strukturiert fortführt. Die gemeinsame Routine wird in Grundzügen einem User-Experience-Design-Prozess folgen, der unter anderem im Projekt KUKoMo³⁴ von HFC für die Integration von MRI in der Praxis weiterentwickelt und erprobt

³⁴<http://www.kukomo.de/>

wurde (Oehme et al., 2019). Die enge Zusammenarbeit bei der Planung, Entwicklung, Erprobung und Einführung wird von MRI-Expert:innen durch geeignete Erhebungs- und Evaluationstechniken unterstützt. Dabei werden in KARoKas die klassischen Phasen des HCD durchlaufen, d. h. es werden Anforderungen erhoben, es wird systematisch überprüft, ob die vorhandenen Roboter diese Anforderungen schon erfüllen, es werden Empfehlungen für Anpassungen abgeleitet, die durch die technischen Partner umgesetzt werden und es erfolgen technische Validierungen sowie Evaluationen mit Nutzer:innen im Feld unter realen Einsatzbedingungen und Anpassungen einschlägiger Methoden der Human-Factors-Forschung.

Dieser Prozess wird von der Analyse und iterativen Bearbeitung von ELSI-Fragestellungen gespeist. Als Grundlage für die ELSI-Begleitforschung wird das Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements (MEESTAR) herangezogen (Manzeschke et al., 2013). Mit Hilfe des mehrdimensionalen Modells werden ethisch-moralisch sensible Themen im Projekt identifiziert und hinsichtlich ihrer Bedeutung bewertet. Das Verfahren wurde von der Projektpartnerin YOUSE bereits in zahlreichen thematischen Kontexten in Form interaktiver Workshops angewandt (dynamicHIPs, AKOLEP, MYOW). Der Leitgedanke dabei ist, dass die betroffenen Personengruppen in einem von YOUSE moderierten Aushandlungsprozess eine systematische Analyse und Bewertung der robotischen Systeme in ihren jeweiligen Kontexten vornehmen, Spannungsfelder sowie Herausforderungen bei der Anwendung von Assistenzrobotik im jeweiligen Katastrophenfall identifizieren und die so gewonnenen Ergebnisse in den Entwicklungsprozess integriert werden. Neben der Analyse und iterativen Entwicklung der Technologien sowie der Einbeziehung der Praxiserfahrungen der Projektpartner ist auch die Sensibilisierung der verschiedenen Stakeholdergruppen für die Thematik von hoher Bedeutung.

Die konkrete Umsetzung im Projekt wird in mehreren iterativen Erhebungsschleifen über den Projektzeitraum erreicht. Dazu werden die entwickelten Use Cases mit Vertreter:innen der jeweiligen Stakeholder in interaktiven Workshop-Formaten betrachtet und bewertet, ELSI-Herausforderungen sowie erste Lösungsansätze erarbeitet und in die Entwicklung mit einbezogen. Die so identifizierten anwendungsspezifischen ELSI-Fragestellungen bilden die Basis einer gemeinsamen Erarbeitung von Nutzungsabläufen und möglichen MRI-Schnittstellen mit den technischen Partnern.

Die ELSI-Workshops bilden die Metaperspektive der Evaluation und werden flankiert durch Tests innerhalb anwendungsspezifischer MRI-Nutzungsszenarien auf Basis der Use Cases.

Zur Identifikation ELSI-relevanter Fragestellungen für die geplante Umsetzungsphase des Vorhabens KAroKas wurde im Juni 2021 ein interdisziplinärer Workshop nach einem adaptierten MEESTAR-Modell (Manzeschke et al., 2013) mit Mitgliedern der Projektpartner:innen durchgeführt. Um dem inhaltlichen Schwerpunkt des KAroKas-Vorhabens gerecht zu werden, wurden die sieben Dimensionen des Modells inhaltlich um die mittels UK-RAS-Network (Winfield et al., 2019) erarbeiteten ethischen Aspekte im Kontext Robotik und autonomer Systeme ergänzt. In wechselnden Kleingruppen sowie Plenumsphasen wurde eine erste Sondierung von ELSI-Herausforderungen beispielhaft für einen Use Case durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für die Machbarkeitsstudie mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet und bilden neben einschlägiger Literatur sowie Projekterfahrungen der Partnerin YOUSE die Basis der Konzeption des ELSI-Vorgehens im Projekt. Für die inhaltsanalytische Auswertung wurden die von den Workshop-Teilnehmenden angebrachten ELSI-Herausforderungen im Anschluss an den Workshop deduktiv codiert und paraphrasiert. Ebenso wurden die Herausforderungen induktiv nach thematischen Schnittmengen geclustert und damit bedeutende ELSI-Fragestellungen abgeleitet. Aus den Aspekten innerhalb der sieben MEESTAR-Dimensionen ergeben sich thematische Schnittmengen, die im Projektverlauf genauer betrachtet werden, um im nächsten Schritt relevante ELSI-Fragestellungen auszuarbeiten (Abbildung 5.5). Darüber hinaus werden durch die thematische Clustering gemäß qualitativer Inhaltsanalyse Spannungsfelder und Fallstricke zwischen den ethischen Dimensionen deutlich, welche bei KAroKas mitgedacht werden müssen.

5.3.3 Mehrkriterielle quantitative Bewertung der Assistenzroboter

Assistenzroboter werden u. a. mittels TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) und Fuzzy-Methoden (z. B. (Kahraman et al., 2007, Nádában et al., 2016)) mehrkriterieller quantitativer Bewertungen unterzogen. Dazu werden Kriterien der Effektivität und Effizienz verwendet, u. a. Präzision, Abarbeitungsdauer, Erfüllungsgrad der Aufgabe. Im Sinne der Nachhaltigkeiten werden hier auch Kriterien wie der Energieverbrauch der Roboter und deren Nutzwert in den MRI-Szenarien einbezogen. Im Projekt wird dazu ein Katalog mit geeigneten und möglichst

1 Die Situation der Hilfeleistung

- Interaktion in Hilfeleistungsprozessen bspw. Anamnese, Erstversorgung, Schutz und Seelsorge und RAS-Funktionen sowie Einschränkungen, Datenschutz

2 Der Umgang mit Daten

- Zugriffsrechte, sichere Datenübertragung und -verarbeitung, Persönlichkeitsrechte, subjektive Wahrnehmungen, informelle Selbstbestimmung

3 Transparenz, Gerechtigkeit und Teilhabe in Rettungsprozessen

- Nachvollziehbarkeit von und Mitsprache bei Entscheidungen, Chancengleichheit, Gleichverteilung von Ressourcen

4 Kommunikation

- diverse Kommunikationsformen (Sprachen, schriftlich, ...) und -weisen (menschlich, direkt, offen, nachvollziehbar, situativ, ...) und damit verbundene subjektive Gefühle (bspw. Sicherheit, Wohlempfinden)

5 Gleichberechtigung und Sensibilität

- bezüglich Zugänglichkeit bzw. Barrierefreiheit und Stigmatisierung/Bias (gem. AGG-Kriterien)

6 Vertrauen und Akzeptanz

- durch Form und Funktion sowie Kommunikationsprozesse und Reliability von RAS, ebenso Lernfähigkeit von RAS

7 Mensch-Roboter-Interaktion (MRI)

- Akzeptanz durch gute Zusammenarbeit und komplementäre Kooperationsmodi, geregelte und durch RAS-unterstützte Entscheidungsfindung und Prioritätensetzung: Kooperation bei Entscheidungshoheit auf Seite des Menschen, Fragen nach Autonomiegrad der RAS, Abhängigkeitsverhältnisse durch RAS

8 Verantwortungsübernahme, Zuständigkeiten und Haftbarkeit

- kontinuierliche Betreuung und Wartung von RAS, Bereitstellung Infrastruktur, Haftung und Handlungsspielraum bei Ausfällen, Absicherung von Entscheidungen, Qualifizierungen/ Aus- & Weiterbildungen, Risikoabschätzung für den Einsatz

Abbildung 5.5: Identifizierte ELSI-Themenkomplexe

verallgemeinerbaren Bewertungsmetriken erarbeitet und mit den Expert:innen des DRZ harmonisiert. In Tests und Evaluationen werden Daten erhoben und für o. g. Bewertungen in geeigneter Form aufbereitet und methodisch untersucht. Damit werden gleichzeitig Beiträge zur Verbesserung der Datenlage von Assistenzrobotik in der Anwendungsdomäne geleistet.

5.3.4 Optimierung der Prozessautonomie

Es werden u. a. Multi Objective Decision Making, insbesondere Goal-Programming und Progressive Information (Sen, 2020) und MCDM (Basilico and Amigoni, 2011) als Methoden zur Optimierung der Autonomie von Bewegungsprozessen und Abläufen im Einsatz robotischer Systeme eingesetzt. Außerdem kommen KI-Methoden zur

Erfassung von bekannten, guten Entscheidungen als Vorlage für autonome Reaktionen (Steels, 2001) zur Anwendung. Ziel ist es, Verbesserungspotentiale der Robotereffizienz im Einsatz zu erkennen und zu erschließen.

5.3.5 Alltagstauglichkeit

Die im Rahmen vorbereitender MRI-, UUX- und ELSI-Untersuchungen befragten Endanwender Berliner Feuerwehr und I.S.A.R. Germany haben bereits generelle Anforderungen an technische Unterstützung durch Assistenzroboter formuliert. Dazu zählen die Erhöhung der Sicherheit der Einsatzkräfte, die Unterstützung bei Aufgaben zur Entlastung des Personals (Transport ist hier besonders hervorzuheben) sowie Unterstützung bei der Gewinnung von Informationen und bei der Informationsauswahl nach Relevanz. Wichtig für die Akzeptanz der RAS sind dabei einerseits die Nachvollziehbarkeit des Zustandekommens der Ergebnisse und das Vertrauen in sie. Andererseits muss die Entscheidungsgewalt über die einzuleitenden Maßnahmen beim Menschen liegen. Diese und weitere im Projektverlauf zu identifizierende Nutzungsanforderungen wird KAroKas in seiner Schnittstellenfunktion zwischen technischer Forschung und Entwicklung einerseits und Anwendungsperspektive andererseits aufgreifen. Damit wird gewährleistet, dass Alltagstauglichkeit und Nutzer:innen-Akzeptanz sichergestellt sind und nicht an Endanwender:innen vorbei entwickelt wird.

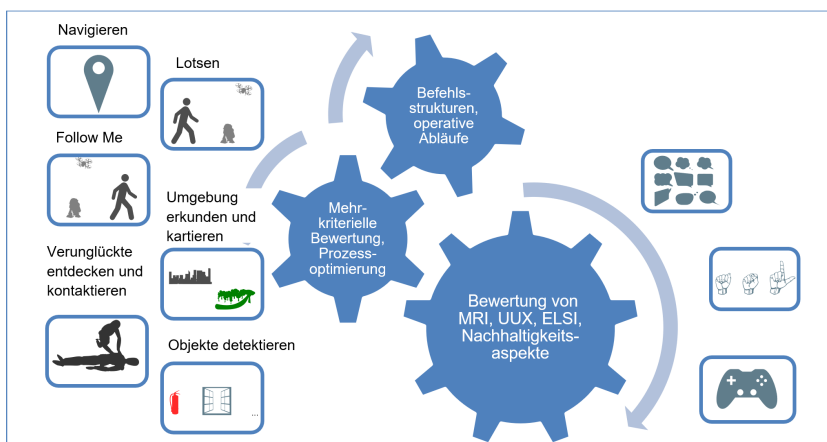


Abbildung 5.6: KAroKas – Themen-Cluster für eine integrierte Forschung

5.3.6 Integrierte Forschung

Das vom BMBF vorgeschlagene Thema „Grundlagen einer reflektierten Entwicklung neuer Interaktionsmodi zwischen Mensch und Technik – für ein neues Verständnis der Beziehungen von Individuum, Gemeinschaft und Gesellschaft in digitalisierten Lebenswelten“ (BMBF, 2020) wird KARoKas als Leitlinie für integrierte Erforschung seiner Themen-Cluster (Abbildung 5.6) dienen.

5.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

5.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn wird u. a. in der Beantwortung der Forschungsfragen aus Kapitel 5.1.2 und darauf aufbauend in der Entwicklung, Bewertung und Etablierung der Kaskade vereinheitlichter Abläufe, von technischen Tests einzelner Produkte über komplexe Feldtests, Evaluierungen, Vergabe von TRL bis hin zu Gebrauchstauglichkeitsbewertungen bzw. Zertifizierungen von Assistenzrobotern für ihre Kooperation mit Einsatzkräften bei Katastrophen und komplexen Schadenslagen bestehen. Dabei werden Know-how und große Datenmengen akkumuliert. Eine strukturierte Datenbank wird kontinuierlich erweitert und ihr Inhalt der Wissenschaft zur Verfügung gestellt (teilweise open access). Über die Konsortialpartner FHDW, DLR und GFaI (An-Institut der Berliner Hochschule für Technik (BHT)) werden KARoKas-Ergebnisse in die Lehre einfließen, über die Berliner Feuerwehr sowie I.S.A.R. Germany in die Aus- und Weiterbildung und das Training der Einsatzkräfte sowie über THOLEG Civil Protection Systems in die Aus- und Weiterbildung von UAV-Piloten.

Die Aussichten für eine wirtschaftlich erfolgreiche Nutzung des geplanten dezentralen Kompetenzzentrums auch nach der Förderphase können aus den folgenden Gründen bereits jetzt als hoch eingeschätzt werden (siehe auch Kap. 5.4.2):

Die nutzer:innenzentrierte Ausrichtung des Kompetenzzentrums ist Voraussetzung für die Akzeptanz bei den Zielgruppen und damit für den wirtschaftlichen Erfolg. Das Kompetenzzentrum wird über ein breites Spektrum an Einrichtungen mit anwendungsspezifischer Infrastruktur verfügen. Die Großimmobilien und Einrichtungen, mit denen entsprechende Dienstleistungen angeboten werden, sind nicht erst zu erwerben,

sondern gehören bereits zwei Verbundpartnern (DLR, BAM). Alle Verbundpartner verfügen entsprechend ihrer Ausrichtung über Zugang zu Zielgruppen bzw. zum Markt. Die KMU-Partner gehen davon aus, dass sie durch ihre Beteiligung an KAroKas auch in anderen Anwendungsdomänen zusätzliche Umsatzpotentiale erschließen können. Die Berliner Feuerwehr wird die anwenderbezogene Verwertung unterstützen, indem sie das Projekt und die Ergebnisse schon während der Laufzeit in den bundesweiten Fachmedien der BOS veröffentlicht und auf Fachveranstaltungen präsentiert. So kann bei den potenziellen Anwender:innen frühzeitig Aufmerksamkeit und Interesse für das Kompetenzzentrum erzielt werden.

Das in Kapitel 5.5.1 erwähnte HGF Innovation Lab OPTSAL³⁵ ist eine hervorragende Basis für die Integration behördlicher Nutzer:innen. Mit dem Ziel der Erweiterung der wirtschaftlichen Basis des Kompetenzzentrums (Etablierung einer Betreibergesellschaft bereits in der Umsetzungsphase) soll nach Ende der Förderung eine Ausweitung der o. g. Dienstleistungen auf andere für den Katastrophenschutz relevante Hightech wie Smart PSA, Spezialfahrzeuge, Löschmittel und Hochwasserbarrieren vorgenommen werden.

5.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Die Entwicklung des Kompetenzzentrums wird bereits innerhalb des Förderzeitraumes auf anschließende weitere wirtschaftliche Nutzung durch das Angebot folgender Hightech-Dienstleistungen mit Bezug zu Assistenzrobotern Dritter ausgerichtet:

- Durchführung technischer Funktionstests und komplexer Evaluationen in verschiedenen, klar festgelegten (im Förderprojekt entwickelten) Anwendungsszenarien unter Nutzung der verschiedenen Facilities mit ihren Infrastrukturen; diese Nutzung auch für Übungen/Schulungen
- Generierung digitaler Funktionsbeschreibungen, Bewertungen und weiterer relevanter Daten
- Vergabe von Zulassungen, Technology Readiness Levels (TRL), Qualitätspässen, Gebrauchstauglichkeitsbewertungen und Zertifikaten

Jeder Kund:innenantrag führt nicht nur zu direkter, sondern auch zu indirekter Wertschöpfung. Letzteres betrifft das untersuchte Technik-Arsenal und die gepflegte

³⁵<https://www.optsal.de/>

Datenbank. Im Katastrophen- bzw. Großschadensfall wird den jeweiligen Einsatzleitungen logistische und technische Hilfe geboten:

- Einsatzempfehlungen zu im Kompetenzzentrum verteilt stationierten Assistenzrobotern
- Bereitstellung dieser Technik, Einweisung von Einsatzkräften im Umgang mit ihr, Integration in konkrete Befehlsstrukturen, Weiterleitung relevanter Bestandteile der digitalen „Schatten“

Zur kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse wird eine Betreibergesellschaft etabliert. Es werden attraktive Geschäfts- und Bezahlmodelle (Pay per Service, ggf. kombiniert mit Pay per Availability) für die o. g. Hightech-Services Herstellern von Assistenzrobotern und anderen Unternehmen angeboten. Für die Gründung der Betreibergesellschaft werden von Beginn des Vorhabens an drei Alternativen verfolgt und bewertet:

- Neugründung mit differenzierter Beteiligung von Verbundpartnern und ggf. auch assoziierten Partnern als GmbH oder als Genossenschaft
- Einer der schon existierenden KARoKas-Partner übernimmt die Rolle der Betreibergesellschaft als neuen Geschäftszweig
- Neugründung als eingetragener Verein (e. V.), wobei KARoKas-Partner Vereinsmitglieder werden

Aufgrund dieser positiven Einschätzung hinsichtlich des Ergebnisses des Transfers wird gegenwärtig von einer wirtschaftlichen Nutzung vom Beginn innerhalb des ersten Jahres nach Abschluss der Förderphase ausgegangen.

5.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

5.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Die Verbundpartner haben in dedizierten Projekten, sowohl im Bereich der technischen Entwicklung als auch der Mensch-Roboter-Interaktionsforschung, umfangreiche Kompetenzen erarbeitet und Erfahrungen gesammelt, die eine Motivation für die Etablierung von KAroKas sind:

DLR: Das DLR verfügt über breite Kompetenzen in den für KAroKas relevanten Fachgebieten Robotik, Fernerkundung, UAV bzw. UAS, Sensorik, Sensordatenfusion und automatische Ortung (indoor und outdoor). Dies gilt auch für den Anwendungsbereich des Katastrophenschutzes bzw. der Behandlung von Großschadenslagen, insbesondere unter Nutzung von Fernerkundungsdaten, z. B. Waldbranderkennung von Satelliten und UAS-Schwärmen aus (DLR, 2019), zur Lagebilderstellung. Aktuell ist der Verbundkoordinator u. a. am Horizon-2020-Projekt zum Einsatz von Hightech im Katastrophenschutz INGENIOUS³⁵ (First Responder of the Future) beteiligt und leitet das HGF Innovation Lab OPTSAL³⁶ (Optical Technologies for Situation Awareness) mit behördlichen Partnern. Auch im Bereich terrestrischer Robotik³⁷ hat das DLR höchste Kompetenzen erworben. Eine bedeutende Entwicklung aus dem DLR-Institut für Optische Sensorsysteme in Berlin-Adlershof ist das Integrierte Positioning System (IPS)³⁸ (Börner et al., 2017, Schischmanow, 2020).

BAM: Die Kompetenzen resultieren aus langjährigen Dienstleistungen für sicherheitstechnische Fragestellungen in Technik und Chemie. Dies beinhaltet Prüfung, Analyse und Zulassung von Stoffen, technischen Produkten und Anlagen sowie die Erstellung von Zertifikaten, Gutachten, Anerkennungen sowie Prüf- und Forschungsberichten. Zwei aktuelle Beispiele für Transferaktivitäten sind das Innovationsforum InnoBOSK³⁹, in dessen Rahmen eine Plattform zur Kontaktaufnahme, zum Networking und zum Austausch von Projektergebnissen zwischen Herstellern sicherheitsrelevanter Lösungen und BOS entwickelt wird (BAM, 2021b) und das H2020-Projekt METABUILDING LABS⁴⁰, in dessen Rahmen Testbeds für innovative Gebäudefassaden-Elemente aufgebaut werden (BAM, 2021a). Weitere Beispiele von für KAroKas relevanten Vorerfahrungen gehen aus Bäßler (2020), Bradley et al. (2021) und Spitzer et al. (2021) hervor.

Berliner Feuerwehr: Neben den Erfahrungen aus dem Einsatzalltag einer Großstadt-Feuerwehr trägt die Berliner Feuerwehr auch mit ihren Kompetenzen und Kenntnissen aus über 10 Jahren Forschungsarbeit⁴¹ zum Projekt bei. Als Anwendungspartner hat sie viel Erfahrung in der Begleitung und Auswertung von Feldtests und der Evaluation technischer Systeme und Anwendungen. Diese Erfahrungen haben einen Teil der Use Cases in KARoKas geprägt. Außerdem werden Erkenntnisse aus dem nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch mit anderen BOS zu realen Einsatzszenarien und Anwendungspotenzialen verschiedener Arten von Assistenzrobotern eingebracht.

FHDW: Die private Fachhochschule lebt die Einheit von Forschung und Lehre als Voraussetzung ihrer staatlichen Anerkennung als Hochschule. Der „übliche Geschäftsbetrieb“ besteht gerade in dieser Kombination. Die FHDW hat vielfach ihre Fähigkeit unter Beweis gestellt, in komplexen kooperativen FuE-Projekten exzellente Leistungen zu liefern. Ein herausragendes Beispiel ist ihre Mitwirkung im Spitzencluster „it’s OWL“ (Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe)⁴². Ziele sind wesentliche Innovationen in den Bereichen Automatisierung, Automotive und Maschinenbau. Ein weiteres Beispiel in auch für KARoKas relevanten fachlichen Schwerpunkten ist das ZIM-Projekt „SmartDike“ (FHDW). Dabei geht es um die Entwicklung eines ständigen Deich-Monitorings.

Gestalt Robotics GmbH: Das KMU ist der führende Dienstleister und Technologie-lieferant an der Schnittstelle von klassischer Automatisierungstechnik und künstlicher Intelligenz. Mit künstlicher Intelligenz, einem breiten Technologieportfolio und offenen Schnittstellen unterstützt es die Transformation zu zukunftsfähigen effizienten und flexiblen Automatisierungssystemen. Entwickelt werden innovative Lösungen mit klaren Vorteilen im Spannungsfeld von Zeit, Qualität und Kosten mit Fokus auf Bildverarbeitung und Steuerungstechnik. Anwendungsfelder sind KI-gestützte Bildverarbeitung (bspw. für visuelle Qualitätsprüfung oder visuelles Asset Tracking), autonome Navigation für mobile Roboter und Transportsysteme, adaptive u. kollaborative Robotik sowie Assistenzsysteme.

GFaI: Vorerfahrungen zu mobilen Robotern wurden in FuE-Projekten zur automatisierten 3D-Erfassung von Innenräumen (Hohnhäuser, 2014) und zur Erkennung von Verschmutzungen in solchen Räumen gesammelt (Wolff et al., 2017). Inzwischen wer-

den auch UAV-Lösungen entwickelt (Püschel, 2020). Mensch-System-Kommunikation spielt in fast allen Förderprojekten und Aufträgen der GFaI eine große Rolle. Eine diesbezüglich besondere Herausforderung stellte das BMBF-Projekt „Akustisch und optisch erfahrbares Lernen in der Pflegeausbildung (AKOLEP)“⁴³ dar (Drost et al., 2017, Iwainsky and Thiel, 2016). Hier war auch die Erkennung von Handposen ein Schwerpunkt.

HFC Human-Factors-Consult GmbH: Vorarbeiten und daraus resultierende Vorerfahrungen betreffen zwei Komplexe: Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) sowie Katastrophenschutz. Beispiele für den ersten Komplex sind die Leitung des Begleitforschungsprojektes ARAIG⁴⁴ zur Bekanntmachung „Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten“ des BMBF (Schweidler et al., 2020a), die Begleitung der Integration von MRI in der Praxis im Verbundprojekt „Neue Konzepte zur Umsetzung von kollaborativen Montagesystemen für kleine und schwankende Produktionsstückzahlen sowie deren erfolgreiche Einführung in KMU“ (KUKoMo)⁴⁵ (Oehme et al., 2019) und das Projekt „Team-Mental-Models in Mensch-Roboter-Teams: Einsatzszenarien und Stand der Technik in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Onnasch et al., 2016). Für den zweiten Komplex stehen z. B. die Projekte „Kommunikations- und Informationsplattform für resiliente krisenrelevante Versorgungsnetze“ (ResKriVer)⁴⁶ und „Verbesserte Krisenbewältigung im urbanen Raum“ (ENSURE)⁴⁷ (Leitner and Onnasch, 2017, Schuchardt et al., 2017a).

I.S.A.R. Germany: Die 2003 gegründete private Hilfsorganisation als Zusammenschluss ehrenamtlicher Rettungsspezialisten ist weltweit die erste NGO, die als Mitglied der UN-Organisation „International Search and Rescue Advisory Group“ nach internationalen Standards geprüft und klassifiziert wurde. Die Vorerfahrungen resultieren aus konkreten Einsätzen nach Katastrophen und in Großschadenslagen im internationalen Rahmen gemäß der Devise „In Deutschland zuhause, in der Welt im Einsatz“ (Beispiele: Explosionskatastrophe im Hafen von Beirut, 2020; Hurrikan „Matthew“, 2016; Erdbeben in Nepal, 2015; Wiederaufbauprojekt nach dem Erdbeben in Haiti, 2010; Seebeben im Indischen Ozean, 2004).

THOLEG Civil Protection Systems GmbH: Die relevanten Vorerfahrungen ergeben sich aus dem Hauptgeschäftsfeld des KMU, d. h. aus Entwicklung und Vertrieb von Unmanned Aerial Systems (UAS) sowie zugehöriger Services und Ausbildungsaktivitäten zum Einsatz von UAS. Aktuell läuft u. a. ein ZIM-Kooperationsprojekt (gemeinsam mit zwei Partnern, die auch zum KARoKas-Verbund gehören: GFaI, FHDW) zur Erreichung eines hohen Autonomiegrades von UAS (einschließlich kleiner Flotten) bei der Applikation von Verbisschutzmitteln zielgenau an Setzlingen in Wald und Forst.

YOUSE GmbH: Vorerfahrungen beruhen auf einer Vielzahl von öffentlich geförderten FuE-Projekten und Industrieaufträgen, in deren Rahmen das KMU vorrangig für die Berücksichtigung ethischer, rechtlicher und sozialer Implikationen (ELSI) sowie für die frühzeitige Einbeziehung der zukünftigen Nutzer:innen in Innovationsprozesse und einzelne technische Entwicklungen zuständig ist. Repräsentative Beispiele von FuE-Projekten im Bereich der Robotik sind Folgende⁴⁸: 3DIMiR – Angstfreie Zusammenarbeit zwischen Mensch und Schwerlastroboter in der Montage; SafeMate – Industrie 4.0 – Menschen und Roboter als Kolleg:innen in der Montage; AutARK – Autonomes Assistenzsystem für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK). Besonders hervorgehoben sei das EU-Projekt „Robot-Era – Realisierung komplexer sozialer Robotiksysteme“, in dessen Rahmen der bis dahin größte Feldtest in der sozialen Robotikforschung stattfand.

³⁶<https://ingenious-first-responders.eu/>

³⁷<https://www.optsal.de/>

³⁸<https://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-11370/>

³⁹https://www.dlr.de/os/desktopdefault.aspx/tabid-9967/17040_read-41235/

⁴⁰<https://www.bam.de/Content/DE/Projekte/laufend/InnoBOSK/innobosk.html>

⁴¹<http://metabuilding-labs.eu/>

⁴²<https://www.berliner-feuerwehr.de/forschung/>

⁴³<https://www.its-owl.de>

⁴⁴<https://www.interaktive-technologien.de/projekte/akolep>

⁴⁵<http://mensch-roboter-interaktion.com/>

⁴⁶<http://www.kukomo.de/>

⁴⁷<https://www.reskriver.de/>

⁴⁸https://ensure-projekt.de/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/ENSURE_Broschuere.pdf

⁴⁹<https://youse.de/referenzen/>

	Endanwen-der, Aus-bilder von Einsatz-kräften	Entwickler/Anbieter v. As-sistenzrobotern, Quer-schnittstechnologien, Zu-satztechnik	Anbieter von Eva-luationstechniken und -services so-wie von Versuchs-geländen	Promotoren von Inno-vations- und Technolo-gietransfer, Multiplika-toren
DLR		Bodengebundene Roboter u. UAV; Navigations- und Mapping-Technologien, Bereitstellung/Auswertung von Lagebil-dern; Multimodale Sensorik; KI	Einbringung zweier ei-gener Flughäfen, Fern-erkundungsdateninfra-struktur TRL-Vergabe	Innovations-, Technologie- und Know-how-Transfer (auch durch OPTSAL); Initi-ierung von Anschlussfor-schung
BAM		UAV mit Payload zur Gasdetek-tion; Erkennung und Charakteri-sierung von Gasen und ihrer Ausbreitung; Initiierung von An-schlussforschung	Einbringung Testge-lände „Technische Si-cherheit BAM TTS / TUAS“ TRL-Vergabe; Prüf- u. Zertifizierungspro-zeesse	Innovations-, Technologie- und Know-how-Transfer (z. B. mittels Plattformtechnik); Initiierung von Standardisie-rungsprozessen
Berliner Feuer-wehr	Einsatzze-narien für und Bewer-tung von MRI	Einbringung eigener Technik in Feldtests und Einsatzübungen	Einbringung v. Übungs-Facilities in Tests und Einsatz-übungen	
FHDW		Analyse und Optimierung von Prozess-/ Bewegungsautonomie und logistischer Abläufe; KI		Innovations-, Technologie- und Know-how-Transfer; Ini-tiierung von Anschlussfor-schung
Gestalt Robotics		Bodengebundene Roboter, of-fene Schnittstellen, Systemin-tegration und Prozessautomati-sierung		
GFal		Bodenroboter für Inspektions-aufgaben; Einsatz von UAV; Mehrkriterielle Bewertungsmetri-ken; Optimierungsmethoden; Datenbanktechnik; KI		Initiierung von Anschlussfor-schung
HFC		Bewertung von MRI, Anpassung von HMI an diverse Anwen-dungsfälle	Mehrkriterielle, praxis-orientierte Evaluation von MRI, HMI	
I.S.A.R. Germany	Analog Berli-ner Feuer-wehr, fokus-ziert auf Katastrophen			
THOLEG		Systemanbieter für Robotik im Zivil- und Katastrophenschutz, Ausbildung/ Training von UAV-Piloten		
YOUSE			ELSI; Use Case Anfor-derungsanalyse; Ein-bringung v. User Expe-rience in der MRI	

Tabelle 5.1: Klassifikation der Rollen der Verbundpartner

5.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Die Funktionen der Partner gehen weitgehend aus den vorhergehenden Abschnitten, insbesondere aus Kapitel 5.5.1 hervor. Tabelle 5.1 liefert zusätzlich eine Klassifikation der wichtigsten Partnerkompetenzen. Die matrixartige Tabelle ist insofern etwas vereinfacht, als nur die Hauptrollen der Partner im Projekt berücksichtigt wurden.

Die Kooperation der Partner untereinander wird durch ein Steuergremium organisiert und kontrolliert. Darin wird es Verantwortliche für die Gesamtleitung (DLR), Qualitätssicherung, Öffentlichkeitsarbeit und das Zusammenarbeiten mit dem Transferprojekt geben.

Die Umsetzungskette ist in sechs Schritten geplant, die sich zeitlich und inhaltlich überlappen:

1. Technische und organisatorische Umsetzung erster eingeschränkter Assistenzroboter-Nutzungsszenarien mit eingebetteten Weiter- und Anpassungsentwicklungen, Tests, Erfahrungsaustausch mit externen Playern (insbesondere Herstellern von Assistenzrobotern) und Publikationsaktivitäten
2. Erhöhung der Komplexität der angestrebten Anwendungsszenarien mit den unter 1 genannten Aktivitäten, nun aber mit umfangreichen Feldtests und erweitertem Technik-Arsenal; Kommunikation von Best Practice und Defiziten; Forcierung von wissenschaftlich-technischem Anschluss zur Beseitigung von Defiziten in der Assistenzroboter-Community
3. Planung, Durchführung und Auswertung einer Präsentationsübung; Kommunikation von Highlights bei der Nutzung von Assistenzrobotik (neueste, dann verfügbare Technik), aber auch von Defiziten möglichst mit Anregung zu deren Beseitigung
4. Etablierung einer Betreibergesellschaft, Vorbereitung und Beantragung ihrer Akkreditierung als Zertifizierungsstelle für Produkte, Prozesse und Dienstleistungen (DIN EN ISO/IEC 17065), Anbieter von Eignungsprüfungen (DIN EN ISO/IEC 17043), Validierungs- und Zertifizierungsstelle bei der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH DAkkS⁴⁹

⁴⁹<https://www.dakks.de/de/home.html>

5. Projektabschluss mit Publikationen der Ergebnisse, Forcierung eines wissenschaftlich-technischen Anschlusses erneut durch Kommunikation von technischen und organisatorischen Defiziten
6. Übergang in die Betriebsphase der Betreibergesellschaft (siehe Kapitel 5.4)

Diese Umsetzungskette zeigt, dass der Verbund das geplante Kompetenzzentrum als einerseits kontinuierlich offen für die Evaluation neu entstehender Assistenzrobotik (und weiterer innovativer Technik) halten und andererseits durch die Kommunikation von Defiziten Entwicklungen initiieren wird. Entscheidende Schnittstellen zwischen den Verbundpartnern im Projekt und darüber hinaus sind:

- Sensorik-, Bewegungs- und Manipulationsfunktionalität von Assistenzrobotern (DLR, BAM, Gestalt Robotics, GFaI, THOLEG Civil Protection Systems) – Formen der Mensch-Roboter-Kommunikation/ Kooperation, insbesondere auch über intelligente Kleidung (HFC); ELSI-Aspekte (YOUSE)
- Bei der Planung von Feldtests, Evaluationen aus Sicht der Praxis und Einsatzübungen: Bereitsteller der entsprechenden Einrichtungen wie Versuchsgelände (DLR, BAM, Berliner Feuerwehr); Planer der Ereignisse mit Einsatzerfahrungen (Berliner Feuerwehr, I.S.A.R. Germany); Bereitsteller diverser innovativer Technik (DLR, BAM, GFaI, THOLEG Civil Protection Systems, Gestalt Robotics, FHDW); Evaluation der MRI (HFC, YOUSE) (unter Einbeziehung aller anderen Partner)
- ameratechnik und (Bild-) Datenübertragung von Assistenzrobotern, UAS, Flugzeugen und Satelliten (DLR) zur Gewinnung von Lagebildern mittels Sensordatenfusion (DLR) und KI-basierter Entscheidungsunterstützung für Einsatzpersonal (Anwenderkompetenz: Berliner Feuerwehr, I.S.A.R. Germany; KI-Kompetenz: Gestalt Robotics, DLR, GFaI, FHDW)
- Integriertes Positioning System (IPS) zwecks Lieferung von Navigationsdaten auch in Bereichen ohne GPS-Empfang bzw. andere technische Ortungsinfrastrukturen (DLR) für aktuelle Lage- und Planungsaktivitäten im Rahmen von Mensch-Roboter-Einsätzen (Anwender: Berliner Feuerwehr, I.S.A.R. Germany; Technologie: HFC, YOUSE, GFaI) sowie Navigation mit mehrkriterieller Routenoptimierung bei komplexen Restriktionen (FHDW)

5.5.3 Einbindung weiterer Akteure (assoziierte Partner)

In der Konzeptphase des Verbundprojektes KARoKas ist es gelungen, wichtige Institutionen und Unternehmen als assoziierte Partner (nicht zum geförderten Verbund gehörig) für die Etablierung eines Kompetenzzentrums für Assistenzrobotik im Katastrophenschutz und in komplexen Schadenslagen zu gewinnen. Das Spektrum reicht von Technologie-Anbietern über den Betreiber einer Versuchsanlage bis hin zu Multiplikatoren und Akteuren im Bildungsbereich. Im Einzelnen handelt es sich um Folgende: Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH⁵⁰; CTM Fahrzeugtechnik GmbH⁵¹; Förderverein der Verkehrs-Versuchsanlage Horstwalde e. V. (FKVV)⁵²; Gesellschaft zur Förderung nachhaltiger Innovationen und Bildungsprozesse für den Zivil- und Katastrophenschutz e. V. (InnoBi)⁵³; ReloConsult⁵⁴; Stadt Welzow⁵⁵. Kurzcharakterisierung und potenzielle Beiträge zu KARoKas finden sich in den LoI. Im Zuge der Projektarbeit kann dieser Kreis erweitert werden, wenn z. B. für die Klärung aufgetretener Fragen bzw. Probleme die Einbeziehung zusätzlicher Kompetenzen notwendig wird.

5.5.4 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt

Im Konsortium sind diesbezügliche Vorerfahrungen vorhanden. So hat insbesondere der Partner HFC das Begleitprojekt ARAIG (Schweidler et al., 2020a) geleitet (siehe auch Kapitel 5.5.1). Die einzelnen Aktivitäten der Kooperation mit dem Transferprojekt (TP) lassen sich in folgende vier Komplexe einteilen:

Durch das TP koordinierte verbundübergreifende Forschungsaktivitäten zu Problemkreisen von gemeinsamer Bedeutung: Kommunikation und Bewertung von Ergebnissen zu ELSI im Rahmen verbundübergreifender Workshops; Etablierung einer Gruppe potenzieller Nutzer:innen; Beteiligung am verbundübergreifenden Wissenstransfer (über das TP) zu Evaluationsmethoden und zugehöriger Instrumente (wie die Entwicklung von Kennzahlen/ Metriken); Bereitstellung der Recherche-

⁵⁰<https://berlin-partner.de/>

⁵¹<https://www.ctm-fahrzeugbau.de/>

⁵²<https://www.fkvv.de/>

⁵³<http://innobi.org/>

⁵⁴<http://www.reloconsult.de/>

⁵⁵<https://welzow.de/index.php/start.html>

bzw. Erfassungsergebnisse im Bereich der relevanten Regularien (Gesetze, Normen/Standards, Richtlinien, Vorschriften) in strukturierter und kommentierter Form für das TP und damit auch für die anderen Verbünde; Verbundübergreifende Zusammenarbeit mit Normungsgremien unter Einbeziehung des TP.

Verbundübergreifende PR-Aktivitäten mit dem TP mit großer Öffentlichkeitswirksamkeit: Durchführung öffentlicher Veranstaltungen mit integrierten Präsentationen von Einsätzen mit Assistenzrobotern und weiteren technischen Systemen in komplexen Schadenslagen unter Einbeziehung des TP als Multiplikator; Ein besonderer Höhepunkt soll eine öffentlich zugängliche Präsentationsübung unter Leitung des Verbundpartners Feuerwehr Berlin werden, bei der in realitätsnahen Szenarien (bei Einbeziehung von Kleindarstellern) sowohl Best Practice bei der Integration von Assistenzrobotern in Bekämpfung bzw. Management komplexer Schadenslagen als auch Grenzen technischer Systeme bzw. einzelner Komponenten klar aufgezeigt werden. Vorerfahrungen bezüglich der Planung, Organisation und Durchführung solcher Übungen sind im KAroKas-Verbund bei der Berliner Feuerwehr und HFC Human-Factors-Consult GmbH vorhanden (siehe z. B. Schuchardt et al. (2017a)). Aktive Beteiligung an verbundübergreifenden Wettbewerben via TP; Einbeziehung bzw. Information des TP in Publikationen seitens KAroKas, ggf. Organisation verbundübergreifender Veröffentlichungen z. B. in der Fachpresse

Kooperation mit dem TP im eigenen Projektrahmen: Artikulation technischer Bedarfe, die im Projektverlauf durch neue Erkenntnisse bzw. neue Entwicklungen im Bereich der Assistenzrobotik auftreten, in Richtung des TP u. a. mit dem Ziel, Unterstützung bei der Einbeziehung weiterer Assistenzroboter in KAroKas zu erhalten; Kommunikation von Unterstützungsbedarfen im Zuge der Entwicklung von Geschäftsmodellen für das eigene Kompetenzzentrum

Austausch wichtiger Informationen im Zuge der Projektarbeit über das TP: Bereitstellung von Informationen zu den Versuchsfeldern des Verbundes (Charakteristika, Orte, Kontaktdaten) für das TP als zentrale Anlaufstelle auch für interessierte externe Einrichtungen; Zugang zu Datenbanken mit Projektergebnissen; Bereitstellung von Meilenstein- und Veranstaltungs-/ Präsentationsberichten; Kommunikation eigener Erkenntnisse/ Erfahrungen im Bereich Open Source

Danksagung

Das Autorenteam möchte sich bei allen Beteiligten bedanken, die zum Gelingen dieser Machbarkeitsstudie beigetragen haben. Besonderer Dank gilt Dirk Aschenbrenner (Koordinator des Forschungsverbundes für das Deutsche Rettungsrobotik-Zentrum (DRZ), Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Feuerwehr Dortmund), Dr. Spyros Athanasiadis (Project Manager des H2020-Projekts INGENIOUS, Senior Researcher, Crisis Management and Secure Societies (CMSS), Institute of Communication & Computer Systems (ICCS), Dr. Steven Bayer (I.S.A.R. Germany), Ralf Berger (Abteilungsleiter Sicherheitsforschung und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Michèle Börner (Auftragsadministration Berlin, DLR e.V.), Dennis Dahlke (wiss. Mitarbeiter, Abt. Echtzeit-Datenprozessierung am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Dr. Eugen Funk (Geschäftsführung Gestalt Robotics GmbH), Sabina Kaczmarek (Leiterin des Bereichs Forschungsprojekte, Stab FP, Berliner Feuerwehr), Dr.-Ing. Sebastian Glende (Geschäftsführung YOUSE GmbH), Martin Goetzke (Administration Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Feuerwehr Dortmund), Dr. Julia Gonschorek (Leiterin des Helmholtz Innovation Lab OPTSAL, Abt. Sicherheitsforschung und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Robert Grafe (Geschäftsführung Deutsches Rettungsrobotik-Zentrum e.V.), Manja Gutsche (Auftragsadministration Berlin, DLR e.V.), Christof Hammer (Gruppenleiter Cyber-Physical Systems am Institut für den Schutz kritischer Infrastrukturen, DLR e.V.), Siegfried Helling (Projektmanager Innovation Optik I Photonik, Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH), David Heuskin (Gruppenleiter Technologieerprobungssysteme am Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen, DLR e.V.), Benjamin Hohnhäuser (GFaI e.V.), Prof. Dr. rer. nat. Eckhard Koch (Vizepräsident für Forschung, Entwicklung und Transfer, Dozent für Wirtschaftsinformatik, Projektmanagement, Unternehmensgründung, IT-Sicherheit, Technologie- und Innovationsmanagement, FHDW), Thomas Kraft (wiss. Mitarbeiter Abt. Sicherheitsforschung und Anwendungen am Institut für Optische Sensorsysteme, DLR e.V.), Prof. Dr.-Ing. Jens Lambrecht (Geschäftsführung Gestalt Robotics GmbH), Dr.-Ing. Rodney Leitner (Geschäftsführung HFC Human-Factors-Consult GmbH), Dr. Alexander Nottbeck (Leitungsstab – Referent Sonderaufgaben, Stab A Ref 3, Berliner Feuerwehr), Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm Nüßer (Fachbereich Informatik,

FHDW), Dr.-Ing. Sylvia Pratzler-Wanczura (Wissenschaftliche Leiterin am Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Feuerwehr Dortmund), Sabine Pulsmeier (Debitorenbuchhaltung, Administration Drittmittel, FHDW), Frank Püschel (Bereichsleiter Bildverarbeitung/Industrielle Anwendungen (BVIA), GfAI e.V.), Julia Stark (Stab FP 1, Forschungsprojekte, Berliner Feuerwehr), Dr. Klaus Urban (FKVV e.V.), Dr.-Ing. Armin Wedler (Abt. Mechatronische Systeme am Institut für Robotik und Mechatronik, DLR. e.V.), Thomas Zügel (Inh. THOLEG Civil Protection Systems GmbH) sowie allen Verbundpartnern, assoziierten Partnern, Teilnehmern des im Rahmen der Studie durchgeführten ELSI-Workshops und allen Unterstützern, die in der Danksagung nicht namentlich genannt sind.

Use Case Beschreibungen

Zu den wichtigsten Aktivitäten des KArKas-Konsortiums in der Konzeptphase gehörte die Ausarbeitung, Diskussion, Bewertung und Priorisierung einer Vielzahl verschiedener Varianten von Use Cases. Dabei spielte die interdisziplinäre Zusammenarbeit völlig verschiedener Partner mit ihren spezifischen Sichten eine große Rolle. Es ging vor allem darum, Assistenzrobotik zunächst gedanklich auf Basis vorhandener Kompetenzen und Erfahrungen in realistische Szenarien bei komplexen Schadenslagen zu integrieren. Dabei hatte die Sicht der menschlichen Nutzer höchste Priorität. Bei der Arbeit im Juli 2021 sind auch Erfahrungen aus der aktuellen Flutkatastrophe eingeflossen, bei der sich auch KArKas-Partner bzw. deren Technik im Einsatz befinden. Im Folgenden wird eine Auswahl von fünf repräsentativen Use Cases erläutert. Diese und andere ausgearbeitete Use Cases sollen als Konkretisierungen allgemeiner Ziele Leitlinien, aber kein starres Korsett bei der Umsetzung des Kompetenzzentrums sein. Vielmehr soll auf neu entstehende Prioritäten im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes (z. B. auf Grund sich häufender Großschadenslagen) und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Assistenzrobotik und anderer relevanter Techniken flexibel reagiert werden.

Use Case 1: Vermisstensuche und -bergung nach Erdbeben, Beyond-the-Rubble-Aufträge

An der Westküste der Türkei hat es ein schweres Erdbeben gegeben. Mehrere Dörfer und Städte sind betroffen. Häuser sind eingestürzt, von Einsturz bedroht oder beschädigt. Es wird mit vielen Verschütteten und Toten gerechnet. Strom-, Wasserversorgung und Telekommunikation sind unterbrochen. Andere Länder entsenden Hilfs- und Rettungskräfte, so auch Deutschland mit ISAR Germany. Mit an Bord des Flugzeugs befinden sich verschiedene robotische Systeme. Bevor die First Responder Teams zum Einsatz kommen, wird das Gebiet mit einem schnellen Fixed-Wing UAV befliegen und eine Luftbildkarte der Zerstörungen erstellt. Die Einsatzleitung leitet daraufhin priorisierte Maßnahmen ein. Dazu zählt auch der Nutzung robotischer Begleiter. Gleich nach Ankunft wird das Search- and Rescue-Team zu seinem ersten Einsatz geschickt. Es gilt zunächst, in einem eingestürzten Gebäude in der Innenstadt nach verschütteten Personen zu suchen. Die Begehung des Gebäudes durch Rettungskräfte wurde zuvor genehmigt. Zur Unterstützung wird ein Bodenroboter an das Haus teleoperiert. Dieser sucht mit seinem Bioradar nach auffälligen Signaturen und wird fündig. Parallel werden die Hunde unter Berücksichtigung der Bioradar-Ergebnisse dirigiert. Der Bodenroboter ist auch mit Wifi-Technik ausgestattet. Darüber gelingt es, mit einigen der Verschütteten Kontakt aufzunehmen, sie psychologisch in Ihrer Landessprache zu betreuen und auf die Bergung vorzubereiten. Währenddessen wird ein weiteres UAV (Multicopter) auf Erkundungsflug ins Innere des Gebäudes geschickt. Im zweiten Obergeschoss entdeckt das UAV schließlich zwei am Boden liegende, eingeklemmte Personen. Daraufhin meldet es den Fund und führt die Rettungskräfte zu den beiden Verletzten, denen schnell geholfen werden kann. Drei Tage später, nachdem die Search- and Rescue-Arbeiten beendet wurden, hat das Team von ISAR Germany freie Kapazitäten, Beyond-the-Rubble-Aufträge durchzuführen. An diesem Tag geht es darum, eine große Textilfabrik auf Erdbebenschäden zu untersuchen. Dazu hat Michael einen Bodenroboter dabei, der ihm auf seinem Weg zum Einsatzort in drei bis fünf Metern Entfernung autonom folgt und ein UAV mit Ersatz-Akkus und verschiedene konventionelle Geräte transportiert. An der Fabrik angekommen wird das UAV gestartet und erkundet das Innere selbständig, nimmt Fotos auf, kartiert in 3D und misst parallel mit seinem Gassensor, um freigesetzte Gefahrstoffe zu erkennen und

zu lokalisieren. Michael sieht bei der Analyse und Bewertung der Erkundungsdaten an einigen Säulen Risse. Die Bilddaten werden in Echtzeit auch an die Einsatzzentrale übertragen. Dort können Experten Michael bei der Bewertung der Risse im Hinblick auf die Sicherheit des Gebäudes unterstützen. Sie informieren ihn, dass weitere Bilder, und zwar von einer nicht erfassten, für das UAV schwer zugänglichen Säule, notwendig sind. Michael dirigiert daraufhin den Bodenroboter zu einer weiteren, auf ein einzelnes Ziel gerichteten Erkundung. Die zusätzlich gelieferten Bilder sind die Grundlage für die nun ausreichend gut abgesicherte Entscheidung der Einsatzzentrale, dass das Gebäude zumindest aus Sicht der Bauwerksstatik von Einsatzkräften betreten werden kann. Nachdem das UAV seinen Erkundungsflug (mit Zwischenstopps zum Akku-Wechsel) absolviert hat, kehrt es erneut zu seiner Startposition zurück. Es hat keine gefährlichen Gase in dem Gebäude feststellen können. Also kann die Begehung beginnen. Michael stellt fest, dass sein robotischer Bodenbegleiter nicht alle für diese Begehung erforderlichen Ausrüstungen an Bord hat. Daraufhin gibt er dem Roboter den Befehl, selbstständig zum ca. einen Kilometer entfernten Einsatzzentrum zurückzufahren und bittet seine Kollegen per Funk, ihn mit dem fehlenden Equipment zu bestücken und erneut auf autonome Fahrt zum Einsatzort zu schicken.

Use Case 2: Großschadenslage nach Wetterereignis

Über die Region Berlin-Brandenburg zieht ein heftiges Sommergewitter. Es kommt zu vollgelaufenen Kellern, überfluteten Straßen, umgestürzten Bäumen, beschädigten Fahrzeugen, Verkehrsbehinderungen sowie Blitzeinschlägen und teilweise daraus resultierenden Gebäudebränden. Daneben haben Menschen die üblichen medizinischen Notfälle wie beispielsweise Herzinfarkte oder Schlaganfälle. Direkt mit dem Beginn des Unwetters gehen in der Leitstelle der Berliner Feuerwehr die ersten Notrufe ein. Sie dauern die Zeit des Gewitters und auch noch Stunden danach an. Die Feuerwehr ist in den Ausnahmezustand geschickt worden, so dass alle verfügbaren Kräfte einsatzbereit sind. Die Rettungskräfte sowie die Leitstellenmitarbeiter:innen sind aufgrund der hohen Anzahl von Notrufen und Einsätzen an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Die Leitstelle muss entscheiden, in welcher Reihenfolge die Einsätze angefahren werden. Einsätze, bei denen Menschenleben in Gefahr sind, haben oberste Priorität. Um einen besseren Überblick über die gesamte Schadenslage zu erhalten werden

mehrere schnelle Fixed-Wing-UAV entsandt, um die besonders betroffenen Stadtgebiete zunächst großflächig zu kartographieren. Durch einen KI-basierten Datenabgleich mit bestehendem Material können signifikante Schäden, insbesondere umgestürzte Bäume sowie geflutete, weggespülte oder durch Treibgut versperrte Straßenabschnitte schnell identifiziert werden. Anhand dieser Informationen wird vom System eine Einsatzkarte mit den nicht oder kaum befahrbaren Arealen erstellt, die die Grundlage für die folgende Koordinierung der Einsätze und Anfahrtswege darstellt. Alle vier Stunden wird die Kartographierung wiederholt, damit die Leitstelle stets mit einem aktuellen Lagebild arbeiten kann. Zur weiteren Lageerkundung in den schwer zu erreichenden Gebieten kommen vorzugsweise Drehflügel-UAV zum Einsatz, auch um ggf. Kontakt mit den dortigen Anwohnern (z. B. über Lautsprecher-durchsagen) aufzunehmen. Die Leitstelle erhält die telefonische Meldung über einen umgestürzten Baum, der auf ein Auto in einer überfluteten Straße gefallen ist. Telefonisch ist nicht zu erfahren, ob Personen involviert sind. Zur Erkundung der Lage schickt der Leitstellenmitarbeiter ein freies Fixed-Wing-UAV aus einer nahegelegenen Wache. Das UAV fliegt autonom innerhalb von zwei Minuten zum Zielort. Schneller geht es nicht! Das UAV macht im Tiefflug selbständig Fotos von der Szene, die in Realzeit an die Leitstelle übertragen werden. Eine Mitarbeiterin kann erkennen, dass sich in dem PKW eine Person befindet. Sie schickt umgehend mehrere Einsatzkräfte zum Unglücksort, die auf dem Rückweg von einem anderen Einsatz und nur wenige Minuten Fahrtweg vom Unglücksort entfernt sind. Die Notfallkräfte bekommen alle für den Einsatz wichtigen Informationen sowohl per Funk von der Leitstellenmitarbeiterin mitgeteilt als auch auf der Einsatz-App der Berliner Feuerwehr dargestellt. Die im Auto befindliche Person kann versorgt und schließlich befreit werden. Die Mitarbeiterin in der Leitstelle, die die Rettung initiiert hat, wünscht sich, dass ein UAV zukünftig nicht nur Fotos übermittelt, sondern per On-Board-Bildinterpretation gleich die Meldung über eine eingeschlossene Person als Pop-Up mit sofortigem Handlungsbedarf absetzt. Der Stress der Interpretation von Bildfluten würde etwas reduziert. Aber das müsste sicher in vielen verschiedenen Situationen funktionieren.

Use Case 3: Wald- und Vegetationsbrand

Jetzt wird es langsam brenzlich. Barbara pendelt mit dem PIONIER schon den ganzen Tag zwischen See und der Hauptfront des Kampfes gegen die Feuerwalze. Sie ist für den Nachschub zuständig, bringt vor allem Löschwasser. Beim ersten Mal war es ein großartiges Gefühl, einen solchen amphibischen Riesen mit vier angetriebenen Ketten durch das Netz von verrauchten Waldwegen zu steuern. Aber dann kam von der Leitstelle die Information, dass die schon zur Routine gewordene Route nicht mehr befahrbar ist. Das ständige Monitoring mit einer Drohne hatte eine gefährliche Verschiebung der Feuerfront in ihren Wegebereich offenbart. Es erfolgte die Anweisung, eine neue, leider etwas längere Route zu nehmen. Die sah sie klar und eindeutig auf ihrem Navi. Aber dennoch: Draußen war es schlicht brenzlich. Aktuell nicht wirklich gefährlich, aber es gab viel mehr Feuerstellen in unmittelbarer Umgebung als auf der alten Route. Hoffentlich hatten Drohne und Leitstelle alles richtig gemacht. Barbara wünscht sich, dort auch mal arbeiten zu können. Das sieht sie als größere Herausforderung als das „Wasserkarren“ durch den Wald, wenn das auch neuerdings mit einem Hightech-Fahrzeug erfolgt, das sie begeistert. Sie hat davon gehört, dass ihre Funktion im Cockpit des PIONIER ohnehin bald nicht mehr gebraucht wird. Man entwickelt ihn weiter. Er soll später einem kleinen geländegängigen mobilen Roboter automatisch folgen können. Der Kleine ist der Master, der Riese der Slave. David und Goliath mal in Kooperation. In welchen Situationen das wohl funktionieren wird?

Barbara wird aus ihren Gedanken gerissen. Sie glaubt Glutnester am Rande eines bereits abgebrannten Waldstücks und in unmittelbarer Nähe völlig vertrockneter Vegetation zu entdecken. Hier könnte der nächste Kampf gegen Windmühlenflügel losgehen. Mit Hilfe der Ortungsfunktionalität ihres Navigationssystems meldet Barbara die Beobachtung bei genauer Angabe von Positionen. Eine Drohne mit Infrarot-Kamera wird dorthin geschickt, um genauer zu sondieren und ggf. einen Einsatz am Boden zu initiieren.

Am Ziel angekommen bietet sich Barbara ein Bild von Verwüstung und erfolgreichem Kampf gegen das Feuer gleichermaßen. Ein Löschroboter unterstützt die Feuerwehrleute. Im Wesentlichen macht er das gleiche wie sie, aber bei genauerem Hinsehen erkennt man, dass er per Fernbedienung weiter in eine von Feuer umgebene Schneise hineingeschickt werden kann als ein Mensch. Leider wird aber auch er schnell behindert.

Alleine könnte das relativ kleine Kettenfahrzeug noch weiter vorstoßen, aber für das Weiterziehen des Schlauches reicht die Kraft nicht. Barbara fragt sich: Wie groß und stark müsste wohl ein neuer Löschroboter sein, damit er uns wirklich hilft?

Use Case 4: Terroranschlag in Stadion mit Massenansturm von Verletzten

Eine Bombe ist während einer Sportveranstaltung explodiert. Einsatzkräfte mit diversen Fahrzeugen sind bereits vor Ort. Die Situation ist zunächst unübersichtlich und auch immer noch gefährlich. Auf der Nordseite in oberen Rängen geschah es. Dort liegen Tote und schwer Verletzte. Von dort ging Panik aus. Nicht betroffene und leicht verletzte Personen bewegen sich zu den Ausgängen, wobei es zu chaotischen Szenen kommt. Ohne ihre technischen Assistenten wären die Einsatzkräfte rein zahlenmäßig überfordert. Es gibt einfach zu viel an zu vielen verschiedenen Stellen zu tun. Mit bodengebundenen fahrenden und Treppen steigenden Robotern können sich die Einsatzleiterin und ihre Einsatzkräfte auf die Versorgung der Verletzten, die Suche nach weiteren Bomben, auch unter Einbeziehung von Hunden, und die Evakuierung der Stadion-Besucher konzentrieren. Den Transport der Verletzten zu den in der Arena stehenden Krankenwagen hingegen nehmen autonom fahrende und Treppen steigende Roboter (Trageroboter) weitgehend ab. Durch den Einsatz der Trageroboter kann die Dauer der Evakuierung der Verletzten auf die Hälfte der sonst dafür nötigen Zeit reduziert werden. Ein hoher Wert für die Verletzten! Außerdem werden die Einsatzkräfte physisch entlastet. Die Einsatzleitung verfolgt die räumlich verteilten Prozesse mittels eines UAV, das einerseits Übersichtslagebilder liefert und andererseits zur gezielten Erkundung näher an bestimmte Ereignisse herangeflogen werden kann. An einer Stelle am Rande der Arena bildet sich eine Gruppe aufgeregter Menschen. Die zivile Drohne wird dorthin geleitet, um mehr zu erfahren. Eine vom Trageroboter beförderte verletzte Person hat offenbar die Nerven verloren und lehnt sich gegen den Roboter auf. Einige Umstehende versuchen zu beruhigen, andere äußern verbreitete technikfeindliche Klischees. Man wird für spätere Einsätze ein versuchsintensives Forschungsprojekt initiieren oder einen entsprechenden Auftrag erteilen, um unter psychologischen und ergonomischen Gesichtspunkten ein visuelles und akustisches Interface zwischen Roboter und transportierter Person zu entwickeln.

Use Case 5: Großbrand in Industriehalle

In einem komplexen, unübersichtlichen Industriegelände in Berlin-Lichtenberg mit großflächigen und auch verwinkelten Bereichen ist nach einer Verpuffung ein Brand ausgebrochen. Der Rauch füllt sehr schnell die an die Produktion angrenzenden Büroräume und schneidet mehreren Personen den Fluchtweg nach draußen ab. Die Feuerwehr ist kurze Zeit nach Ausbruch des Feuers vor Ort und sondiert die Lage (auch mittels UAV). An einigen offenen Fenstern tritt bereits schwarzer Rauch aus einem der Gebäude, Flammen schlagen aus einem Teil des Daches. Einige Personen, die an offenen Fenstern und auf Balkonen stehen, können sehr schnell über Drehleitern gerettet werden. Kurze Zeit später ist klar, dass Teile des Gebäudes als einsturzgefährdet beurteilt werden und das Eindringen für die Einsatz- und Rettungskräfte in diese Bereiche unter diesen Umständen zu gefährlich ist. Daraufhin beschließt die Einsatzleitung, das Gebäudeinnere mit Robotern zu erkunden, nach Eingeschlossenen zu suchen und erste Unterstützungsmaßnahmen zur Rettung der eventuell noch im Gebäude befindlichen Personen einzuleiten. Gleichzeitig beginnen die Löscharbeiten an der Halle von außen. Die Roboter (Boden- und Flugroboter stehen zur Verfügung) sind trotz eingeschränkter Sicht in der Lage, teleoperiert (auf Basis von Bauwerksplänen) und autonom durch das Gebäude zu navigieren und es zu erkunden. Dabei kommen Infrarotkameras zum Einsatz. Die Assistenzroboter liefern eine temperaturkolorierte Gebäudekarte, erkennen – sofern es die Sicht der VIS-Kameras noch zulässt – Notausgangsschilder und Türen/Durchgänge und markieren diese in der Karte. Die Roboter können mit ihren Infrarotkameras auch im Rauch eine bewegungslos liegende Person erkennen und verorten sowie den Ort an die Einsatzleitung melden. In dieser Situation wird die Entscheidung getroffen, trotz der Gefahren in das Gebäude einzudringen. Zur Beschleunigung der Rettung führt der Roboter den zur Rettung vorgehenden Trupp unmittelbar zu der bewusstlosen Person. Es findet Erste Hilfe statt, eine Brandfluchthaube wird angelegt und die Person wird vorsichtig ins Freie gebracht. Mit weiteren Personen, die sich in einem rauchfreien Raum befinden, das Gebäude aber nicht selbstständig verlassen können, kommunizieren die Roboter per Sprache. Ein Sprachkanal zu den Einsatzkräften vor Ort bleibt permanent geöffnet. Auch in diesem Fall kann rechtzeitig Hilfe geleistet werden. Nachdem der Brand mehrere Stunden später unter Kontrolle gebracht ist, nutzen Einsatzkräfte für Nachlöscharbeiten

als Anmarschweg auch einen unterirdischen Tunnel, den die Assistenzroboter vorher kartiert hatten. Die Roboter lotsen die Löschkräfte den Anmarschweg entlang bis zu den Brandherden im Gebäudeinneren.

Literaturverzeichnis

Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung BAM. Übersicht – BAM entwickelt mit Partner*innen eine europäische Plattform für die Prüfung innovativer Fassadensysteme. <https://www.bam.de/Content/DE/Pressemitteilungen/2021/Infrastruktur/2021-06-29-plattform-fassadensysteme-metabuilding-labs.html>, 2021a. Letzter Zugriff: 14.07.2021.

Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung BAM. InnoBOSK – Vernetzung, zivile Sicherheitsforschung und neue Lösungen. <https://www.bam.de/Content/DE/Projekte/laufend/InnoBOSK/innobosk.html>, 2021b. Letzter Zugriff: 19.07.2021.

Nicola Basilico and Francesco Amigoni. Exploration strategies based on multi-criteria decision making for searching environments in rescue operations. *Autonomous Robots*, 31(4):401–417, 2011.

Ralph Bäßler. What went wrong? Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided. 2020.

Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF. Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025. <https://www.hightech-strategie.de/files/HTS2025.pdf>, 2019.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. D.). BMBF. Integriert forschen — Miteinander durch Innovation. <https://www.interaktive-technologien.de/forschung/forschungsfelder/grundlagen/integriert-forschen>, 2020. Letzter Zugriff: 25.10.2021.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI. Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte. Aktionsplan der Bundesregierung.

https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/aktionsplan-drohnen.pdf?__blob=publicationFile, 2020.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi. Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Fortschreibung 2020. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/strategie-kuenstliche-intelligenz-fortschreibung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=10, 2020.

Anko Börner, Dirk Baumbach, Maximilian Buder, Andre Choinowski, Ines Ernst, Eugen Funk, Denis Grießbach, Adrian Schischmanow, Jürgen Wohlfeil, and Sergey Zuev. IPS – a vision aided navigation system. *Advanced Optical Technologies*, 6(2): 121–129, 2017.

Ian Bradley, GE Scarponi, Frank Otremba, and AM Birk. An overview of test standards and regulations relevant to the fire testing of pressure vessels. *Process safety and environmental protection*, 145:150–156, 2021.

Mehdi Dadvar and Soheil Habibian. Contemporary research trends in response robotics. *arXiv preprint arXiv:2105.07812*, 2021.

Joachim De Greeff, Tina Mioch, Willeke Van Vught, Koen Hindriks, Mark A Neerincx, and Ivana Kruijff-Korbayová. Persistent robot-assisted disaster response. In *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 99–100, 2018.

Jeffrey Delmerico, Stefano Mintchev, Alessandro Giusti, Boris Gromov, Kamilo Melo, Tomislav Horvat, Cesar Cadena, Marco Hutter, Auke Ijspeert, Dario Floreano, et al. The current state and future outlook of rescue robotics. *Journal of Field Robotics*, 36(7):1171–1191, 2019.

Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt DLR. Sommerzeit, Waldbrandzeit – Mit fliegendem Kameraschwarm Brände aufspüren. https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/02/20190628_sommerzeit-waldbrandzeit.html, 2019. Letzter Zugriff: 25.10.2021.

B Drost, TD Diep, and B Hohnhäuser. Echtzeitfähige Erkennung und Klassifikation von Handposen bei der Händedesinfektion mit Methoden des Maschinellen Lernens.

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. GFaI (Hrsg.), Tagungsband des 20. Anwendungsbezogenen Workshops zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 07.-08.12.2017, Berlin(Workshop 3D-NordOst), 2017.

Fachhochschule der Wirtschaft (o. D.). FHDW. Künstliche Intelligenz im Deich. Projekt SmartDike: Entwicklung eines intelligenten Sensor- und risikobasierten Monitoringverfahrens für die direkte Integration beim Bau von Flussdeichen. <https://www.fhdw.de/de/Forschung/Forschungsprojekte/SmartDike.html>. Letzter Zugriff: 29.04.2021.

Armin Grunwald. Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. *TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 14(3):54–60, 2005.

B Hohnhäuser. ConMon – Automatisierte Dokumentation von Bauwerksveränderungen. *GFaI-Informationen*, 2/2014, S. 2, 2014.

The International Forum to advance First Responder Innovation IFAFRI. Capability gap 10 “deep dive” analysis. 2019.

Alfred Iwainsky and Sebastian Thiel. A mixed reality environment for educating nurses. In *International Conference on e-Learning*, volume 16, page 101, 2016.

Cengiz Kahraman, Sezi Çevik, Nüfer Yasin Ates, and Murat Gülbay. Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems. *Computers & Industrial Engineering*, 52(4):414–433, 2007.

Amro Khasawneh, Hunter Rogers, Jeffery Bertrand, Kapil Chalil Madathil, and Anand Gramopadhye. Human adaptation to latency in teleoperated multi-robot human-agent search and rescue teams. *Automation in Construction*, 99:265–277, 2019.

Jonas Laurenz Kohl, Michel Joop van der Schoor, Anne Magdalene Syré, and Dietmar Göhlich. Social sustainability in the development of service robots. In *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, volume 1, pages 1949–1958. Cambridge University Press, 2020.

- R Leitner and L Onnasch. Das interaktionskonzept. *Situationsbezogene Helferkonzepte zur verbesserten Krisenbewältigung. Ergebnisse aus dem Forschungsverbund ENSURE*, Schriftenreihe Sicherheit Nr. 22, S. 183 – 202, 2017.
- Michael Lewis, Katia Sycara, and Illah Nourbakhsh. Developing a testbed for studying human-robot interaction in urban search and rescue. In *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction (HCII'03)*, pages 270–274, 2019.
- Ralf Lindner, Kerstin Goos, Sandra Güth, Oliver Som, and Thomas Schröder. »Responsible Research and Innovation« als Ansatz für die Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik–Hintergründe und Entwicklungen. 2016.
- Arne Manzeschke, Karsten Weber, Elisabeth Rother, and Heiner Fangerau. *Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme*. VDI/VDE, 2013.
- Dante Marino and Guglielmo Tamburrini. Learning robots and human responsibility. *The International Review of Information Ethics*, 6:46–51, 2006.
- John McDermid, Vincent C Müller, Tony Pipe, Zoe Porter, and Alan Winfield. Ethical issues for robotics and autonomous systems. 2019.
- Jenifer Miehlebradt, Alexandre Cherpillod, Stefano Mintchev, Martina Coscia, Fiorenzo Artoni, Dario Floreano, and Silvestro Micera. Data-driven body–machine interface for the accurate control of drones. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(31):7913–7918, 2018.
- Sorin Nădăban, Simona Dzitac, and Ioan Dzitac. Fuzzy topsis: A general view. *Procedia computer science*, 91:823–831, 2016.
- Patrick P Neumann, Dino Hüllmann, and Matthias Bartholmai. Concept of a gas-sensitive nano aerial robot swarm for indoor air quality monitoring. *Materials Today: Proceedings*, 12:470–473, 2019a.
- Patrick P Neumann, Harald Kohlhoff, Dino Hüllmann, Daniel Krentel, Martin Kluge, Marcin Dzierliński, Achim J Lilienthal, and Matthias Bartholmai. Aerial-based gas tomography—from single beams to complex gas distributions. *European Journal of Remote Sensing*, 52(sup3):2–16, 2019b.

ntv.de. Vielleicht sogar Revolution. Brinkhaus plädiert für Jahrhundertreform. <https://www.n-tv.de/politik/Brinkhaus-plaediert-fuer-Jahrhundertreform-article22376844.html>, 2021. [Letzter Zugriff: 17.07.2021].

A Oehme, T Jürgensohn, S Böhm, V Upadrasta, M Göbel, and M Blechschmidt. Nutzerorientierte Gestaltung und Integration von MRK am Praxisbeispiel. Projektatlas Kompetenz Montage, kollaborativ und wandlungsfähig, 2019.

Linda Onnasch, Xenia Maier, and Thomas Jürgensohn. *Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund, 2016.

F Püschel. VeBaS-UAV – On-Board-Bildverarbeitung für autonom Antiverbiss-Spray applizierende UAV. *textitGFaI Jahresbericht 2020, zum Forschungsbereich Bildverarbeitung / Industrielle Anwendungen* S. 12, 2020.

Adrian Schischmanow. Das integrierte positionsbestimmungssystem ips. *Drittes Innovationsforum Autonome, mobile Dienste–Services für Mobilität*, pages 95–103, 2020.

A Schuchardt, R Peperhove, K Schulze, R Leitner, L Onnasch, M Jendreck, S Wurster, S Joschko, M Diederichs, A Winzer, and V Kasch. Vollübungen im projekt ensure. *Situationsbezogene Helferkonzepte zur verbesserten Krisenbewältigung. Ergebnisse aus dem Forschungsverbund ENSURE*, Schriftenreihe Sicherheit Nr. 22, S. 137-182, 2017a.

Agnetha Schuchardt, Roman Peperhove, and Lars Gerhold. *Situationsbezogene Helferkonzepte zur verbesserten Krisenbewältigung: Ergebnisse aus dem Forschungsverbund ENSURE*. 2017b.

Paul Schweidler, Astrid Oehme, and Thomas Jürgensohn. 4 objektivierbare Performancekriterien. *Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten–Ergebnisse und Forschungsperspektiven*, page 57, 2020a.

Paul Schweidler, Alina Tausch, Astrid Oehme, and Thomas Jürgensohn. MRI-Szenarien einfach klassifizieren mit der Kontext-Person-Roboter-Heuristik „KOPROH“. 2020b.

- C Sen. Sen's improved multi goal programming technique - an extension. *American Journal of Operational Research*, 10(3), 49-52., 2020.
- Stefan Spitzer, Enis Askar, Arne Krietsch, and Volkmar Schröder. Comparative study on standardized ignition sources used for explosion testing. *Journal of loss prevention in the process industries*, 71:104516, 2021.
- Geo Week News Staff. Hovermap: Powerful slam for drone autonomy and lidar mapping. <https://www.geoweeknews.com/news/hovermap-powerful-slam-drone-autonomy-lidar-mapping>, 2017. Letzter Zugriff: 25.10.2021.
- Luc Steels. Language games for autonomous robots. *IEEE Intelligent systems*, 16(5): 16–22, 2001.
- T-Online.de. Japanische Atomruine. Roboter untersucht geschmolzenen Kernbrennstoff in Fukushima. https://www.t-online.de/nachrichten/panorama/id_85244504/fukushima-roboter-untersucht-geschmolzenen-kernbrennstoff-in-japanischer-atomruine.html, 2019. Letzter Zugriff: 25.10.2021.
- University of Zurich(o.D.). Robotics and perception group. <http://rpg.ifi.uzh.ch/index.html>. Letzter Zugriff: 25.10.2021.
- Albert Wang, Joao Ramos, John Mayo, Wyatt Ubellacker, Justin Cheung, and Sangbae Kim. The hermes humanoid system: A platform for full-body teleoperation with balance feedback. In *2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, pages 730–737. IEEE, 2015.
- Alan Winfield, John McDermid, Vincent C Müller, Zoë Porter, and Tony Pipe. Ethical issues for robotics and autonomous systems. 2019.
- M Wolff, M Pfaff, B Hohnhäuser, and A Rückert. Bewertung von pathogenen Oberflächenbelastungen anhand von multispektralen Datensätzen und 3D-Modellen. *Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. GfAI (Hrsg.). Workshop 3D-NordOst*, Tagungsband des 20. Anwendungsbezogenen Workshops zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 07.-08.12.2017, Berlin, 2017.

Qin Yang and Ramvijas Parasuraman. Needs-driven heterogeneous multi-robot cooperation in rescue missions. In *2020 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, pages 252–259. IEEE, 2020.

Kompetenzzentrum für prosoziale und vertrauensfördernde Robotik (ProVeRo)

Förderkennzeichen 16SV8588

Kolja Kühnlenz¹, Barbara Kühnlenz¹, Thomas Kriza²,
Bartolomiej Stanczyk³, Georg Arbeiter¹ und Alexander Müller¹

¹Hochschule für
angewandte Wissenschaften Coburg
Friedrich-Streib-Straße 2
96450 Coburg

²Ostbayerische Technische
Hochschule Regensburg
Seybothstr. 2
93053 Regensburg

³Accrea Engineering
ul. Hiacyntowa 20
20-143 Lublin, Poland

6.1 Ziele des Kompetenzzentrums

6.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Vertrauensvolle Koexistenz und Interaktion ist eine der wesentlichen Grundvoraussetzungen für die Einführung und den dauerhaften Betrieb interaktiver robotischer Systeme sowie eine effektive Zusammenarbeit von Menschen und Robotern. Insbesondere im öffentlichen Raum und im Zusammenhang mit naiven Nutzern sind diese Aspekte von besonderer Bedeutung. Der Bedarf und die gesellschaftliche Relevanz derartiger Systeme ist hoch, nicht zuletzt bedingt durch den demographischen Wandel, aber auch wirtschaftliche und Nachhaltigkeitsaspekte spielen hierbei eine wesentliche Rolle. Insbesondere in ländlichen und Randregionen existiert ein hoher Bedarf an speziell mobilitätsunterstützender Assistenz. Hier soll das Kompetenzzentrum am Beispiel der Demographieregion Oberfranken einen Beitrag hinsichtlich realweltlich etablierbarer Systeme für eine prosoziale und vertrauensvolle Koexistenz leisten.

6.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

Eine zentrale Zukunftsaufgabe und Kern des Zentrums ist daher, robotische Assistenzsysteme für die breite Masse mittels verteilter öffentlich zugänglicher Systeme - z.B. in Form von „Robot Sharing“ - zugänglich zu machen und hierfür als Enabler intelligente

prosoziale und vertrauensfördernde Steuerungsarchitekturen zu erforschen und deren Einsatz in realen Systemen zu etablieren. Herausforderungen sind die Bereitstellung vernetzter Demonstratorplattformen für den innerstädtischen Einsatz am Beispiel der Demographieregion Oberfranken mit infrastrukturell bedingter schwieriger Versorgungslage, z.B. in Gesundheit und Pflege, und dünnem öffentlichen Mobilitätsnetz, sowie flankierende methodische Untersuchungen und Optimierungen von Akzeptanz, User Experience und Nutzerverhalten unter Einbezug der Öffentlichkeit und von Fokusgruppen (z.B. ältere Menschen in Kooperation mit der AWO) und die Evaluierung von aufgabenbezogenen Interaktions- und Navigationsmechanismen sowie praktikablen Authentisierungs- und Personalisierungsmethoden.

Innerhalb des Zentrums soll ein international einzigartiges, aus einer Mehrzahl öffentlich zugänglicher mobiler Roboter und stationärer Systeme bestehendes **Reallabor für innerstädtisch verteilte Robotik (RIRO)** zur Untersuchung und Förderung prosozialer und vertrauensbasierter Interaktion und Koexistenz etabliert werden. Es bietet eine Plattform für verteiltes Lernen, plattformübergreifende Adaption und Personalisierung heterogener Komponenten an naive Nutzer unter realen Bedingungen, large-scale Longitudinalstudien und hierdurch vielfältige **nationale und internationale Entwicklungsperspektiven**. Es eröffnet zudem neuartige wirtschaftliche Wege für bedarfsgerechte As-sistenz und neue Geschäftsmodelle (z.B. On-Demand-Service, Service-Flatrate, etc.). In diesem Kontext bilden auch vielfältige **Stakeholdervernetzungen** (örtliche Industrie, Pflegeeinrichtungen, etc.) in der Demographieregion Oberfranken wesentliches profilbildendes Element.

Das Reallabor des Kompetenzzentrums ist eingeteilt in zwei Forschungsstränge – einen Hauptstrang und einen Nebenstrang - mit unterschiedlichem Risikoniveau, die insbesondere Mobilitätsaspekte und die Erhaltung bzw. Erweiterung des persönlichen Wirkungskreises, z.B. im Alter oder bei körperlichen Einschränkungen, betreffen:

Carrier-Service (Hauptstrang): Zur Unterstützung im täglichen Leben, insbesondere im Hinblick auf den persönlichen Wirkungskreis sowie zur Unterstützung und Erhaltung sozialer Interaktionsmöglichkeiten von Personen im öffentlichen Raum, soll hier ein begleitender innerstädtischer Trageservice etabliert werden. Hierbei werden radbasierte Trageroboter in der Innenstadt zur Verfügung gestellt, die individuell verwendet werden

können. Dieser Forschungsstrang baut auf einer langen Historie an Vorprojekten und existierenden Systemen auf, beginnend bei humanoiden Servicerobotern im öffentlichen Raum (z.B. „Interactive Urban Robot – IURO“, EU FP7 und „Autonomous City Explorer – ACE“, Exzellenzcluster CoTeSys, „Robotische Einkaufshilfen“, Bay. Staatsmin. f. Wissenschaft und Kunst).

Shuttle-Service (Nebenstrang): Zur automatisierten Beförderung von Personen im öffentlichen Raum wird ein innerstädtischer Service von Shuttlefahrzeugen etabliert, die wie im ÖPNV üblich genutzt werden können. Dieser Forschungsstrang baut ebenfalls auf Vorprojekten und existierenden Systemen auf, z.B. der Shuttle Modellregion Oberfranken (SMO), im Rahmen derer die Hochschule Coburg die Nutzerakzeptanz, die Auswirkungen auf die Verkehrsplanung, die Mensch-Maschine Interaktion sowie die funktionale Sicherheit von autonomen Shuttles zum Einsatz im touristischen und im innerstädtischen Verkehrsbereich erforscht. Die Vorarbeiten und Ergebnisse aus diesem Projekt sind eine ideale Basis, um (pro-)soziale Interaktionsmöglichkeiten zu untersuchen und trust-fördernde Strategien anzusetzen. Durch eine assoziierte Partnerschaft auf die Forschungs-Shuttles der SMO zugegriffen werden.

Der Nebenstrang stellt ein erstes Fallbeispiel eines in der Planungsphase des Kompetenzzentrums akquirierten interessierten Stakeholders dar, zusätzliche Robotersysteme zu realweltlichen Akzeptanzuntersuchungen in das geplante Reallabor zu integrieren, um auf diese Weise UX- und Akzeptanzuntersuchungen als Dienstleistung des Kompetenzzentrums durchzuführen. Weiterhin dient dieses Szenario dazu, eine Generalisierbarkeit der sozialpsychologisch motivierten Alignmentstrategien auf andere Robotersysteme zu zeigen, wobei die gewonnenen Erkenntnisse zusätzlich in die Leitlinien für zukünftige Assistenzrobotik im öffentlichen Raum einfließen sollen.

Beide Forschungsstränge und Einsatzszenarien unterscheiden sich insbesondere in der Strukturiertheit der Einsatzumgebungen, welche das unterschiedliche Risikoniveau bedingen, wobei Vertrauen und Akzeptanz jeweils eine zentrale Rolle spielen.

Ein **Beispielszenario** für mögliche zukünftige Anwendungen für ein heterogenes Netzwerk innerstädtisch (Fußgängerzone, Marktplatz Coburg) verteilter Assistenzroboter und stationärer (z.B. heimischer) Einheiten sowie Smartphone Applikationen im Bereich des *Carrier-Service* ist:

Nutzer bucht Roboter (Smartphone App, heimischen Agent) → optimaler Roboter wird disponiert (zeitlich, Funktionalität) → Roboter navigiert zu Startpunkt (z.B. Treffpunkt) → Roboter führt gebuchten Service zusammen mit Nutzer aus (z.B. begleitender Trageservice, Mobilitätsunterstützung, etc.) → Abrechnung.

Hier existieren neben der grundsätzlichen Problematik der Koexistenz von Menschen und Robotern im öffentlichen Raum und damit verbundenen Akzeptanz- und Vertrauensfragen auch mögliche ambige Situationen, wo letztere Aspekte um so mehr von Bedeutung sind. Ein Beispiel hierfür ist das Herannahen eines Objekts, das dem begleiteten Nutzer aufgrund abgewandter Aufmerksamkeit verborgen ist, das aber zu einem sofortigen Halten des Roboters führt, was ohne weitere Maßnahmen wie die hier vorgesehenen Alignment- und Erklärungsstrategien möglicherweise zu unklaren Situationen und Vertrauensverlust führen kann.

Ein **Beispielszenario** für den *Shuttle-Service* besteht in der Erkennbarmachung von Fahrsituationen – insbesondere in ambigen Fällen – und eine entsprechende Vertrauenssteigerung durch prosoziale Anpassung und Erklärung. Eine Beispielsituation ist ein plötzliches Halten des Shuttles als vorausschau-ende Aktion aufgrund einer durch erweiterte Umfeldwahrnehmung (u.a. Vernetzung mit anderen Verkehrsteilnehmern) detektierten, aber dem direkten Beobachter möglicherweise verborgenen Hindernisses, was von Passanten und Insassen auch als Überquerenlassen von Passanten durch das Shuttle wahrgenommen werden könnte. Gerade bei diesen für den Menschen nicht kontrollierbaren Situationen spielt die soziale Interaktion eine große Rolle, um eine vertrauensvolle Koexistenz zu ermöglichen.

Der interaktionsbezogene Aspekt betrifft einerseits die Interaktion mit dem Nutzer, kann andererseits aber auch mögliche Interaktionen mit Dritten einschließen (z.B. unbeteiligte Passanten bei Serviceausführung).

Aufgrund ihres Querschnittscharakters sind die Beiträge von ProVeRo für eine Vielzahl von Sektoren, die in der *Multi Annual Road Map for Robotics in Europe* (SPARC) beschrieben werden einsetzbar und werden voraussichtlich starke Auswirkungen auf diese haben, wo immer ubiquitär verfügbare Agenten das Leben in persönlichen oder beruflichen Szenarien verbessern können, u.a.:

- Consumer Robots
 - Domestic Appliances: Unterstützung im täglichen Leben durch Transport-Services
 - Assisted Living: persönliche Mobilität durch (semi-)autonome Lastenträger über längere Distanzen
- Logistics and Transport
 - Transportation Systems: (semi-)autonome Transport-Services
- Civil Domain
 - Infrastructure Services: (semi-)autonome Transport-Services

Durch die Generation massiver Daten über die Interaktion (beobachtete Nutzerverhalten/-bewegungen im Verhältnis zu Roboteraktion (anonymisiert)) im Rahmen des kontinuierlichen Betriebs der Szenarien trägt das Kompetenzzentrum substanziell dazu bei, die methodischen Ansätze prosozialer und Trust-regulierender Interaktionssteuerung in der Praxis zu erproben, wobei die Daten der Fachöffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Ubiquitäre Robotersysteme mit Technologie-Enablern des Kompetenzzentrums sind eine Option, um allgegenwärtige Unterstützungsleistungen im Alltags- und Berufsleben bereitzustellen, die mit teuren menschlichen Arbeitskräften gerade bei solchen Jobs mit geringer Wertschöpfung, insbesondere 24/7, wirtschaftlich nicht machbar sind. Sie bieten eine kostengünstige Alternative, wenn Anschaffungs- und Wartungskosten für einen Roboter mit Löhnen eines menschlichen Mitarbeiters verglichen werden. Neben der Hauptwirkung, das Leben zu verbessern, ermöglicht ProVeRo neue Geschäftsmodelle in Bezug auf die Robotervermietung für den privaten oder professionellen Gebrauch sowie auch die entgeltliche praktische Erprobung weiterer Robotersysteme zukünftiger, auch überregionaler Interessenten unter realweltlichen Bedingungen im öffentlichen Raum durch entsprechende Einbindung in das Reallabor.

McKinsey Global Institute schätzt in einer Studie, dass im Jahr 2025 allein in den Hauptzielsektoren der persönlichen und Heimroboter sowie der robotergestützten

Human Augmentation ein direkter wirtschaftlicher Impact von 800 Millionen bis 2,5 Billionen US-Dollar pro Jahr entsteht, wo die mit ProVeRo-Technologie ausgestattete ubiquitäre Robotik beitragen kann, was einer geschätzten potenziellen Reichweite von 5-10 % von 50 Millionen behinderten und 25-50 % der Haushalte mit insgesamt 90 bis 115 Milliarden Stunden, die in fortgeschrittenen Volkswirtschaften für Tätigkeiten auf niedriger Ebene aufgewendet werden, entspricht¹. Die potenziellen Gewinne werden auf bis zu 390.000 US-Dollar pro Person bei der Verbesserung der Lebensqualität und 50 Milliarden eingesparte Stunden mit einem Wert von bis zu 10 US-Dollar pro Stunde geschätzt. Unter Berücksichtigung eines möglichen ProVeRo-Technologieanteils an den implementierten ubiquitären Systemen in diesen Sektoren spiegelt dies das starke Wirkungspotenzial des Kompetenzzentrums wider.

6.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Akzeptanz von interaktiven und Service-Robotern ist die Grundvoraussetzung für deren langfristigen Einsatz in realweltlichen Umgebungen. Ein zentrales Ziel des Kompetenzzentrums bildet daher die Etablierung prosozialer und Trust-regulierender Methoden für Roboter im öffentlichen Raum am Beispiel der in 6.1.2 definierten Serviceszenarien/Use-cases in einem Roboternetzwerk in der Innenstadt von Coburg (Fußgängerzone) und hierbei die Erforschung des Interaktionsverhaltens zwischen Mensch und technischem System sowie die Auswirkung auf die Allgemeinheit durch entsprechende partizipative Formate, um den Kreis zu schließen, wobei strukturierte Erfahrungen in der jeweiligen Anwendungsdomäne gesammelt werden sollen. Zur Erreichung dieses Ziels sollen sehr fokussiert in einem kleinen Konsortium konzertiert strukturierte Test-Szenarien entwickelt werden sowie zur quantitativen Auswertung entsprechende Metriken und Benchmarks, wobei Nutzererfahrung und Akzeptanz eine hervorgehobene Rolle spielen sollen. Durch einen kontinuierlichen Einsatz und entsprechende insbesondere mit dem Begleitprojekt abzustimmende Longitudinalstudien soll die Datenlage zu Assistenzsystemen in Bezug auf die Effektivität des Einsatzes Trust-bezogener intelligenter Steuerungsverfahren unter natürlichen Bedingungen verbessert werden.

¹McKinsey, „Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy“, 2013.

Neben dem klassischen Industrierobotiksektor ist es wichtig, dass sich Deutschland stark darauf konzentriert, den noch aufstrebenden Sektor der Service-, Personal- und assistiven Robotik zu einem aktuellen und zukünftigen Eckpfeiler zu machen. Das enorme Marktpotenzial resultiert nicht nur aus dem demografischen Wandel und anderen Treibern, sondern insbesondere aus einer prognostizierten enormen Anzahl installierter Spezialgeräte, die im Alltag und im beruflichen Umfeld auf B2C-Basis Unterstützungsfunktionen bereitstellen. ProVeRo wird einen starken Beitrag zu einem neuen Wachstumsmarkt der ubiquitären Robotik leisten, der übergreifende Forschung mit Anwendungen im kommerziellen, Verbraucher-, Gesundheits- und zivilen Sektor sowie hohe sozioökonomische Auswirkungen auf den privaten, geschäftlichen und sozialen Sektor umfasst. Das große Potenzial für den technischen Transfer und die kommerzielle Nutzung wird durch massive Erfahrung der Partner in der Entwicklung und realen Anwendung von Robotersystemen für die Interaktion mit naiven Endnutzern unterstrichen mit KMU Accrea Engineering als Kettenglied zwischen angewandter Forschung und Industrie.

Die Enabling-Technologie von ProVeRo in Form von generischen Methoden zur Akzeptanzsteigerung und die Etablierung der Demonstrationssysteme in den Kernszenarien werden dazu beitragen, Roboter in den Alltag zu bringen, die Entwicklung ubiquitärer Robotik zu unterstützen und somit grundlegende Auswirkungen auf die Gesellschaft haben. Die angestrebte ubiquitäre Robotik in Kombination mit On-Demand-Diensten wird die Gestaltung des Alltags stark prägen, die Gesellschaft zunehmend von bestimmten Aufgabenbelastungen befreien, zur Unterstützung im beruflichen Umfeld im Kontext des demografischen Wandels beitragen und zur Steigerung höherwertiger menschlichen Aktivitäten beitragen. Darüber hinaus trägt die bedarfsgerechte Assistenz überall und jederzeit innerhalb des Agentennetzwerks und des IoT insbesondere zu einem selbstbestimmten Leben älterer und behinderter Menschen bei und beugt sozialer Isolation vor. Daher kommt den regelmäßigen geplanten partizipativen Formaten zum Einbezug der Öffentlichkeit bzw. der öffentlichen Meinung mit Longitudinal-Charakter besondere Bedeutung zu. Hier soll nicht nur der Status Quo erhoben werden, sondern ein bidirektionaler Austausch stattfinden, in dem Wissenschaft und Allgemeinheit in ständigen Diskurs treten sollen, wobei die gezielte Information ebenfalls einen wesentlichen Beitrag leisten wird.

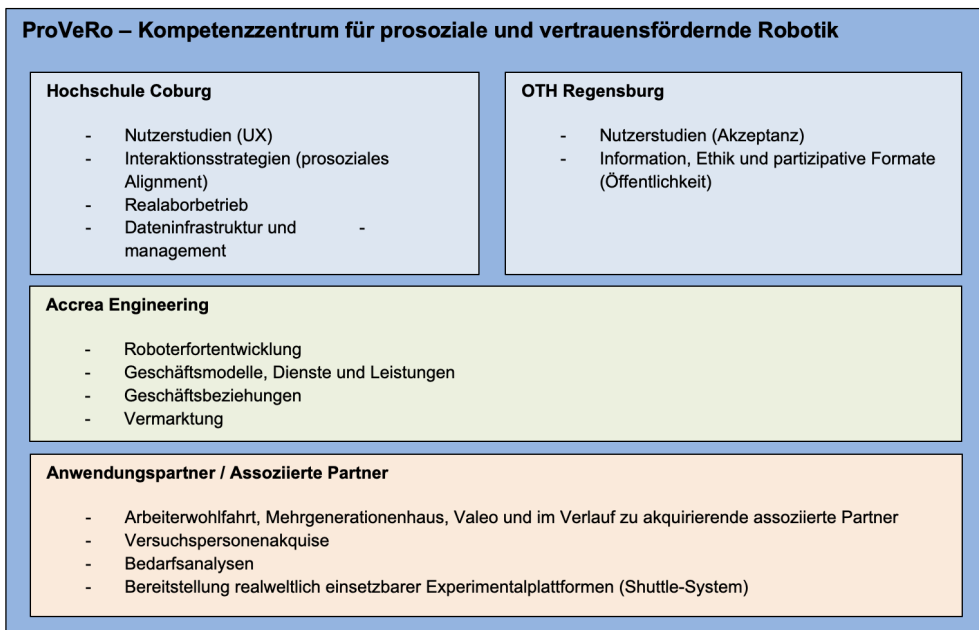


Abbildung 6.1: Struktur des Kompetenzzentrums

6.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

6.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Das beantragte Kompetenzzentrum erforscht neuartige Strategien zur prosozialen Anpassung und Vertrauensförderung bei der Interaktion zwischen Mensch und robotischem System im Rahmen von deren Transfer und praktischer Anwendung in realweltlichen Umgebungen. Die Ansätze sind generisch und für eine Vielfalt von interaktiven Robotern anwendbar. In diesem Kontext werden hier Anwendungsschwerpunkte als Use-Case verfolgt, die eine Plattform für verschiedenste Anwendungsszenarien bilden sollen. Dementsprechend werden im Folgenden relevante Arbeiten in Bezug auf die Anwendungsschwerpunkte dargestellt.

Interaktive und mobile Roboter in innerstädtischen Außenumgebungen:

Forschung im Bereich der interaktiven und sozialen Robotik wurde seit einigen Jahren stark vorangetrieben (Ahmad et al. 2017). Treiber sind ein steigender Bedarf an Assistenzsystemen für Mobilität, Rehabilitation und Pflege sowie weitgehende Konsolidierung klassischer Märkte wie dem der Industrierobotik. Verschiedene Philosophien verfolgen mehrere spezialisierte Systeme für unterschiedliche Aufgaben des Alltags einerseits und humanoide „Allzweckroboter“ als Universallösung andererseits. Mittelfristig nicht zu erwartende Innovationen für wirtschaftliche leistungsfähige Antriebe und Energiespeicher, die eine Verfügbarkeit von Allzweckrobotern im Alltag für die breite Masse ermöglichen würden, resultieren jedoch in vorherrschender Favorisierung von Speziallösungen. Trotz einer hohen und steigenden Aktivität im Bereich interaktiver und unterstützender Roboter hat bislang nur ein kleiner Teil den Weg in kommerzielle Lösungen gefunden, z.B. für Rasen- und Raumpflege (Forlizzi and DiSalvo, 2006, Sahin and Guvenc, 2007) und moderne automatisierte Rollstühle (Rofer et al., 2009) sowie verschiedene humanoide Formen (Leite et al., 2013, Fong et al., 2003, Cabibihan et al., 2013), die aber für den alltäglichen Einsatz aufgrund ihrer Leistungsdaten nicht geeignet sind. Gründe sind neben hohen Kosten für leistungsfähige mechatronische Komponenten auch fehlende Standards, z.B. für Sicherheits-/Haftungsfragen (Mainzer, 2014). Akademische Arbeiten sind dagegen vielfältig, z.B. zur physischen Unterstützung, u.a. bei Nahrungsaufnahme (Li et al.,

2009), über soziale Unterstützung, u.a. Reinitialisierung zwischenmenschlicher Kontakte oder Unterstützung bei neurologischen Krankheiten (Burton, 2013), bis hin zu Unterstützung bei kognitiven oder sozialen Störungen (Wainer et al., 2014). Vernetzte Assistenzroboter, teilweise Cloud Services nutzend, werden kaum behandelt, z.B. im GrowMeUp-Projekt (Quintas et al., 2017) im Kontext der Konsolidierung verteilt erfassten Nutzerwissens und auction-basierter Koordination. Simmons et al. (1997) stellten eine Architektur für einen Büroroboter vor, der zur Navigation Karten seiner Umgebung verwendet. Außerdem kann er auf Objekte reagieren, die ihm den Weg versperren. Hada et al. (2004) entwickelten einen Roboter für die Dokumentenbereitstellung in Innenräumen wie Büros und Krankenhäusern. Diese (akademischen) Arbeiten behandeln jedoch bislang nur Innenumgebungen. Logistiksysteme werden bereits vielfältig in Außenumgebungen untersucht und eingesetzt (Pizzalieferung (Technologies), Drohnen für 5-Pfund-Paketlieferungen (Air, 2016), 10-Pfund (UPS (Golgowski, 2017)). Uber Technologies und Anheuser-Busch haben zusammengearbeitet, um die erste kommerzielle Lieferung zu erreichen, die vollständig von einem selbstfahrenden Lkw aus durchgeführt wird, der 120 Meilen ohne Fahrer fuhr und seine Ladung erfolgreich an den vorgesehenen Bestimmungsort lieferte (Hada et al., 2004). Diese Systeme, da autonom, könnten jedoch potenziell eher zur Isolierung älterer/eingeschränkter Nutzer in heimischer Umgebung führen. Sie enthalten naturgemäß keine Interaktionsfunktionalitäten und sind daher für die vorgeschlagenen prosozialen und Trust-fördernden Interaktionsstrukturen nicht geeignet. Parallel zu den Aktivitäten des Projektleiters entwickelten Sales et al. (2016) einen Einkaufswagen-Assistenzroboter, der dem Nutzer vom Laden bis zum Haus des Nutzers folgen kann. Hierin ist auch ein guter Überblick über ähnliche existierende Systeme, deren sensorische Ausstattung und Funktionalitäten zu finden. Auch diese Arbeiten sind lediglich akademisch und in Ihrer Robustheit nicht mit den unter Beteiligung des Projektleiters entwickelten Systemen mit Produktcharakter (s. Abb. 6.2) vergleichbar. In fernöstlichen Großstädten (z.B. Tokio) ist Präsenz anthropomorpher Roboter im öffentlichen Raum - zu Informationszwecken - bereits Realität. Aspekte der Nutzerinteraktion und Akzeptanz sowie öffentliche Bereitstellung von Robotern für beliebige private Nutzung werden dabei allerdings nicht betrachtet. Letztere Ansätze würden den Weg bereiten für vielfältige neue Geschäftsmodelle (z.B. service-, zeitbasierte Abrechnungen, Flatrates, etc). Eine offensichtliche Barriere für viele bekannte und kommerzielle Systeme ist die

Outdoor-Fähigkeit der zugrunde liegenden mobilen Plattform, Sensoren und Corpus, die in diesem Vorhaben essenziell ist.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, dass die kommerziell verfügbaren Systeme entweder keine Outdoor-Tauglichkeit bieten oder mangels Interaktionsfähigkeiten im Rahmen des Kompetenzzentrums nicht geeignet sind.

Sozialverträgliche Mensch-Roboter-Interaktion und Bewegung im öffentlichen Raum:

Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter kann die Leistung eines Roboters verbessern. Fong et al. (2003) bestätigten diese Annahme mit einem Kollaborationssystem, das dem Roboter ermöglicht, bei Problemen mit einem Benutzer zu kommunizieren. Sie zeigten auch, dass viele Faktoren berücksichtigt werden müssen, um eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter zu ermöglichen, die eng mit menschlichen sozialen Aspekten verbunden sind. Zum Beispiel muss der Roboter über Self-Awareness und Self-Reliance verfügen. Der persönliche Raum ist ein wichtiger Faktor für das Wohlbefinden der Menschen. Basierend auf Halls Konzept der Nähe (Hall and Hall, 1966) sind mehrere Möglichkeiten denkbar, wie ein Mensch und ein Roboter gemeinsam zu einem bestimmten Ziel gehen können. Joosse et al. (2013) zeigten mit einem Experiment, dass menschliche soziale Normen bei Interaktionen mit Robotern nicht verletzt werden dürfen. In ihrem Setup zeigten die Teilnehmer im Vergleich zu einem menschlichen Agenten ein kompensatorisches Verhalten, wenn ein Roboteragent in ihren persönlichen Bereich eindrang. Basierend auf menschlichem Verhalten haben Morales Saiki et al. (2012) entwickelten ein computationales Modell, das das Gehen von zwei Personen nebeneinander reproduziert. Dieses Modell wurde u.a. von Murakami et al. (2014) aufgegriffen. In einem weiteren Ansatz für das Side-by-Side-Walking haben Udsatid et al. (2012) verwendeten eine Kinect-Kamera, um die Füße des Benutzers zu lokalisieren. Gockley et al. (2007) verglichen zwei Ansätze, bei denen ein Roboter einer Person entweder folgt, indem er einem Weg oder einer Richtung folgt. Sie konnten z.B. zeigen, dass der Mensch den richtungsfolgenden Roboter bevorzugt. Weitere Faktoren, die die Mensch-Roboter-Interaktion beeinflussen, zeigen Mutlu et al. (2006). Sie fanden heraus, dass die Aufgabenstruktur und Benutzerattribute wie Geschlecht, Alter und Bildungsstand die Wahrnehmung eines Roboters durch den Benutzer beeinflussen. Tapus et al. (2008) fanden heraus, dass

es möglich ist, einen Roboter entsprechend dem Grad der Extraversion-Introversion des Benutzers anzupassen. Basierend auf ihren Erkenntnissen entwickelten sie ein Verhaltensanpassungssystem, das in der Lage ist, seine sozialen Interaktionsparameter wie Geschwindigkeit und Sprachinhalt an das Extraversions-/Introversionsniveau des Benutzers anzupassen. Woods et al. (2005) führten eine Studie durch, in der Menschen mit einem nicht-humanoiden Roboter interagierten, der zwei Roboterhaltensstile zeigte, sozial interaktiv und sozial ignorant. Sie fanden heraus, dass Alter, Geschlecht und technologische Erfahrung der Benutzer wichtig dafür waren, wie die Probanden ihre Persönlichkeit als der Roboterpersönlichkeit ähnlich sahen.

In dem geplanten Projekt wird auf diesen Erkenntnissen aufgesetzt, um eine sozialverträgliche Fortbewegung des Roboters zu realisieren, wobei Akzeptanz und Nutzerverhalten im Rahmen von Nutzerstudien und partizipatorischen Formaten untersucht wird, um Leitlinien für eine entsprechende Adaption der Roboter im Reallabor zu erhalten.

Persuasion und prosoziale Ansätze in der Robotik:

Innerhalb eines geschlossenen Kreises von Nutzer und Technologie, beschäftigen sich vielfältige Arbeiten mit der Integration mentaler Zustände wie Emotionen in die dynamische Handlungssteuerung an der Schnittstelle von Ingenieurwissenschaften, Informatik und Psychologie (Jeon, 2017). Im Zwischenmenschlichen Bereich ist Empathie ein wesentlicher Grundbaustein für die Sozialisierung. Empathie entwickelt sich bereits im Säuglingsalter (Blakemore et al., 2004) und Dysfunktionen diesbezüglich können zu sozialen Defiziten führen, wie z.B. bei Autismus zu beobachten ist (Dapretto et al., 2006). Psychologische Studien haben gezeigt, dass eine Manipulation des Ausmaßes der Empathie über die Ähnlichkeit zwischen den Subjekten möglich ist (Batson et al. (1981), Krebs (1975)). Eine Schlüsselherausforderung in der Mensch-Roboter-Interaktion ist die Entwicklung psychologischer „Treiber“ zur Induktion von Empathie und Ähnlichkeit, um altruistisches Verhalten zu triggern (Frey and Irle, 2002). Hierbei kommen implizite (z.B. Mimik, Gestik, etc.) und explizite (verbale) Signale zur Anwendung (Castelfranchi, 1998). Existierende Arbeiten in der Mensch-Roboter-Interaktion, die implizite Kanäle verwenden, basieren z.B. auf einem Kommunikationsmechanismus in der zwischenmenschlichen Interaktion, der Alignment genannt wird (Pickering and Garrod, 2006), welcher zu adaptiven Prozessen

zwischen Interlocutoren führt (Fischer and Van Kleef, 2010, Kraut and Johnston, 1979). Ein Alignment-Ansatz basierend auf emotionalen Gesichtsausdrücken mit einer Unterscheidung von automatischen, schematischen und konzeptuellen Ebenen für emotional adaptive Reaktionen findet sich in (Damm et al., 2011). Auf Grundlage derartiger sozialpsychologischer Theorien (Frey and Irlé, 2002, Batson et al., 1981) werden in ProVeRo szenariobezogene Einleitungs-, Bindungs- und Adaptionstrategien unter Verwendung expliziter und impliziter Kanäle („Emotional Adaption Approach“) zur Erzeugung altruistischen Verhaltens entwickelt und realweltlich zur Anwendung gebracht, die auf der Erzeugung von Empathie und Ähnlichkeit beruhen, welche zum Teil in Vorarbeiten bereits im Kontext von Hilfsbereitschaft (Mensch-Roboter) erfolgreich für naive Nutzer umgesetzt wurden (Kühnlenz et al., 2013). Hier soll insbesondere ein Beitrag zur Erhöhung von prosozialem Verhalten, Vertrauen und letztlich Akzeptanz sowie Vandalismusprävention geliefert werden, die im Rahmen des Einsatzes von Assistenzrobotern im öffentlichen Raum hochrelevant sind.

Ein Modell, das den Einstellungswandel in Bezug auf die menschliche Informationsverarbeitung beschreibt, ist das Elaboration Likelihood Model (ELM) der persuasiven Kommunikation (Petty and Cacioppo, 1986). Nach ELM sind neben situativen Faktoren (zB persönliche Relevanz, Beteiligung und Verantwortung) auch individuelle Faktoren wie ein intrapersonales „Kognitionsbedürfnis“ die Determinanten, welche von zwei möglichen Wegen der Informationsverarbeitung (Elaboration) zur Einstellungsänderung verfolgt werden: entweder über eine kognitive Strukturänderung (zentral) oder über eine periphere Einstellungsänderung. Während die Cognitive Dissonance Theory hauptsächlich in zwischenmenschlichen Studien untersucht und in der Medien- und Werbepsychologie bislang weit verbreitet ist, wurden ELM sowie andere Überzeugungsstrategien bereits erfolgreich im Bereich der sozial assistierenden Robotik eingesetzt (Winkle et al., 2019). Im Rahmen des Kompetenzzentrums wird eine derartige Form der Persuasion umgesetzt, wobei dispositionale Parameter (wie z.B. Need for Cognition im Rahmen der Umsetzung des ELM) der Nutzer vorab bei deren Registrierung für den Zugang zu den angebotenen Services einmalig erhoben werden. Moderne Lösungen im Bereich der kommerziellen mobilen Robotik lassen sich in zwei Hauptkategorien einteilen: Lieferroboter und soziale Roboter. Die Auslieferung von Waren ist in der Regel auf Anwendungen in Innenräumen beschränkt, meist in in-

Company	W3 Keenon	Pepper SoftBank Robotics	DustCart ROBO TECH	Husky UGV ClearPath Robotics	Spot Boston Dynamics	IURO IURO Consortium	PillBot ACCREA	ProVeRo Spin-off
General								
TRL	9	9	7	9	9	8	6	2
Status	On the market	On the market	R&D Project	On the market	On the market	R&D Project	R&D Project	
Purpose	Goods- delivery	Entertain- ment	Garbage collecting	Multi- purpose R&D	Inspection	R&D	Hospital logistics	Accom- panying Service
Price [EUR]	18 700	11 600	N/A	22 000	63 175	N/A	N/A	TBD
Performance								
Max. speed [m/s]	1,0	1,5	1,25	1,0	1,6	1,6	1,0	TBD
Payload [kg]	Unknown	0,5	15	75	14	N/A	30	TBD
Environment	Indoor	Indoor	Outdoor	Outdoor	Outdoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Runtime	9 hrs	12 hrs	10 hrs	3 hrs	1,5 hrs	4 hrs	2 hrs	TBD
Social Interaction								
Visual	Yes	Yes	Yes	No	No	Limited	Yes	Yes
Vocal	Yes	Yes	Limited	No	No	Yes	No	Yes
Smartphone App	Yes	No	Yes	No	No	No	No	Yes

Tabelle 6.1: Übersicht an ausgewählten Robotersystemen und Abgrenzung von ProVeRo.

dustriellen Lagerhallen, wobei neue Anwendungsfälle im Gesundheitswesen entstehen. Diese Szenarien werden von robusten, langlebigen Robotergeräten ausgeführt, die auf die Zuverlässigkeit der Aufgabenerfüllung und klare Anweisungen nach bekannten Kriterien abzielen; soziale Funktionalitäten entfallen somit. Auf der anderen Seite ist der Markt gesättigt mit Robotergeräten, die auf eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion abzielen, denen aber aufgabenorientierte Funktionalitäten fehlen. Das Ziel des ProVeRo-Projekts ist es, die Lücke zwischen diesen beiden Gruppen zu schließen, indem ein Dienst eingeführt wird, der eine fließende und intuitive begleitende Beförderung von Waren ermöglicht. Im Mittelpunkt steht ein neuartiger Roboterträger, der auf den Erkenntnissen aus früheren und aktuellen Projekten der Mitglieder des Konsortiums (IURO, PillBot) basiert.

6.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Das Kompetenzzentrum besitzt aufgrund des geplanten Reallabors Alleinstellungscharakter. Insbesondere die Möglichkeit zur Durchführung realweltlicher Longitudinalstudien in schwach strukturierten öffentlichen Räumen in Außenumgebungen wie z.B. Fußgängerzonen über lange Zeiträume in Verbindung mit groß angelegten Akzeptanzstudien zur Untersuchung der Entwicklung der öffentlichen Meinung sowie

die Möglichkeit der Einbindung weiterer Roboter möglicher industrieller Interessenten hebt das Vorhaben von existierenden ab.

Konformität mit den entsprechenden Normenwerken zu Maschinensicherheit im allgemeinen und kolla-borierenden Systemen im speziellen wird sichergestellt. Im Speziellen ist neben konstruktiven Sicherheitsmerkmalen wie z.B. Soft Covers die Begrenzung robotischer Fortbewegungsgeschwindigkeiten auf die des menschlichen Vorbilds und auf Grenzwerte in Bezug auf das finale mechanische Roboterdesign vorgesehen. Weiterhin kommen entsprechend zertifizierte Sensoren (z.B. Annäherungssensoren) zum Einsatz, um Kollisionen zu vermeiden. Soweit möglich werden im Rahmen der Systemanpassung nicht-maskierbare Interruptsteuerungen für die low-level Reaktivität (z.B. Hindernisvermeidung) angestrebt.

6.2.3 Risikodarstellung

Das Haupthindernis, das direkt mit ProVeRo verbunden ist, besteht in der potenziell geringen Akzeptanz ubiquitärer und (teil-)autonomer Robotertechnologie. Dies hängt zum einen mit Bedenken bezüglich der Privatsphäre zusammen, die eines der Kernthemen von ProVeRo ist, die Personalisierung und Anpassung an den aktuellen Kontext abwägen, um den Benutzern das Gefühl zu geben, so privat zu sein, wie es die aktuelle Situation erfordert. Auf der anderen Seite neigen Menschen dazu, Robotern mit hochvorhersehbarem Verhalten (z.B. Industrierobotern) mehr zu vertrauen als Robotern mit bis zu einem gewissen Grad autonomem Verhalten und kognitiven Fähigkeiten, da eine höhere Variabilität der erzeugten Roboteraktionen zu verschiedenen Manifestationen von Roboterangst führt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass die Roboteraktion dem Benutzer klar kommuniziert wird und das offene Roboterverhalten und die Erwartungen der Benutzer an den Roboter zusammengeführt werden. Ebenso wichtig ist in diesem Zusammenhang die Vermittlung neuer technologischer Entwicklungen an die breite Öffentlichkeit, insbesondere in den Massenmedien. ProVeRo wird durch entsprechende Disseminationsaktivitäten dazu beitragen, solche Hindernisse abzubauen.

Im Hinblick auf eine breitere Anwendung von autonomen Servicerobotersystemen in unserer Gesellschaft im öffentlichen Raum sind verschiedene Fragestellungen ungelöst:

- **Haftpflicht/Zulassung/Versicherung:** Der Rechtsstatus autonomer oder teilautonomer Fahrzeuge ist derzeit noch weitgehend unklar. Während die Haftung nach geltendem Recht in der Regel dem Betreiber von Fahrzeugen oder Anlagen zugerechnet wird, gilt dieses Paradigma bei autonomen Fahrzeugen nicht. Mit dem Aufkommen autonomer Fahrzeuge bewegen sich Versicherungen und Gesetzgebung jedoch in Richtung neuer Vorschriften. Diese Vorschriften werden wahrscheinlich durch eine breite kommerzielle Einführung der Roboter in Kraft treten. Bei Experimenten im Rahmen des Projekts werden die Roboter immer vom ProVeRo-Team betreut und stehen unter ständiger Aufsicht eines Technikers mit Einsatz in definierten täglichen Zeitfenstern.
- **Datenschutz und Privatsphäre:** Mit dem Vorhandensein von Robotern und ihrer Fähigkeit, Daten zu sammeln und zu speichern, ist ein Missbrauch dieser Daten ein mögliches Szenario. Obwohl größtenteils durch die Datenschutzgesetze der europäischen Länder geregelt, ist es im Allgemeinen schwierig, Daten nachzuverfolgen und somit sicherzustellen, dass sie nur im Rahmen ihres rechtmäßigen Zwecks verwendet werden. Gleichzeitig bilden aber auch rechtmäßige Auswertungen von persönlichen Daten und die darauf basierende Erstellung von Nutzerprofilen, die tiefe Einblicke in die Persönlichkeitsmerkmale der Nutzer erlauben, gängige Praktiken in einer digitalisierten Welt. Hierin kann ein wichtiger Faktor des Misstrauens seitens der Nutzer liegen. Diese Probleme sind jedoch nicht spezifisch für Roboter, sondern eher allgemeine Probleme der digitalisierten Welt. Die ethische Analyse und Akzeptanzstudie von Assistenzrobotern muss sich mit dem Umgang mit den erfassten Daten auseinandersetzen und Antworten auf die Frage finden, wie der Schutz der Privatsphäre als vertrauensfördernde Maßnahme durch Mechanismen echter informierter Einwilligung gewährleistet werden kann.
- **Witterungssichere Konstruktion und Funktion des Roboters:** Eine große Herausforderung für einen kommerziell einsetzbaren Roboter ist die Konstruktion der Roboterhardware, die widrigen Witterungsbedingungen standhalten muss. Dies ist eine Herausforderung, die nach Abschluss des Projekts angegangen werden muss. Um die wissenschaftlichen Fragestellungen des Forschungsprojekts best-

möglich beantworten zu können, hat sich das Konsortium entschieden, diese Themen im Projektverlauf in Bezug auf das Carrier-Szenario zu vernachlässigen und den Betrieb nur während entsprechender Witterungsverhältnisse zu ermöglichen.

- **Vandalismus:** In Bezug auf den Betrieb von Roboter im öffentlichen Raum ist die mutwillige Beschädigung ein bekanntes Problem. Wenngleich derartige Aspekte nicht vollständig vermeidbar sein werden, sollen die Beiträge dieses Zentrums in Richtung prosozialer Interaktionssteuerung und partizipatorischer Formate zu Ethik und Akzeptanz von Robotern im öffentlichen Raum dazu beitragen, Vandalismus zu reduzieren. Aus letzteren soll auch ein wesentliches Teilergebnis des Zentrums abgeleitet werden, um Empfehlungen für die zukünftige Roboterentwicklung zu geben.
- **Verbale Kommunikation unter Outdoor-Bedingungen:** Erfahrungsgemäß kann es in Außenumgebungen wie in früheren Projekten aufgetreten aufgrund von Umgebungsgeräuschen zu stark verminderter Spracherkennungsperformanz kommen. Um hier mit einfachen effektiven Maßnahmen Abhilfe zu schaffen, ist die Integration von Headsets geplant – entweder über die Kommunikation mit der Smartphone App oder mittels Bereitstellung von Bluetooth-Headsets für registrierte Nutzer.

6.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Das Hauptziel des Kompetenzzentrums ist, dazu beizutragen, Barrieren bzgl. eines Assistenzrobotereinsatzes im öffentlichen Raum, der zukünftiges Roboter Sharing verbunden mit vielfältigen Services ermöglichen soll, um robotische Assistenz für die Allgemeinheit wirtschaftlich zugänglich zu machen, abzubauen. Hierzu gehören insbesondere Akzeptanz und User Experience, die im Rahmen des Kompetenzzentrums durch sozialpsychologisch motivierte Alignmentmethoden und Integration von Erklärungsstrategien des Roboters verbessert werden sollen. ProVeRo verfolgt ein integriertes Konzept aus einem neuartigem Robotersystem, das soziale Interaktion und begleitende Services wie insbesondere Tragehilfe in Außenumgebungen im öffentli-

chen Raum gleichermaßen bietet, mit individueller Anpassung an den menschlichen Nutzer vereint.

Der Ansatz, diese Ziele zu erreichen ist dreigeteilt:

1. Realisierung und Betrieb eines Reallabors für innerstädtisch verteilte Roboterassistenz:

Das Reallabor soll einerseits ermöglichen, die geplanten multimodalen Interaktionsstrategien aus Vorarbeiten umzusetzen, in der Praxis zu erproben und erste Erfahrungen mit realen on-line buchbaren Services zu sammeln sowie weiterhin die Einbindung weiterer Einheiten von möglichen zukünftigen Partnern oder Klienten einzubinden und unter realweltlichen Bedingungen zu testen. Hierbei wird auf bereits existierenden Robotersystemen (begleitende Tragehilfen) aufgesetzt und eine Dateninfrastruktur aufgebaut, die die Roboter miteinander und mit einer zentralen Kontrolleinrichtung sowie weiteren Zugriffseinheiten wie z.B. Smart Phones (z.B. via App) vernetzt (4G/5G, LoRaWAN), die derartige Services ermöglicht. Hierbei werden die Roboter aus Sicherheitsgründen im laufenden Betrieb kontinuierlich zentral durch Techniker überwacht. Für den Betrieb sind daher aus Aufwands- und Sicherheitsgründen zunächst tägliche Zeitfenster von nur einigen Stunden für ein Serviceangebot geplant.

Die Interaktionsstrategien fusionieren Ansätze proaktiver emotionaler Anpassung (explizit/implizit) an den Nutzer sowie die Transparentmachung robotischer Funktion und Handlung während der Aufgabenbewältigung. Erstere beinhaltet die Realisierung von Ähnlichkeiten und Empathie mit bzw. gegenüber dem Roboter durch entsprechende Dialog- und Bewegungssteuerung. Dies wird z.B. eine Anpassung der Bewegungsprofile des Roboters an situative Parameter des Nutzers beinhalten, Bindungsphasen in der Dialogsteuerung, das dialoggestützte Finden von Gemeinsamkeiten, Zusammenführung von Erwartungen des Nutzers mit realen Aktionen des Roboters, etc. Letztere beinhaltet verbale Signale bzw. Informationen des Roboters an den Nutzer zur Erhöhung des Vertrauens, insbesondere in ambigen Situationen (z.B. Roboter bleibt plötzlich stehen, weil ein bewegtes Objekt seitlich herannaht (mit LRF erfasst), das der Roboter passieren lassen möchte, das der Nutzer aber nicht wahrgenommen hat (geschlossen aus der erfassten Bewegung des Nutzers); die überraschende robotische Aktion wird daher durch entsprechende Erklärungen unterlegt). Hierbei ist eine Schätzung der Abweichung von Erwartung und Realität auf Basis von Nutzermodellen, die

mit dispositionalen und situativen Parametern unterfüttert werden, vorgesehen. Zur Realisierung der Interaktionsstrategien wird weitgehend auf vorhandenen Modulen aufgebaut. Die Erfassung dispositionaler menschlicher Parameter als Grundlage für die Alignmentstrategien werden bei Registrierung des jeweiligen Teilnehmers für die Teilnahme an dem Serviceangebot erfasst.

2. Realweltliche Studien mit naiven Nutzern und Roboterethik unter Einbezug der Öffentlichkeit: Während des Betriebs des Reallabors werden kontinuierlich Studien durchgeführt, durch die die Interaktion und deren Ausgang bewertet werden soll, woraus Schlüsse bzgl. Effektivität und zukünftige Designrichtlinien abgeleitet werden sollen. Hierzu gehören die Erfassung massiver Datenströme, z.B. von (Fort-)Bewegungen von Robotern, Nutzern und Dritten, um wechselseitigen Einfluss zu analysieren, die multimodale Interaktion (verbale und non-verbale (Mimik, Gestik) Kommunikation) sowie der Einfluss der partizipativen Formate auf die Einstellung der Allgemeinheit bzgl. der Roboter im öffentlichen Raum, die sich voraussichtlich in Änderungen des Umgangs mit den Robotern bzw. dem generellen lokalen Koexistenzverhalten niederschlagen wird. Die Entwicklung entsprechender Metriken und Benchmarks ist Teil eines Arbeitspakets. Unter anderem ist eine Idee, die globale Entwicklung von Bewegungsprogressionen der Menschen gegenüber den Robotern zu untersuchen (z.B. wie weit sind Menschen bereit, in verschiedene soziale Abstandsniveaus zum Roboter vorzudringen und wie bewegen sich Menschen generell unter Präsenz des Roboters in Abhängigkeit des Fortschritts des Projekts unter Fortführung des öffentlichen Diskurses; gibt es hierbei sichtbare Unterschiede und Entwicklungen, aus denen Akzeptanzparameter und Entwicklungsrichtlinien abgeleitet werden können, etc.). Hierbei werden aus Datenschutzgründen ausschließlich abgeleitete Daten gespeichert (z.B. Positionsverläufe, erkannte Gesichtsausdrücke, Körperposen, etc.) und die Rohdaten (z.B. visuelle Daten) noch vor Ort verworfen. Es erfolgt jeweils eine Befragung des Nutzers durch den Roboter vor bzw. nach der Aufgabenausführung mit freiwilliger Teilnahme zur Erhebung subjektiver Daten zu User Experience und Akzeptanz. Hierbei ist auch ein Longitudinalanteil geplant, wobei frühere und künftige intraindividuelle Datensätze z.B. durch Nutzernamen und Passwörter oder andere Authentisierungsmethoden, die im Projektverlauf untersucht werden, verbunden werden. Flankiert wird dies durch punktuelle Befragungen durch Versuchsleiter.

In regelmäßigen Abständen nach Etablierung des Reallabors und bei kontinuierlicher Durchführung von Services wird der Kreis über die öffentliche Meinung geschlossen und es werden partizipatorische Formate durchgeführt, die die Öffentlichkeit einbeziehen, einerseits zur Information und Aufklärung der Öffentlichkeit und andererseits zur Erfassung des jeweils aktuellen Stands und Verfolgung möglicher Änderungen von Akzeptanz und sozialen Implikationen, um die Effektivität der Interaktionsmechanismen und die Koexistenz von Menschen und Robotern in dem avisierten Szenario nicht nur in Einzelfällen, sondern bzgl. deren Wirkung auf die (bzw. Teile der) Gesellschaft insgesamt zu beurteilen.

Das übergreifende Ziel dieser partizipatorischen Formate besteht darin, die wertorientierte Gestaltung der konkreten Assistenzrobotik-Szenarien in einen möglichst breiten Diskurs mit der Öffentlichkeit einzubetten – auch, um einen „kollektiven Reflexionsprozess über wünschenswerte Ziele“ eines Lebens mit ubiquitärer Robotik im Kontext des Alterns und von Behinderung in Gang zu setzen und so gezielt „gesellschaftliche Reflexions- und Kritikkapazitäten“ fruchtbar zu machen (Kehl 2018, S.158, Wehling 2010). Die partizipatorischen Formate des Konsortiums sollen einerseits den Diskurs der technikethischen Fragen strukturell und iterativ an den Gestaltungsprozess der technischen Anwendung binden. Zugleich sollen sie dem in den aktuellen Debatten um Pflegerobotik bemängelten Fehlen eines breiten gesellschaftlichen Austausches über wünschenswerte Forschungs- und Entwicklungsziele entgegenwirken (u.a. Kehl 2018, S. 152): Es sollen explizit auch die übergreifenden, gesellschaftlich dringlichen ethischen Fragen wie „*Wie wollen wir im Alter leben? Wie stellen wir uns gutes Alter vor?*“ diskursiv erforscht und dabei gleichwohl auf die Robotik-Szenarien des Kompetenzzentrums zurückbezogen werden, um in deren Gestaltung auch die relevanten soziokulturellen Aspekte mit einfließen zu lassen (Remmers 2018, S. 162–164). Das Konsortium verfolgt daher einen erweiterten ELSI-Ansatz unter Berücksichtigung und Weiterentwicklung aktueller Governance-Ansätze, um die Untersuchung der ethischen Fragen einer technischen Anwendung nicht als vom eigentlichen Forschungsgeschehen abgekoppelte Begleitforschung zu betreiben, sondern als konstruktiven Faktor strukturell in den Forschungsprozess einzubetten (Kehl 2018, S. 150-152).

Über die partizipatorischen Formate werden die ethischen Fragen von interaktiven Assistenzrobotern in drei miteinander zusammenhängenden Dimensionen erforscht: als Designfaktoren des User Centered Design, als das Individuum betreffende (technik-)ethische Fragen sowie als gesellschaftliche Fragen ubiquitärer Robotik auf der Makroebene. Den Ausgangspunkt bilden die einschlägigen, in den Fachdebatten diskutierten, verallgemeinerbaren ethischen Bewertungskriterien autonomer Assistenzsysteme wie Selbstbestimmtheit und Unabhängigkeit, das übergreifende normative Prinzip der Menschenwürde, die Entfaltungsmöglichkeiten der Persönlichkeit, Vertrauen, Privatsphäre, soziale Teilhabe und Aspekte wie Sicherheit, Gesundheit sowie subjektiv empfundenes Wohlbefinden und Lebensqualität (Remmers 2018, S. 164; Kreis 2018, Körtner 2016, Bendel 2019). Daran orientiert sollen die Ergebnisse des initialen Diskurses mit Stakeholdern und der Öffentlichkeit bereits zu Anfang des Projekts in den Prozess des User Centered Design des Robotikszenarios einfließen. Der auf diesem Wege angepasste Prototyp wird im Verlauf des Projektes durch einen erneuten diskursiven Austausch über die ethischen Fragen mit den Stakeholdern und der allgemeinen Öffentlichkeit iterativ weiterentwickelt. Dabei wird insbesondere auch der vertrauensfördernde Aspekt des Schutzes der Privatsphäre im Umgang mit persönlichen Daten (von der Erfassung und Speicherung bis zu deren Auswertung) als zentraler zu diskutierender Akzeptanzfaktor in den Prozess des User Centered Design einfließen.

Die partizipativen Formate des Konsortiums dienen explizit auch der breiteren gesellschaftlichen Erörterung der individuellen und gesellschaftlichen Ziele des Einsatzes von Assistenzrobotik. Aus der Perspektive des Individuums eröffnen die technischen Möglichkeiten der Assistenzrobotik eine Ausweitung der menschlichen Selbstbestimmung unter den Bedingungen des Alterns und der Behinderung und eröffnen so neue Möglichkeiten der persönlichen Entfaltung und der sozialen Teilhabe. Damit gehen auch Horizonte gesteigerter Lebensqualität einher, aber es entstehen auch Spannungsfelder, so etwa bei der Abwägung des potenziell konfligierenden Schutzes der Privatsphäre, wobei diese Abwägung unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen des Alterns und der Behinderung getroffen werden muss. Die Erforschung dieser Spannungsfelder einschließlich ihrer Ambivalenzen und Dilemmata ist ein explizites Ziel der partizipatorischen Formate. Ihre philosophisch präzise Ausformulierung orientiert sich

methodisch an der philosophischen Erforschung der strukturell unauflösbaren Zwiagespaltenheit moderner Sinnvorstellungen und Vorstellungen des guten Lebens durch Kriza (2018). Diesen ambitionierten, aber durchführbaren Ansatz weiterentwickelnd wird die Untersuchung der ethischen Fragen der Assistenzrobotik an eine generelle philosophische Erkundung der Potentiale des Alterns und des guten Lebens im Alter gekoppelt. In engem methodischen und inhaltlichen Zusammenhang hierzu steht auch die Untersuchung der gesellschaftlichen Fragen ubiquitärer Robotik: Zur Veränderung der tradierten soziokulturellen Vorstellungen des Alterns und der Hilfsbedürftigkeit durch die Fortschritte der modernen Technik finden sich in den transhumanistischen Debatten um die Potenziale eines technisch erweiterten menschlichen Lebens wichtige Anknüpfungspunkte, die sich auf die konkreten Anwendungen der Assistenzrobotik übertragen lassen. Der Bedarf an breiteren gesellschaftlichen Diskursen zu diesen Themen, die zugleich auch zur Versachlichung und Neuorientierung der durch spekulative futuristische Extremszenarien geprägten Vorstellungen der Pflegerobotik beitragen sollen, wird auch in den einschlägigen Fachdebatten um die Pflegerobotik geäußert (Kehl 2018, S. 155-156). Vielversprechende Forschungsperspektiven bietet außerdem das bislang wenig erforschte Feld des Robot Nudgings (Devillers, 2021, Borenstein and Arkin, 2016), als Übertragung der einflussreichen Überlegungen von Thaler and Sunstein (2009) und der dazugehörigen Debatten um den libertären Paternalismus (Conly, 2016) auf das Feld der Assistenzrobotik, mit dem Ziel einer möglichst präzisen Herausarbeitung der Trennlinie zwischen einer ethisch problematischen Beeinflussung durch Technik und einer ethisch vertretbaren institutionellen Förderung („Nudging“) der sozialen Teilhabe, der Gesundheit und des subjektiven Wohlbefindens.

Als Arbeitsergebnis wird die Erstellung einer philosophisch fundierten und differenzierten ethischen Analyse und Akzeptanzstudie angestrebt, die normative Orientierung bietet und idealerweise auch konkrete Leitlinien enthält. Die partizipatorischen Formate werden u.a. aus einer Reihe von Veranstaltungen bestehen, die eingebettet in regelmäßig stattfindende philosophische Diskussionsreihen z.B. als Podiumsdiskussionen mit Publikumsbeteiligung durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden verschriftlich, über qualitative Methoden ausgewertet und in die Forschungsprozesse des Kompetenzzentrums einbezogen. Die Veranstaltungen werden der allgemeinen Öffentlichkeit offenstehen, sie sind zugleich in der Hochschullehre und im hochschulinternen For-

schungsaustausch an der OTH Regensburg und der HS Coburg verankert. Dies folgt einem ausformulierten Konzept von Philosophie und Ethik als integralen Bestandteilen der Lehre und Forschung in den angewandten Wissenschaften (Kriza 2019). Die Veranstaltungen bauen auf Formaten auf, die seit 2015 an der HS Coburg etabliert sind und analog dazu auch an der OTH Regensburg eingeführt werden. Begleitet werden die Veranstaltungen durch interdisziplinäre (fach-)philosophische und publizistische Veröffentlichungen (z.B. analog zu Bastian 2018).

3. Geschäftsmodelle und Dienstleistungen:

Im Rahmen des Projekts wird ein Geschäftsplan entwickelt und ständig aktualisiert, der Anwendungsbereiche im Zusammenhang mit persönlichen Assistenzrobotern abdeckt. Verschiedene Geschäftsmodelle (z. B. direkter Verkauf von Robotern oder Dienstleistungen, Vermietung von Robotern als Service, Verkauf oder Vermietung an andere Unternehmen/Vertriebspartner) werden ausgearbeitet und bewertet. Der geografische Geltungsbereich des Geschäftsplans wird global sein, um alle relevanten Märkte abzudecken. Eine Marktanalyse wird erstellt und jedes Jahr aktualisiert, mit besonderem Augenmerk auf die kontinuierliche Beobachtung der direkten und indirekten Wettbewerbsentwicklungen, der unterschiedlichen Preise und Funktionalitäten anderer Roboter, der spezifischen Marktcharakteristika, der technologischen Korridore und Progressionen möglicherweise konkurrierender Technologien, der Bedarfstrends der Nutzer, der demografischen Trends, der staatlichen Bestimmungen und der Subventionierung der relevanten Kosten, der Strategien der großen Marktteilnehmer, des Verhaltens unserer potenziellen Endnutzer und Kunden usw. Die Kommerzialisierungs-Roadmap beinhaltet die Bildung strategischer Partnerschaften mit Akteuren nicht nur im offensichtlichen Bereich der städtischen unterstützenden Begleitung, sondern auch in den Bereichen Unterhaltung, Stadtführung, Werbelösungen. Unsere Strategie wird auf unseren Alleinstellungsmerkmalen wie der Markteinführungszeit, der Benutzerfreundlichkeit, der Modularität und den geringen Kosten des ProVeRo aufbauen. Wir planen, als erster Anbieter auf den Markt zu kommen und eine Marktreferenz in dieser Nische zu sein. Wir werden ProVeRo sowohl auf wissenschaftlich relevanten Konferenzen als auch auf kommerziellen Geräteausstellungen vorstellen. Da der Markt für assistive Serviceroboter noch in den Kinderschuhen steckt, kann ProVeRo als ein bemerkenswerter Katalysator betrachtet werden, um diesen neuen Markt zu formen

und einen breiteren Einsatz von relevanten Systemen zu erreichen. Was den geplanten ProVeRo-Roboter betrifft, so soll er bis zum Ende des Projekts TRL8 erreichen. Wir werden weiterhin unser Portfolio mit mehr geschäftsorientierten Produkten und Dienstleistungen bereichern, indem wir ultra-modulare Folgeprodukte mit erhöhtem Personalisierungspotenzial entwickeln und unseren Anwendern mehr Lösungen anbieten. Schließlich werden wir auf die Kennzeichnung und Zertifizierung des Produkts in Richtung CE-Zertifizierung hinarbeiten.

Die konkreten Ergebnisse dieser Aktivitäten werden sein:

- Jährliche Marktanalyse: mindestens Wettbewerbs- und Lückenanalyse, Markttrends.
- Mapping der relevanten Stakeholder, potenzielle strategische Partner, Vertriebskanäle und lokale Distributoren,
- Jährliche Überarbeitung des Geschäftsplans: mindestens Geschäftsmodell, Canvas, Wertschöpfungskette, Gewinn- und Verlustrechnung, 3 alternative Szenarien, 6 ökonomische Indikatoren.

Das Gesamtziel ist es, das Wissen und die Expertise aller Partner in greifbare Werte umzuwandeln und ProVeRo darauf vorzubereiten, langfristig als Start-up gegründet zu werden.

6.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

6.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten in der Anwendungsdomäne:

Das zu etablierende Reallabor ist international ein Alleinstellungsmerkmal. Es bietet vielfältiges Potenzial für Erforschung von Nutzererfahrungen, neuartigen Steuerungs-, Interaktions- und Adaptionsmechanismen sowie Longitudinalstudien im Hinblick auf die in 6.1.2 skizzierten Forschungsthemen. In dieser Hinsicht sind ein hoher wissenschaftlichen Impact sowie hohe internationale Sichtbarkeit zu erwarten, die sich in vielfältigen Publikationen in hochrangigen internationalen Journalen und Konferenzbänden sowie Dissertationen niederschlagen werden. Wo immer möglich werden Datensätze aus den Interaktionsstudien der Fachwelt zur Verfügung gestellt.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Die Etablierung öffentlich zugänglicher interaktiver Service-Roboter im öffentlichen Raum, die eine Vielfalt von Diensten zur Verfügung stellen, stellt einen wesentlichen Schritt dar, aktuellen und zukünftigen Herausforderungen in Bezug auf den Demographischen Wandel zu begegnen und den hohen Bedarf an Unterstützungsleistungen zu decken. Hier soll das Kompetenzzentrum kurz- und mittelfristig einen entscheidenden Beitrag leisten, wobei zunächst begleitende Tragedienste im Fokus stehen. Neben älteren Menschen kommen eine Mehrzahl weiterer Gruppen in Betracht (Eltern, Menschen mit körperlichen oder kognitiven Einschränkungen, usw.). Langfristiges Ziel ist eine Kooperation von Nutzern mit einem heterogenen Netzwerk einer Vielzahl von Robotern mit unterschiedlichen Fähigkeiten, die in ferner Zukunft neben begleitenden kooperativen Services auch von autorisierten Nutzern beauftragt werden können, andere Dienste für diese zu verrichten.

Accrea Engineering hat bereits mehrere Robotersysteme aus früheren Projekten kommerzialisiert und wird die zentrale Rolle bezüglich der Einführung der Technologie übernehmen.

6.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Die Hochschule Coburg hat seit 2007 durch den gezielten Auf- und Ausbau von interdisziplinären und fachbereichsübergreifenden Forschungsschwerpunkten sowie die Gründung von interdisziplinären Forschungsinstituten erhebliche Anstrengungen unternommen, um die angewandte Forschung zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen voranzutreiben. Sie hat daher Forschungsschwerpunkte in den Themenfeldern „Gesundheit analysieren und fördern“, „Mobilität und Energie“ sowie „Sensorik und Analytik“ etabliert. Der Bereich Mensch-Maschine-Systeme erstreckt sich hierbei über alle drei Schwerpunkte mit einer Reihe von beteiligten Professuren (u.a. Prof. Grubert, Prof. K. Kühnlenz, Prof. B. Kühnlenz, Prof. Streuber) und zentralen Einrichtungen wie z.B. dem Usability Lab.

Aktuell wird an der Hochschule Coburg mit einer Querschnittsfunktion ein neues KI Zentrum implementiert, wobei eine substanzielle Ausstattung mit Mitteln der Hightech Agenda Bayern erfolgen wird, hierunter zwei Professuren und mehrere

Mitarbeiterstellen. Das KI Zentrum fungiert als Ansprechpartner und Partner für die regionale Industrie in Bezug auf sämtliche KI-spezifischen Aspekte. Es ist aufgrund der inhaltlichen Nähe vorgesehen, das Kompetenzzentrum dauerhaft innerhalb dieses Zentrums anzusiedeln mit entsprechender Nutzungsmöglichkeit von Ressourcen, wobei der Mensch-Roboter-Interaktionsteil mit den in dieser Machbarkeitsstudie fokussierten Schwerpunktthemen innerhalb des KI Zentrums in den Bereich des Kompetenzzentrums verlagert wird.

In dieser Weise soll das Kompetenzzentrum insbesondere als Multiplikator für weitere Drittmittelinwerbungen fungieren, die das Zentrum neben den zentralen Mitteln dauerhaft tragen. Bei entsprechender Drittmittellage ist geplant, das Kompetenzzentrum strukturell in Form eines weiteren In-Instituts der Hochschule Coburg zu etablieren orientiert am Modell des erfolgreichen Institut für Sensor- und Aktortechnik (ISAT). Das geplante Forschungsvorhaben ist ideal in das Forschungsprofil der Hochschule eingebunden. Durch die jeweilige Mitgliedschaft der beteiligten Professoren werden unmittelbar mehrere Forschungsschwerpunkte der Hochschule adressiert und auch zwei Forschungsinstitute der Hochschule thematisch und institutionell vernetzt. Durch diese bereits bestehende interne Vernetzung ist eine vielversprechende Grundlage geschaffen um das Forschungsthema nachhaltig zu etablieren und auszubauen, insbesondere im Bereich KI und Mensch-Maschine-Systeme. Die Hochschulleitung verspricht sich dadurch neue Kooperationen innerhalb und außerhalb der Hochschule.

Administrativ unterstützt hinsichtlich des Transfers wird das Kompetenzzentrum von dem hochschulinternen ForschungsTransferCenter (FTC). Durch diese Kooperation werden Voraussetzungen für langfristige Zusammenarbeiten gelegt. Die Möglichkeiten für eine Anschlussförderung durch zahlreiche Förderprogramme (BMBF, BMEL, Landesprogramme, DFG, KMU, ZIM, Forschungsstiftung, EFRE/EU) sind gegeben. Die Hochschule unterstützt die Initiierung von Folgeprojekten und stellt die entsprechende Infrastruktur dafür zur Verfügung. Die Hochschulleitung wird sich regelmäßig durch die Übernahme erforderlicher Eigenanteile finanziell an Projekten zu diesem Forschungsthema beteiligen.

Die zentralen Kompetenzen, wirtschaftlich relevanten Beiträge und vorgesehene Leistungsangebot des Kompetenzzentrums sind:

- Bereitstellung eines Reallabors mit den Schwerpunkten interaktive mobile Service-Robotik und intelligente Fahrsysteme zur Untersuchung neuer Interaktionssteuerungsstrategien mit naiven Nutzern im öffentlichen Raum.
- Entwicklung domänenspezifischer prosozialer und Trust-fördernder Interaktionsstrategien auf Basis sozialpsychologisch fundierter Ansätze zur Verbesserung von Nutzererfahrung und Akzeptanz.
- Design, Betreuung und Auswertung von Interaktionsstudien.

Zielbranchen sind mobilitätsbezogene Unternehmen wie die Deutsche Bahn AG, die bereits am Shuttle-Szenario beteiligt ist, und regionale Automobilzulieferer, wobei Ergebnisse des Kompetenzzentrums in die Entwicklung neuartiger Interaktionssteuerungsstrukturen von Produkten wie z.B. Assistenzsysteme einfließen, kleinere KMU und Manufakturen wie insbesondere die regionalen, Pflegeeinrichtungen, u.a. in Verbindung mit karitativen Trägern, und der lokale Einzelhandel.

Es ist geplant, erste Leistungen ab M13 anzubieten, sobald die Realisierungen der Demonstratorplattformen erfolgt sind. Diese werden zunächst insbesondere in der Erprobung unternehmensseitiger Interaktionskonzepte erfolgen. Ab M25 sind Implementierungen und domänenspezifische Adaptionen von ersten prosozialen und Trust-fördernden Architekturen im Bereich der Interaktion mit mobilen Robotern vorgesehen, wobei hier eine Intensivierung der bereits vielfältig vorhandenen Kooperationen mit Valeo angestrebt werden. Nach M36 soll sich das Kompetenzzentrum in seiner Vollausbaustufe befinden und auf Basis des o.g. Leistungsangebots selbständig tragfähig sein.

6.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

6.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Innerhalb des **leitenden Partners Hochschule Coburg (CO)** werden sich mehrere Professuren an dem Kompetenzzentrum beteiligen, so dass die notwendige interdisziplinäre Expertise in Richtung Ingenieurwissenschaften (Systementwicklung), Informatik (Datenmanagement und -sicherheit), Psychologie (Interaktionsmodelle und Nutzerstudien), Ethik und Nachhaltigkeit bereits im Hause vorhanden ist: Prof. Kolja Kühnlenz (Forschungsprof. Assistenzrobotik & Mensch-Roboter-Interaktion), Prof. Jens Grubert (Forschungsprof. Mensch-Maschine-Interaktion im Internet der Dinge), Prof. Thomas Wieland (in Personalunion Leiter, Fraunhofer Anwendungszentrum für drahtlose Sensorik, Forschungsprof. Telematik und Identitätsmanagement), Prof. Barbara Kühnlenz (Transfer sozialpsychologischer Theorien und Begleitforschung zu User Experience, Usability und Akzeptanz), Prof. Stefanie Wrobel (Entrepreneurship). Grundsteine des Kompetenzzentrums bilden u.a. die langjährige Forschungslinie des Projektleiters mit von der internationalen Fachwelt anerkannten Arbeiten (>100 Publikationen) in sozialer und Assistenzrobotik, autonomen Systemen und sozialpsychologischer Transferforschung (Buss et al., 2015, Kühnlenz et al., 2013, Karg et al., 2010, Bauer et al., 2009, De Nijs et al., 2012, Xu et al., 2010, Schmölz et al., 2016, Kühnlenz and Kühnlenz, 2020) sowie diesbezügliche Projekte wie z.B. „Autonomous City Explorer (ACE)“ (Exzellenzcluster CoTeSys, Partner: Accrea Eng., 2008), „Interactive Urban Robot (IURO)“ (EU FP7, Partner: u.a. ETH, KTH, 2013), zur Erforschung sozialpsychologischer Adaptionstrategien zur Verbesserung prosozialer Koexistenz von Mensch und Robotern unter erfolgreicher realweltlicher Evaluation und „Robotische Einkaufshilfen“ (Bay. StM. f. Wiss. und Kunst, 2017) (Schmölz et al., 2016), in dem als weitere Innovation interaktive Trageroboter als tägliche Begleiter zur Entlastung älterer Menschen entwickelt und die Nutzererfahrung in Kooperation mit Arbeiterwohlfahrt und Mehrgenerationenhaus Coburg untersucht wurden. **Diese Systeme dienen als Grundlage für das *Carrier-Service* Szenario diesem Vorhaben.**

Die zentral beteiligten Arbeitsgruppen Robotik (Prof. K. Kühnlenz) und Wirtschaftspsychologie (Prof. B. Kühnlenz) der Hochschule Coburg verfügen über eine starke Expertise in interaktiven Systemen mit besonderem Schwerpunkt auf komplexen Systeme-

men für realweltliche Anwendungen, User Studies und User Experience Evaluationen, Emotionserkennung und -modellierung sowie Transfer sozialpsychologischer Ansätze in die Technik. Ergänzt wird dies durch die Expertise von Prof. Jens Grubert in der Mensch-Computer-Interaktion und VR-basierten Simulationen und die Erfahrung von Prof. Ralf Reißing in der System-/Softwareentwicklung und im Test für den Automotive-Bereich, insbesondere in der Fahrsimulation. Mit einem industriellen Hintergrund in Echtzeit-Stream-Processing und Data Science wird Prof. Thorsten Uphues zu KI-basierter technischer Datenanalyse, Modellierung und Sensornetzwerkdesign beitragen. Prof. Georg Arbeiter ist Experte im Bereich der KI für autonomes Fahren und kann seine Erfahrungen in der Entwicklung von Algorithmen zur Sensordatenverarbeitung, der Umfeldwahrnehmung von mobilen Robotersystemen, dem Aufbau von CAVs, sowie die Umsetzung (teil-)autonomer Fahrfunktionen in das Projekt einbringen.

Prof. Thomas Kriza, OTH Regensburg, bringt große Erfahrung in der Erforschung philosophischer Grundsatzfragen zu Vorstellungen des guten und sinnerfüllten Lebens mit und fokussiert seine Forschung auf das ambivalente Verhältnis moderner Menschenbilder zu ihren kulturellen Ursprüngen sowie zur modernen Technik (Kriza, 2018). Als Philosoph und Wirtschaftsinformatiker ist er neuberufener Professor für Digitalisierung, Technologiefolgen und angewandte Ethik an der OTH Regensburg. Von 2015 bis 2020 hat er an der HS Coburg erfolgreich das Philosophische Café aufgebaut und geleitet, ein offenes, partizipatives Diskursformat, das Expertenperspektiven und öffentliche Diskussion verbindet. Die Übertragung dieses Konzeptes in die OTH Regensburg bildet die organisatorische Grundlage für die partizipatorischen Formate des beantragten Forschungsprojektes. Das Konzept des Philosophischen Cafés wurde mit dem Förderpreis für Innovation und Qualität in der Lehre der OTH Regensburg ausgezeichnet (OTH Regensburg, 2021).

ACCREA Engineering entstand als Spin-Off-Unternehmen der Technischen Universität München (TUM), gegründet von Bartłomiej Stanczyk, dem ehemaligen wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts für Regelungstechnik. ACCREA ist tätig in: Kundenspezifische Entwürfe und Machbarkeitsstudien von mechatronischen Systemen, d.h. die Kombination von Mechanik, Elektronik und Steuerungstechnik); Fertigung & Rapid Prototyping von Roboterarmen, mobilen Plattformen und anderen Arten von Roboter-

systemen; Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen in den Bereichen Robotik, Steuerung, Teleoperation und Haptik; Beratungsdienstleistungen in der Steuerungs- und Systemtechnik; Design und Expertise von Robotersystemen und Entwicklung von Echtzeitsteuerungen und Embedded Software. ACCREA war ein wichtiger Hardware-Entwickler in einer Reihe von EU-geförderten F&E-Roboterprojekten IURO, MOBOT, ReMeDi, RAMCIP und hat vor kurzem seinen Roboterarm BATEO als medizinischen Serviceroboter erfolgreich auf den Markt gebracht. Das Team von ACCREA besteht aus 25 hochqualifizierten Entwicklungsingenieuren: Systemdesignern, Robotikern, Elektronikern, Maschinenbauern und 7 qualifizierten Technikern, die sowohl für die manuelle als auch für die CNC-Fertigung zuständig sind. ACCREA besitzt eine technologisch hochmoderne Produktionswerkstatt, die mit modernen 3D-Druckern, CNC-Fräs- und Drehmaschinen, Laserschneidern, CNC-Plottern und anderen Maschinen ausgestattet ist. ACCREA wird mit Projektstart seinen früheren Standort in München wiedereröffnen.

Das beantragte Vorhaben soll die Vorarbeiten in Form des dargestellten innovativen Reallabors für innerstädtisch verteilte Assistenzroboter zusammenführen.

6.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Die Hochschule Coburg ist verantwortlich für die Entwicklung, Weiterentwicklung und szenariobezogene Adaption von sozialpsychologisch motivierten prosozialen Interaktions- bzw. Anpassungsstrategien. Daneben übernimmt sie in zentraler Funktion die Plattform(weiter)entwicklung, -adaption und den -betrieb für das *Carrier-Service* Szenario sowie das *Shuttle-Service* Szenario. Weiterhin ist sie für die Planung, Durchführung und Analyse der Interaktionsstudien verantwortlich in enger Verzahnung mit ethischen Betrachtungen des Partners OTH. Die Hochschule Coburg trägt weiterhin mit Ihrer Expertise in den Bereichen Privacy und Security in M2M Kommunikation sowie sicheren Authentifizierungsmethoden, drahtlose Kommunikation für effiziente Datenerfassung sowie Datenhaltung und -analyse bei. Sie übernimmt den Aufbau und den Betrieb der gesamten Dateninfrastruktur in enger Verzahnung mit der Plattformverantwortung.

ACCREA Engineering ist verantwortlich für die iterative Fortentwicklung der mobilen Roboterträger unter Einbezug der im Projekt erzielten Erkenntnisse und Leitlinien sowie für deren regelmäßige Inspektionen und alle notwendigen Wartungsmaßnahmen, um einen ungestörten Betrieb des Zentrums zu gewährleisten. Weiterhin ist ACCREA für die Entwicklung und Bewertung möglicher Geschäftsmodelle und Kommerzialisierungsstrategien der Projektergebnisse verantwortlich.

Geplante Umsetzungskette

Der Projektlebenszyklus lässt sich schneckenförmig darstellen, was den iterativen Charakter unter Einbindung von Nutzern und Allgemeinheit widerspiegelt. Im ersten Halbjahr werden schwerpunktmäßig die existierenden Systeme auf das avisierte Szenario adaptiert. Es wird eine Dateninfrastruktur aufgebaut, die einerseits die Kommunikation zwischen Robotern, zentralem Server und Smartphone Applikationen leistet und weiterhin die Erfassung und zentrale Haltung massiver multimodaler Daten (anonymisierte Interaktionsdaten, Bewegungsdaten) für die weitere Analyse im Kontext von Nutzer- und Akzeptanzstudien. Im zweiten Halbjahr erfolgen Tests und erste Studien mündend in dem ersten Meilenstein MS1. Im zweiten und dritten Jahr werden die zentralen longitudinalen Nutzer- und Akzeptanzstudien durchgeführt, deren Erkenntnisse sich zyklisch in einer Adaption der Roboter und entsprechenden Richtliniendokumenten für die zukünftige Entwicklung interaktiver Roboter im öffentlichen Raum niederschlagen sollen. Die entsprechenden Metriken und Benchmarks werden zur Projektlaufzeit entwickelt. Flankierend erfolgt die Entwicklung von Geschäftsmodellen und die Einbindung weiterer Akteure.

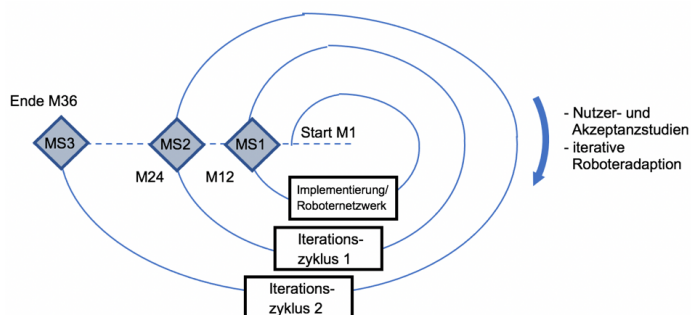


Abbildung 6.2: Projektverlauf und Iterationszyklen.

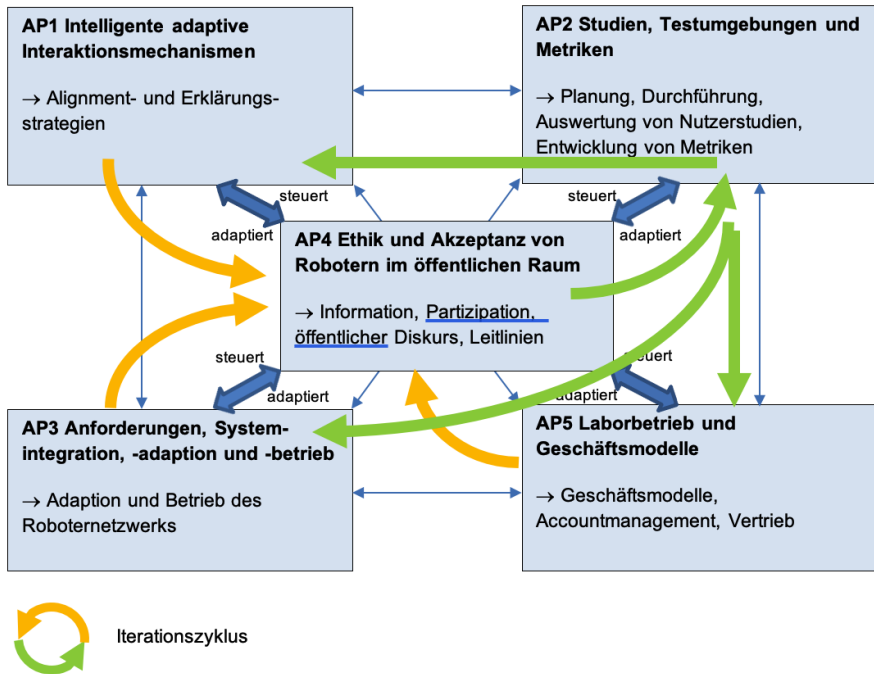


Abbildung 6.3: Projektstruktur, Arbeitspakete und Umsetzungskette.

Nachfolgend ist die Vernetzung der Arbeitspakete und die zyklische Umsetzungskette dargestellt. Der Hauptfluss an Information und die Iterationszyklen schließen einen Kreis ausgehend von dem zentralen AP4 über alle übrigen Arbeitspakete und zurück zu AP4. Interaktionen bestehen hierbei insbesondere zwischen AP4 betreffend den öffentlichen Diskurs/ Akzeptanzstudien und Leitlinienentwicklung Richtlinien für die aktuelle und zukünftige Entwicklung von Robotern im öffentlichen Raum und den anderen Arbeitspaketen betreffend die Entwicklung und Anpassung von Interaktionsstrategien (AP1), Studien und Metriken (AP2), Adaption des Reallabor-/Roboternetzwerks (AP3) sowie Geschäftsmodellentwicklung und Verwertung (AP5), aber auch sämtlichen Arbeitspaketen untereinander. So fließen beispielsweise die in AP2 gewonnenen Datenbasen in AP1, AP3 und AP5 ein und die Entwicklung von Geschäftsmodellen (AP5) beeinflusst wiederum die Entwicklung bzw. Anpassung von Interaktionsmechanismen (AP1), etc.

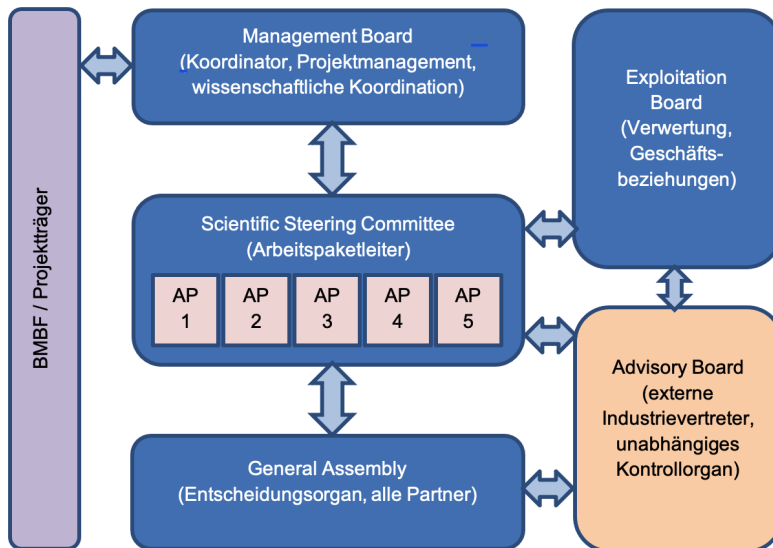


Abbildung 6.4: Organisationsstruktur und Management.

6.5.3 Management-Struktur

Die Hochschule Coburg ist verantwortlich für die übergeordnete wissenschaftliche und administrative Koordination von ProVeRo. Prof. Kolja Kühnlenz fungiert als Projektkoordinator und ist verantwortlich für die Kommunikation mit dem Projektträger. Er wird administrativ unterstützt durch das ForschungsTransferCenter (FTC).

Organisationsstruktur und Entscheidungsprozesse

Die **General Assembly** ist das Entscheidungsorgan des Verbunds. Der Koordinator hat den Vorsitz inne und setzt den strategischen Rahmen des Zentrums. Mit einem Repräsentanten jeder Partnerorganisation entscheidet die General Assembly über top-level Management- und Steuerungsaspekte. Sie findet sich regulär mindestens einmal jährlich zusammen und zusätzlich außerordentlich im Falle kurzfristiger Entscheidungserfordernisse. Dazwischen werden regelmäßige Telekonferenzen angesetzt, um den Kommunikationsfluss zu fördern und frühzeitig Problemthemen zu erkennen. Die Hauptaufgaben der General Assembly sind: Änderungen der Konsortialvereinbarung, Änderungen der Konsortialstruktur, Identifizierung und Behandlung von Brüchen und Konflikten. Entscheidungsprozess: Jedes Mitglied hat eine Stimme. Entscheidungen benötigen eine 75% Majorität mit mindestens 2/3 Anwesenheit der Mitglieder. Der

Koordinator hat 2 Stimmen. Der Entscheidungsprozess wird detailliert in der Kosortialvereinbarung ausgeführt. Einladungen zur General Assembly werden mindestens 45 Tage und Tagesordnungen mindestens 21 Tage vor Sitzung verschickt.

Das **Scientific Steering Committee** besteht aus den Arbeitspaketleitern (in persona) und ist verantwortlich für die Planung, Koordination und Berichterstattung der Arbeitspakete. Es berichtet der General Assembly. Es tritt mindestens einmal pro Quartal zusammen. Der Koordinator hat den Vorsitz inne, solange nicht delegiert. Es monitort den Fortschritt bzgl. der F&E-Ziele während der Projektlaufzeit. Abweichungen vom Arbeitsplan werden dem Koordinator unverzüglich berichtet, um kurzfristig steuernd eingreifen zu können.

Das **Management Board** besteht aus dem Koordinator (Vorsitz) und einem Projektmanager seiner Fakultät sowie zusätzlichen Mitgliedern (z.B. einem Postdoc für den wissenschaftlichen Fortschritt) und managet das Projekt auf einer Day-to-Day-Basis. Es wird durch administrative Kräfte der Institution unterstützt.

Das **Exploitation Board** evaluiert die Projektergebnisse kontinuierlich in Bezug auf mögliche Dissemination zu möglichen Wirtschaftspartnern und stellt Kontakte her. Es arbeitet eng mit dem Transferprojekt zusammen. Es organisiert weiterhin Disseminationsaktivitäten für potenzielle Nutzer (Industrie, Privatpersonen). Die konsortiale Verwertungsstrategie wird in einem fortzuschreibenden Verwertungsplan festgeschrieben. Das Board wird zur Laufzeit aus Personen der Verbundmitglieder zusammengestellt und beinhaltet mindestens je einen Vertreter der Industriepartner.

ProVeRo wird zusätzlich ein **Advisory Board** implementieren, das aus zwei Mitgliedern aus der Industrie besteht, die keine Verbundpartner sind. Als Nicht-Partner können diese kritisches und weitgehend objektives Feedback geben und die Forschungsaktivitäten von ProVeRo effektiv auf einer Peer-Review Basis begutachten, so dass das Advisory Board als eine externe Kontrollstruktur fungieren kann.

6.5.4 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Arbeiterwohlfahrt, Coburg, Akquise von Testpersonen, Erfassung von Nutzerbedarfen mit dem **Mehrgenerationenhaus**.

Stadt Coburg/ Stadt Kronach/ Landkreise, Schaffung der örtlichen Rahmenbedingungen (noch unbestätigt, Assoziierung zur Laufzeit geplant); **Bayerisches Rotes Kreuz**, Kreisverband Kronach; Anwendungen zur Erweiterung des Mobilitäts- und Aktionskreises im Hinblick auf ein selbstbestimmtes Leben älterer Menschen, Akquise von Testpersonen, Erfassung von Nutzerbedarfen (noch unbestätigt, Assoziierung zur Laufzeit geplant).

Neben den als Demonstratorplattformen im Kompetenzzentrum implementierten Robotern soll auch eine Integration weiterer Roboterplattformen möglicher zukünftiger Partner bzw. Klienten ermöglicht werden, um deren Funktionalitäten innerhalb realweltlicher Umgebungen mit naiven Nutzern zu testen oder zu benchmarken. Die Identifizierung und Akquisition solcher Stakeholder wird zur Laufzeit des Kompetenzzentrums erfolgen und schwerpunktmäßig durch Accrea Engineering betreut. Ein erster Schritt ist hier mit dem assoziierten Partner **Valeo Schalter und Sensoren GmbH** geplant, der starkes Interesse an der Integration und Erprobung der geplanten Interaktionsstrategien zur Akzeptanzerhöhung signalisiert hat, wobei in Bezug auf das Shuttle-Szenario (siehe 6.1.2) eine Integration mit der Shuttle-Modellregion Oberfranken am Standort Coburg vorgesehen ist. Valeo beteiligt sich hierbei mit der Bereitstellung des/der Forschungs-Shuttles und im Rahmen der Shuttle-Adaption. In diesem Rahmen ist Valeo als erster Klient im Rahmen der Verwertung von Ergebnissen vorgesehen. Die Modalitäten hierzu werden zur Projektlaufzeit im Rahmen der Entwicklung von Geschäftsmodellen ausgestaltet. In Bezug auf die Identifizierung und Akquisition von Stakeholdern ist weiterhin eine **Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt** vorgesehen. Für den Betrieb der Roboter ist geplant als weiteren Partner im Projektverlauf die Deutsche Bahn AG zu akquirieren, zu der bereits im Rahmen von Vorläuferprojekten der Shuttle-Modellregion Oberfranken Kontakte bestehen. Die weiteren Kontakte sollen bereits mit Beginn des Kompetenzzentrums hergestellt bzw. vertieft werden, um die Ausrichtung der Reallaborinfrastruktur zielführend zu steuern und anzupassen. Eine Integration derartiger Systeme wird mit der Fertigstellung der Dateninfrastruktur des Reallabors nach M12 ermöglicht werden.

6.5.5 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Eine intensive Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt wird äußerst begrüßt und schon jetzt zugesichert. Insbesondere sind folgende Beiträge geplant:

- Beteiligung an Workshops, Disseminationsmaßnahmen und Wettbewerben;
- Bereitstellung von Daten zu den entwickelten Evaluationsmethoden im Rahmen der geplanten Akzeptanzuntersuchungen im öffentlichen Raum und von daraus gewonnenen Erkenntnissen für Entwicklung und Betrieb von Robotern in derartigen Szenarien;
- Zusammenarbeit bzgl. der Bereitstellung von gewonnenen massiven Datensätzen aus den realweltlichen Interaktionsstudien, u.a. für interessierte wirtschaftliche Stakeholder wie z.B. Lieferroboteranbieter- und -betreiber;
- Zusammenarbeit bzgl. der Akquise weiterer Assistenzroboter potenzieller Stakeholder, die im Rahmen des geplanten Reallabors zur Laufzeit mit integriert werden könnten und deren externem Zugang zu letzterem;
- Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen für z.B. Robot Sharing mittels On-Demand-Service unter starker Beteiligung des Partners Accrea Engineering;
- Zusammenarbeit bzgl. Fragestellungen hinsichtlich Normen und ethisch-rechtlicher Aspekte bei Einführung und Betrieb von Robotern im öffentlichen Raum.

Literaturverzeichnis

Muneeb Ahmad, Omar Mubin, and Joanne Orlando. A systematic review of adaptivity in human-robot interaction. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(3):14, 2017.

Amazon Prime Air. Amazon prime air. <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?node=8037720011>, 2016.

S Bastian. Wie designt sich der Mensch? In welchem Umfang soll der Mensch mit seinem Wissen und (Gen-)Technik sein Mensch-Sein verändern? Das wird ab Mittwoch an der Hochschule diskutiert. <https://www.infranken.de/lk/cobu>

rg/wie-design-t-sich-der-mensch-art-3905615, 2018.

C Daniel Batson, Bruce D Duncan, Paula Ackerman, Terese Buckley, and Kimberly Birch. Is empathic emotion a source of altruistic motivation? *Journal of personality and Social Psychology*, 40(2):290, 1981.

Andrea Bauer, Klaas Klasing, Georgios Lidoris, Quirin Mühlbauer, Florian Rohrmüller, Stefan Sosnowski, Tingting Xu, Kolja Kühnlenz, Dirk Wollherr, and Martin Buss. The autonomous city explorer: Towards natural human-robot interaction in urban environments. *International journal of social robotics*, 1(2):127–140, 2009.

Oliver Bendel. Pflegeroboter aus ethischer Sicht. *BdW Blätter der Wohlfahrtspflege*, 166(1):24–27, 2019.

Sarah-Jayne Blakemore, Joel Winston, and Uta Frith. Social cognitive neuroscience: where are we heading? *Trends in cognitive sciences*, 8(5):216–222, 2004.

Jason Borenstein and Ron Arkin. Robotic nudges: the ethics of engineering a more socially just human being. *Science and engineering ethics*, 22(1):31–46, 2016.

Adrian Burton. Dolphins, dogs, and robot seals for the treatment of neurological disease. *The Lancet Neurology*, 12(9):851–852, 2013.

Martin Buss, Daniel Carton, Sheraz Khan, Barbara Kühnlenz, Kolja Kühnlenz, Christian Landsiedel, Roderick de Nijs, Annemarie Turnwald, and Dirk Wollherr. IURO – Soziale Mensch-Roboter-Interaktion in den Straßen von München. *at-Automatisierungstechnik*, 63(4):231–242, 2015.

John-John Cabibihan, Hifza Javed, Marcelo Ang, and Sharifah Mariam Aljunied. Why robots? a survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism. *International journal of social robotics*, 5(4):593–618, 2013.

Cristiano Castelfranchi. Modelling social action for ai agents. *Artificial intelligence*, 103(1-2):157–182, 1998.

Sarah Conly. Government paternalism: Nanny state or helpful friend? julian le grand and bill new. princeton university press, 2015, ix+ 202 pages. *Economics & Philosophy*, 32(1):156–162, 2016.

- Oliver Damm, Karoline Malchus, Frank Hegel, Petra Jaecks, Prisca Stenneken, Britta Wrede, and Martina Hielscher-Fastabend. A computational model of emotional alignment. In *5th Workshop on Emotion and Computing*, 2011.
- Mirella Dapretto, Mari S Davies, Jennifer H Pfeifer, Ashley A Scott, Marian Sigman, Susan Y Bookheimer, and Marco Iacoboni. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature neuroscience*, 9(1):28–30, 2006.
- Roderick De Nijs, Sebastian Ramos, Gemma Roig, Xavier Boix, Luc Van Gool, and Kolja Kühnlenz. On-line semantic perception using uncertainty. In *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 4185–4191. IEEE, 2012.
- Laurence Devillers. Human–robot interactions and affective computing: The ethical implications. In *Robotics, AI, and Humanity*, pages 205–211. Springer, Cham, 2021.
- Agneta H Fischer and Gerben A Van Kleef. Where have all the people gone? a plea for including social interaction in emotion research. *Emotion Review*, 2(3):208–211, 2010.
- Terrence Fong, Illah Nourbakhsh, and Kerstin Dautenhahn. A survey of socially interactive robots. *Robotics and autonomous systems*, 42(3-4):143–166, 2003.
- Jodi Forlizzi and Carl DiSalvo. Service robots in the domestic environment: a study of the roomba vacuum in the home. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction*, pages 258–265, 2006.
- D Frey and M Irle. *Interaktions- und lerntheorien*. Verlag Hans Huber, 2002.
- Rachel Gockley, Jodi Forlizzi, and Reid Simmons. Natural person-following behavior for social robots. In *Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pages 17–24, 2007.
- N Golgowski. Ups is testing drone deliveries, and it’s just as cool as you’d hope. *The Huffington Post*, 2017.

- Yoshiro Hada, Harunori Gakuhari, Kunikatsu Takase, and Edward Indyanto Hemeldan. Delivery service robot using distributed acquisition, actuators and intelligence. In *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*(IEEE Cat. No. 04CH37566), volume 3, pages 2997–3002. IEEE, 2004.
- Edmund T Hall and Edward Twitchell Hall. *The hidden dimension*, volume 609. Anchor, 1966.
- Myounghoon Jeon. Emotions and affect in human factors and human–computer interaction: Taxonomy, theories, approaches, and methods. In *Emotions and affect in human factors and human-computer interaction*, pages 3–26. Elsevier, 2017.
- Michiel Joosse, Aziez Sardar, Manja Lohse, and Vanessa Evers. Behave-ii: The revised set of measures to assess users’ attitudinal and behavioral responses to a social robot. *International journal of social robotics*, 5(3):379–388, 2013.
- Michelle Karg, Kolja Kühnlenz, and Martin Buss. Recognition of affect based on gait patterns. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 40(4):1050–1061, 2010.
- Christoph Kehl. Wege zu verantwortungsvoller Forschung und Entwicklung im Bereich der Pflegerobotik: Die ambivalente Rolle der Ethik. In *Pflegeroboter*, pages 141–160. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018.
- Tobias Körtner. Ethical challenges in the use of social service robots for elderly people. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 49(4):303–307, 2016.
- Robert E Kraut and Robert E Johnston. Social and emotional messages of smiling: an ethological approach. *Journal of personality and social psychology*, 37(9):1539, 1979.
- Dennis Krebs. Empathy and altruism. *Journal of Personality and Social psychology*, 32(6):1134, 1975.
- Jeanne Kreis. Umsorgen, überwachen, unterhalten–sind Pflegeroboter ethisch vertretbar? In *Pflegeroboter*, pages 213–228. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018.

T Kriza. Philosophie an Hochschulen für angewandte Wissenschaften: Wege zur Persönlichkeitsentwicklung. Hochschulausbildungen fördern. Aktuelles aus Forschung und Praxis (S. 43-58). Bern, 2019.

Thomas Kriza. *Die Frage nach dem Sinn des Lebens: Das zwiegespaltene Verhältnis des modernen Denkens zu den Sinnentwürfen der Vergangenheit*. Felix Meiner Verlag, 2018.

Barbara Kühnlenz, Stefan Sosnowski, Malte Buß, Dirk Wollherr, Kolja Kühnlenz, and Martin Buss. Increasing helpfulness towards a robot by emotional adaption to the user. *International Journal of Social Robotics*, 5(4):457–476, 2013.

Kolja Kühnlenz and Barbara Kühnlenz. Motor interference of incongruent motions increases workload in close hri. *Advanced Robotics*, 34(6):400–406, 2020.

Iolanda Leite, Carlos Martinho, and Ana Paiva. Social robots for long-term interaction: a survey. *International Journal of Social Robotics*, 5(2):291–308, 2013.

Yantao Li, Lixun Zhang, and Lan Wang. Mechanism design and dynamics study of meal-assistance robot. In *2009 International Conference on Mechatronics and Automation*, pages 1811–1815. IEEE, 2009.

Klaus Mainzer. The concept of law in natural, technical and social systems. *European Review*, 22(S1):S2–S25, 2014.

Luis Yoichi Morales Saiki, Satoru Satake, Rajibul Huq, Dylan Glas, Takayuki Kanda, and Norihiro Hagita. How do people walk side-by-side? using a computational model of human behavior for a social robot. In *Proceedings of the seventh annual ACM/IEEE international conference on Human-Robot Interaction*, pages 301–308, 2012.

Ryo Murakami, Luis Yoichi Morales Saiki, Satoru Satake, Takayuki Kanda, and Hiroshi Ishiguro. Destination unknown: walking side-by-side without knowing the goal. In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pages 471–478, 2014.

Bilge Mutlu, Steven Osman, Jodi Forlizzi, Jessica Hodgins, and Sara Kiesler. Task structure and user attributes as elements of human-robot interaction design. In

ROMAN 2006-The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pages 74–79. IEEE, 2006.

Stabsstelle Hochschulkommunikation und Öffentlichkeitsarbeit OTH Regensburg. OTH Regensburg verleiht Förderpreise für Innovation und Qualität in der Lehre. <https://www.oth-regensburg.de/new-startpage/hochschule/aktuelles/einzelansicht/news/oth-regensburg-verleiht-foerderpreise-fuer-innovation-und-qualitaet-in-der-lehre.html>, 2021.

Richard E Petty and John T Cacioppo. The elaboration likelihood model of persuasion. In *Communication and persuasion*, pages 1–24. Springer, 1986.

Martin J Pickering and Simon Garrod. Alignment as the basis for successful communication. *Research on Language and Computation*, 4(2):203–228, 2006.

João Quintas, Paulo Menezes, and Jorge Dias. Interoperability in cloud robotics—developing and matching knowledge information models for heterogenous multi-robot systems. In *2017 26th IEEE international symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN)*, pages 1291–1296. IEEE, 2017.

Hartmut Remmers. Pflegeroboter: Analyse und Bewertung aus Sicht pflegerischen Handelns und ethischer Anforderungen. In *Pflegeroboter*, pages 161–179. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018.

Thomas Rofer, Christian Mandel, and Tim Laue. Controlling an automated wheelchair via joystick/head-joystick supported by smart driving assistance. In *2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pages 743–748. IEEE, 2009.

Haydar Sahin and Levent Guvenc. Household robotics: autonomous devices for vacuuming and lawn mowing [applications of control]. *IEEE Control Systems Magazine*, 27(2):20–96, 2007.

Jorge Sales, Jose V Martí, Raúl Marín, Enric Cervera, and Pedro J Sanz. Comparob: The shopping cart assistance robot. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(2):4781280, 2016.

Johannes Schmölz, Barbara Kühnlenz, and Kolja Kühnlenz. First experiences towards

- potential impact of an outdoor shopping assistant. In *Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems*, pages 295–300. Springer, 2016.
- Reid Simmons, Richard Goodwin, Karen Zita Haigh, Sven Koenig, and Joseph O’Sullivan. A layered architecture for office delivery robots. In *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents*, pages 245–252, 1997.
- Adriana Tapus, Cristian Țăpuș, and Maja J Matarić. User—robot personality matching and assistive robot behavior adaptation for post-stroke rehabilitation therapy. *Intelligent Service Robotics*, 1(2):169–183, 2008.
- Starship Technologies. Website. <https://www.starship.xyz/>.
- Richard H Thaler and Cass R Sunstein. *Nudge: Wie man kluge Entscheidungen anstößt*. Ullstein eBooks, 2009.
- Pakorn Udsatid, Nattee Niparnan, and Attawith Sudsang. Human position tracking for side by side walking mobile robot using foot positions. In *2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pages 1374–1378. IEEE, 2012.
- Joshua Wainer, Kerstin Dautenhahn, Ben Robins, and Farshid Amirabdollahian. A pilot study with a novel setup for collaborative play of the humanoid robot kaspar with children with autism. *International journal of social robotics*, 6(1):45–65, 2014.
- Peter Wehling. „Anticipatory Governance “von Technisierungsprojekten? Möglichkeiten und Grenzen am Beispiel von Enhancement Technologien. In *Technology Governance*, pages 155–162. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2010.
- Katie Winkle, Séverin Lemaignan, Praminda Caleb-Solly, Ute Leonards, Ailie Turton, and Paul Bremner. Effective persuasion strategies for socially assistive robots. In *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 277–285. IEEE, 2019.
- Sarah Woods, Kerstin Dautenhahn, Christina Kaouri, Renete Boekhorst, and Kheng Lee Koay. Is this robot like me? links between human and robot personality traits. In *5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.*, pages 375–380. IEEE, 2005.

Tingting Xu, Kolja Kühnlenz, and Martin Buss. Autonomous behavior-based switched top-down and bottom-up visual attention for mobile robots. *IEEE transactions on robotics*, 26(5):947–954, 2010.

Pflegeunterstützende Assistenzrobotik (KomPArob)

Förderkennzeichen 16SV8586

Birgit Graf¹, Theo Jacobs¹, Simon Baumgarten¹, Florenz Graf¹, Sascha Wischniewski², Susanne Niehaus², Christian Schiller³ und Marija Radic⁴



Fraunhofer IPA¹, IAO³
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

²Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25
44149 Dortmund

⁴Fraunhofer IMW
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg i.B.

7.1 Ziele des Kompetenzzentrums

7.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Vor dem Hintergrund des **demografischen Wandels** und einem gleichzeitig wachsenden **Fachkräftemangel** steht die Pflege vor großen Herausforderungen: Die Zahl der Pflegebedürftigen in Deutschland wird voraussichtlich von aktuell 4,1 Mio. auf mehr als 12 Mio. Pflegebedürftige im Jahr 2050 steigen (Destatis 2020, Berger 2017). Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass sich die Versorgungslücke im Pflegebereich bis zum Jahr 2035 auf mehr als 500.000 fehlende Pflegekräfte vergrößern wird (?). **Es braucht daher dringend innovative Lösungen für diese gesamtgesellschaftliche Herausforderung.**

Der Einsatz pflegeunterstützender Assistenzroboter kann eine **Entlastung des Personals stationärer Pflegeeinrichtungen** (Altenpflege und Kliniken) bewirken und damit – zumindest indirekt – zum Wohle der Pflegebedürftigen beitragen. Indem lästige, pflegeferne Routinetätigkeiten an die Maschinen abgegeben werden, sparen die Pflegekräfte Zeit, sind weniger gestresst und die Betreuung und Pflege **wird positiv beeinflusst**. Des Weiteren können robotische Systeme dabei helfen, bürokratische Prozesse zu vereinfachen, indem bspw. automatisch Materialverbrauch und durchgeführte Tätigkeiten dokumentiert werden. Durch den Robotereinsatz kann auch die mit der Pflege verbundene **körperliche Belastung** verringert werden. Durch den Einsatz dieser modernen Arbeitshilfsmittel ist es somit möglich, sowohl eine **qualitative Verbesserung der Pflege** zu erreichen, als auch den **Arbeitsplatz für die Pflegekräfte attraktiver zu gestalten**. Zudem kann es auch **für Pflegebedürftige** wertvoll sein, wenn sie durch den Robotereinsatz an **Selbstständigkeit gewinnen** und **Abhängigkeiten vom Pflegepersonal reduziert werden**.

Trotz der gesellschaftlichen wie auch wirtschaftlichen Potenziale von pflegeunterstützender Assistenzrobotik gibt es immer noch eine **große Diskrepanz zwischen dem technischen Möglichen** und der **technischen Unterstützung, welche tatsächlich bei den Menschen in der Versorgung** ankommt. Die Hemmnisse sind dabei rechtlicher, finanzieller und struktureller Art und reichen von Fragen der mangelnden Möglichkeiten zur Erprobung innovativer Technologien, der nachhaltigen Finanzierbarkeit

technischer Lösungen über das Fehlen von Nachweisen zur Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit bis hin zu unzureichend bedarfsorientiert entwickelten Technologien (Radic et al. 2019).

7.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

Sowohl international als auch in Deutschland gibt es inzwischen diverse **Forschungsinstitute und auch erste Firmen (insbes. KMUs), die Assistenzroboter für die Pflege entwickeln**. Während verfügbare Produkte zunächst auf rein interaktive Funktionen beschränkt waren (z.B. Fitnessstraining oder Bereitstellung von Information mit Pepper, Nao oder Temi, diverse emotionale Roboter), stehen inzwischen auch Roboter zur Verfügung, die **Pflegepersonal körperlich entlasten** können – indem sie bspw. Transport- und Serviceaufgaben übernehmen und damit Laufwege reduzieren oder gar die direkte physische Interaktion mit den Pflegebedürftigen unterstützen. Mit diesen Robotern werden konkrete Bedürfnisse von Kliniken und Pflegeeinrichtungen in Deutschland angesprochen: In durchgeführten Umfragen wurde von den Mitarbeitern aus der Pflege der **größte Mehrwert bei physisch entlastenden Lösungen** gesehen (Radic et al. 2019).

Viele dieser Roboter wurden bereits in Pflegeeinrichtungen oder Kliniken erprobt. Dabei wurde jedoch oft noch **nicht ausreichend valide empirisch untersucht, welche der bereits vorhandenen Fähigkeiten und Interaktionsstrategien** bei den potentiellen Anwendern ¹ in welchem konkreten Einsatzfeld **als besonders nützlich erachtet werden und entsprechend hohe Akzeptanz finden**. Zum einen sind viele der bisher durchgeführten Praxiserprobungen auf einen einzelnen Robotertypen bzw. ein Anwendungsfeld beschränkt. Zum anderen beschäftigten sich die Projekte oft nur mit **ausgewählten Evaluierungsdimensionen** (bspw. Gebrauchstauglichkeit, Auswirkungen auf Arbeitszufriedenheit und Pflegequalität oder wirtschaftliche Aspekte).

Nur mithilfe eines **ganzheitlichen Evaluierungsansatzes** und einer vergleichenden Untersuchung verschiedener Robotertypen können jedoch neben konkreten Handlungsempfehlungen an die Roboterhersteller auch **allgemeingültige Leitlinien** für den

¹Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text verallgemeinernd das **generische Maskulinum** verwendet. Diese Formulierungen umfassen gleichermaßen weibliche, männliche und diverse Personen; alle sind damit selbstverständlich gleichberechtigt angesprochen.

bedarfsgerechten und wertorientierten Einsatz pflegeunterstützender Assistenzroboter abgeleitet werden. Weiterhin können nur auf diesem Wege valide Erkenntnisse über **Anforderungen an die Interaktionsqualität** verschiedener Assistenzroboter erarbeitet werden, was für die Arbeitsentlastung der Pflegekräfte und damit die Qualität der Pflege eine entscheidende Rolle spielt.

Wissenschaftliches Ziel von KomPArob ist es, die Hypothesen zur positiven Auswirkung des Robotereinsatzes auf die Pflegepraxis anhand einer systematischen und mehrdimensionalen Evaluation bezogen auf verschiedene produktnahe Roboter mit relevanten Fallzahlen zu untersuchen und zugrundeliegende Erfolgsfaktoren zu identifizieren.

Aufgrund der oft hohen Preise der verfügbaren robotischen Systeme ist es aktuell **nur wenigen Einrichtungen**, bspw. den Partnern entsprechender Forschungsprojekte, **möglich, Erfahrungen mit Robotern zu gewinnen**. Ohne reale Erprobungen im eigenen Anwendungsbereich ist es jedoch schwer, sich einen Überblick über bereits verfügbare technische Lösungen zu verschaffen, den möglichen Nutzen der Roboter zu verstehen und vorherzusagen, wie die Akzeptanz beim Personal ausfallen könnte. Die Hersteller pflegeunterstützender Assistenzroboter können alle von **diversen Anfragen potentieller Anwender berichten, die ihr Interesse an einer Erprobung geäußert haben**, was bisher aufgrund fehlender Budgets jedoch oft abgelehnt werden musste. Diesem Defizit soll das geplante Projekt entgegenwirken.

Ein weiteres Ziel von KomPArob ist es, die Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten produktnaher Serviceroboterlösungen interessierten Anwendern möglichst umfangreich bekannt und selbst erfahrbar zu machen.

Ein zusätzlicher, essentieller Aspekt, der für den flächendeckenden Einsatz neuer Roboterlösungen für die Pflege bisher wissenschaftlich nur am Rande betrachtet wurde, für Kliniken und Pflegeeinrichtungen aber aktuell das zentrale Hemmnis darstellt (Radic et al. 2019), ist die **Wirtschaftlichkeit bzw. Finanzierbarkeit dieser Assistenzsysteme**, die eng mit der **Erarbeitung attraktiver Finanzierungsmodelle** verknüpft ist. Viele Hersteller robotischer Assistenzsysteme lassen sich von der Entwicklung neuer Produkte für das Gesundheitswesen aufgrund der dort herrschenden

komplexen finanziellen Strukturen abschrecken. Neben dem bestehenden Interesse seitens der Hersteller und Anwender an pflegeunterstützenden Assistenzrobotern, die den erhofften Nutzen bringen und bei den potentiellen Anwendern Akzeptanz finden, werden demnach **konkrete Maßnahmen für die Umsetzung der robotergestützten Pflegeprozesse** in den Regelbetrieb benötigt. Auch diese Aspekte sollen im Rahmen von KomPArob untersucht werden.

Als drittes Projektziel sollen nicht nur potentielle Anwender dazu motiviert und unterstützt werden, Roboter vermehrt in der Praxis einzusetzen. Mithilfe der gewonnenen Erfahrungen soll die Pflege auch als attraktiver Markt für zukünftige Hersteller von Assistenzrobotern in Deutschland erschlossen werden – inklusive konkreter Vorschläge für den Markteintritt und die Umsetzung der technischen Lösungen in den Regelbetrieb.

7.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Der im Rahmen von KomPArob verfolgte wissenschaftliche Ansatz unterscheidet sich wesentlich von üblichen Projektformaten, im Rahmen derer oft nur ein Roboter getestet wird und die Tests auch nur in einer einzelnen Einrichtung stattfinden. Das Kompetenzzentrum bringt mehrere **Forschungsinstitute und Firmen zusammen**, die **produktnahe und bereits im Realeinsatz getestete Roboter** zur Verfügung stellen, die **in direkter Interaktion mit dem Menschen** eingesetzt werden können und deren Fähigkeiten **über eine rein informative Unterstützung hinausgehen**. Zudem sind **mehrere nicht-technische Partner** am Projekt beteiligt, welche die **Mensch-Technik-Interaktion** sowie die **Wirkung des Robotereinsatzes** unter verschiedenen Gesichtspunkten wissenschaftlich untersuchen und entsprechende **generische Handlungsempfehlungen** ableiten können. Alle beteiligten Partner haben sich in der Vergangenheit bereits umfassend mit dem Einsatz robotischer Assistenzsysteme in der Pflege beschäftigt.

Die Grundidee von KomPArob ist, dass sich interessierte Einrichtungen (insbesondere Pflegeeinrichtungen und Kliniken) beim Konsortium für die zeitlich begrenzte **Erprobung eines der angebotenen robotischen Systeme** (nach aktuellem Stand werden 6 verschiedene Modelle angeboten: neben unterschiedlichen Transportrobotern auch

ein mobiler Roboter mit Arm und ein robotischer Personenlifter) in einem von ihnen definierten, klar umrissenen Anwendungsfeld bewerben können. Mehr als 20 Träger und Einrichtungen (siehe beiliegende LOIs) haben ihr Interesse an einer Beteiligung in dieser Form bereits bekundet. **Um weitere Einrichtungen über das Projekt zu informieren, werden an verschiedenen Standorten in Deutschland sogenannte „Open Lab Days“ durchgeführt**, im Rahmen derer die verfügbaren Roboter und ihre Fähigkeiten vorgestellt, Fragen beantwortet und die Interessenten beim Ausfüllen der Bewerbungsformulare und der Zusammenstellung der für die Bewerbung benötigten Unterlagen unterstützt werden.

Im Rahmen der Bewerbung für einen der im Projekt angebotenen Roboter wird mit den Bewerbern gemeinsam überprüft, ob sie die geplanten Erprobungen aus **organisatorischer und rechtlicher Sicht** bei sich durchführen dürfen und können. Die dafür erforderlichen Unterlagen werden von den Roboterpartnern bereits mit der Ausschreibung zur Verfügung bereitgestellt. Diese umfassen u.a. Informationen zu infrastrukturellen Anforderungen für den Robotereinsatz, Dokumente zur **Persoonsicherheit** (typischerweise abgedeckt durch die Betriebsanleitung), zu haftungs- und versicherungsrechtlichen Fragen und zum **Datenschutz** (z.B. Einwilligungserklärungen oder Informationen zu verbauten Sensoren). Ebenso werden von den Evaluierungspartnern bereits alle Unterlagen hinsichtlich der geplanten Erhebungen in den Einrichtungen in einem **Ethikantrag** zusammengefasst. Diesen können die Bewerber dann für ihre Organisation nutzen, um die Erprobungen ethisch abzusichern. Um Verzögerungen vor der Erprobung zu vermeiden, sollen die zuständigen Stellen der Anwender (z.B. Betriebsräte, Vorstände und Sicherheitsbeauftragte, aber auch die zuständige Wohnbereichs- / Stationsleitung) frühzeitig mit einbezogen werden und als **ganzheitliches Projektteam** seitens der beteiligten Einrichtung die Bewerbung unterstützen.

Dabei können Anwender auch eine **individuelle Beratung** in Anspruch nehmen, die sowohl technische als auch soziale und ethische Aspekte des Robotereinsatzes in ihrem speziellen Handlungsfeld umfasst. Dieser Beratungsprozess wird vom SIBIS Institut unterstützt, das aktuell im Rahmen des Projekts BeBeRobot (Begleitforschung der aktuell laufenden Projekte zur Ausschreibung „Robotik für die Pflege“) entsprechende Tools entwickelt.

Nach Ablauf der Bewerbungsfrist werden die eingegangenen Bewerbungen von Vertretern des Konsortiums beurteilt. Die **Auswahlkriterien für die eingegangenen Bewerbungen** werden im Rahmen des Projekts im Detail erarbeitet. Ein wichtiger Aspekt werden dabei die mit dem Robotereinsatz erhofften **Verbesserungen für die Pflegepraxis** darstellen. Dabei geht es auch um eine ethische Beurteilung der eingegangenen Bewerbung: ist der geplante Einsatz des robotischen Systems für Pflegekräfte und/ oder Betroffene zumutbar, wird die Qualität der Pflege verbessert und sind die Voraussetzungen eines wertorientierten Einsatzes der Roboter gegeben? Um eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse möglich zu machen, sollen **möglichst viele verschiedene Anwendungen** in möglichst unterschiedlichen Einsatzfeldern umgesetzt werden. Um für die übergreifende Auswertung statistisch relevante Fallzahlen zu bekommen, wird die **Anzahl der beteiligten Mitarbeiter**, die den Roboter bedienen (idealerweise fünf bis zehn), und auch das Vorhandensein eines ganzheitlichen Projektteams, welches den Einsatz auf Einrichtungsseite unterstützt, als Kriterium herangezogen. Ein weiterer Aspekt ist die **technische Machbarkeit** der gewünschten Anwendung bzw. der Abgleich der gewünschten Funktionalität mit den Fähigkeiten der einzelnen Roboter. Wenn es um Transportroboter geht, betrifft dies bspw. die zu transportierenden Objekte, insbesondere deren Größe und in welchen Mengen und Frequenzen diese bereitgestellt werden sollen. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, ob der Roboter Gegenstände anreichen und direkt mit Pflegebedürftigen interagieren soll. Auch **infrastrukturelle Randbedingungen** sollen berücksichtigt werden, da umfassende Umbauten in den Einrichtungen für die zeitlich begrenzten Erprobungen nicht möglich sind. Beispielsweise ist zu betrachten, ob es im angedachten Arbeitsraum des Roboters verschlossene (Brandschutz-)Türen oder Treppen gibt, die diesen behindern könnten oder das Überwinden von Stockwerken und somit eine Anbindung an die Aufzugsteuerung erforderlich ist. Zudem soll auch eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit und ein Abgleich mit den strategischen Zielen der Hersteller erfolgen, um die **Nachhaltigkeit der Projektergebnisse** sicherzustellen.

Ist die Bewerbung eines Anwenders erfolgreich, findet gemeinsam mit dem zuständigen Roboterhersteller eine **detaillierte Ausarbeitung des Einsatzszenarios** und der Zeitplanung statt. Die Anwender erhalten dabei die Gelegenheit, ihre Bedürfnisse und Erwartungen umfassend einzubringen. Danach wird der Roboter für das Szenario

angepasst und in die Einsatzumgebung gebracht. Im **Zeitraum von 4 Wochen** finden die **Inbetriebnahme, erste technische Optimierungen und die Nutzerschulungen** statt. Danach kann der Roboter für eine Dauer von **8 Wochen** von den Pflegekräften **im regulären Betrieb** eingesetzt werden. Die Datenerhebung für die mehrdimensionale Evaluierung wird pro Einrichtung **durch jeweils einen der nicht-technischen Partner** vorgenommen, welcher gleichzeitig die jeweilige Einrichtung als zentraler Ansprechpartner betreut.

Nach aktuellem Stand sind für jeden Roboter innerhalb der 3-jährigen Projektlaufzeit bis zu 6 Erprobungen vorgesehen (aufgeteilt in zwei Erprobungsphasen à 3 Erprobungen, alle Roboter werden gleichzeitig in unterschiedlichen Einrichtungen erprobt). Insgesamt werden somit **36 Erprobungen** durchgeführt. Neben den einrichtungsspezifischen Auswertungen der erhobenen Daten ist nach jeder Erprobungsphase eine **übergreifende Auswertung speziell für die verschiedenen Evaluierungsdimensionen** (pro Evaluierungsphase 18 Einrichtungen und 6 getestete Roboter) geplant. Des Weiteren sind nach jeder Erprobungsphase auch **Auswertungen über die verschiedenen Evaluierungsdimensionen** hinweg vorgesehen, u.a. in Form eines Workshops mit allen beteiligten Evaluierungspartnern und Einrichtungen, um allgemeingültige Erkenntnisse zu identifizieren und Anforderungen für zukünftige Roboterentwicklungen abzuleiten.

Mit der vorgesehenen Vielzahl an Erprobungen können damit erstmals Erkenntnisse sowohl zur Generalisierbarkeit der technischen Herausforderungen, der Einsatzfelder pflegeunterstützender Assistenzroboter und der eingesetzten Interaktionsstrategien als auch zu den Auswirkungen unterschiedlicher Robotertypen auf die verschiedenen Nutzergruppen, auf die Pflegeprozesse und zu deren Wirtschaftlichkeit gewonnen werden.

Für einen Praxiseinsatz ohne dauerhafte Betreuung durch technisches Personal vor Ort ist eine CE-Zertifizierung der Roboter notwendig, der u.a. eine Risikoanalyse und Definition von risikominimierenden Maßnahmen zugrunde liegt, und die somit den **sicheren Einsatz der Roboter im öffentlichen Raum** bestätigt. Für produktreife Roboter liegt diese bereits vor, muss aber ggf. für neue Einsatzszenarien angepasst werden. Für Forschungsprototypen, die im Projekt ebenfalls zum Einsatz

kommen sollen, wird vor der ersten Erprobung die Risikobewertung und Zertifizierung durchgeführt. Erfahrungen hinsichtlich der Methodik und benötigte Unterlagen für die **Durchführung der Risikoanalyse** sind am Fraunhofer IPA aus vergangenen Projekten bereits vorhanden und können in KomPArob genutzt werden. Um **Sicherheitsrisiken praktisch identifizieren** und die Zuverlässigkeit der Roboter verifizieren zu können, kommt unter anderem die von Fraunhofer IPA im **Projekt ARAIG** (Begleitforschung zur Ausschreibung ARA1) **entwickelte Testumgebung** zum Einsatz (siehe <https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/araig.html>).

Neben sicherheitstechnischen Untersuchungen wird die Testumgebung vor den Evaluierungen auch für eine **Performance-Analyse der verschiedenen Roboter** genutzt. Dadurch können interessierte Einrichtungen hinsichtlich der Fähigkeiten der einzelnen Modelle qualifiziert beraten und die Zuverlässigkeit der Roboter bereits vor den Praxiseinsätzen verifiziert werden.

7.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

7.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

7.2.1.1 Serviceroboter zur Unterstützung der Pflege

Serviceroboter zur Unterstützung des Personals stationärer Pflegeeinrichtungen lassen sich grob in die Anwendungsfelder Transport und Logistik, Reinigung und Desinfektion, intelligente Pflegehilfsmittel und Interaktion und Therapieunterstützung unterteilen (Graf 2020).

Fahrerlose Transportsysteme (FTS) werden in diversen Krankenhäusern zur Ver- und Entsorgung von Gütern des täglichen Bedarfs eingesetzt. Aufgrund ihrer Größe und geltender Sicherheitsvorschriften können sie nur in separaten Bereichen navigieren. Inzwischen gibt es auch erste Lösungen für den autonomen **Transport außerhalb der Versorgungsbereiche**. Einige der Roboter können Container aufnehmen und mithilfe von Sensoren Hindernisse vor der Last erkennen (z. B. UNITR von MT Robot), andere Hersteller stellen eine komplett integrierte Plattform mit Navigationssensorik und

Fächern für den Warentransport zur Verfügung (z. B. „Hospi“ von Panasonic, „Robo-Courier“ von Swisslog, „Jeeves“ von KomPArob-Partner Robotise). Die Forschung beschäftigt sich aktuell damit, die Roboter **bis zu den Bewohnerzimmern** fahren zu lassen, sodass sie auch dem Pflegepersonal Laufwege abnehmen können. Ebenso ist die **Kombination aus mobiler Plattform und Greifarm** (mobiler Manipulator) bereits zu Testzwecken in Kliniken und Pflegeheimen angekommen. Die Roboter „Moxi“ von Diligent Robotics und „Lio“ von KomPArob-Partner F&P Robotics sollen dort das Personal durch automatisierte Hol- und Bringdienste einzelner Objekte unterstützen.

Auch Aufgaben wie die **Reinigung und Desinfektion** können bereits durch Roboter übernommen werden, sind aber noch nicht speziell für die Anforderungen in Kliniken und Pflegeeinrichtungen angepasst (Godek 2020). Verfügbare **Bodenreinigungsroboter**, die teilweise auch schon im klinischen Umfeld getestet wurden, sind bspw. der Adlatus CR700 oder der Nilfisk Liberty SC60, aber auch Consumer-Produkte wie der Roborock S7. Im Rahmen der Corona-Pandemie wurden diverse Entwicklungen neuer Roboter für die Desinfektion mittel UV-Licht oder das Versprühen von desinfizierenden Chemikalien initiiert (Jovanovic et al. 2021).

Neben der Unterstützung logistischer bzw. hauswirtschaftlicher Tätigkeiten wird auch an **intelligenten Pflegehilfsmitteln** geforscht, die das Personal direkt bei der Pflege am Patienten oder Bewohner unterstützen. Für den einfachen **assistierten Personentransfer** ist der am japanischen RIKEN-Institut entwickelte „Robear“ mit einer Motorisierung seiner zwei Tragearme ausgestattet. Der am Fraunhofer IPA entwickelte, multifunktionale Personenlifter ELEVON nutzt ein zwischen zwei Armen gespanntes Tuchs als stabile Unterlage für den Patienten. Von Toyota wurde mit dem Care Assist Robot der Prototyp eines Roboters vorgestellt, der ebenfalls den Transfer pflegebedürftiger Personen unterstützen soll. Eines der neueren Produkte in diesem Anwendungsfeld ist der motorisierte Personenlifter von KomPArob-Partner PRT Robots. Auch der **Einsatz von Exoskeletten in der Pflege** wurde bzw. wird inzwischen in mehreren Projekten untersucht, z.B. in den Projekten „EXTERTISE 4.0“ oder „ExoPflege“.

Ein weiterer Einsatzbereich intelligenter Pflegehilfsmittel ist die **Unterstützung der Körperhygiene**. Von Avant wurde dazu bereits vor einigen Jahren ein robotisches Bad vorgestellt oder von Panasonic ein Haarwaschroboter, beide sind jedoch nicht als Produkt verfügbar. Das EU-Forschungsprojekt I-SUPPORT beschäftigte sich mit der Entwicklung eines robotischen Duschsystems (Zlatintsi et al. 2020).

Telepräsenzroboter könnten eine mögliche Antwort z.B. auf den (Fach-)ärztemangel in ländlichen Regionen bieten, indem sie die Möglichkeit von Ferndiagnosen mit der Mobilität der Roboter vor Ort kombinieren. Bereits als Produkt verfügbare Telepräsenzroboter sind beispielsweise „Double“, „Beam“ oder „Anybot“. „RP-VITA“ von InTouch Health Systems wurde speziell für das Gesundheitswesen entwickelt. Dank integriertem Stethoskop kann der Arzt damit nicht nur virtuell zum Patienten fahren, sondern auch die Herz- und Lungentöne abhören.

Die **Unterstützung therapeutischer Maßnahmen** durch interaktive Assistenzroboter wird primär in Forschungsprojekten vorangetrieben. „Pepper“ von SoftBank Robotics wird neben diversen öffentlichen Einrichtungen bereits in verschiedenen Krankenhäusern zur Information, Unterhaltung und Aktivierung von Patienten und Besuchern eingesetzt. Der ebenfalls von SoftBank Robotics entwickelte Humanoide „Nao“ in Kombination mit der Anwendung ZORA bietet eine kostengünstige Lösung für ähnliche Einsatzfelder. Zudem sind diverse emotionale Roboter kommerziell verfügbar, mit deren Hilfe alte oder pflegebedürftige Menschen in **robotergestützten Therapien** oder mittels robotergestützter Aktivitäten erreicht werden sollen, die auf andere Arten der Ansprache wenig oder gar nicht reagieren. Beispiele sind die Plüschroboterrobbe „PARO“ oder der Roboter „TELENOID“. Roboter können auch diverse Servicefunktionen unterstützen (Klein 2019). Im Projekt „ROREAS“ wurde ein robotischer Reha-Assistent zur Anwendung beim **Lauf- und Orientierungstraining** in der klinischen Schlaganfallnachsorge entwickelt (Gross et al. 2017).

Aktuell verfügbare Produkte sind dabei auf eine klar umrissene Aufgabe beschränkt. Sie orientieren sich oft an existierenden Pflegehilfsmitteln und vereinfachen deren Bedienung mit (teil-) autonomen Assistenzfunktionen. Der Schwerpunkt liegt in der **Automatisierung pflegeferner Tätigkeiten** wie z. B. dem Warentransport. Verfügbare Produkte, die eine Interaktion mit Patienten und Bewohnern vorsehen,

wie z. B. Telepräsenz- oder emotionale Roboter, beschränken diese größtenteils auf **nicht-physische Assistenzfunktionen**. Produkte, die eine physische Interaktion vorsehen, z. B. Hebehilfen, werden bisher hingegen vom Nutzer komplett ferngesteuert und beinhalten keine oder nur sehr geringe Autonomie. Roboter mit umfangreichen, auch physischen Interaktionsfähigkeiten und komplexem autonomem Verhalten sind heutzutage noch der Forschung zuzuordnen.

7.2.1.2 Untersuchung von Gebrauchstauglichkeit, Akzeptanz und Aufgabenmerkmalen bei der Zusammenarbeit mit Robotern

Aufgrund ihrer inhärenten Komplexität und dem mit ihnen verbundenen logistischen Aufwand sind umfassende **Felduntersuchungen mit Robotern relativ selten**. Einer der wenigen Anwendungsfälle extensiver Feldtests mit autonomen Robotern in realen Einsatzumgebungen wird von Biswas and Veloso 2016 berichtet. Die berichteten Daten beziehen sich aber vor allem auf die technische Leistungsfähigkeit des Systems. Welche Auswirkungen auf den Menschen und auf Arbeitsabläufe entstehen, bleibt weitgehend offen. Pripfl et al. 2016 erfassen Gebrauchstauglichkeit für Assistenzroboter in der privaten Pflege qualitativ in Interviews bei 16 Personen in einer Feldstudie. Erkenntnisse sind aufgrund der Stichprobengröße eher allgemeiner Natur und vor allem von einer sehr spezifischen Nutzergruppe erhoben. Bogh et al. 2014 untersuchen mobile Manipulatoren in kooperativen Szenarien im industriellen Kontext, fokussieren allerdings ebenfalls auf die technische Performanz. Die einzige Erwähnung von Gebrauchstauglichkeit ist die Anmerkung, dass Fehler in der Planung auch menschlicher Natur sein können. Aufgrund des allgemeinen **Mangels an Einbeziehung menschseitiger Faktoren** bzw. deren mangelnde Gewichtung im Forschungsgebiet der Mensch-Roboter-Interaktion konstatiert Broadbent 2017 zwar Fortschritte, aber eben auch viel weitere Arbeit bezüglich der Gestaltung von Robotern und der Untersuchung menschlichen Verhaltens in der Interaktion mit ihnen. **Ein standardisiertes Verfahren zur Untersuchung von Akzeptanzfaktoren** kann z.B. das Senior Technology Acceptance Model STAM Renaud and Van Biljon 2008 sein. Für die psychosozialen Folgen gibt es den PIADS (Jutai and Day 2002), der in seiner Weiterentwicklung die Kriterien der ICF einbezieht.

7.2.1.3 Prozessanalysen in der Pflege

Um eine gute **Qualität von Dienstleistungen wie z.B. der Pflege** zu erzielen und die Produktivität des Gesamtsystems zu gewährleisten ist eine **prozessorientierte Sichtweise** unerlässlich (Füerermann 2013). In Reuschl 2011 wird die Partizipation von Mitarbeitern als ein zentraler Vorteil einschlägiger Prozessmanagementmethoden – insbesondere zur Förderung der Akzeptanz neuer Technologien unter der Belegschaft – bewertet. Diese Technologien, z.B. Serviceroboter, bringen den Nutzern nur dann einen Mehrwert, wenn sie deren tatsächliche Bedarfe adressieren und sich möglichst nahtlos in bestehende, häufig über Jahrzehnte etablierte, Prozesse einfügen. Gleichzeitig bieten die Prozessanalysen aber auch das Potential, vorhandene, ggf. nicht mehr zeitgemäße Prozesse zu überdenken und zu optimieren. Zudem werden Führungskräfte bei *to-buy-or-not-to-buy* Entscheidungen unterstützt, da Komplexitäten reduziert und abstrakte Sachverhalte transparenter gemacht werden. Weitere Nutzenaspekte sind eine bessere Kooperation in der Organisation und eine erhöhte Prozesseffizienz (Schmelzer and Sesselmann 2020). Prozesse und **Prozessanalysen sollten möglichst aussagekräftig und für die relevante Zielgruppe einfach verständlich sein**. Deshalb existieren neben den nach wie vor weit verbreiteten nicht-formalen Darstellungen eine Vielzahl an **standardisierten Modellierungssprachen**, welche meist zu spezifischen Zwecken entwickelt wurden. Am weitesten verbreitet ist nach Harmon and Wolf 2016 inzwischen die Modellierungssprache Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN 2.0). Sie zeichnet sich durch einen hohen Standardisierungsgrad und eine vergleichsweise einfache Verständlichkeit aus und wird bisher insbesondere in Industrieunternehmen häufig eingesetzt. Anhand der definierenden Anhaltspunkte Input, Ablauf und Output lassen sich **Aussagen über die Güte von Prozessen** treffen (Wagner and Käfer 2017). Bei sich anbahnenden Prozessveränderungen, beispielsweise durch den Einsatz von Servicerobotern, können auf diese Weise Ist- und Soll-Prozesse über Messwerte verglichen und evaluiert werden. Neben der Produktivität spielt dabei auch die Qualität eine wesentliche Rolle. Nach Linß et al. 2011 ist „Prozessqualität die Voraussetzung für Produktqualität“.

Im Kontext der vorliegenden Machbarkeitsstudie und dem betrachteten Einsatzfeld der Pflege ist zu berücksichtigen, dass Mehrwerte selbst dann geschaffen werden können, wenn sich die „Produktivität“ eines Prozesses durch den Einsatz neuer Technologien nicht erhöhen lässt. Insbesondere kann durch den Technikeinsatz die Qualität des

Prozesses steigen und damit das System insgesamt profitieren. **Mehrwert durch den Einsatz pflegeunterstützender Assistenzroboter** kann dabei beispielsweise durch Parallelisierungseffekte, eine Erhöhung der Reaktionsschnelligkeit, Prozessvereinfachungen oder Zeitersparnisse entstehen. **Etablierte Methoden**, die zur Messung von Prozessqualität herangezogen werden können, sind u.a. Schnittstellenanalysen, 7-M-Methode oder Quality Function Deployment (QFD).

7.2.1.4 Wirtschaftlichkeitsanalysen und Modelle für die Umsetzung in den Regelbetrieb

Für die Diffusion von Robotern im Gesundheitswesen ist neben der Entwicklung nutzerzentrierter Lösungen vor allem die Wirtschaftlichkeit der Investition entscheidend. Aus diesem Grund legt das vorliegende Vorhaben einen Schwerpunkt auf Wirtschaftlichkeitsanalysen. Hierzu werden Modelle wie eine **Kosteneffizienz- oder eine Kosten-Nutzen-Analyse** genutzt.

Ein Blick in die wissenschaftliche Literatur zeigt, dass es bislang nur relative wenige Studien zur Wirtschaftlichkeit von Robotern gibt und diese sich bisher insbesondere auf **Industrieroboter** (Han et al. 2020, Zhao et al. 2021, Zhi and Nai-Yong 2020) oder auch Fassaden-Roboter (Yeom et al. 2017, Hu et al. 2021) beziehen. Häufig handelt es sich dabei um **Kosten-Nutzen-Analyse auf Basis von Fallstudien**. Betrachtet man den Einsatz von Robotern im Gesundheitswesen, findet man hauptsächlich Wirtschaftlichkeitsanalysen im Bereich der **Chirurgierobotik**. Insbesondere im Gesundheitswesen ersetzen Roboter nicht eine komplette Arbeitskraft, sondern entlasten das Personal in der Rolle eines Assistenzroboters. Hinsichtlich des Nutzens kommt es dadurch nicht primär zu einer Einsparung von Personalkosten, sondern häufig resultiert der Einsatz eines Roboters in einer besseren Qualität der Versorgung oder der Entlastung von Mitarbeitenden.

Methodisch kommt eine Vielzahl an Methoden in den Studien zum Einsatz: Neben bewährten **Controllingansätzen wie der Kapitalwertberechnung, Lebenszykluskostenrechnung**, Break-Even-Analyse, werden auch Mikrokostenansätze (Di Franco et al, 2021), eine Prozesskostenrechnung (Di Franco et al. 2022), ein Kostenentscheidungsbaum oder der Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standard CEERS (Korsholm et al. 2018) in Form einer Checkliste verwendet.

Die dahinterliegenden Modelle sind im Grunde dieselben, doch unterscheiden sich die Erhebungsmethoden von Kosten und Nutzen teilweise deutlich je nach Anwendungsgebiet des jeweiligen Roboters zwischen Industrierobotern und (Assistenz-)Robotern im Gesundheitswesen. Hier bedarf es eindeutig auch der Erweiterung und Ergänzung des bestehenden Methodenrepertoires, um das bestehende Vorgehen im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse auf die Anwendung bei Robotern im Gesundheitswesen anzupassen.

7.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Die Stärke des hier skizzierten Ansatzes ist insbesondere die **große Breite der in der Praxis zu testenden Roboterlösungen** verbunden mit der ebenfalls **großen Breite der zu erwartenden Anwendungskontexte**. Dadurch und aufgrund der umfassenden Vorarbeiten aller Beteiligten ist eine steile Lernkurve der Partner zu erwarten sowie umfangreiche Erkenntnisse für die Gestaltung von Assistenzrobotern in diversen Kontexten der Pflege. Zudem bietet die hohe Anzahl an geplanten Erprobungen die Möglichkeit, die jeweiligen Roboter iterativ und partizipativ mit den jeweiligen potentiellen Anwendern weiterzuentwickeln.

Eine so umfassende Erprobung und Untersuchung relevanter Parameter hat es im Kontext pflegeunterstützender Assistenzroboter bisher nicht gegeben.

Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal dieses Kompetenzzentrums sind die **umfassenden Erfahrungen der Konsortialpartner** aus vorangehenden Projekten. Alle Beteiligten haben sich bereits mit der Praxiserprobung pflegeunterstützender Assistenzroboter beschäftigt – sowohl hinsichtlich der Roboterentwicklung als auch in Bezug auf die Konzeption der Evaluierungen. Damit verbunden ist der **hohe technische Reifegrad** der eingesetzten Roboter, der neben ihrer **Diversität** in KomPARob einzigartig ist. Weiterhin besteht eine langjährige Kooperation zwischen den Kernpartnern des Projektes, sodass die interdisziplinäre Zusammenarbeit gegeben ist. Die gesammelten Erfahrungen können bereits direkt zu Projektbeginn in die Weiterentwicklung der Serviceroboter und der Evaluierungsmethodik einfließen und ermöglichen dadurch gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen einen **erheblichen Erfahrungsvorsprung**.

7.2.3 Risikodarstellung

Aktuell ist es unklar, ob und welche robotischen Systeme sich zukünftig in der Pflege durchsetzen können. Das Risiko für Hersteller, umfassend in dieses Gebiet zu investieren, ist ebenso wie für Pflegeeinrichtungen und Kliniken zu hoch. Die Reduzierung dieses Risikos begründet die Notwendigkeit dieses Projektes. Das **interdisziplinäre Konsortium**, bestehend aus jeweils mehreren Roboter- und Evaluierungspartnern, die **allesamt ausgewiesene Experten in den zugewiesenen Aufgabenbereichen** sind, ermöglicht zudem eine weitreichendere Evaluierung, wie Robotern in der Pflege sinnvoll eingesetzt werden können, als es einem kleineren Konsortium oder gar einzelnen Partner möglich wäre. Eine weitere wichtige Rolle spielt die **Diversität der angebotenen Roboter**, durch die es nicht nur möglich wird, eine **große Menge an Anwendern** anzusprechen. Es können auch bereits aus den Bewerbungen Rückschlüsse auf **gewünschte Funktionen der Roboter** gezogen werden. Anhand der überdurchschnittlichen Anzahl der betrachteten Anwendungskontexte in den verschiedenen Einrichtungen, die keiner der Partner alleine durchführen könnte, kann erstmals eine **umfassende Beurteilung** der verschiedenen Evaluierungsdimensionen erreicht werden. Mit der Erprobung robotischer Systeme geht zudem ein hoher finanzieller sowie personeller Aufwand für alle Betroffenen einher. Durch die Zuwendung wird dieser Aufwand reduziert.

Nachfolgend sind verschiedene Risiken dargestellt, die das Projekt gefährden könnten, deren Relevanz für den Projekterfolg sowie vorgesehene Gegenmaßnahmen zur Risikominimierung. Die Risiken und Gegenmaßnahmen wurden mit Herstellern und Anwendern während des gemeinsam durchgeführten Anwenderworkshops (Details siehe Anhang) diskutiert und abgestimmt, so dass einer Umsetzung im Projekt realistisch erscheint.

Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung

Risiko aus Herstellersicht	Relevanz	Gegenmaßnahmen
Abstimmung der Rahmenbedingungen für die Erprobung mit allen relevanten Personen auf Anwenderseite aufwändig und in der verfügbaren Zeit nicht vollständig zu schaffen.	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Frühzeitige Kommunikation der Kriterien für die Teilnahme • Frühzeitige Einbeziehung aller relevanten Ansprechpartner schon im Bewerbungsprozess. • Frühzeitige Vorbereitung von Informationen zur Unterstützung der Anwender bei Ethik und Arbeitssicherheit.
Einsatztauglichkeit eines Roboters für das vorgesehene Szenario bei Beginn der Erprobung nicht gegeben.	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Vor-Ort-Besuch beim Anwender bereits in der Bewerbungs- bzw. Auswahlphase. • Verschieben „komplizierterer“ Szenarien auf die zweite oder dritte Erprobung innerhalb einer Erprobungsphase, somit Anpassungen möglich • Die erfahrenen Hersteller kennen typische Probleme und können diese gezielt abfragen.
Verzögerungen in einer Erprobung gefährden den Zeitplan von nachgelagerten Erprobungen.	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Klären der Rahmenbedingungen und Einsatztauglichkeit vor Beginn der Erprobungen. • Nutzung eines zweiten Roboters als Ersatz (wenn vorhanden) • Straffes Projektmanagement, um Verzögerungen früh zu erkennen und gegenzusteuern.
Hohe Aufwände und Kosten für die Schaffung der notwendigen Infrastruktur (z.B. WLAN, Anbindung Aufzugsteuerung); stehen in keinem Verhältnis zur Dauer der Erprobungen.	mittel	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Rahmenbedingungen werden bei der Auswahl der Anwender mitberücksichtigt • Hersteller bringen notwendige Infrastruktur (insbesondere WLAN) selbst mit. • Nutzung der Vorerfahrungen und Kontakte der Hersteller bspw. zu Aufzugherstellern.
Häufige Änderungswünsche der Anwender, die während der Erprobungen nicht umsetzbar sind oder die Evaluierungsergebnisse verfälschen.	niedrig	<ul style="list-style-type: none"> • Frühzeitige Klärung von Rahmenbedingungen und Erwartungen mit den Anwendern. • Betreuender Evaluierungspartner wird in die Diskussion der Änderungen mit eingebunden.
Hoher Betreuungsaufwand und Aufwand zur Schaffung der Voraussetzungen für die Tests (z.B. Klärung Datenschutz, Betriebsrat, etc.)	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Frühzeitige Einbeziehung aller relevanten Ansprechpartner der Anwender schon im Bewerbungsprozess. • Frühzeitige Vorbereitung von Informationen zur Unterstützung der Anwender bei Ethik und Arbeitssicherheit.
Ungeklärte Haftungsfrage, für den Fall, dass ein Roboter jemanden verletzt.	mittel	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz der Roboter nur mit gültiger CE-Kennzeichnung, passend für den Anwendungsfall • Frühzeitige Klärung von Versicherungsfragen jeweils in der Antragsphase
Ungeklärte Finanzierung für einen Einsatz nach den Praxisevaluierungen. Dadurch ggf. eingeschränkter Nutzen, wenn Roboter später nicht beschafft werden können.	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Beteiligte Hersteller wollen nach der Testphase flexible Finanzierungsmodelle anbieten; reduzierte Kosten, da Vorarbeiten durch das Projekt finanziert wurden. • Hilfestellung zu Finanzierungsfragen durch das Konsortium
Technik ist zu komplex, um diese ohne Hilfe mit dem vorhandenen Personal zu bedienen	mittel	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von in der Praxis erprobten Robotern durch Hersteller, die bereits große Erfahrung mit Inbetriebnahmen und Schulungen haben • Schulungen und engmaschige Betreuung durch die Hersteller im Verlauf der Testphase

Tabelle 7.1: Risikodarstellung

7.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

7.3.1 Nutzerspezifische Weiterentwicklung der eingesetzten Roboter

Jeder der im Projekt eingesetzten Roboter verfügt bereits über einen hohen technischen Reifegrad. Alle im Projekt betrachteten Robotern wurden bereits in Pflegeeinrichtungen oder Kliniken erprobt – teilweise bereits ohne, oder nur mit sporadischer Anwesenheit der Entwickler. Im Rahmen der bisherigen Erprobungen wurden jedoch nur ausgewählte Einsatzszenarien umgesetzt und analysiert. Viele der mit Anwendungsvertretern in der Vergangenheit diskutierten und technisch möglichen Anwendungen sind noch nicht realisiert. Es ist zu erwarten, dass die Umsetzung der von den Bewerbern vorgeschlagenen Anwendungen eine Weiterentwicklung der eingesetzten Roboter erfordert. Um diesem Bedarf trotz der kurzen, für die Detailabstimmung mit den Bewerbern verfügbaren, Zeit nachzukommen, sind die Entwickler der jeweiligen Roboter alle als Partner im Projekt beteiligt: die notwendigen Arbeiten der deutschen Unternehmen werden dabei aus dem Projekt finanziert, die zwei ausländischen Roboterhersteller werden diese Kosten im Gegenzug für den Kauf ihres Roboters aus dem Projektbudget selbst übernehmen (siehe beiliegende LOIs). Die nachfolgend dargestellten sechs Roboter sind nach aktuellem Stand für eine Evaluierung im Projekt vorgesehen.

7.3.2 Zu untersuchende sozial- und arbeitswissenschaftliche Forschungsfragen

Evaluierung von Gebrauchstauglichkeit, Erfahrung und Erwartungen sowie Akzeptanz und Aufgabenmerkmalen beim Einsatz von Robotern in der Pflege: Eine wichtige Forschungsfrage ist, wie sich Gebrauchstauglichkeit, Erfahrungen, Akzeptanz und Aufgabenmerkmale bezüglich der jeweiligen Roboter und Kontexte verhalten. Unter Aufgabenmerkmalen versteht man Merkmale einer Arbeitsaufgabe wie Tätigkeitsspielraum, Vielfältigkeit, Interaktion oder Störungsfreiheit. Dabei sind sowohl kontextübergreifende wie auch spezifische Effekte wichtig. Kenntnis beider Effektkarten erlaubt Herstellern und Anwendern die Abschätzung von Einsatzmöglichkeiten und

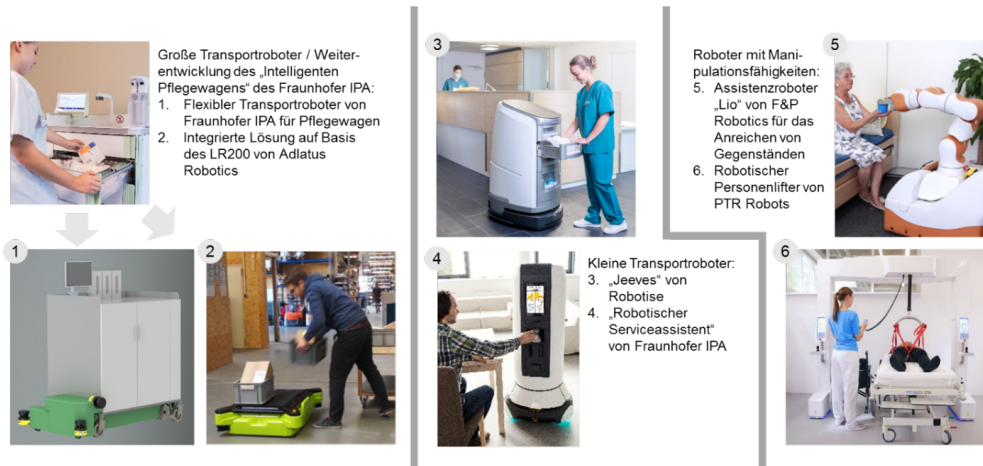


Abbildung 7.1: Die dargestellten sechs Roboter sind nach aktuellem Stand für eine Evaluierung im Projekt vorgesehen.

deren Folgen sowie folglich auch einen zielgerichteten Einsatz. Im Pflegekontext sind Pflegepersonal, Pflegebedürftige und Angehörige als Nutzer betroffen. Diese Gruppen unterscheiden sich ggf. hinsichtlich ihrer Erwartungen und Anforderungen an den Roboter und damit an die Mensch-Technik Interaktion. Um diese angemessen zu berücksichtigen, müssen die spezifischen Unterschiede bekannt sein. Eine begleitende Analyse von Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz zielt daher auf die gelungene Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ab. Dabei sollten diese Parameter sowie mögliche veränderte Tätigkeitsdimensionen auch in Abhängigkeit vom spezifischen Robotersystem, Kontext und Anwendergruppe untersucht werden. Nur so kann ein positives Benutzererlebnis im Umgang mit der Technik erreicht werden. Eine gelungene Interaktion zwischen Mensch und Maschine hängt dabei nicht nur von intuitiver Bedienbarkeit oder störungsfreier Übernahme der Arbeitsaufgabe ab, sondern auch von der Bewertung von möglichen neuen Handlungsoptionen oder Verhaltenstendenzen, die durch den Einsatz des Roboters entstehen. Unter Einbeziehung der oben genannten Parameter und Evaluation der Erfahrungen der Nutzer können auch diese stärker ethisch geprägten Implikationen untersucht werden. Insbesondere die Generalisierbarkeit gewonnener Erkenntnisse wird den aktuellen Forschungsstand erweitern.

Zu Gebrauchstauglichkeit, Akzeptanz und Aufgabenmerkmalen existieren viele standardisierte Fragebögen, teilweise auch als Apps, welche sich zur selbstgesteuerten Bearbeitung durch Nutzer eignen. Durch Anpassung standardisierter Verfahren an die Bedarfe der jeweiligen Stichprobe können solche Daten ökonomisch günstig erhoben werden und an entsprechenden Stellen in Form von halbstrukturierten bzw. strukturierten Interviews oder in Form von Workshops ergänzt werden. Letztere erweitern die Erhebungsmethoden um qualitative Aspekte. Die Zielkonstrukte werden mit den anderen Evaluierungsdimensionen abgestimmt und in ein gesamtheitliches Messinstrumentarium integriert.

Evaluierung der Auswirkungen von Servicerobotern auf die Pflegeprozesse: Im Projektkontext stellt sich die Frage, welche konkreten Auswirkungen der Einsatz von Robotern auf die internen Prozesse einer Pflegeeinrichtung hat. Bedeuten diese Änderungen tatsächlich eine Entlastung des Personals? Oder ist unter dem Strich gar mit einer Zusatzbelastung (beispielsweise durch die Bedienung komplexer technischer Komponenten) zu rechnen? Wie lassen sich entlastende und zusätzlich belastende Potenziale gegeneinander aufrechnen? Wie lassen sich Prozessveränderungen im Umfeld des Dienstleistungsbereichs Pflege quantifizieren? Ein wichtiger Punkt, der über den bisherigen Forschungsstand hinausgeht, ist dabei, ob sich eine durch Serviceroboter verursachte Prozessveränderung im komplexen und volatilen Umfeld der Pflege anhand von Kriterien messbar machen lässt. Dadurch ließen sich Ist- und Soll-Prozesse wesentlich besser miteinander vergleichen und Verbesserungspotenziale deutlicher herausstellen als bei rein qualitativen Verfahren.

Aufbauend auf etablierten Verfahren aus dem industriellen Prozessmanagement und ergänzt um fragebogenbasierte Interviews mit Experten aus der Pflege soll eine Methodik entwickelt werden, die den speziellen Anforderungen im Pflegeumfeld gerecht wird und mit deren Hilfe sich die Einflüsse von Servicerobotern auf die Pflegeprozesse analysieren lassen. Durch die Methodik sollen positive und negative Aspekte des Servicerobotereinsatzes erfasst, bewertet und gegenübergestellt werden können, so dass als Ergebnis Aussagen über die „Gesamtzufriedenheit“ der Nutzer möglich sind. Dabei kann u.a. auf den bereits gesammelten Erkenntnissen und erarbeiteten Methoden aus dem BMBF-Projekt SeRoDi (www.serodi.de) Bezug genommen werden, im Rahmen dessen zwei der im Projekt eingesetzten Roboter von

Partnern in KomPArob entwickelt und auch bereits in der Pflegepraxis erprobt und entsprechende Prozessanalysen durchgeführt wurden.

Evaluierung wirtschaftlicher Aspekte und Modelle für die Umsetzung in den Regelbetrieb:

Wie die Ausführungen in Kapitel 7.2.1.4 gezeigt haben, gibt es aktuell nur sehr wenig Evidenz zur Wirtschaftlichkeit von Assistenzrobotern im Gesundheitswesen. Dies stellt allerdings ein elementares Hemmnis dar – sowohl für die Entscheidung einer Einrichtung über die Beschaffung robotischer Lösungen als auch für die Entscheidung der Robotikhersteller über die strategische Investition in den Gesundheitssektor, die beide schlussendlich großen Einfluss auf die Dissemination robotischer Lösungen im Gesundheitssektor haben. Im Rahmen von KomPArob sollen daher die 6 robotischen Lösungen in jeweils 6 verschiedenen Einrichtungen mit Blick auf einen wirtschaftlichen Einsatz untersucht werden – sowohl was Kostenreduktions- als auch zusätzliche Nutzenpotenziale angeht. Neben der Analyse der Wirtschaftlichkeit sowie die Wirtschaftlichkeit begünstigender und hemmender Faktoren für den wirtschaftlichen Einsatz robotischer Lösungen wird damit auch ein methodischer und wissenschaftlicher Beitrag im Rahmen des Projektes geleistet.

Konkret sollen mittels Interviews, Beobachtungen und Datenanalyse zunächst gemeinsam mit Führungskräften und Controllingverantwortlichen die aus Anwendersicht relevanten Key Performance Indikatoren (KPIs) wie z.B. Zeitersparnis, Kostensenkung, Qualität der Reinigung etc. definiert werden. Mittels einer Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Costing) sollen relevante Kostenparameter für den IST- und SOLL-Prozess bei den Einrichtungen sowie seitens der Hersteller erhoben und gegebenenfalls um eine Nutzwertanalyse zur Berücksichtigung schlecht quantifizierbarer Parameter erfasst werden. Die relevanten KPIs werden durch Datenbereitstellung durch die Einrichtung (Controlling) bzw. Beobachtung erhoben, um schlussendlich darauf aufbauend eine Analyse der Wirtschaftlichkeit des IST- vs. SOLL-Prozesses zu vollziehen. Die angewandten Methoden kamen bereits im BMBF-Projekt KUKoMo (www.kukomo.de) im industriellen Kontext zum Einsatz bzw. werden aktuell im Kontext von Reinigungs- und Transportrobotern im Projekt MobDi (www.mobdi-projekt.de) u.a. im Kliniksetting weiter verfeinert.

Was die Umsetzung in den Regelbetrieb angeht, ist das Thema Finanzierungsmodelle eng mit dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit verflochten. Im Rahmen von KompaRob sollen die Rahmenbedingungen für Investitionsentscheidungen von Einrichtungen systematisch erhoben und analysiert werden und mit den Endanwenderinnen darauf aufbauend konkrete Finanzierungslösungen - auch unter Berücksichtigung aktueller Gesetzesänderungen und damit zusammenhängender Finanzierungsoptionen – aufgezeigt werden.

7.3.3 Generalisierbarkeit der Ergebnisse

Für die Generalisierbarkeit der Evaluierungsergebnisse ist es entscheidend, bereits bei der Auswahl der Bewerber darauf zu achten, dass **verschiedene Typen von Einsatzfeldern** abgedeckt sind (z.B. Altenpflege vs. Krankenpflege, große Einrichtung vs. kleine Einrichtung). Die Datenerhebung erfolgt weitgehend standardisiert, wobei zusätzlich eine Datenaufbereitung erforderlich ist, die etwaige Einmal- oder Störeffekte in den Daten bereinigt. Dies wird es bei der fallübergreifenden Analyse ermöglichen, **Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen** festzustellen (zu den Typen von Einsatzfeldern kommt der jeweilige Robotertyp hinzu). Nach Möglichkeit sollen – hinsichtlich der unterschiedlichen Evaluierungsdimensionen – **generelle Gestaltungsempfehlungen** abgeleitet werden. So könnte beispielsweise bei Robotern, die Transport- und Dokumentationsaufgaben übernehmen, das “Erlernen” von wiederkehrenden Arbeitsschritten einen größeren Faktor für die Akzeptanz und Nützlichkeit des Systems darstellen als die Rückmeldung des Roboters. Diese könnte aber im Falle von personalisierbaren Einstellungen, wie bei der Personenführung oder Interaktion, eine übergeordnete Rolle spielen; unabhängig davon, in welcher Art von Einrichtung der Roboter zum Einsatz kommt. Beides sind wichtige Informationen für die Roboterhersteller, als auch für die Anwender mit Interesse an der Implementierung eines solchen Systems. Des Weiteren wird angestrebt, **generalisierte Aussagen über die Wirtschaftlichkeit, Verbesserung der Interaktionsqualität und Handlungsempfehlungen** treffen zu können. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit können die Evaluierungsergebnisse und identifizierte Standardprozesse einen Aufschluss darüber geben, welches Robotersystem eine tatsächliche Bereicherung für die Pflegeorganisation darstellt. So wird eine selten durchgeführte Aufgabe womöglich perfekt durch einen

Roboter kompensiert, kommt damit jedoch der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens nicht entgegen. Durch die Vielfalt der getesteten Systeme und einem nachgestellten Vergleich können potentielle Anwender bereits im Vorhinein eine qualifizierte Entscheidung darüber treffen, wann sich ein Robotersystem in ihrer Einrichtung rentieren würde. Die verschiedenen getesteten Einsatzfelder erlauben es auch, generalisierbare Aussagen über die Verbesserung der Interaktionsqualität treffen zu können, wie: „Eine gezielte Schulung der Beschäftigten erhöht für alle getesteten Assistenzroboter die Akzeptanz. Eine darüberhinausgehende Betreuung vor Ort wirkt sich zusätzlich positiv auf dieses Konstrukt aus und fördert die Häufigkeit des (korrekten) Gebrauchs des Systems“. Die fallübergreifenden Analysen der einzelnen Evaluierungsdimensionen sind so angelegt, dass einerseits die Systemtypen und andererseits die Identifizierung von ebenfalls generalisierbaren Einflussgrößen im Fokus stehen. Auf dieser Basis lassen sich dann verallgemeinerte, prozessbezogene Empfehlungen für eventuelle Anpassungen des Gesamtsystems und/oder der Roboter aufstellen.

7.3.4 Berücksichtigung von ELSI

Da die in KomPArob vorgesehenen Roboter im öffentlichen Raum und in direkter Interaktion mit dem Menschen eingesetzt werden, spielen ethische, rechtliche und soziale Aspekte im Projekt eine wichtige Rolle. Jedoch gibt es für eine **ethisch verantwortliche Anwendung der Robotik** keine eindeutigen Lösungen, weil praktische Bewertungen und normative Entscheidungen grundsätzlich “von gesellschaftlichen Konsensfindungen und inhaltlichen Präferenzen ab[hängen], über die aus einer rein theoretischen Perspektive nicht abschließend geurteilt werden kann” (Onnasch et al. 2019). Daher werden die ethischen und sozialen Aspekte beim Einsatz der Assistenzroboter im Projekt – wie beispielsweise Verantwortungsbewusstsein, Wertorientierung, Entscheidungsautorität, Gute Pflege oder Sicherheit – sowohl bei einer **internen halbtägigen Schulung** umfassend besprochen als auch bei den **Einführungsveranstaltungen in den Einrichtungen** mit einbezogen. Mehrere der Projektpartner bringen in diesem Themenfeld bereits umfassende Erfahrungen und Vorarbeiten mit (insbes. SIBIS, BAuA). Somit werden alle Verantwortlichen und Teilnehmer für die Thematik sensibilisiert und bekommen die Möglichkeit sich auszutauschen und Fragen zu stellen. **Rechtliche Implikationen**, insbesondere Aspekte der informierten Zustimmung sowie

der relevanten Datenschutz- und Datensicherheitskriterien, werden bei der Konzeption des Untersuchungsdesigns berücksichtigt (siehe AP1). Diese werden auch genutzt, um einen **übergreifenden Ethikantrag für die Erprobungen** zu erstellen, mit dem ein positives ethisches Votum des Untersuchungsdesigns angestrebt wird. Hier werden alle Messinstrumente (bspw. SUS, Fragen zu Erwartungen und Erfahrungen), Studienhypothesen sowie der Projektplan integriert. Dies gibt den Einrichtungen die Sicherheit eines **ethisch unbedenklichen Untersuchungsdesigns**.

7.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

7.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

7.4.1.1 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten in der Anwendungsdomäne

Auf **wissenschaftlich/technischer Seite** liegt der Erfolg des Projekts insbesondere darin begründet, dass die beteiligten Roboterhersteller wichtiges Feedback für die strategische **Weiterentwicklung ihrer Roboter** sowie für die Ausrichtung der Unternehmensstrategie (z.B. hinsichtlich geeigneter Geschäftsmodelle, aber auch Entwicklung weiterer Produkte) erhalten. Weiterhin werden die Langzeiterprobungen der Roboter deren technischen Reifegrad weiter erhöhen. Indem die Fähigkeiten der Roboter nutzerspezifisch angepasst werden, steht für zukünftige Einsätze ein **erweitertes Leistungsangebot** bereit, das den **Bedürfnissen der Pflegepraxis** entspricht. Durch den Erfahrungsaustausch zwischen den Herstellern werden typische Probleme, die beim Einsatz der Roboter in stationären Pflegeeinrichtungen und Kliniken auftreten, identifiziert und geeignete Standards bzw. Lösungen erarbeitet, so dass zukünftige Praxisumsetzungen und Inbetriebnahmen schneller und effizienter erfolgen können. Bei der Erprobung mit der hohen Anzahl an Einrichtungen wird außerdem die Vernetzung der Roboterhersteller zu den Anwendern und damit potentiellen Kunden gestärkt und letzteren der Nutzen, den die Roboter mit sich bringen, objektiv dargestellt.

In Bezug auf **öffentliche Aufgaben** ist eine signifikante Steigerung der Auskunftsfähigkeit auf Seiten der Evaluationspartner zu erwarten. Weiterhin können Leitlinien für den Einsatz robotischer Systeme in der Pflege durch potentielle Anwender abgeleitet werden. Dies **begünstigt den Transfer**, da die Unsicherheit bezüglich der Technologie

und in Folge auch die Schwelle für den tatsächlichen Einsatz gesenkt wird. Die **Forschungsarbeiten der Evaluierungspartner** bieten aufgrund von ihrer Einzigartigkeit – insbesondere durch die hohe Zahl der Anwender – eine hervorragende Basis für praxisrelevante wissenschaftliche Veröffentlichungen und Promotionen. Außerdem werden hierdurch technologische, gesundheitliche und gesellschaftliche Herausforderungen der modernen Arbeitswelt adressiert und einem größeren Publikum zur Verfügung gestellt. Dies stellt die sichere, gesunde und insgesamt menschengerechte Gestaltung der Arbeit in den Vordergrund, was einen wichtigen Beitrag zu neuen Entwicklungs- und Beratungsaufgaben leistet.

7.4.1.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Der zu erschließende **Markt für pflegeunterstützende Assistenzroboter** ist signifikant und insbesondere durch die steigende Zahl Pflegebedürftiger, den Fachkräftemangel sowie den steigenden ökonomischen Druck auf das Gesundheitswesen begründet. Dabei ist zu erwarten, dass sich pflegeunterstützende Assistenzroboter aufgrund von besserer Auslastung und professioneller Betreuung **zuerst im stationären Bereich** etabliert. In Deutschland wurden 2019 laut Pflegestatistik des statistischen Bundesamts rund 970.000 Pflegebetten betrieben. Hinzu kommen im Jahr 2019 rund 495.000 Krankenhausbetten. Bei der Annahme, dass **ein Roboter pro 20 Betten** eingesetzt werden kann, entspricht dies einem **Potenzial von 87.250 Robotern**. Die Projektpartner gehen davon aus, dass **Umsätze sich in diesem Einsatzfeld bis 2025 im einstelligen Millionenbereich pro Jahr** bewegen, zwischen 2025 bis 2030 im zweistelligen Millionenbereich und ab 2030 dürften 100 Mio. € Umsatz jährlich überschritten werden.

7.4.1.3 Industrielle Umsetzung der Projektergebnisse während der Projektlaufzeit

Die industrielle Umsetzung der Projektergebnisse während der Projektlaufzeit betrifft unterschiedliche Aspekte: für **Roboter, die noch keine Produktreife erlangt haben**, insbesondere die Forschungsprototypen des Fraunhofer IPA, sollen bereits während der Projektlaufzeit **geeignete Kommerzialisierungspartner gefunden** werden, die an deren Weiterentwicklung zum Serienprodukt interessiert sind. Die Ansprache

entsprechender Unternehmen ist für den Zeitraum nach der ersten Erprobungsphase vorgesehen, so dass geeignet Einsatzfelder identifiziert sowie die Akzeptanz und der Nutzen der Roboter im Praxiseinsatz und das damit verbundene Marktpotenzial bereits verifiziert wurden. Gleichzeitig ist zu diesem Zeitraum bereits bekannt, welche Verbesserungen der Roboter für die nachfolgende Produktentwicklung umzusetzen sind. Der Technologietransfer soll in bilateralen Projekten parallel zur zweiten Projekthälfte erfolgen. Kontakte zu interessierten Firmen sind am Fraunhofer IPA bereits vorhanden, sollen aber im Rahmen des Projekts durch entsprechende Informationsveranstaltungen noch weiter ausgebaut werden.

Für **marktreife Roboter der beteiligten Firmen** ist unter der industriellen Umsetzung der Projektergebnisse der **Transfer von der zeitlich beschränkten Erprobung in den Regelbetrieb** zu sehen. Dieser wird durch die Projektergebnisse direkt unterstützt, indem über die Ausschreibungen und damit verbundenen Maßnahmen zur Bekanntmachung des Projekts in der Öffentlichkeit interessierte Einrichtungen flächendeckend angesprochen werden. Im Rahmen der Erprobungen werden **Akzeptanz und Nutzen** der Roboter verifiziert und notwendige **änderungen der Arbeitsabläufe**, die erforderlich sind, um diesen Nutzen zu erzielen, identifiziert. Auch für die **Finanzierung der Roboter** werden geeignete Geschäftsmodelle erarbeitet und Möglichkeiten zur Beantragung von Zuschüssen identifiziert, die bereits im Laufe der ersten Erprobungen zum Tragen kommen können. Für die im Projekt eingesetzten Roboter ist zu erwarten, dass diese bis zum Projektabschluss bestmöglich an die Erwartungen und Bedürfnisse der Pflegepraxis angepasst sind. Dementsprechend soll allen Einrichtungen, die einen **Roboter in der Erprobung** hatten, angeboten werden, diesen bei Interesse zu **erwerben oder langfristig anzumieten** / zu leasen. Dabei werden durch die im Projekt geleisteten Vorarbeiten (insbes. bereits durchgeführte Inbetriebnahme vor Ort, Schulungen des Personals etc.) die Aufwände der Hersteller reduziert. Damit können die Roboter kostengünstiger angeboten werden als bei komplett neuen Anwendern, was den Praxistransfer zusätzlich unterstützt.

Es ist geplant, die **Weiterführung des Kompetenzzentrums bereits während der Projektlaufzeit vorzubereiten**. Die im Projekt beteiligten Firmen haben bereits ihr Interesse bekundet, sich auch an einer Weiterführung des Kompetenzzentrums zu beteiligen. Im Rahmen des Projekts werden weitere Roboterhersteller aktiv ange-

sprochen, die Interesse an einer Beteiligung haben könnten. Auch die **vertraglichen Randbedingungen** für die weiterführende Zusammenarbeit sollen bis bereits während des Projekts auf Basis der im folgenden Kapitel dargestellten initialen Überlegungen ausgearbeitet werden. Ziel ist es, bereits während der Projektlaufzeit mindestens einen weiteren Hersteller zu gewinnen, der sich auf eigene Kosten am Projekt beteiligt. Damit wäre die **Tragfähigkeit des angedachten Geschäftsmodells** belegt, welches darauf basiert, dass Hersteller den Mehrwert des Kompetenzzentrums erkennen und schätzen und deshalb bereits sind, mit eigenen Mitteln darin zu investieren. Parallel dazu sollen Möglichkeiten zum Einwerben weiterer Mittel zur Unterstützung des Kompetenzzentrums geprüft werden. Insbesondere die aktuellen Diskussionen von Fraunhofer IPA und IAO mit dem Land Baden-Württemberg hinsichtlich eines „Robotik Valley“ im süddeutschen Raum könnte hier eine interessante Grundlage bieten.

Weitere Projektergebnisse, deren industrielle Umsetzung bereits während der Projektlaufzeit erfolgen kann, sind die von den Evaluierungspartnern entwickelten **Erhebungsinstrumente und Erfahrungen aus den Erhebungen**. Auch hier sollen bereits während der Projektlaufzeit **Beratungsangebote für Pflegeeinrichtungen und Kliniken** entwickelt werden, die in bilateralen Projekten auch über die Schwerpunkte von KomPArob hinausgehen können (bspw. Prozessanalysen und -verbesserungen mit und ohne Bezug auf konkrete Roboter, Wirtschaftlichkeitsanalysen und Finanzierungskonzepte für robotische und nicht-robotische Pflegehilfsmittel...)

7.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Das Kompetenzzentrum soll auch nach Abschluss des Förderzeitraums weitergeführt werden und den **Technologietransfer zwischen Roboterherstellern und Einrichtungen des Gesundheitswesens** unterstützen. Zudem soll das Zentrum zur bedarfsgerechten **Entwicklung neuer pflegeunterstützender Assistenzroboter** beitragen, indem Bedürfnisse der Anwender aufgenommen und in die Forschung getragen werden. Ein weiteres Ziel des Zentrums liegt darin, Kontakt zwischen Forschungsinstituten, die bereits Prototypen für diesen Markt entwickelt haben und Firmen, die ein Interesse an der Kommerzialisierung der Entwicklungen haben, herzustellen. Das Kompetenzzentrum bietet bereits auf Basis des Projektkonsortiums einen Mehrwert durch Experten aus diversen Bereichen und ein großes Netzwerk. Mit wachsender Mitgliederzahl wird

sich dieser Nutzen weiter steigern.

Die **Koordination des Kompetenzzentrums erfolgt am Fraunhofer IPA** unter Einbeziehung der anderen Projektpartner aus KomPArob. Die laufenden Kosten für die Koordination sollen aus **Mitgliedsbeiträgen interessierter Roboterhersteller und Anwender** getragen werden. ähnliche Mitgliedsmodelle werden in der Fraunhofer-Gesellschaft bereits erfolgreich umgesetzt, am Fraunhofer IPA bspw. bei der Koordination des ROS Industrial Konsortium Europe (<https://rosindustrial.org/ric-eu/>).

Neben der Administration des Kompetenzzentrums sollen über den Mitgliedsbeitrag weitere **Basisleistungen** angeboten werden, die insbesondere der **Vernetzung der beteiligten Akteure** dienen. Als Beispiel sind hier regelmäßige Informationsveranstaltungen zu aktuellen Forschungsergebnissen oder neuen Produkten im Anwendungskontext zu nennen (siehe bspw. die Webinarreihe „Robotische Assistenzsysteme für die Pflege“ des Fraunhofer IPA und IMW, <https://s.fhg.de/ws3>) sowie die Organisation von Arbeitsgruppen, Workshops oder auch Co-Creation-Labs zu ausgewählten Themenschwerpunkten (bspw. Ideenworkshops oder Wettbewerbe zu neuen Produkten, die für die Einrichtungen nützlich wären). Der genaue Umfang der Leistungen und abgeleitet davon die Höhe der Mitgliedsbeiträge für die verschiedenen Unternehmestypen (Berücksichtigung von Kriterien wie Unternehmensform, Größe. . .) werden im Projekt gemeinsam mit den beteiligten Unternehmen und Einrichtungen ausgearbeitet.

Neben den Leistungen, die komplett über den Mitgliedsbeitrag abgedeckt sind, unterstützt das Zentrum seine Mitglieder auch bei weitergehenden Aktivitäten, die eine individuelle Zufinanzierung erfordern. Mögliche weitere **Leistungen für interessierte Einrichtungen** beinhalten:

- Individuelle Beratung hinsichtlich geeigneter Roboter für relevante Anwendungsfelder. Beinhaltet ggf. Besichtigung, Interviews und / oder Prozessanalysen vor Ort, Anforderungsanalyse, Abgleich mit der technischen Leistungsfähigkeit vorhandener Roboter.
- Beratung, wie die Einrichtung sich optimal auf den Robotereinsatz vorbereiten kann und wie der Prozess der Einführung neuer Roboter in Pflegeeinrichtungen und Kliniken gestaltet sein muss, um die Akzeptanz der Mitarbeiter

sicherzustellen.

- Beratung zum Optimieren der einrichtungsinternen Prozesse im Roboterkontext, um den Fluss der internen Prozesse durch den neuen Robotereinsatz zu verbessern und so den Nutzen des Roboters zu maximieren.
- Durchführung weiterer Erprobungen von Robotern in Pflegeeinrichtungen und/o-der Kliniken. Nutzung der im Projekt entwickelten Erhebungsinstrumente (für 3-monatige Erprobungen analog zu den Erhebungen im Projekt) oder „Evaluation light“: kostengünstige Variante für kurzzeitige Erprobungen von 1-2 Wochen, die sich auch kleinere Einrichtungen leisten können. Individuelle Abstimmung mit dem Hersteller des Roboters bzgl. einer möglichen Zufinanzierung für die Erhebungen auch von deren Seite, ebenso Abstimmung möglicher Mietgebühren für die Bereitstellung des Roboters während der Erprobung. Wird der Roboter in der Einrichtung behalten, sollten mögliche Mietkosten auf den Kaufpreis angerechnet werden können.
- Alternativ zur oben genannten Finanzierung der zusätzlichen Erprobungen durch die Einrichtungen und Hersteller sollen Gespräche mit möglichen Investoren sowie Verantwortlichen in der Fraunhofer-Gesellschaft hinsichtlich einer finanziellen Unterstützung der Erprobungen geführt werden, welche bei einem möglichen Kauf des Roboters über Lizenzzahlungen wieder ausgeglichen werden.

Mögliche weitere **Leistungen für die Hersteller pflegeunterstützender Assistenzroboter** beinhalten:

- Individuelle Beratung hinsichtlich der speziellen Anforderungen, die der Robotereinsatz in Pflegeheim oder Klinik mit sich bringt (bspw. Kriterien für Nutzerakzeptanz, Gestaltung der Benutzerschnittstellen, Kosten vs. technische Leistungsfähigkeit, benötigte Infrastruktur. . .). Neben dem Normalbetrieb auch Berücksichtigung von Situationen wie Einrichtung, Schulung, oder Notfallsituationen. Welche Anwendungen finden Akzeptanz in der Praxis, welche eher nicht?
- Machbarkeitsstudien und Entwicklungsberatung für Hersteller, die mit neuen Produkten in den medizinischen Servicerobotermarkt einsteigen wollen.
- Beratung und Schulungen hinsichtlich der optimalen Inbetriebnahme der Roboter vor Ort

- Objektive Überprüfung und Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Praxistauglichkeit eines vorhandenen Roboters in einer realitätsnahen Testumgebung (bspw. bei Interesse einer Einrichtung, ein Produkt des Herstellers bei sich einzusetzen oder falls der Hersteller Interesse an der Kommerzialisierung eines Forschungsprototypen hat), ggf. auch Co-Finanzierung möglicher Praxistests durch die Hersteller.
- Durchführung von Marktstudien in mehreren Einrichtungen, um den allgemeinen Bedarf an robotischen Lösungen und Anforderungen für den Praxiseinsatz zu identifizieren. Identifikation (systematischer) Diskrepanzen zwischen den Anforderungen der Nutzer und den Leistungen der Hersteller.

Der **Mehrwert, der sich für Pflegeeinrichtungen und Kliniken aus der Mitgliedschaft ergibt**, liegt unter anderem darin, dass verfügbare Roboterlösungen und deren Fähigkeiten bekannt gemacht werden. Zudem besteht die Möglichkeit, eigene Ideen hinsichtlich der Neu- oder Weiterentwicklung von Produkten einzubringen. Der **Mehrwert für die Hersteller** liegt darin, dass vorhandene Produkte einem breiten Anwenderkreis bekannt gemacht werden und Kontakt zu potentiellen Kunden hergestellt wird.

7.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

7.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

7.5.1.1 Fraunhofer IPA

Die von Dr. Birgit Graf geleitete Gruppe Haushalts- und Assistenzrobotik des Fraunhofer IPA (www.ipa.fraunhofer.de/assistenzrobotik) beschäftigt sich bereits seit mehr als 20 Jahren mit der **Entwicklung robotischer Assistenzsysteme zur Unterstützung pflegebedürftiger und pflegender Personen**. Die Entwicklung eines mobilen Roboterassistenten zur Unterstützung älterer Menschen, Care-O-bot (www.care-o-bot.de), wurde innerhalb dieses Zeitraums kontinuierlich vorangetrieben. Im Rahmen des WiMi-Care-Projekts (www.uni-due.de/wimi-care) wurden mögliche Einsatzfelder mobiler Roboter in der Altenpflege erstmalig systematisch erarbeitet und verschiedene Anwendungen (Insbesondere Containertransport, Getränkeservice) technisch umgesetzt. In der EFFIROB-Studie (www.ipa.fraunhofer.de/effirob.html) wurden Wirtschaftlichkeitsanalysen für verschiedene pflegeunterstützende Assistenzroboter durchgeführt. Im Rahmen des EmAsIn-Projekts (www.emasin-projekt.de) wurde der Kommunikationsroboter „MobiKa“ (Graf et al. 2019) entwickelt und erfolgreich in einer Anwendung zur Aktivierung von Menschen mit Demenz getestet. Das Projekt SeRoDi (www.serodi.de) beschäftigte sich mit der Entwicklung spezialisierter und damit produktnaher Roboterlösungen für stationäre Pflegeeinrichtungen. Der im Projekt entstandene „Robotische ServiceAssistent“ (Baumgarten et al. 2018) soll im Rahmen von KomPARob anwendungsspezifisch weiterentwickelt und in der Praxis erprobt und evaluiert werden. Auf Basis des in SeRoDi entwickelten und erfolgreich in der Praxis erprobten „Intelligenten Pflegewagens“ (Graf et al. 2018) wird aktuell im Fraunhofer-Projekt „MobDi“ (www.mobdi-projekt.de) ein neuer, flexibler Transportroboter für unterschiedliche Pflegewagen aufgebaut und bis Ende 2020 in der Praxis getestet und optimiert. Dieser anhand der Erfahrungen aus WiMi-Care, Effirob und SeRoDi aufgebaute und optimierte Roboter soll in KomPARob als zweite Plattform des Fraunhofer IPA zum Einsatz kommen.

Das Fraunhofer IPA beschäftigt sich bereits seit vielen Jahren mit der **funktionalen Sicherheit**, u.a. im ISO-Gremium TC 299 und bei der Entwicklung des Sicherheits-

standards ISO 13482 für persönliche Assistenzroboter. Im Rahmen des Projektes ARAIG (www.mensch-roboter-interaktion.com) wurde eine mobile Testumgebung für die Evaluierung der Sicherheit von Servicerobotern entwickelt. Diese soll auch zur Prüfung der Roboter in KomPArob genutzt werden.

Hinsichtlich des in KomPArob vorgesehenen **Ausschreibungskonzepts** gibt es am Fraunhofer IPA ebenfalls umfangreiche Erfahrungen. Beispielsweise in den Projekten SeRoNet (www.seronet-projekt.de/partizipation.html), RoboTT-Net (www.robott-net.eu) oder innerhalb des Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus S-TEC (www.ipa.fraunhofer.de/de/zusammenarbeit/industry-on-campus/s-tec.html) wurden mit „Open Lab Days“, „Quick Checks“ und „Exploring Projects“ erfolgreich Methoden für den unbürokratischen Technologietransfer von der Forschung in die Praxis implementiert. Mehrere Hundert Endanwender haben sich in den bisherigen Open Lab Days über neue Technologien informiert, über 150 Anwendungsideen wurden in Quick Checks auf technische und wirtschaftliche Machbarkeit untersucht.

7.5.1.2 Adlatus Robotics GmbH

Das noch junge Unternehmen Adlatus Robotics GmbH hat seit seiner Gründung im Jahr 2015 den Adlatus CR 700 Reinigungsroboter auf den Markt gebracht. Mit „Adlatus Teams 2020“, einer KI-gestützten Mensch-Maschinen-Schnittstelle, die aus einem menschlichen Facility Manager und seinen autonomen Roboterassistenten ein Team schmiedet, gewann die Firma den Purus Innovation Award 2019. Zudem ist Adlatus Robotics derzeit in mehreren Forschungsprojekten – primär im Bereich der Reinigungsrobotik – aktiv. In einem ZIM-Projekt zum Thema „Entwicklung eines autonomen roboterbasierten Bodendesinfektionsverfahren auf der Basis von Chlordioxid mit automatisierter Kontrolle des Desinfektionserfolgs“ (ZIM- FKZ: ZF4677001MD9, Laufzeit: 01.09.2019 – 31.12.2021) arbeitet Adlatus zusammen mit der Dr. Küke GmbH und dem Krefelder Hygieneinstitut wfk – Cleaning Technology Institute e.V. Die Schwerpunkte liegen hier auf der automatisierten Kontrolle und der Bodendesinfektion. Des Weiteren ist Adlatus an dem BMBF Verbundprojekt „Kooperative Interaktion und Zielverhandlung mit lernenden autonomen Robotern“ (RobotKoop, www.robotkoop.de) (FKZ:16SV7965; betreut durch VDI/VDE Innovation & Technik GmbH; Laufzeit: 01.06.2018 – 31.05.2021) beteiligt.

Mit dem LR200 hat Adlatus einen Roboter entwickelt, um Prozesse in der Intralogistik unterschiedlichster Branchen effizient zu gestalten. Die autonome Logistikplattform ist modular aufgebaut und als direkte Plattform für den Transport von Boxen, Kisten oder industriellen Aufsatzmodulen konzipiert. Dadurch kann sie für unterschiedliche Transporte flexibel eingesetzt werden und mehrere Transport- und Logistikaufgaben in Unternehmen eigenständig übernehmen. Für die Evaluierung in KomPARob wird die Logistikplattform mit einem Pflegewagen-Aufbau versehen.

7.5.1.3 Robotise AG

Die Firma Robotise ist ein junges Unternehmen aus München mit 32 Mitarbeitern, das seine wirtschaftlichen Aktivitäten im Bereich der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung von autonomen Servicerobotern („Geschäftsfeld“) hat, u.a. mit Fokus auf Hotellerie, Bürogebäude, Kantinen, Konferenzzentren, sowie Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen („Hospitality+“ und „Health+“).

Dort ist beispielsweise der Material- und Produkttransport die Kernaufgabe des Serviceroboters JEEVES. Dieser ist ein mobiler, autonomer, Lieferroboter und Verkaufsautomat für den Einsatz innerhalb von Gebäuden. Er ist in der Lage, alle Arten von Artikeln, z.B. Snacks und Getränke für Hotelgäste auszuliefern. Dazu nutzt er eine mobile Basis mit integrierten Sensoren, Antrieben und Batterien, um in Innenräumen zu navigieren. Oberhalb dieser Basis ist eine große Minibar mit automatischen und gekühlten Schubladen befestigt. Die Interaktion mit dem Benutzer erfolgt über einen großen Touchscreen auf der Oberseite von JEEVES. Jede Schublade kann mit unterschiedlichen Gegenständen beladen werden und verschiedene Schubladenkonfigurationen sind möglich.

Robotise ist Teil des derzeit laufenden vom BMBF im Rahmen des Programmes „Robotik in der Pflege“ geförderten Forschungsprojekts REsPonSe (forschungsprojektresponse.de). Darin soll erreicht werden, dass zwei bereits vorhandene digitale/robotische Systeme verknüpft und auf die Bedürfnisse einer Klinik angepasst werden. Hierbei steht insbesondere die technische Weiterentwicklung von JEEVES für einen patientenzentrierten Use-Case im Fokus.

Zudem haben wir gerade vor kurzem unseren neuen Desinfektions- bzw. UV-Robot JOOLES gelaunched. Die UV-Lichttechnologie von JOOLES ist für viele Mikroorganismen tödlich. Die Desinfektionszyklen unseres Systems sind schnell. Sie können Oberflächen in einem Patientenzimmer in etwa 10 Minuten und in einem Operationsaal in etwa 20 Minuten desinfiziert werden, letztlich kann eine Keimreduktion bis zu 99,999 % erzielt werden mittels Einsatz hocheffektiver UV-Lampen gegen Bakterien, Hefe, Viren und Schimmel.

7.5.1.4 SIBIS (im Unterauftrag bei IPA)

Das SIBIS Institut für Sozial- und Technikforschung GmbH (SIBIS) unter Leitung von Frau Dr. Sibylle Meyer verfügt über eine langjährige Forschungsexpertise in den sozialwissenschaftlichen FuE-Feldern des Vorhabens, insbesondere in der empirischen Untersuchung der Mensch-Technik-Interaktion, der Assistenzrobotik für ältere Menschen sowie in den entsprechenden ethischen und sozialen Implikationen. Je nach Projektanforderungen wird das gesamte Repertoire der empirischen Sozialforschung eingesetzt (quantitative und qualitative Methoden, ethnographische Verfahren, Beobachtungsstudien, Usability Tests), Schwerpunkte liegen auf Methoden zur Nutzereinbindung und partizipativen Vorgehensweisen in Wissenschaft und Technologieentwicklung sowie in der empirischen Evaluation von Erprobungsprojekten in realen Settings (Häuslichkeit, Pflege, Reha, Therapie). In den Jahren 2000 bis 2010 lag der Schwerpunkt auf der Erforschung technischer Assistenzsysteme in der Häuslichkeit und häuslichen Pflege, seit 2010 auf der Mensch-Roboter-Kommunikation.

Expertise ist vorhanden im Hinblick auf die Integration entsprechender Systeme in Pflege und Reha (Meyer and Fricke 2017b,a, Fricke et al. 2017), die Mensch-Technik-Interaktion, die Erwartungen im Umgang mit interaktiven Technologogien (Meyer 2011, 2016, Meyer and Fricke 2019, Meyer 2018) sowie die Unterstützung älterer Menschen in der Häuslichkeit (Projekt Sympartner: Meyer et al. 2019). Hinzu kommt eine langjährige Expertise in der Evaluation von Erprobungsprojekten in Realsettings (Häuslichkeit, stationärer Versorgung, Klinik, Reha) sowie der methodischen Beratung von BMBF-Konsortialprojekten, die für das hier konzipierte Projekt zur Verfügung gestellt werden.

Frau Dr. Meyer ist Mitglied der Sachverständigenkommission der Bundesregierung „Digitalisierung und Alter“ und verschiedener nationaler und internationaler Beratungsgremien. Schließlich war und ist sie vielfach als nationale und internationale Gutachterin zu den Themen „Technische Assistenzsysteme“, Robotik im Gesundheitswesen“ sowie „Evaluationsmethoden“ tätig.

7.5.1.5 BAuA

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ist eine Ressortforschungseinrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS). Ziel der BAuA ist es, Bedingungen für eine humangerechte Arbeitsgestaltung aufzuzeigen sowie eine frühzeitige Technikfolgenabschätzung bei neuen Technologien und innovativen Arbeitssystemen zu ermöglichen. Die Fachgruppe „Human Factors, Ergonomie“ beschäftigt sich mit der Analyse, Bewertung und Gestaltung von soziotechnischen Arbeitssystemen, insbesondere der Gestaltung von belastungs- und beanspruchungsoptimierter Arbeit hinsichtlich psychischer und physischer Aspekte. In bisherigen Projekten befasste sich die Gruppe mit der Nutzung belastungsoptimierter Arbeitssysteme (ENgAge4Pro) sowie menschengerechter, individualisierter robotischer Arbeitsplatzassistenten (INDIVA). Im Projekt „Team-Mental-Models in Mensch-Roboter-Teams“ wurden Einsatzszenarien sowie die Chancen/Risiken der Zusammenarbeit von Menschen & Robotern erarbeitet. Um die konkrete Ausgestaltung hybrider Mensch-Roboter-Teams im industriellen Einsatz geht es im Projekt Hybr-IT (Rosen et al. 2018). Im Projekt FRAME erfolgte die Gestaltung und Bewertung von Interaktion mit unterstützungsbedürftigen Robotern (Backhaus et al. 2018). Seit 2019 ist die Fachgruppe im EU-Projekt „SOPHIA“ involviert, in dem eine neue Generation kollaborativer Roboter entwickelt wird, durch die eine flexiblere Mensch-Roboter Interaktion möglich gemacht werden soll. Dabei liegt die Hauptaufgabe der Gruppe in der Evaluation der Mensch-Roboter-Interaktionsszenarien im Hinblick auf veränderte Tätigkeitsspielräume und technologiebezogene Merkmale, wie Benutzerfreundlichkeit oder allgemeine Technologieakzeptanz in den verschiedenen Systemiterationsstufen.

7.5.1.6 Fraunhofer IAO

Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO beschäftigt sich mit Fragestellungen rund um den arbeitenden Menschen und unterstützt Organisationen

dabei, die Potenziale innovativer Organisationsformen und zukunftsweisender Technologien zu erkennen und einzusetzen. Der Fokus liegt hierbei auf der systematischen und prozessorientierten Entwicklung und Gestaltung neuer Dienstleistungen und hat die wissenschaftliche Fachdisziplin des Service Engineering mitbegründet.

Ziel des Fraunhofer IAO im Verbundvorhaben AQUIAS (www.aquias.de) war, für die Kooperation zwischen Produktionsmitarbeitern und Robotern Lösungen der Arbeitsteilung zu entwickeln, die Arbeitsqualität und gesunde Arbeitsbedingungen in der digitalen Produktion fördern. Dafür wurden herkömmliche Verfahren für die Geschäftsprozess-Modellierung sowie für die Modellierung komplexer, digital unterstützter Arbeitsprozesse in der Produktion weiterentwickelt. Im Rahmen des Projektes INDiGeR (www.indiger.net) hat das IAO die Basis für eine empirische Untersuchung verschiedener Geschäfts- und Innovationsmodelle in Gesundheitsnetzwerken gelegt und ein kennzahlenbasiertes Leistungsbewertungssystem sowie ein innovatives Planungswerkzeug zur kollaborativen Geschäfts- und Leistungsentwicklung konzipiert. Im oben bereits genannten Projekt SeRoDi wurden vom Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart, das eng mit dem IAO zusammenarbeitet, erste Untersuchungen zu den Auswirkungen des Serviceroboter-Einsatzes auf Arbeitsprozesse im Pflegebereich durchgeführt. Dabei wurde ein qualitativer Ansatz zur Visualisierung von Prozessveränderungen gewählt. Die Erarbeitung der Prozesse orientierte sich weitgehend an der 4-Schritte-Methode, das heißt die Prozesse wurden identifiziert, die Ist-Prozesse erfasst und analysiert, die Soll-Prozesse konzipiert und das Verbesserungspotenzial beschrieben. Mit dem vom Land Baden-Württemberg geförderten Kompetenzzentrum Smart Services (www.smart-service-bw.de) bietet das Fraunhofer IAO in Zusammenarbeit mit anderen Partnern zudem eine zentrale Anlaufstelle zu Smart Services an. Hier können sich kleine und mittlere Unternehmen über neue digitale Technologien im Dienstleistungsbereich informieren, diese hautnah erleben und von einem vielfältigen Unterstützungsangebot profitieren. Außerdem bietet das Kompetenzzentrum eine Vernetzungsplattform für Akteure aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und intermediären Organisationen.

7.5.1.7 Fraunhofer IMW

Das Fraunhofer-Zentrum in Leipzig blickt auf zehn Jahre angewandte, sozio-technologische und sozioökonomische Forschung und Erfahrung zurück. Die am Vorhaben beteiligte Gruppe Preis- und Dienstleistungsmanagement verfügt über umfangreiche Erfahrung bei der Erforschung der Aspekte der Nutzerzentrierung und Marktorientierung innovativer Produkte und Dienstleistungen, insbesondere im Bereich der Gesundheit.

Das vom BMBF geförderte Projekt ATMoSPHäRE (<http://www.imw.fraunhofer.de/de/projekte/Atmosphaere.html>) entwickelt, erprobt und evaluiert in Sachsen die Integration einer medizintechnischen IT-Plattform, um älteren multimorbiden Menschen ein unabhängiges Leben zu ermöglichen. Aufgabe des Fraunhofer IMW ist dabei die Entwicklung eines nachhaltigen und nutzerorientierten Service Designs. Darüber hinaus war die Gruppe Preis- und Dienstleistungsmanagement des Fraunhofer IMW auch an dem BMBF-geförderten Vorhaben KUKoMo, in welchem neue Konzepte zur Umsetzung kollaborativer Mensch-Roboter-Montagesysteme erforscht werden sollen, mit dem Schwerpunkt Wirtschaftlichkeit beteiligt.

Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts ASARob hat das Fraunhofer IMW die Entwicklung eines Lotsenroboters für Kliniken begleitet. Fokus der Arbeit war einerseits die Akzeptanz von robotischen Assistenzsystemen im Gesundheitswesen, die Szenarioentwicklung unter Einbeziehung der Anwender sowie die Untersuchung von Werttreibern und Zahlungsbereitschaften für den Lotsenroboter in Kliniken (www.imw.fraunhofer.de/de/

[forschung/preis-und-dienstleistungsmanagement/projekte/ASARoB.html](http://www.imw.fraunhofer.de/de/forschung/preis-und-dienstleistungsmanagement/projekte/ASARoB.html)). Durch eine im Rahmen des Projekts durchgeführte Onlinebefragung unter 162 Kliniken und Pflegeeinrichtungen bundesweit konnten wertvolle Erkenntnisse u.a. zu ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekten wie auch Mehrwerten, Hemmnissen und Treibern in Bezug auf den Einsatz von Robotern im Gesundheitswesen gewonnen werden. Im oben bereits genannten Projekt MobDi begleitet das Fraunhofer IMW die Entwicklung von Reinigungs- und Transportrobotern für drei unterschiedliche Einsatzgebiete (Gebäude, Kliniken, ÖPNV). Aufgabe des Fraunhofer IMW sind dabei die Szenarienentwicklung unter Einbindung von Anwender, die Entwicklung des UI-Designs sowie die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsanalysen.

7.5.2 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Neben den geförderten Partnern sind als weitere essentielle Akteure im Projekt die Anwender zu nennen, die sich für die Erprobungen der Roboter bewerben können. In vorab geführten Gesprächen wurde der Konzeptidee dabei bereits von diversen Anwendungsvertretern großes Interesse entgegengebracht. Dem Antrag liegen Absichtserklärungen ausgewählter Pflegeeinrichtungen und Kliniken bei, die die Projektidee unterstützen und sich an den Ausschreibungen beteiligen wollen.

Zudem werden neben den geförderten zwei weitere Roboterhersteller als assoziierte Partner im Projekt eingebunden. Beide Firmen beteiligten sich mit eigenem Budget am Projekt, im Gegenzug soll der zu untersuchende Roboter über das Projektbudget beschafft werden.

7.5.2.1 F&P Robotics AG

F&P Robotics ist ein Pionier im Bereich Mensch-Roboter Interaktion mit Hauptsitz in Zürich in der Schweiz. Zudem ist das Unternehmen in Stuttgart und Shanghai vertreten. F&P entwickelt intelligente, persönliche und sichere Roboter. Der mobile Assistenzroboter Lio (www.fp-robotics.com/de/service-robotics) besteht aus einem Roboterarm der neuesten Generation und einer sich autonom bewegenden Plattform, die für die Anwendung in Alten- und Pflegeheimen, Rehabilitationskliniken und häuslichen Umgebungen pflegebedürftiger Menschen entwickelt wurde. Das Ziel liegt in der Unterstützung des Pflegepersonals bei repetitiven Aufgaben und bei der Steigerung der Autonomie und Lebensqualität für pflegebedürftige Menschen. F&P konnte durch Bedürfnisabklärungen, Usability-Studien und erste Einsätze in verschiedenen Altenheimen wichtige Erfahrungen bezüglich des Nutzens und der Akzeptanz gewinnen. Um Kunden die Integration robotischer Assistenz längerfristig zu erleichtern, bietet F&P Schulungen für das Pflegepersonal und den technischen Dienst an und offeriert Support- und Dienstleistungen.

7.5.2.2 PTR Robots

Die Firma PTR Robots (www.ptr-robots.com) entwickelt ein Roboter für den sicheren Patiententransfer (Safe Patient Transfer) und für die Rehabilitation. PTR Roboter werden für den Transfer sowie zur Rehabilitation von Patienten in Krankenhäusern und in Pflegeheimen eingesetzt. Der Roboter unterstützt Patienten beim Transfer von Bett zu Rollstuhl, von Rollstuhl zu Toilette oder Dusche, von der Trage ins Bett, aus der und in die Toilette, und vieles mehr.

7.5.3 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum geplante Umsetzungskette

Jeder Partner bringt in das Projekt und die geplanten Erprobungen seine Erfahrungen entsprechend der oben genannten Vorarbeiten und damit verbundenen Kompetenzfeldern ein. Die nachfolgende Graphik fasst die Aufgaben der einzelnen Partner noch einmal zusammen.



Abbildung 7.2: Zusammenfassung der Aufgaben der einzelnen Partner.

7.5.3.1 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt

Die Partner in KomPArob freuen sich darauf, mit dem Transferprojekt auf allen Ebenen zusammenzuarbeiten. Gerne laden wir die **RimA-Partner zu unserem Projekt-Kickoff** und den **KomPArob-Konsortialtreffen** an, um einen regelmäßigen Austausch als Grundlage für die Zusammenarbeit zu etablieren und gemeinsame Aktivitäten abzustimmen. Hinsichtlich der vorgesehenen Inhalte des Transferprojekts sehen wir nach aktuellem Stand folgende Schnittstellen und Möglichkeiten der Zusammenarbeit:

Der **verbundübergreifende Wissenstransfer** ist für uns spannend, um einen Einblick in die Herausforderungen und Lösungen hinsichtlich des **Robotereinsatzes in anderen**

Anwendungsfeldern zu bekommen. Innerhalb des Konsortiums ist zwar bereits ein Austausch zwischen den beteiligten Herstellern vorgesehen, ggf. ergeben sich aber weitere Aspekte, die insbesondere relevant sein könnten, wenn ein Roboter mittelfristig nicht nur in der Pflege eingesetzt werden soll.

Hinsichtlich der in RimA vorgesehenen **Schulungsthemen** verfügt das KomPArob-Konsortium bereits über langjährige und umfangreiche Kenntnisse in den avisierten Themenbereichen. Dementsprechend bringt sich das KomPArob-Team auch gerne produktiv in die vorgesehenen Schulungen ein. So werden am Fraunhofer IPA bereits seit vielen Jahren **Schulungen zur Robotersicherheit** abgehalten und Risikoanalysen für externe Firmen und Forschungskonsortien abgehalten. Die beteiligten Firmen kennen die Prozesse aus ihrer Produktentwicklung. Spannend im Kontext der Robotersicherheit wäre ein Austausch mit TÜV Süd hinsichtlich der im Projekt ARAIG entwickelten Testumgebung, die in KomPArob genutzt werden soll und möglicherweise auch für andere Konsortien einen Mehrwert bringen könnte. Durch die Koordination des ROS Industrial Konsortium Europe stellt die **Arbeit mit OSS** eine Kernkompetenz des Fraunhofer IPA dar, so dass auch hier umfassende Potentiale für den Austausch bestehen. Das Fraunhofer IMW beschäftigt sich bereits seit einiger Zeit mit innovativen **Geschäftsmodellen** für Assistenz- und Serviceroboter – insbesondere im Gesundheitsbereich. Hier wäre insbesondere der Austausch mit anderen Anwendungsfeldern spannend, um mögliche Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu identifizieren und tragfähige Lösungen zu erarbeiten.

Da die Evaluation unterschiedlicher Assistenzroboter den Fokus von KomPArob darstellt, wird eine intensive Zusammenarbeit im verbundübergreifenden **Wissenstransfer zu Evaluationsmethoden und -instrumenten** angestrebt. Mit insgesamt 6 produktnahen Lösungen für die pflegeunterstützende Assistenzrobotik verfügt das KomPArob-Konsortium darüber hinaus über ein Alleinstellungsmerkmal mit Bezug auf die Vielzahl an Lösungen. Die geplanten **Wettbewerbe** können für die einzelnen Roboter als letzter Funktionstest genutzt werden, bevor sie in den beiden Erprobungsphasen in die verschiedenen Einrichtungen gebracht werden (und nachdem die Sicherheitsprüfung und ein Benchmarking der Basisfunktionen im Testlabor des Fraunhofer IPA durchgeführt wurde). Hier ist eine sehr präzise Abstimmung der Wettbewerbsinhalte (sollte sich an den geplanten Erprobungen orientieren, so dass

keine Mehrarbeit entsteht, trotzdem aber einen Mehrwert zu den Tests in den Laboren des IPA liefern) und den vorgesehenen Erprobungszeiträumen erforderlich, um den herausfordernden Zeitplan in KomPArob nicht zu gefährden.

Ein wichtiger Teil der Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum ist es, **Projekt-ergebnisse der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich zu machen**. Hierfür werden Ergebnisse aus der Arbeit des KomPArob-Teams gebündelt und Rima zum Aufbau der Wissensplattform zur Verfügung gestellt. Des Weiteren können gemeinsam Events, Veröffentlichungen oder gemeinsam betreute Pressebesuche durchgeführt werden. Neben der Veröffentlichung der Projektergebnisse kann das Transferprojekt auch die in KomPArob geplanten Ausschreibungen und **Ansprache interessierter Einrichtungen unterstützen**, welche sich dann auf die Erprobung der Roboter bewerben können. Im Hinblick auf die Verstetigung des Kompetenzzentrums auch über die Projektlaufzeit hinaus ist auch der Aufbau von Kontakten **weiterer Roboterhersteller** interessant, welche in das Anwendungsfeld Pflege einsteigen und dafür auf die Unterstützung des Zentrums zurückgreifen wollen.

Das übergeordnete Ziel des Förderprogramms und somit sowohl des Begleitprojekts als auch der drei Kompetenzzentren ist die Weiterentwicklung und Diffusion robotischer Lösungen “Made in Germany”. Dies erfordert den Aufbau eines innovativen, domänenübergreifenden und nachhaltigen Robotik-ökosystems, das schwerlich durch ein einzelnes Kompetenzzentrum, sondern erst durch eine Bündelung der Kräfte realistisch erreicht werden kann. Das KomPArob-Team beabsichtigt daher direkt von Anfang an die **individuelle wie auch kooperative Verstetigung** im Kreis der ausgewählten Kompetenzzentren und unter Moderation des Begleitprojekts voranzutreiben.

Literaturverzeichnis

- Nils Backhaus, Patricia H Rosen, Andrea Scheidig, Horst-Michael Gross, and Sascha Wischniewski. SSomebody Help Me, Please?! Interaction Design Framework for Needy Mobile Service Robots. In *2018 IEEE workshop on advanced robotics and its social impacts (ARSO)*, pages 54–61. IEEE, 2018.
- Simon Baumgarten, Theo Jacobs, and Birgit Graf. The robotic service assistant-relieving the nursing staff of workload. In *ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics*, pages 1–4. VDE, 2018.
- R Berger. Informations- und Kommunikationstechnologien für die Pflege. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, 2017.
- Joydeep Biswas and Manuela Veloso. The 1,000-km challenge: Insights and quantitative and qualitative results. *IEEE Intelligent Systems*, 31(3):86–96, 2016.
- Simon Bogh, Casper Schou, Thomas Rühr, Yevgen Kogan, Andreas Dömel, Manuel Brucker, Christof Eberst, Riccardo Tornese, Christoph Sprunk, Gian Diego Tipaldi, et al. Integration and assessment of multiple mobile manipulators in a real-world industrial production facility. In *ISR/Robotik 2014; 41st International Symposium on Robotics*, pages 1–8. VDE, 2014.
- Elizabeth Broadbent. Interactions with robots: The truths we reveal about ourselves. *Annual review of psychology*, 68:627–652, 2017.
- A Destatis. Pflege im Rahmen der Pflegeversicherung. Pflegestatistik 2019, https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Pflege/Publicationen/Downloads-Pflege/pflege-deutschlandergebnisse-5224001199004.pdf?__blob=publicationFile, 2020. 26.07.2021.
- Gregorio Di Franco, Andrea Peri, Valentina Lorenzoni, Matteo Palmeri, Niccolò Furbetta, Simone Guadagni, Desirée Gianardi, Matteo Bianchini, Luca Emanuele Pollina, Franca Melfi, et al. Minimally invasive distal pancreatectomy: a case-matched cost-analysis between robot-assisted surgery and direct manual laparoscopy. *Surgical Endoscopy*, 36(1):651–662, 2022.

- C Fricke, Sibylle Meyer, and G Wagner. Robots for the elderly? results from the berlin aging study ii with persons older than 60 years. *Innovation in Aging*, 1(Suppl 1): 1192, 2017.
- Timo Füermann. 10 Prozeßmanagement und Reengineering. *Rentabel durch Total Quality Management*, page 211, 2013.
- Manfred Godek. Smartes Säubern: So weit sind Reinigungsroboter schon heute. Moderne Industrie GmbH <https://www.instandhaltung.de/praxisanwendung/smartere-saeubern-so-weit-sind-reinigungsroboter-schon-heute-130.html>, 2020. 21.07.2021.
- Birgit Graf. Assistenzroboter für die Pflege. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 53(7):608–614, 2020.
- Birgit Graf, Ralf Simon King, Andrea Rößner, Christian Schiller, Walter Ganz, Dominic Bläsing, Johannes Fischbach, Nora Warner, and Manfred Bornewasser. Entwicklung eines intelligenten Pflegewagens zur Unterstützung des Personals stationärer Pflegeeinrichtungen. In *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen IV*, pages 25–49. Springer, 2018.
- Florenz Graf, Çağatay Odabaşı, Theo Jacobs, Birgit Graf, and Thomas Födisch. Mobikalow-cost mobile robot for human-robot interaction. In *2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 1–6. IEEE, 2019.
- Horst-Michael Gross, Andrea Scheidig, Klaus Debes, Erik Einhorn, Markus Eisenbach, Steffen Mueller, Thomas Schmiedel, Thanh Q Trinh, Christoph Weinrich, Tim Wengefeld, et al. Koreas: robot coach for walking and orientation training in clinical post-stroke rehabilitation—prototype implementation and evaluation in field trials. *Autonomous Robots*, 41(3):679–698, 2017.
- Jae-Hyun Han, Dong-Jun Yeom, Jun-Sang Kim, and Young Suk Kim. Life cycle cost analysis of the steel pipe pile head cutting robot. *Sustainability*, 12(10):3975, 2020.
- Paul Harmon and Celia Wolf. The state of business process management. *BP Trends*, 2016.

- Rongbo Hu, Kepa Iturralde, Thomas Linner, Charlie Zhao, Wen Pan, Alessandro Pracucci, and Thomas Bock. A simple framework for the cost–benefit analysis of single-task construction robots based on a case study of a cable-driven facade installation robot. *Buildings*, 11(1):8, 2021.
- Kosta Jovanovic, Andrea Schwier, Eloise Matheson, Michele Xiloyannis, Esther Rozeboom, Nadine Hochhausen, Brecht Vermeulen, Birgit Graf, Peter Wolf, Zbigniew Nawrat, et al. Digital innovation hubs in health-care robotics fighting covid-19: novel support for patients and health-care workers across europe. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 28(1):40–47, 2021.
- Jeffrey Jutai and Hy Day. Psychosocial impact of assistive devices scale (piads). *Technology and Disability*, 14(3):107–111, 2002.
- Barbara Klein. Einsatz sozialer roboter in der pflege–roboter als freund und begleiter? *Pflege und digitale Technik*, page 84, 2019.
- Malene Korsholm, Jan Sørensen, Ole Mogensen, Chunsen Wu, Kamilla Karlsen, and Pernille T Jensen. A systematic review about costing methodology in robotic surgery: evidence for low quality in most of the studies. *Health economics review*, 8(1):1–9, 2018.
- Gerhard Linß et al. *Qualitätsmanagement für Ingenieure*. Hanser München, 2011.
- Sibylle Meyer. *Mein Freund der Roboter: Servicerobotik für ältere Menschen; eine Antwort auf den demografischen Wandel?* VDE-Verlag Berlin und Offenbach, 2011.
- Sibylle Meyer. Technische Unterstützung im Alter–was ist möglich, was ist sinnvoll? Expertise zum Siebten Altenbericht der Bundesregierung. 2016.
- Sibylle Meyer. Technische Assistenzsysteme zu Hause–warum nicht? Vergleichende Evaluation von 14 aktuellen Forschungs-und Anwendungsprojekten. In *Alter und Technik*, pages 147–176. Springer, 2018.
- Sibylle Meyer and C Fricke. Robot companions for stroke therapy–the acceptance of assistive robotics among 80 patients. *Innovation in Aging*, 1(Suppl 1):1192–1193, 2017a.

- Sibylle Meyer and C Fricke. „Guten Morgen, Lotti“. Autonome Roboter für eine emotionssensitive Unterstützung älterer Menschen – Segen oder Fluch? Das Beispiel „SYMPARTNER“. Neue Technologien für die Pflege. Grundlegende Reflexionen und pragmatische Befunde. V&R unipress, 2019.
- Sibylle Meyer and Ch Fricke. Robotic companions in stroke therapy: A user study on the efficacy of assistive robotics among 30 patients in neurological rehabilitation. In *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 135–142. IEEE, 2017b.
- Sibylle Meyer, C Fricke, S Spittel, and C Steinmann. Partizipatives Design in der Roboterentwicklung. 120 Senior*innen beteiligen sich an der Gestaltung und 20 Senior*innen an der Erprobung eines Assistenzroboters für die Häuslichkeit. TUP – Theorie und Praxis der Sozialen Arbeit, 2, 143-151., 2019.
- Linda Onnasch, Thomas Jürgensohn, Peter Remmers, and Christoph Asmuth. *Ethische und soziologische Aspekte der Mensch-Roboter-Interaktion*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2019.
- Jürgen Pripfl, Tobias Körtner, Daliah Batko-Klein, Denise Hebesberger, Markus Weninger, Christoph Gisinger, Susanne Frennert, Hakan Efrting, Margarita Antona, Iliia Adami, et al. Results of a real world trial with a mobile social service robot for older adults. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 497–498. IEEE, 2016.
- Marija Radic, Agnes Vosen, and Birgit Graf. Use of robotics in the german healthcare sector. In *International Conference on Social Robotics*, pages 434–442. Springer, 2019.
- Karen Renaud and Judy Van Biljon. Predicting technology acceptance and adoption by the elderly: a qualitative study. In *Proceedings of the 2008 annual research conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists on IT research in developing countries: riding the wave of technology*, pages 210–219, 2008.
- Andreas J Reuschl. Prozessorganisation-Kritische Würdigung von Business Reen-

- gineering und Geschäftsprozessoptimierung für den Einsatz in Krankenhäusern. 2011.
- Patricia H Rosen, Sarah Sommer, and Sascha Wischniowski. Evaluation of human-robot interaction quality: A toolkit for workplace design. In *Congress of the International Ergonomics Association*, pages 1649–1662. Springer, 2018.
- Hermann J Schmelzer and Wolfgang Sesselmann. *Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen – Produktivität steigern – Wert erhöhen*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2020.
- Karl Werner Wagner and Roman Käfer. *PQM-Prozessorientiertes Qualitätsmanagement: Leitfaden zur Umsetzung der ISO 9001*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017.
- Dong-Jun Yeom, Eun-Ji Na, Mi-Young Lee, Yoo-Jun Kim, Young Suk Kim, and Chung-Suk Cho. Performance evaluation and life cycle cost analysis model of a gondola-type exterior wall painting robot. *Sustainability*, 9(10):1809, 2017.
- Xuyang Zhao, Cisheng Wu, and Duanyong Liu. Comparative analysis of the life-cycle cost of robot substitution: A case of automobile welding production in china. *Symmetry*, 13(2):226, 2021.
- Hou Zhi and Shi Nai-Yong. Cost-benefit analysis on remote maintenance for industrial robot. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1676, page 012210. IOP Publishing, 2020.
- Athanasia Zlatintsi, AC Dometios, Nikolaos Kardaris, Isidoros Rodomagoulakis, Petros Koutras, X Papageorgiou, Petros Maragos, Costas S Tzafestas, Panagiotis Vartholomeos, Klaus Hauer, et al. I-support: A robotic platform of an assistive bathing robot for the elderly population. *Robotics and Autonomous Systems*, 126: 103451, 2020.

Kompetenzzentrum für Roboter als Assistenz für Menschen mit Einschränkungen (OPERATE)

Förderkennzeichen 16SV8607

Kris Dalm¹, Rohan Sahuji¹, Florian Frank¹ und Lars Ruhbach²



¹IWT Wirtschaft
und Technik GmbH
Fallenbrunnen 14
88045 Friedrichshafen

²Duale Hochschule
Baden-Württemberg Ravensburg
Fallenbrunnen 2
88045 Friedrichshafen

8.1 Ziele des Kompetenzzentrums

8.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Der Einsatz von Robotern ist in Zeiten des Fachkräftemangels sowie der steigenden Konkurrenz aus asiatischen Ländern für die deutsche Wirtschaft essenziell, um auf dem Markt weiterhin zu bestehen. Dabei ist ein Roboter laut ISO (2012) ein programmierbarer Manipulator, der mindestens drei Freiheitsgrade besitzt und für industrielle

Applikationen verwendet werden kann. Geht es um Roboter als direkte Assistenz für den Menschen, spricht man von kollaborativen Robotern (Cobots). Sie haben die Fähigkeit, mit dem Menschen zur gleichen Zeit am gleichen Werkstück arbeiten zu können. Um dies zu erreichen, müssen diverse Sicherheitskriterien eingehalten werden, wobei es verschiedene Stufen von MRK (Mensch-Roboter-Kollaboration) gibt: Sicherheitsbewerteter überwachter Halt, Handführung, Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sowie Leistungs- und Kraftbegrenzung ISO (2017). Setzt man sich intensiver mit kollaborativen Roboteranwendungen auseinander, so werden folgende Vorteile deutlich: Gerade bei Anwendungen mit riskanten Tätigkeiten (z. B. Klingenmontage), bei gesundheitsschädlichen Aufgaben (z. B. Säuren abfüllen), als Entlastung (z. B. wiederkehrende Bewegungen) oder bei monotonen Aufgaben ist der Einsatz sinnvoll. (Kring 2018)

Der **Anwendungsschwerpunkt** bei OPERATE ist der Einsatz von interaktiver Assistenzrobotik zur Unterstützung von Menschen mit Behinderung (MmB) im Arbeitsalltag. Der **gesamtgesellschaftliche Nutzen** sowie die **gesellschaftliche Relevanz** des Projekts bewegen sich im Bereich der Inklusion und der Teilhabe, denn gerade MmB benötigen oft hohen Unterstützungsbedarf im Arbeitsleben, z. B. bei der Handhabung von Teilen. In Deutschland lebten 2019 in etwa 7,9 Mio. schwerbehinderte Menschen, dies entspricht 9,5 % der deutschen Bevölkerung. Dabei hatten 58 % eine körperliche und 13 % eine geistige oder seelische Behinderung, die verbleibenden Prozent sind nicht näher spezifiziert (Bundesamt 2020). Darüber hinaus sind körperliche Behinderungen oft mit geistigen kombiniert, wodurch die Bewegungs- und Koordinationsfähigkeit noch stärker eingeschränkt wird und dadurch die Durchführung bestimmter Aufgaben meist kaum mehr möglich ist.

Daher sind Menschen, die im (Arbeits-) Alltag (intensive) Hilfe benötigen, meist in Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) beschäftigt, der **Anwendungsdomäne** von OPERATE. In den 736 deutschen WfbM waren 2018 ca. 316.000 Werkstattbeschäftigte tätig (Bundesarbeitsgemeinschaft Werkstätten für behinderte Menschen BAG WfbM(2021)). Laut § 136 SGB IX haben WfbM sowohl fördernde als auch wirtschaftliche Aufgaben. Das Projekt soll bei beiden Ansätzen helfen: Förderung und Unterstützung der WfbM-Beschäftigten durch den Einsatz interaktiver Assistenzrobotik sowie der daraus resultierende wirtschaftliche Benefit durch Effizienzsteigerung

und durch Vermeidung bzw. Reduzierung von Ausgleichsabgaben (Kapitel 8.4.1). In OPERATE sollen daher Methoden, Metriken, Verfahren und Ansätze der interaktiven Assistenzrobotik entwickelt werden, um MmB in Umfeld der WfbM zu unterstützen.

Beim Einsatz der interaktiven Assistenzrobotik für MmB in WfbM stehen drei Hauptkriterien im Fokus: die technisch-technologische Seite, die interaktiven Ansätze sowie ELSI-Betrachtungen (ethische, rechtliche und soziale Implikationen).

8.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

Die Produkte, die eine WfbM fertigt, werden durch die steigende Komplexität und den hohen Digitalisierungsanteil immer aufwendiger. Aufträge müssen auch abgelehnt werden, da zum Teil einzelne Prozessschritte für die Beschäftigten mit Behinderung nicht durchführbar sind. Dadurch können die Werkstätten ihrer Aufgabe als wirtschaftlich verwertbare Produktion immer schwerer nachkommen, denn sie müssen mind. 70 % der wirtschaftlichen Betätigung als Arbeitsentgelt an die Beschäftigten auszahlen. Laut Deutscher Bundestag 2019 betrug das durchschnittliche monatliche Arbeitsentgelt im Jahr 2017 für Beschäftigte in WfbM 213,69 €. Hierbei soll OPERATE durch innovative Ansätze in der interaktiven Assistenzrobotik MmB entlasten, um komplexe Aufgaben, die aufgrund der steigenden Fertigungskomplexität und Digitalisierung entstehen, dennoch selbstständig bearbeiten zu können und daher wirtschaftlich erfolgreicher zu sein.

Aktuelle **Beispiele** von steigender Fertigungskomplexität wurden zusammen mit den WfbM erarbeitet, wobei es sich um reale Applikationen bzw. Produkte handelt, die derzeit in WfbM gefertigt werden. Von den Mitarbeitenden sind sie nur schwierig zu bearbeiten, oft muss deshalb das betreuende Personal die komplexen Schritte übernehmen und Betreuungsaufgaben müssen warten.

Das erste Beispiel (siehe Abbildung 8.1) ist die Fertigung eines „Gemüsehobels“ bei den Lindenberger Werkstätten. Der Fertigungsprozess besteht aus mehreren Schritten, wobei zwei davon das Auftragen von Kleber und das Einsetzen der Schneideklinge sind. Beim Auftragen des Klebers besteht derzeit die Herausforderung der Reproduzierbarkeit und das zielgerichtete Auftragen des Klebers, woraus ein nicht

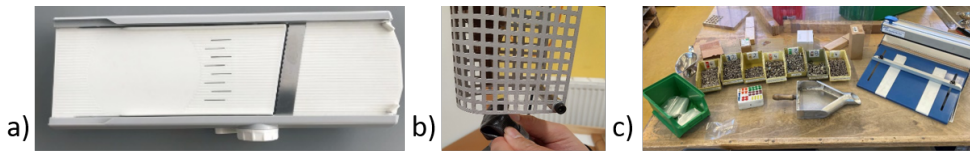


Abbildung 8.1: Applikationen/Use Cases der assoziierten WfbM. *a)* Gemüsehobel. *b)* Outdoortasche. *c)* Schraubenbeutel.

unerheblicher Qualitätsverlust resultiert. Außerdem wird der Kleber beim Auftragen teilweise eingeatmet, was gesundheitliche Folgen haben kann. Beim Einsetzen der Klinge besteht momentan starke Verletzungsgefahr für den Montierenden, da sie mit der Hand aufgenommen und eingesetzt wird. Hier soll der Cobot beim Kleben und Einsetzen der Klinge unterstützen, was eine Qualitätssteigerung und eine erhebliche Gefahrenreduktion für den Menschen mit sich bringt.

Beim zweiten Beispielszenario aus 8.1 handelt es sich um die Fertigung einer „Outdoortasche“ bei der Stiftung Liebenau. Der kritische Prozessschritt ist hier das finale Entfernen von Fäden durch Schneiden und Verödung. Daneben gibt es auch Qualitätsaspekte, denn die Fäden an den Laschen der Tasche müssen vollständig entfernt sein. Darüber hinaus können durch die Verödung der Fäden mit einem mehrere hundert Grad heißen Heißluftgebläse starke Verbrennungen entstehen.

Schließlich handelt es sich beim dritten Beispiel aus 8.1 um das Verpacken von Schrauben in einen Kunststoffbeutel (Use Case „Schraubenbeutel“). Dabei ist der gesamte Prozess kritisch bezüglich der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), denn das Handling ist sehr komplex und kann daher momentan nur von Mitarbeitern mit einer geringen Einstufung von Behinderung bearbeitet werden (z.B. nicht von Menschen mit starken Spastiken oder Menschen mit einem Arm). Die Schritte sind Öffnen des Beutels, Einfüllen von Schrauben, wiegen (ggf. Füllung anpassen) und abschließend verschweißen.

Alle drei Anwendungsbeispiele sollen im Kompetenzzentrum OPERATE analysiert, erforscht, entwickelt und mithilfe von interaktiven Assistenzrobotern und -Systemen umgesetzt werden. Die Use Cases dienen dazu, die in OPERATE entwickelten Systeme in der Anwendungsdomäne erproben und evaluieren zu können. Die Lösungswege und -Strategien sollen dann in modularen und greifbaren Ansätzen beschrieben, wissenschaftlich veröffentlicht und abschließend durch geeignete Geschäftsmodelle nicht nur auf andere WfbM, sondern auch auf Unternehmen andere Bereiche (z. B. Pflege) adaptiert werden (siehe Kapitel 8.4). Die Unterstützung des Menschen soll mithilfe der Use Cases in den Kategorien Sicherheit für den Menschen, Interaktion, Komplexität und Reproduzierbarkeit erfolgen.

In der Anwendungsdomäne ist die interaktive Assistenzrobotik als Unterstützung für MmB kaum präsent (siehe Kapitel 8.2.1). Die **Vision von OPERATE** ist daher, dass MmB in WfbM durch interaktive Assistenzrobotik uneingeschränkter und effizienter am Arbeitsleben teilhaben können sowie mittel- und langfristig am regulären Arbeitsmarkt teilhaben können. Weiterhin soll das Kompetenzzentrum jeder WfbM und später auch jedem Unternehmen, welche/s MmB durch interaktiver Assistenzrobotik unterstützen möchte, bei der Konzipierung und Einführung solcher Systeme unterstützen (siehe Kapitel 8.4).

Durch die Teilnahme mehrerer wissenschaftlicher Partner beim Aufbau von OPERATE gibt es bei OPERATE einige **Forschungsfragen**. Übergeordnet kann man diese in folgende Felder einordnen:

8 OPERATE

Kategorie	Forschungsfrage / Forschungsbedarf
Technik/Technologie	Kann eine Standardmethode entwickelt werden, um kritische manuelle Arbeitsschritte (z. B. gefährliche oder komplexe) in eine MRK-Applikation unter Berücksichtigung der Behinderung, aller Sicherheitsaspekte und der Akzeptanz, zu überführen?
Technik/Technologie	Kann die Wartung und Modifizierung eines vorhandenen interaktiven Assistenzroboterprogramms von Menschen vorgenommen werden, die keine Kenntnisse in der Programmierung von Robotersystemen haben?
Technik/Technologie	Kann eine interaktive Assistenzrobotik-Anwendung im digitalen Zwilling abgebildet, Prozesse dadurch simuliert und dabei auch die Art Behinderung berücksichtigt werden?
Interaktion	Können Ansätze der künstlichen Intelligenz (z. B. Deep Learning) dazu beitragen, die Interaktion von Assistenzrobotern und -Systemen (inkl. 2D/3D-Kameras) mit dem Menschen unter Berücksichtigung der Behinderung effizient und nutzerzentriert zu gestalten?
Interaktion	Welche Interaktionsmethoden (z. B. Gestensteuerung, Augmented Reality, Touch-Eingabe, etc.) sind für welche Art von Behinderung am geeignetsten und welche werden akzeptiert?
Interaktion	Kann ein Kamera-basiertes Assistenzsystem dazu beitragen, den Arbeitsplatz von MmB zu optimieren und ihre Bewegungen bei der Arbeit zu interpretieren?
ELSI	Welche Arten von Behinderungen können durch den Einsatz interaktiver Assistenzroboter kompensiert werden und wie ist deren Akzeptanz?
ELSI	Ab wann unterstützt ein interaktives Robotersystem den Menschen noch und wann ersetzt er ihn, wo liegt die Schwelle für die Akzeptanz?
ELSI	Welche Einschränkungen (sensorische, körperliche, geistige sowie Umweltfaktoren) sind für Arbeitsplätze in den WfbM relevant?

Tabelle 8.1: Forschungsfragen und Forschungsbedarf.

OPERATE bezieht sich stark auf die **Bekanntmachung RA3 des BMBF**. Die Planung wird in dieser Machbarkeitsstudie durchgeführt, der Aufbau und der Betrieb des Kompetenzzentrums sind darin beschrieben. Die interaktive Assistenzrobotik (sichere Cobot-Systeme auf barrierefreien Zellen) wird in praxisnahen, nichtindustriellen Anwendungsszenarien (WfbM) erprobt (Anwendungen „Gemüsehobel“, „Outdoortasche“ und „Schraubenbeutel“) und implementierte Interaktionsstrategien (z. B. Kamera-basierte Assistenzsysteme zur Bewegungsaufnahme und Arbeitsplatzobservierung, Gestensteuerung, etc.) auf ihre Wirkmechanismen untersucht, aufgegriffen, intelligent kombiniert und weiterentwickelt.

8.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

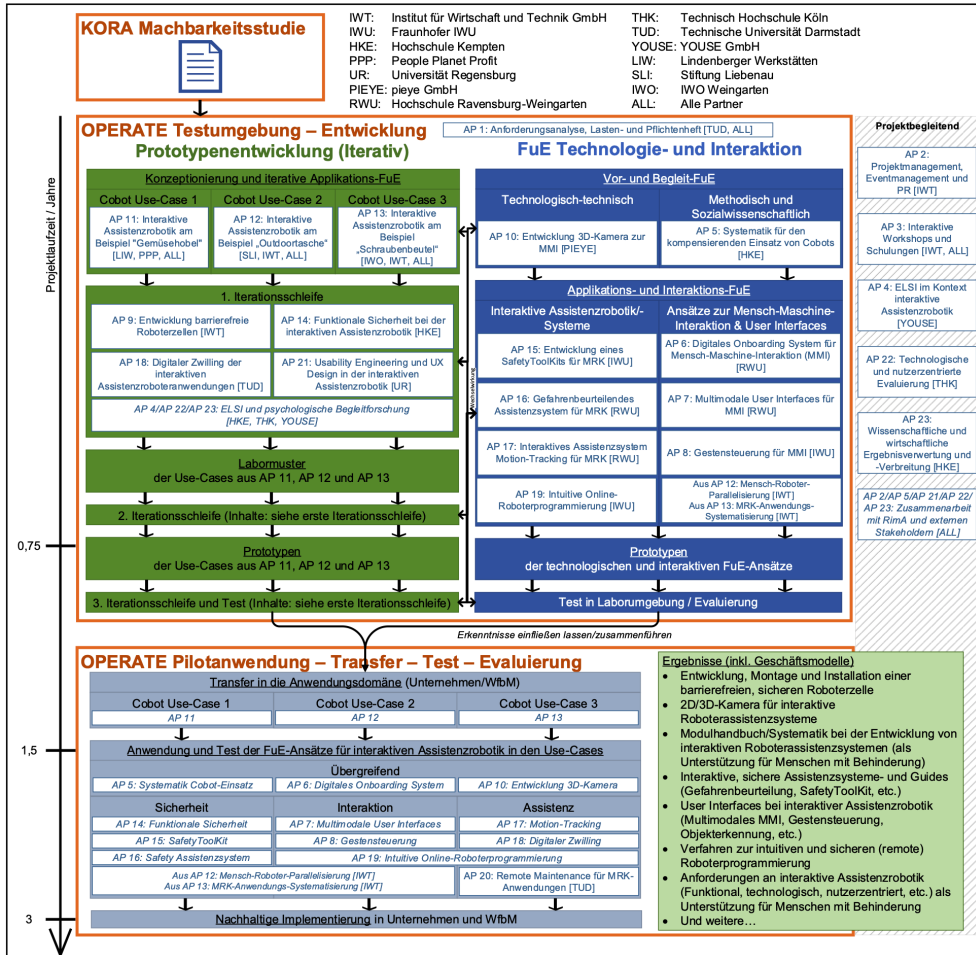


Abbildung 8.2: Konzept des Kompetenzzentrums OPERATE.

In 8.2 ist der **wissenschaftliche Ansatz des Kompetenzzentrums** abgebildet. Dieser lässt sich grundsätzlich in zwei Bereiche aufteilen: die **OPERATE Testumgebung** (Laborebene, die einzelnen Einrichtungen der Projektpartner) sowie **OPERATE Pilotanwendungen** (Anwendungsdomäne, WfBM).

In der **OPERATE Testumgebung** sollen die interaktiven Assistenzroboter- und Systeme zunächst prototypisch erforscht und entwickelt werden. Dabei ist eine iterative

FuE-Linie geplant, in der die FuE-Ansätze behandelt werden, die direkt mit den drei Use Cases („Gemüsehobel“, „Outdoortasche“ und „Schraubenbeutel“) in Verbindung stehen. Dazu gehören die Entwicklung einer sicheren barrierefreien Roboterzelle, die Betrachtung der funktionalen Sicherheit bei MRK, die Erstellung eines Digitalen Zwilling, ELSI-Ansätze, psychologische Begleitforschung und Usability Engineering/UX Design in der interaktiven Assistenzrobotik. Es sollen dabei aus den Konzepten der Use Cases nach 0,75 Jahren Labormuster entstehen und zur Hälfte der Projektlaufzeit sollen die entwickelten Roboterassistenzsysteme als Prototypen für den Einsatz in der Anwendungsdomäne zur Verfügung stehen. Parallel dazu sollen weitere Interaktions-FuE-Ansätze erforscht und entwickelt werden. Auf technologisch-technischer Seite soll dazu ein geeignetes 2D/3D-Kamerasystem sowie eine Systematik für den kompensierenden Einsatz von Cobots entwickelt werden. Dann werden verschiedene Applikations- und Interaktions-FuE-Ansätze betrachtet. Einerseits handelt es sich um interaktive Assistenzrobotik/-Systeme (SafetyToolKit, gefahrenbeurteilendes Assistenzsystem, Motion-Tracking, Online-Programmierung), andererseits um Ansätze zur Mensch-Maschine-Interaktion (Onboarding-System, User Interfaces, Gestensteuerung, weitere Systematiken), welche bis zum Prototypenstatus hin erforscht, entwickelt und auf Laborebene (unter anderem auch mit Benchmarks) getestet und evaluiert werden.

Die in der OPERATE Testumgebung entstandenen Prototypen werden zur Hälfte der Projektlaufzeit in die Anwendungsdomäne überführt. Dazu sollen die Robotersysteme in die WfbM transferiert und integriert werden, sodass die entwickelten Prototypen in den Use Cases erprobt und evaluiert werden können. Die Evaluierung geht über einen längeren Zeitraum, wobei die Mensch-Roboter-Interaktion durch Akzeptanz- und Usability-Untersuchungen im Vordergrund steht.

Parallel zum beschriebenen FuE-Vorgehen wird das Projekt professionell gemanagt, die Ergebnisse in Form von Veranstaltungen und Öffentlichkeitsarbeit publiziert und die Gesellschaft durch Workshops eingebunden werden. Fortlaufende ELSI-Betrachtungen finden (zusammen mit dem Ethikkomitee des assoziierten Partners Stiftung Liebenau) statt und Konzepte zur Ergebnisverwertung und -Verbreitung sowie geeignete Geschäftsmodelle werden erarbeitet. Die Technologische und nutzerzentrierte Evaluierung sowie die Veröffentlichung für die Fachwelt runden die begleitende Forschung und Entwicklung ab. Am Ende der Projektlaufzeit sollen die erforschten

und entwickelten Modelle, Verfahren und Applikationen in den WfbM nachhaltig implementiert sein und die Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse in Form von Geschäftsmodellen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen stattfinden.

Das **wissenschaftlich-technische Ziel des Kompetenzzentrums** ist die systematische Erarbeitung eines Leitfadens „Begleitete Einführung von interaktiver Assistenzrobotik (in WfbM)“, bestehend aus einem Paket von Produkten, Methoden, Prozessen und Applikationen. Ein Teil des Pakets ist die Forschung an der direkten Interaktion der MmB mit dem Assistenzrobotersystem über ein Onboarding System, mit dem die an der geeignetsten Form der Interaktion herausgefunden werden soll (z. B. AR oder Touch). Über ein multimodales UI soll dann die Interaktion stattfinden. Ein weiterer Aspekt wird das in OPERATE zu entwickelnde dreistufige Sicherheitskonzept sein, welches in Abbildung 8.3 zu sehen ist.



Abbildung 8.3: Dreistufiges Sicherheitskonzept.

Die Grundstufe besteht aus der Steuerungstechnik- und hardwarebasierten (durch eine sichere Steuerung und einen Sicherheits-Laserscanner) sowie der Funktionalen Sicherheit in MRK. Die mittlere Ebene (Kollaborative Sicherheit) beschäftigt sich mit der Sicherheit beim kollaborativen Arbeiten. Hier soll unter anderem ein SafetyToolKit zur Auslegung von MRK-Arbeitsplätzen entwickelt werden. Die oberste Ebene, die kognitive Sicherheit, bildet ein gefahrenbeurteilendes Assistenzsystem, welches dem Mitarbeitenden potenziellen Gefahren im Prozess aufzeigt (z. B. Warnung im UI).

8.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

8.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Im folgenden Abschnitt wird der **internationale Stand der Wissenschaft und Technik** der Technologien und weiteren wissenschaftliche Ansätze (Service- und Assistenzrobotik, kollaborative Robotik inkl. Sicherheitstechnik, KI in der Sicherheitstechnik, Pfadplanung und Kollisionsvermeidung bei MRK-Systemen, 3D-Kameratechnik, Bewegungsdetektion und Gestenerkennung, Sozialwissenschaftliche Forschung MRK und ELSI) dargestellt, die in OPERATE angewendet werden. Die Grenzen der aktuell eingesetzten Technologien für die Anwendungsdomäne werden dabei spezifisch aufgezeigt. Anschließend werden aktuell verfügbaren domänenspezifischen robotischen Systeme verglichen und hinsichtlich Funktionsumfang, Performanz und Amortisierung bewertet.

Service- und Assistenzrobotik

Im Bereich der Servicerobotik ist laut Statista 2019 ein stetiges Wachstum zu erwarten. War der Umsatz mit Servicerobotern weltweit im Jahre 2018 noch bei einem Betrag von 35 Mrd. US-Dollar, so wird er für 2025 mit einem Wert von 230 Mrd. US-Dollar prognostiziert. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichem Wachstum von ca. 20 %. Vor allem in der klassischen Pflege wird im Bereich Servicerobotik bereits seit Langem geforscht und einige Systeme werden auch schon im Alltag eingesetzt. Eine Übersicht über bereits verfügbare Produkte zeigt Graf 2020. Auch bei der RWU (Konsortialpartner) wurde bereits in der Assistenzrobotik geforscht, vor allem mit dem Assistenzroboter Marvin (Weber-Fiori et al. 2017). Die Service- und Assistenzrobotik bewegt sich laut verfügbarer Literatur maßgeblich im Bereich Geriatrie und Pflege und weniger in der Anwendungsdomäne der WfbM.

Kollaborative Robotik inkl. Sicherheitstechnik

Eine entscheidende Technologie in der Service- und Assistenzrobotik ist die kollaborative Robotik, denn ohne sie ist eine Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen nicht möglich. Der kollaborative Robotermarkt entwickelt sich deshalb parallel zum Servicerobotermarkt ebenfalls rasant, während 2020 der weltweite Umsatz mit Cobots noch bei ca. 500 Mio. € liegt, soll er im Jahre 2030 bereits bei 8 Mrd. € sein Janson 2021. Roboter werden bereits seit ca. 40 Jahren in der Industrie eingesetzt, bislang hauptsächlich bei hohen Automatisierungsgraden und hoher Stückzahl. Bei manuellen Tätigkeiten, z. B. bei der manuellen Montage, ist der Einsatz von Robotertechnik eher gering (ca. 20 %). Unter anderem war die Ursache dafür, dass eine Mensch-Roboter-Kollaboration technologisch lange nicht möglich war. (? Gemäß DIN ISO (2017) gibt es vier verschiedene Stufen von MRK: Sicherheitsbewerteter überwachter Halt, Handführung, Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sowie Leistungs- und Kraftbegrenzung. Von einem kollaborativen Roboter spricht man in der Regel dann, wenn er hinsichtlich Leistungs- und Kraftbegrenzung zertifiziert ist. Laut Steil and Maier (2020) war diese Funktion 2016 gegeben. In Kombination mit einer Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (z. B. durch einen Sicherheits-Laserscanner) entstehen sichere kollaborative Systeme, die keine Schutz-Einhausung benötigen. Im Kollaborationsbereich wird bei der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung nach ISO (2017) über Sensortechnik der Abstand zwischen Menschen und Maschine überwacht, infolgedessen wird die Geschwindigkeit des Roboters bei Annäherung vermindert. Beim Unterschreiten des Mindestabstands wird der Roboter gestoppt (Huelke et al. 2010). Im Bereich der Laser-Sicherheitsscanner ist der Stand der Technik ein Performance-Level (PL) der Klasse d nach EN ISO 2016, sowie eine Zulassung nach dem Standard für Funktionale Sicherheit SIL2 oder SIL3. Der PL ist dabei eine Sicherheitsnorm, welche die Fähigkeit sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen beschreibt, unter vorhersehbaren Bedingungen eine Sicherheitsfunktion auszuführen. Es gibt fünf Stufen von PL, um jeweilige Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. PL Klasse d ist Stufe vier und bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde (PFHd) $1/h, \geq 10^{-7}$ und $< 10^{-6}$ beträgt EN ISO (2016). Der Safety Integrity Level (Sicherheitsintegritätslevel) wird verwendet, um das vorhandene Risiko einer Einrichtung auf ein vertretbares Maß zu senken. SIL ist in der Norm DIN EN ISO (2011) beschrieben und ist in vier Stufen eingeteilt. SIL1

bedeutet hierbei das geringste Risiko und SIL4 das höchste anzunehmende Risiko mit katastrophalen Auswirkungen.

KI-basierte Sicherheitskonzepte

Die enge Interaktion von Menschen und Maschine erfordert hohe Sicherheitsüberlegungen und Gefahrenerkennung, da eine Maschine meist bewegliche Teile besitzt, die für den Bedienenden gefährlich sein können. Deshalb ist die Entwicklung eines (KI-basierten) Sicherheitskonzept in drei Ebenen, wie in Kapitel 1.3 beschrieben, ein Forschungsansatz in OPERATE. Dabei wurden bereits verschiedene Methoden der Künstlichen Intelligenz in unterschiedlichen Bereichen für die Risikobewertung und die Gewährleistung der Sicherheit eingesetzt (Ertle et al. 2012). Jang et al. (2020) empfehlen einen Ansatz zur Bildklassifizierung und Objekterkennung, um gefährliche Situationen zu identifizieren. Darüber hinaus wurden kürzlich auch logikbasierte Systeme untersucht, die mit semantischen High-Level-Daten arbeiten (Hata et al. 2019). Diese Methoden sind zwar sehr leistungsfähig, haben aber den Nachteil, dass sie nicht generalisieren und mit Veränderungen nicht umgehen können. Aufgrund der zunehmenden Verwendung von semantischen Informationen in der KI gehen viele Domänen dazu über, Knowledge Graphs als Datenrepräsentationssystem zu verwenden (Hogan et al. 2020). Diese speziellen neuronalen Netze werden auch Graph Neurale Netze (GNN) genannt. Zu den aktuellen Trends gehört dabei ein Ansatz zur Erkennung von Anomalien wie Netzwerkangriffen oder Bewertungsmanipulationen mithilfe von GNN-Darstellungen (Yoon et al. 2020), ein kollaborativer KI-Ansatz, bei dem mehrere GNN gemeinsam trainiert werden (gemeinsames Lernen), um Situationsbewusstsein zu erreichen (Jiang 2020).

Pfadplanung und Kollisionsvermeidung bei MRK-Systemen

Weiterhin muss die Pfadplanung und Kollisionsvermeidung bei MRK-Systemen betrachtet werden, denn in OPERATE interagieren Menschen mit Robotern. Daher ist es notwendig, den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich MRK aufzuzeigen, denn obwohl zertifizierte Cobots außerhalb einer Schutzzelle arbeiten können, ohne Menschen ernsthaft zu schädigen, gelingt es ihnen (noch) nicht, ihre variable Umgebung zu analysieren und zuverlässig Kollisionen zu vermeiden. Daher sind die Kollisionsvermeidung und die Planung der Roboterfahrbahn ebenfalls Forschungsthemen in diesem Projekt. In der Vergangenheit basiert die Echtzeit-Hindernisvermeidung

für Roboterarme und mobile Roboter noch auf dem Konzept des imaginären Arbeitsraums um den Roboter (Khatib 1985), neuere Forschungsergebnisse allerdings nutzen fortgeschrittenere Betrachtungen, wie z. B. der Deep-Space-Ansatz unter Verwendung einer Tiefenkamera zur Kollisionsvermeidung von Fabrizio and De Luca (2017), welche eine verbesserte Implementierung der imaginären Arbeitsraummethode darstellt.

3D-Kameratechnik

Aktuell sind 3D-Kameras dabei, die Bildverarbeitungsindustrie zu revolutionieren. Im Gegensatz zu 2D-Kameras, die nur ein Bild aufnehmen können, können 3D-Kameras den Raum dreidimensional erfassen. Dadurch liegen, ergänzend zu den Helligkeitsinformationen, auch die Distanzinformationen jedes einzelnen Pixels vor. Optische Messsysteme führen die Messungen deutlich genauer und schneller als der Mensch durch und können daher MmB in WfbM ideal unterstützen. Gerade in der Mensch-Maschine-Interaktionen (MMI) sind sie die optische Schnittstelle zwischen dem Menschen und der Maschine und können als Auge der Maschine betrachtet werden. Dabei etablieren sich folgende Verfahren der 3D-Bildaufnahme (Lee 2017): Stereokameras, die sich durch üblicherweise zwei nebeneinander angebrachte Kameras/Objektive auszeichnen, was die gleichzeitige Aufnahme zwei stereoskopischen Felder ermöglicht. Das zweite Verfahren funktioniert nach dem Prinzip des Structured Light 3D-Scanners. Damit kann, unter Verwendung von projizierten Lichtmustern sowie eines 2D-Kamerasystems die dreidimensionale Form eines Objekts gemessen werden. Das dritte Verfahren heißt Time-of-Flight (ToF), wobei die Distanz zu einem Objekt aus der Laufzeit eines ausgesendeten Lichts und dessen Reflexion ermittelt wird. Dieses Messsystem zeichnet sich durch einen einfachen Systemaufbau aus, der auch über einen erweiterten Temperaturbereich kalibrierbar ist und damit ideal für die MMI einsetzbar ist. Alle drei Verfahren haben ihr Stärken und Schwächen, welche es im Projekt intensiv zu evaluieren gilt.

Bewegungsdetektion und Gestenerkennung

Ein weiteres Forschungsthema ist die Bewegungsdetektion und Gestenerkennung, mit dem sich diverse Partner aus dem Konsortium beschäftigen (z. B. IWU und RWU). Dabei ist beispielsweise geplant, die Effizienz der markenfreien Erkennung in Assistenzsystemen zu untersuchen. Die Rekonstruktion detaillierter Geometriemodelle soll ermöglicht werden, um genauere Bewegungsinformation zu erhalten (Rosenhahn et al.

2005, Theobalt et al. 2010). Darüber hinaus zeigen neueste Forschungsarbeiten, die auf Basis der 3D-Kamera Kinect von Microsoft basieren, die Machbarkeit echtzeitfähiger Systeme, welche sogar vollständige, dynamische Skelettmodelle auch für nicht-starre Bewegungen rekonstruieren können (Zollhöfer et al. 2014). Berndt and Sauer (2012) beschreiben z. B. ein Assistenzsystem, welches das Montieren einer Bauteilgruppe durch Videokameras assistiert und im Sichtfeld des Werkers die virtuelle Visualisierung fehlender Bauteile aus einem CAD-Modell ermöglicht. Die Hochschule Esslingen hat zusammen mit Industriepartnern ein Montage-Assistenzsystem für leistungsgeminderte Menschen entwickelt, das mittels klassischer Kameratechnik das Bauteil im Montagebereich erkennt und z. B. bei einer Fehlentnahme ein optisches und/oder akustisches Signal ausgibt (Bächler et al. 2018). Zusammen mit Industriepartnern im Rahmen des GePA Projektes hat die Hochschule Aschaffenburg ein intelligentes Assistenzsystem entwickelt, das auf der Basis einer Microsoft Kinect V1-Kamera Gestklassifizierung von Behinderungen des Mitarbeiters erkennt (Kröhn and Eifert 2015). Auch das Fraunhofer IEM hat in Zusammenarbeit mit Bosch Rexroth einen Montagearbeitsplatz mit 3D-Kamera nach dem Triangulationsprinzip ausgerüstet (ActiveAssist). Anstelle von klassischen mechanischen Schaltern kann das 3D-Kamerasystem durch Gestenerkennung zur Eingabe aktiv genutzt werden (Noerdlinger 2017).

Sozialwissenschaftliche Forschung MRK und ELSI

Nach der sozialen Konstruktion von Technik sind soziale Prozesse ebenso entscheidend für den Erfolg von Technologien wie technische oder ingenieurmäßige Prinzipien Douglas 2012, Hess and Sovacool 2020. Für die erfolgreiche Implementierung von Cobots in WfbM sind daher die Einstellungen der Individuen gegenüber dieser Technologie von hoher Bedeutung. Aus diesem Grund werden im Sinne der psychologischen Begleitforschung Aspekte wie erlebte Autonomie, Vertrauen, Akzeptanz und Ängste erfasst. Hierfür werden aus der Literatur bekannte Skalen verwendet Heerink et al. 2009. Konkret in der Anwendungsdomäne sind sozialwissenschaftliche und ELSI-basierende Forschungsansätze kaum zu finden. Da die Domäne jedoch Parallelen zum Bereich der Pflege hat, kann die Veröffentlichung von Radic and Vosen (2020) zum Thema ethische, rechtliche und soziale Anforderungen an Assistenzroboter in der Pflege betrachtet werden.

Klassifizierung von Behinderungen

Abgeleitet von der „International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps“ (ICIDH) der WHO (World Health Organization) gibt es eine an Deutschland angepasste Version der ICIDH, das Deutsche Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI), welches die Klassifikation ICD-10-GM (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) veröffentlichte. In der ICD-10, der 10. Version für Arzneimittel und Medizinprodukte (2020), werden bekannte Krankheiten und Behinderungen beschrieben. Außerdem werden in Kapitel V psychische und Verhaltensstörungen dokumentiert. Die Klassifikation der Krankheiten und verwandten Gesundheitszuständen von geistigen Behinderungen werden von F70 (Leichte Abnahme der Intelligenz, IQ 50–69, Intelligenzalter 9–12) bis F79 (Intelligenzminderung, nicht spezifiziert) eingestuft.

(Konkurrenz-)Projekte

Mit der zunehmenden Anzahl von kollaborativen Robotern entstehen auch viele Forschungsansätze, die mögliche Anwendungsszenarien für Cobots evaluieren. Im Bereich von MRK gibt es vor allem in der Industrie verschiedene Projekt, wie z. B. ein Forschungsprojekt des Fraunhofer IGP, der Universität Rostock und der Airbus Operations GmbH mit dem Arbeitstitel „Mensch-Roboter-Kollaboration in der Flugzeugendmontage“ Schmatz et al. 2019. Ein weiteres industrielles Projekt ist die Mensch-Roboter-Kollaboration im BMW Werk Dingolfing mit dem Ziel, eine Autoscheibe mithilfe eines Cobots zu montieren GmbH 2017.

Aber nicht nur in der Industrie, auch in der Anwendungsdomäne gibt es bereits Ansätze zur interaktiven Assistenzrobotik. Hier ist das von Jürgens 2019 beschriebene Projekt „next generation“ zu nennen, welches von den Projektpartnern Caritas, RWTH Aachen und der Fachhochschule des Mittelstands (FHM) Köln bearbeitet wird. Es startete im Juni 2019 und hat eine Laufzeit von drei Jahre. Das geförderte Projekt hat das Ziel, die Inklusion zu verbessern, indem es an Assistenzlösungen für Menschen mit Schwermehrfachbehinderung durch entsprechende Arbeitsplatzgestaltung forscht.

Weiterhin förderte das BMBF unter anderem ein vierjähriges Projekt namens „AQUIAS“ (Arbeitsqualität durch individuell angepasste Arbeitsteilung zwischen Servicerobotern und schwer-/nicht behinderten Produktionsmitarbeitern) im Programm Innovationen für

8 OPERATE

die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" Kremer and Hermann 2020. Ziel dieses Forschungsprojektes war es, arbeitsteilige Lösungen für die Zusammenarbeit von Produktionsmitarbeitern und Servicerobotern zu entwickeln. Der Bericht dokumentiert die Ergebnisse von Online-Befragungen und Praxis-Workshops zu verschiedenen manuellen Prozessschritten in einer WfBM, die zu einer MRK-Anwendung transferiert wurden. Laut dem Bericht wurde von den zehn Produktionsaufgaben lediglich eine Aufgabe als bedingt geeignet für Mensch-Roboter-Kollaboration angesehen.

In der Anwendungsdomäne können etablierte und zertifizierte kollaborative Robotersysteme verwendet werden. In folgender Tabelle werden drei gängige und für OPERATE infrage kommenden Systeme hinsichtlich **Funktionsumfang**, **Performanz** verglichen.

Roboter	Traglast	Achsen	Reichweite	Ca. Preis Non-Profit inkl. Greifer	Markteinführung	Genauigkeit	Programmierung	Schnittstellen
KUKA iiwa 7 R800	7 kg	7	800 mm	65.000 €	2017	± 0,1 mm	Java, komplex	Diversen, u.a. ROS
Franka Emika Panda	3 kg	7	855 mm	24.000 €	2017	± 0,1 mm	Teach-In, einfach	Diversen, u.a. ROS
Universal Robot UR5e	5 kg	6	850 mm	36.000 €	2008	± 0,03 mm	Teach-In, einfach	Diversen, u.a. ROS

Tabelle 8.2: Vergleich aktueller Cobots.

Hinsichtlich Funktionsumfang und Performance sind die in Tabelle 8.2 gelisteten Cobots ähnlich. Bezüglich **Amortisierung** wäre der Return of Invest (ROI) beim Panda am frühesten erreicht, aufgrund der kurzen Marktverfügbarkeit ist die zuverlässige Verwendung im Projekt allerdings nicht gewährleistet. Die **Grenzen** der adressierten Technologien und Techniken liegen vor allem in der ganzheitlichen Betrachtung des Systems, denn die einzelnen Ansätze, Methoden und Technologien müssen nicht nur autark funktionieren, sondern stabil im abgeglichenen Gesamtsystem unter der Betrachtung aller Schnittstellen, sowohl technisch-technologisch als auch sozialwissenschaftlich und bezogen auf ELSI.

8.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Im folgenden Abschnitt wird auf die Abgrenzung von OPERATE gegenüber bestehenden Lösungsansätzen und Projekten im nationalen und internationalen Bereich

eingegangen.

Abgrenzung Robotertechnik und Sicherheitstechnik

Die Projekte im RA3-Programm sollen sich nicht mit der Entwicklung neuer Robotersysteme beschäftigen, sondern den Einsatz funktionierender und verfügbarer interaktiver Assistenzroboter untersuchen. Daher wurde im Konsortium entschieden, in der Anwendungsdomäne das Robotersystem einzusetzen, das sich am längsten auf dem Markt bewährt hat, eine schnelle Inbetriebnahme mit sich bringt und im System (mit SPS, Sicherheitssystemen über OSSD usw.) zuverlässig funktioniert: der UR5e von Universal Robot. Außerdem haben die Projektpartner mit diesem Manipulator viel Erfahrung in vergangenen Projekten gesammelt. Darüber hinaus hat er den PL Klasse d (EN ISO 2016) und kann für den Einsatz als leistungs- und kraftbegrenzter Cobot eingesetzt werden. Als Sicherheits-Laserscanner wird der SZ-V32N von Keyence eingesetzt, der die neuesten Standards und Sicherheitspezifikation (z. B. PL Klasse d, SIL3) vorweisen kann und wird deshalb im Projekt zur Sicherstellung der MRK-Stufe Abstands- und Geschwindigkeitsmessung eingesetzt Keyence.

Abgrenzung Bereich MmB

Grundsätzlich sollen in OPERATE alle Arten von Behinderungen in der Anwendungsdomäne adressiert werden. Es gibt auch Arbeitspakete (AP 5) in denen die Projektpartner die Art der Behinderung bestimmten machbaren Aufgaben und Prozessen zuweisen. Die Abgrenzung liegt hierbei im ersten Schritt in der Art der Behinderung, denn in OPERATE sollen vorrangig körperliche und geistige Behinderungen nach ICD-10 für Arzneimittel und Medizinprodukte 2020 betrachtet werden, da Menschen mit diesen Arten von Behinderungen im Sinne der Wissenschaft als Probanden reproduzierbar und bewusst am Projekt teilnehmen können. Menschen mit psychischen Behinderungen hingegen sind laut den assoziierten WfbM oftmals nicht berechenbar. Deshalb sollen sie erst nach einer ausgiebigen Analyse durch AP 5 eingebunden werden. Bei den in Kapitel 8.2.1 beschriebenen Klassifizierungen soll bei den leichteren Behinderungen (F70) begonnen werden und darauf aufbauend immer schwerwiegendere Behinderungen ins Projekt eingebunden werden.

Abgrenzung zu (Konkurrenz-)Projekten

Das Projekt "Mensch-Roboter-Kollaboration in der Flugzeugendmontage" von Schmatz et al. (2019) adressiert zwar dein Einsatz eines Cobots in der Montage mit dem Men-

schen, allerdings werden hier nicht explizit Menschen mit Behinderung berücksichtigt. Gleiches gilt für den Klebprozess bei BMW, veröffentlicht von der GmbH (2017), denn beide Projekte bewegen sich ausschließlich im industriellen Umfeld.

Das Verbundprojekt "next generation" geht ebenfalls in die gleiche Richtung wie OPERATE. Die Abgrenzung dazu ist, dass dort ein Arbeitsplatz entwickelt werden soll, an dem Menschen mit Schwermehrfachbehinderung mit einem Cobot zusammenarbeiten können. Der Fokus ist dabei auf der Schwermehrfachbehinderung und auf der Arbeitsplatzgestaltung, OPERATE adressiert dagegen die Interaktion des Menschen mit Behinderung mit dem Assistenzroboter.

Auch im BMBF-geförderten Projekt AQUIAS wird in der Anwendungsdomäne geforscht. Der Fokus liegt hierbei jedoch darauf, dass der Cobot den Mitarbeitenden in der industriellen Produktion unterstützt. Die Abgrenzung ist, dass hier die Effizienzsteigerung und die Erarbeitung von arbeitsteiligen Lösungen für die Zusammenarbeit von Produktionsmitarbeitenden und Cobots im Vordergrund stehen. Bei OPERATE hingegen steht die Interaktion des MmB mit dem Assistenzroboter im Fokus. Im Gegensatz zu den im Projekt AQUIAS entwickelten Beispielszenarien, die aus ein- oder zweistufigen Einzelaufgaben bestanden, handelt es sich bei den Szenarien im Projekt OPERATE zudem um vollwertige Prozesse mit mehreren Schritten und um Mensch-Roboter-Interaktion an verschiedenen Stellen. Darüber hinaus beinhaltet die Entwicklung von Interaktionsszenarien in diesem Projekt auch die Unterstützung bei der Durchführung gefährlicher Aufgaben wie der Montage einer scharfen Klinge und der Arbeit mit einem Heißluftgebläse, unter der Berücksichtigung sozialwissenschaftlicher und ELSI-Betrachtungen.

Die **Innovationshöhe** und der **Innovationseffekt** liegen bei OPERATE in der Balance der Fähigkeiten der MmB und der damit verbundenen möglichen Unterstützung durch den Cobot. Einschränkungen von Individuen können somit kompensiert und so ein höherer Autonomiegrad bei der Arbeit erzielt werden. Die Innovation ist einerseits die systematische Klassifizierung von Behinderungen bezogen auf das Arbeitsumfeld und Prozesse und deren Einordnung. Weiterhin geht das Vorhaben über den aktuellen Stand der Technik hinaus, indem die effizienteste Art der Interaktion der MmB mit dem Assistenzrobotersystem durch multimodale User Interfaces und geeignetem

UX-Design technologisch herausgefunden werden, wodurch keine Einordnung mehr durch das betreuende Personal erfolgen muss. Zusätzlich sind die meisten Kamera- und KI-basierten Assistenz- und Interaktionssysteme sehr dynamisch aufgebaut, wodurch keine statischen Anpassungen bei Veränderung des Mitarbeitenden, oder auch bei leichten Veränderungen im Prozess stattfinden muss. Des Weiteren ergibt sich ein Innovationseffekt aus der Entwicklung des Sicherheitskonzepts basierend auf drei Ebenen (siehe Abbildung 3). Über den Stand der Technik hinaus geht auch die Erforschung und Entwicklung eines Aufgabenzuweisungsalgorithmus, der die Prozesse der MRK-Applikation dem Menschen oder dem Roboter zuweist. Der Innovationseffekt ergibt sich dabei aus der Schnittstelle mit der Forschungs- und Entwicklungsfunktion.

Im Konsortium wurde bereits eine **Schutzrecht- und Patentrecherche** (Freedom-to-operate) vor dem Hintergrund der einschlägigen Publikationen in dem DPMA, dem EPO und dem WIPO mit dem Ergebnis durchgeführt, dass keine Patente oder Gebrauchsmuster Dritter bekannt sind, die verletzt werden. Es sind nur eigene Patente innerhalb des OPERATE-Konsortiums betroffen, beispielsweise ist die Firma PIEYE an 17 Patenten im Bereich der Kameratechnik beteiligt. Somit steht der Entwicklung von rechtlicher Seite nichts entgegen.

Im Projekt sollen, wo immer es möglich ist **Standards** eingesetzt werden, vor allem in der technisch-technologischen Kommunikation, wie z. B. ROS, ProfiNet, TCP/IP, usw. Im Bereich ELSI, Usability und Akzeptanzuntersuchungen sollen weitestgehend standardisierte Modelle angewendet und ggf. weiterentwickelt werden (z.B. UTAUT von Venkatesh et al. (2003), USUS von Weiss et al. (2011) oder das MEESTAR-Modell von Manzeschke (2015)). Im Bereich der kollaborativen Robotik und der Sicherheitstechnik ist ebenfalls eine starke Orientierung an den vorhandenen **Normen** angedacht (z. B. DIN EN ISO (2011, 2017, 2016)). Zudem soll ggf. an der Überarbeitung von Normen und Standards aufgrund der Erkenntnisse aus OPERATE mitgewirkt werden.

8.2.3 Risikodarstellung

In diesem Abschnitt werden die drei wissenschaftlich-technische Risiken beschrieben (Datengrundlage für neuronales Netz, Sicherheit bei MRK und Fehlende Akzeptanz)

sowie das wirtschaftliche Risiko für die Verbundpartner adressiert.

Risiko 1: Datengrundlage für neuronales Netz

Eine technische Herausforderung ist die Verfügbarkeit ausreichend vieler Daten für die Künstliche Intelligenz, denn in vielen Arbeitspaketen (AP 8, AP 12, AP 16–17) werden Machine Learning (ML) Methoden angewendet. Gerade in der Anwendungsdomäne ist der Automatisierungsgrad und damit die Stückzahlen niedrig. Das technische Risiko besteht darin, dass die Datengrundlage für die neuronalen Netze zu gering ist und die geplanten ML Ansätze ungenau werden. Damit das neuronale Netzwerk verwertbare Ergebnisse liefern kann, wird eine ausreichende Anzahl an Trainingsdatensätzen benötigt. Jeder Trainingsdatensatz muss darüber hinaus mit dem erwarteten Ergebnis gelabelt werden. Aufgrund der niedrigen Stückzahlen bei den drei Use Cases könnte somit die Qualität der Künstlichen Intelligenz leiden. Ein möglicher Lösungsansatz ist die virtuelle Generierung weiterer Trainingsdaten durch Simulation. Im Falle von OPERATE werden die Use Cases neben dem realen Szenario auch im Digitalen Zwilling abgebildet und die Anwendungen können dort simuliert werden (siehe AP 18). Zur Steigerung der Anzahl der Trainingsdaten können ebenfalls die Ergebnisse der Simulationen verwendet werden.

Risiko 2: Sicherheit bei MRK

Die wissenschaftlich-technische Herausforderung ist die Gewährleistung der Sicherheit für die MmB in der Anwendungsdomäne. Als wissenschaftlich-technische Risiken sind dabei die speziellen Bedürfnisse der MmB hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen laut der ISO (2016) zu nennen, denn dort werden biomechanische Grenzwerte nur anhand eines Standard-Körpermodells berücksichtigt, welches nicht auf Barrierefreiheit ausgelegt ist. Dabei kann Verletzungsgefahr für MmB bei der Interaktion mit dem Assistenzrobotersystem entstehen. Ein möglicher Lösungsansatz, um die maximale Sicherheit der Bedienenden zu gewährleisten, ist die Entwicklung eines dreistufigen Sicherheitskonzept. Die Grundstufe besteht aus einer sicheren Roboterzelle (Sicherheits-Laserscanner), ergänzt durch funktionale Sicherheit in MRK. Die mittlere Ebene (Kollaborationsebene) beschäftigt sich mit der Entwicklung eines SafetyToolKits zur Auslegung von MRK-Arbeitsplätzen. Die oberste (abstrakte) Ebene bildet ein gefahrenbeurteilendes Assistenzsystem, welches dem Mitarbeitenden potenziellen Gefahren im Prozess aufzeigt (z. B. Warnung auf UI).

Risiko 3: Fehlende Akzeptanz in der Anwendungsdomäne

Eine wissenschaftliche Herausforderung ist die fehlende Akzeptanz der Menschen mit Behinderung und des betreuenden Personals gegenüber interaktiven Assistenzrobotersysteme und den in OPERATE verwendeten Technologien zur Interaktion (z. B. multimodale User Interfaces oder 2D/3D-Kameras). Die Dissertation von Dalm (2021) zeigt, dass eine grundsätzliche Akzeptanz von Cobots bei MmB und dem betreuenden Personal vorhanden ist. Dies wurde allerdings lediglich anhand eines einmaligen Experiments evaluiert. Das wissenschaftlich-technische Risiko ist daher, dass die MmB die interaktiven Assistenzrobotersysteme (inkl. Kameras, Cobots, etc.) langfristig nicht akzeptieren. Ein möglicher Lösungsansatz für dieses Risiko ist die Gewährleistung der Akzeptanz durch die intensive Einbindung der Zielgruppe (MmB und deren Betreuende) in den Technologieeinführungsprozess. Durch erste Begegnungen mit dem interaktiven Assistenzrobotersystem durch ein Aneignungscafé (siehe UAP 3.2), Workshops und Schulungen sowie durch Einbindung der Zielgruppe durch begleitende Nutzerstudien, Akzeptanz- und Usability-Untersuchungen soll die Akzeptanz als wesentliches Element in OPERATE behandelt werden. Darüber hinaus sollen die ELSI-Untersuchungen dazu beitragen, die Akzeptanz in Zielgruppe und Gesellschaft zu erhöhen.

Als **wirtschaftliches Risiko der Verbundpartner** ist vor allem der hohe personelle Entwicklungsaufwand zu nennen, denn für das Projekt freigestellten Mitarbeiter der drei KMU (PPP, PIEYE und YOUSE) können während der Entwicklungszeit nicht an deckungsbeitragsrelevanten Projekten arbeiten. Die Forschungseinrichtungen (IWT, IWU, HKE, UR, RWU, THK und TUD) hingehen müssen Fördermitteln akquirieren, um deren wissenschaftlichen Betrieb aufrechterhalten zu können.

8.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Im technischen Bereich wird das **IWT** bei OPERATE drei Arbeitspakete verantworten. Das erste (AP 4) ist die Entwicklung und Umsetzung von vier sicheren und barrierefreien Robotersystemen, welche grundsätzlich aus einem Roboter (Universal Roboter UR5e), einer Zelle, auf der der Roboter montiert ist, aus einer Steuerung, ggf. Kamerasystemen sowie einem Sicherheits-Laserscanner bestehen. Diese Systeme dienen als Basis für die weiteren technischen Arbeitspakete. Ein System soll als Entwicklungsmuster in der Smart Factory des IWT verbleiben, die anderen sollen in die Anwendungsdomäne transferiert werden (WfbM), damit die Use Cases auf deren Basis bearbeitet werden können. Ein weiterer technischer Ansatz des IWT ist die Entwicklung eines Standardverfahrens (AP 13), mit dem manuelle Arbeitsplätze zu MRK-Arbeitsplätzen umgewandelt werden können. Dies soll am Use Case „Schraubenbeutel“ erarbeitet und erprobt werden. Weiterhin wird sich das IWT mit der Entwicklung eines sicheren kollaborativen Prozesses beschäftigen (AP 12), der Fäden mit einem Roboter- und einem hochauflösenden Kamerasystem auf ROS-Basis im Use Case „Outdoortasche“ veröden soll, ohne den Menschen dabei zu verletzen. Methoden und Ansätze, die dabei angewendet werden, sind z. B. das Faster Region-Based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN) oder die Multiple Object Tracking (MOT)-Methode Ciaparrone et al. 2020. Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Effizienzvergleich manueller Arbeitsplatz gegenüber MRK-Arbeitsplatz, Zugänglichkeit und Barrierefreiheit der Robotersysteme, Sicherheit bei MRK und Erkennen feiner Konturen (z. B. Stofffäden) mit Kamerasystemen.

Das **IWU** wird im technischen Bereich die Verantwortung für drei Arbeitspakete übernehmen. Das erste (AP 8) ist die Entwicklung und Umsetzung einer Gestensteuerung mithilfe eines Kamerasystems, welches die Art der Behinderung berücksichtigen und Teil des multimodalen User Interfaces sein soll. Weiterhin wird das IWU in AP 15 einen SafetyToolkit entwickeln, welcher auf relevanten Normen (z. B. ISO 2017) und weiterer Literatur aufgebaut ist. Dieser soll virtuelle Sicherheitsbetrachtung von MRK-Applikation anhand eines digitalen Zwillings ermöglichen und die sicherheitsrelevanten Parameter anhand von Computermodellen bestimmen. Dar-

über hinaus verantwortet das IWU die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Methoden zur intuitiven Online-Roboterprogrammierung. Der Ansatz hierbei ist, dass auch nicht-technisch ausgebildetes Personal, wie die Betreuenden der WfbM-Mitarbeitenden, Programme oder Modifikationen an den Assistenzrobotern durch User-basierte Online-Programmierung selbst vornehmen können. Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von unterschiedlichen Ansätzen zur Gestensteuerung, Erprobung des SafetyToolKits oder Benchmark intuitive Roboterprogrammierung.

Die **HKE** wird im Bereich der funktionalen Sicherheit (FuSi) im ersten Schritt eine Risikoanalyse für die identifizierten Behinderungsgrade durchführen. Anschließend wird aus der Risikoanalyse ein Sicherheitskonzept erstellt, gefolgt von einer Fehlermöglichkeiten- und Einfluss-Analyse (DFMEA) und einer theoretischen Failure Modes Effects and Diagnostic Analysis (FMEDA), siehe AP 14 (Gehlen 2020). Im Bereich HMI strebt die HKE an, systematische Vorgehensweisen bei der Prozess-, Anwendungs- und Arbeitsumgebungsbetrachtung in Bezug auf MmB in WfbM zu erforschen, unter anderem durch die Betrachtung der Klassifikationen aus ICF, ICD-10 und weiteren (AP 5). Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von Analyseverfahren im Bereich FuSi oder Benchmark verschiedener Ansätze zur Arbeitsplatzzuweisung für diverse Arten von Behinderungen.

PPP wird sich bei OPERATE mit der Entwicklung des Backends der multimodales User Interfaces (AP 7) beschäftigen, sodass alle Projektpartner über definierte Standardschnittstellen (z. B. http oder MQTT) auf das System zugreifen und entwickelte Daten visualisieren können. Darüber hinaus entwickelt PPP einen kollaborativen Klebe- und Handling-Prozess am Beispiel des Use Cases „Gemüsehobel“, mit dem einerseits die Reproduzierbarkeit und damit die Qualität gesteigert, andererseits die Gefahr von Schnittwunden für den Mitarbeitenden minimiert werden soll. Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Benchmark von kollaborativen Klebeprozessen.

Die **UR** wird in OPERATE unter Berücksichtigung des Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modells (4C/ID) Blended Learning Schulungen konzipiert, implementiert und evaluieren. Sie sollen es den (End)Nutzenden ermöglichen, auf gestaltungsorientierte Art und Weise den Umgang und die Schulung des Roboters im Produktionsprozess zu bewältigen (AP 3). Zusätzlich wird die UR Design Thinking, nach dem mediendidaktischen Rahmenmodell von Kerres (2018) einsetzen, um einen Schulungsprototyp zu entwickeln, der den praktischen Rahmenbedingungen der (End)Nutzenden gerecht wird (AP 3 und AP 21). Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von Ansätzen zur Durchführung von Workshops, Erprobung der entwickelten Blended Learning Konzepte oder Benchmark von Ergebnissen der Design Thinking Workshops.

PIEYE wird in OPERATE eine 2D/3D-Kamera zur optimalen Interaktion mit einem Assistenzrobotersystem entwickeln. Der technologische Ansatz soll dabei auf dem Time-of-Flight (ToF) Prinzip stattfinden. Neben den Hardware-technischen Herausforderungen wie Belichtungsstärke, Integrationszeit, Fokus liegt der Fokus vor allem auf der Benutzer-zentrierten Bedienung der Software (die Auswertung einer Point-Cloud soll für den nicht-Programmierer verständlich sein). Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich 3D-Kameras in der interaktiven Assistenzrobotik.

Die **RWU** verfolgt bei OPERATE diverse wissenschaftliche Ansätze. Zuerst entwickelt sie ein Onboarding System, mit dem die Nutzenden (MmB und deren Betreuende) systematisch und Nutzer-zentriert mit den interaktiven Robotersystemen vertraut gemacht werden sollen (AP 6). Darüber hinaus soll ein Interaktionskonzept entwickelt werden, wie MmB auf verschiedenen Wegen mit technischen Systemen (z. B. AR, Touch-Eingabe, etc.) interagieren können (AP 7). Weiterhin entwickelt die RWU ein Assistenzsystem, mit dem über ein 2D/3D-Kamerasystem die Handbewegung eines Mitarbeitenden beobachtet wird. Diese Erkenntnisse sollen dazu dienen, durch den Einsatz von KI rechtzeitig Unstimmigkeiten zu erkennen oder aus Fehlern zu lernen (AP 17). Schließlich entwickelt die Hochschule auf Basis der Forschungsarbeiten aus RA2 ein gefahrenbeurteilendes Assistenzsystem, mit dem über 2D/3D-Kameratechnik und Machine Learning die Arbeitsumgebung des MmB observiert wird, sodass bei möglichen Gefahren eine unmittelbare Aktion (z. B. Benachrichtigung) ausgeführt wird

(AP 16). Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von Ansätzen zum Motion-Tracking bei Montageprozessen, Erprobung der multimodalen User Interfaces oder des Onboarding Systems oder Benchmark von Ergebnissen der gefahrenbeurteilendes Arbeitsumfeld-Erkennung.

Die **THK** wird Kompetenzen im Bereich der sozialwissenschaftlichen und psychologischen Betrachtung von MRK vertiefen. Dazu erfasst sie Nutzer-zentriert die Einstellung der MmB und deren Betreuenden gegenüber der Einführung von Cobots (z. B. empfundenen Ängste) und analysiert die Potenziale bzgl. der Erweiterungen von Einschränkungen sowie der kompensierenden Cobot Fähigkeiten. Dies wird unter anderem durch Interviews mit Personen aus den assoziierten WfbM durchgeführt und anhand der strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ausgewertet. Darüber hinaus wird die THK Usability, Nutzer- und Akzeptanztests (z. B. nach Venkatesh et al. 2003) sowie die nutzerzentrierte Evaluierung, u. a. mit Interview und Umfragen, durchführen. Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von Ergebnissen aus Usability, Nutzer- und Akzeptanztests, Erprobung der Akzeptanzmodelle oder Benchmark von sozialwissenschaftlichen und psychologischen Betrachtungen beim Einsatz von Cobots.

Die **TUD** stärkt ihr Know-how im Bereich des Digitalen Zwillinges für die interaktive Assistenzrobotik sowie in der ferngesteuerten Unterstützung bei der Roboterprogrammierung. Beim Digitalen Zwilling soll dabei z. B. eine Verhaltenssimulation durch Ansätze wie Hardware-in-the-Loop (HiL), Software-in-the-Loop (SiL) und Model-in-the-Loop (MiL) Methoden zur Simulation des Verhaltens eingesetzt werden. Die Remote Maintenance-Anwendung soll Cloud-basiert sein und die Auflösung der heterogenen IT-Insellösungen hin zu homogenen Standardisierungen adressieren, sodass eine hohe Interoperabilität der Remote Maintenance ermöglicht wird. Dies führt zur Nutzung von standardisierten Kommunikationsprotokollen und Integration von standortübergreifenden Vernetzungen von Simulationsmodellen. Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von Methoden zur Erstellung eines Digitalen Zwilling oder den Benchmark von Systemen zur Remote Maintenance Möglichkeiten bei Cobots.

Die wissenschaftlichen Arbeitsziele von **YOUSE** sind die Projektbegleitung hinsichtlich ELSI, die Betrachtung und Durchführung von Akzeptanzuntersuchungen sowie die Erstellung von Geschäftsmodellen. Dazu verwendet das Unternehmen z. B. das MEESTAR-Modell Manzeschke 2015 und den Materia-Kriterienkatalog Ammicht et al. 2015. Mögliche Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark: Vergleich von Geschäftsmodellen in der Anwendungsdomäne oder Benchmark von ELSI-Ansätzen in der interaktiven Assistenzrobotik.

Die wissenschaftlichen und technischen Ergebnisse eines jeden Partners sollen schließlich veröffentlicht werden (siehe 4.1).

Der **effektive Mehrwert für die Assistenzrobotik** aus den entwickelten Ansätzen in OPERATE entsteht in den Bereichen Technologie-Technik, Interaktion, ELSI, wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwertung sowie Öffentlichkeitsarbeit. Der Mehrwert aus technologisch-technischer Sicht besteht maßgeblich in der Verknüpfung der interaktiven Assistenzrobotik mit aktuellen Technologien und Techniken, denn hier wird beispielsweise in vielen Arbeitspaketen mit KI-Algorithmen oder 3D-Kameratechnik (u. a. Time-of-Flight) gearbeitet. Weiterhin sind neue Ansätze der Interaktion bei OPERATE von großer Bedeutung, wie z. B. die zu entwickelnden multimodalen User Interfaces, die dem Nutzenden verschiedene Möglichkeiten der Interaktion anbieten, was gerade für eingeschränkten Menschen eine Innovation darstellt. Darüber hinaus wird Mehrwert durch die beim Projekt parallel laufende ELSI-Integration geschaffen, denn dadurch wird gewährleistet, dass der Mensch (mit Behinderung) bei den Themen „ethische, rechtliche und soziale Implikationen“ „mitgenommen“ wird. Schließlich liefert die wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwertung mit Publikationen und anderen Veröffentlichungen sowie die Öffentlichkeitsarbeit mit Veranstaltungen und Workshops einen effektiven Mehrwert daran, die Fortschritte und Ergebnisse der Assistenzrobotik in die Gesellschaft und die Fachwelt zu tragen.

Der Ansatz zur **Sicherstellung der Integrierbarkeit und Alltagstauglichkeit** für die Assistenzrobotik in der Domäne WfbM beruht auf zwei Vorgehensweisen. Die Erste ist die Verwendung eines funktionierenden, als kollaborativ zertifizierten und damit sicheren Grundsystems eines Roboter-Manipulators (Universal Robot UR5e). Mit diesem Robotertyp haben alle technischen Projektpartner bereits Erfahrung

gesammelt, weshalb eine schnelle Entwicklung und Integration möglich ist und somit der Projektfokus auf die Interaktion mit dem Menschen gelegt werden kann. Zweitens wird die Assistenzrobotik im Projekt direkt in eine reale Umgebung integriert und dort erprobt, in der Anwendungsdomäne WfbM. Dadurch wird sichergestellt, dass die Systeme zielgerichtet alltagstauglich entwickelt und erprobt werden und keine reinen theoretischen Ansätze oder Laborsysteme darstellen.

Um eine ganzheitliche Forschungsperspektive der **integrierten Forschung und Evaluation** durchzuführen, werden die betroffenen Personen (insbesondere MmB und deren Betreuende) aktiv in das Forschungsprojekt einbezogen. Dies ist durch die Mitarbeit der WfbM als assoziierte Praxispartner möglich. Für die Partizipation werden sowohl qualitative als auch quantitative Methoden verwendet. Insbesondere in der ersten Projektphase werden die Bedürfnisse und Wünsche der Betroffenen durch qualitative Ansätze, wie Interviews, erfasst und als Anforderungen an das Projekt definiert. Im weiteren Projektverlauf kommen weitere Methoden (z. B. mit dem USUS Framework von Weiss et al. (2011) oder dem UTAUT Ansatz von Venkatesh et al. (2003)) zum Einsatz, um die Projektergebnisse mit den Anforderungen d. h. den Bedürfnissen von MmB abzugleichen. Neben der Überprüfung der Erfüllung der Anforderungen werden weitere Aspekte wie die Erfassung von erlebter Autonomie, Vertrauen, Akzeptanz und Ängsten erfasst. Die Inhalte werden stark mit den ELSI-Fragen rückgekoppelt.

Da sich OPERATE im Umfeld MRK bewegt, sind ELSI-Aspekte essenziell und müssen beim Aufbau und beim Betrieb des Zentrums stets beachtet werden müssen. Dazu zählen Arbeitsschutzmaßnahmen, Arbeitsaufteilung, Gesetze und Richtlinien bei der praktischen Implementierung der MRK-Anwendung, Rücksichtnahme auf den Mitarbeiter bei Einführung des Cobots, Datenschutz, Berücksichtigung gering qualifizierter Beschäftigter und der Bereitschaft der Mitarbeiter, mit einem Cobot zu kollaborieren. Nelles et al. (2016) Für die **relevanten Fragestellungen im Bereich ELSI** ist der Partner YOUSE hauptverantwortlich, unterstützend HLE und THK. Aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung der drei Verantwortlichen werden die anderen Projektpartner auf diesem Themengebiet von ihnen angeleitet und unterstützt. Um ELSI-Thematiken systematisch zu bearbeiten, werden Methoden und Modelle wie MEESTAR Modell (Manzeschke 2015), der Materia-Kriterienkatalog (Ammicht et al. 2015), das Business-Model-Canvas (Joyce and Paquin 2016) sowie qualita-

tive und quantitative Erhebungsmethoden (Röbken and Wetzel 2020) (Interviews, Fokusgruppen, Beobachtungen, Shadowing, Contextual Inquiry etc.) angewendet.

8.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

8.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Entstanden aus einer Dissertation (Dalm 2021), soll OPERATE auch weiterhin auf hohem Niveau Ergebnisse veröffentlichen. Daher ist es geplant, dass jeder wissenschaftliche Partner pro Person, die im Projekt mitarbeitet, mind. zwei Publikationen bei renommierten und relevanten Konferenzen einreicht. Diese sind in diesem Kontext beispielsweise ISR (Internationales Symposium für Robotik), HRI (ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction) oder IROS (International Conference on Intelligent Robots and Systems). Eine detaillierte Auflistung, wo Einreichungen geplant sind, sind in Arbeitspaket 23 zu finden. Durch die Veröffentlichungen soll die **Nutzung** und die **Nachhaltigkeit** der wissenschaftlichen Ergebnisse von OPERATE gewährleistet sein. Zudem planen einige Konsortialpartnern, ihre FuE-Ansätze in Promotionen und /oder Habilitationen zu bearbeiten.

Der **Erkenntnisgewinn** und die Erweiterung des Know-hows, die durch das Kompetenzzentrum für die **Assistenzrobotik** erreicht werden, ist bei OPERATE vielschichtig. Erstens wird die Mensch-Roboter-Interaktion durch sicherheitstechnische Verfahren erweitert und neue Safety-Ansätze von den Partnern erforscht und entwickelt. Zusätzlich spielen im Projekt Kamerasysteme eine große Rolle bei der Interaktion, woraus viele neue Ansätze der Interaktion generiert werden (z. B. Gestensteuerung, Bewegungserkennung, Vermeidung von Unfällen, etc.). Außerdem wird die Assistenzrobotik in OPERATE durch sozialwissenschaftliche und ELSI-Betrachtungen nah mit dem Menschen zusammen erforscht, denn die Technik soll dem Menschen helfen und muss dazu von ihm akzeptiert werden.

Der **Erkenntnisgewinn** und die Erweiterung des Know-hows, die durch das Kompetenzzentrum für die **einzelnen Partner** geschaffen werden, ist Partner-abhängig zu betrachten, da das Konsortium bewusst sehr interdisziplinär aufgebaut wurde. Die Gemeinsamkeit ist aber immer die interaktive Assistenzrobotik für MmB. Welche

Erkenntnisgewinnung welcher Partner im Detail anstrebt, siehe Kapitel 8.4.1.

Weiterhin sind in OPERATE diverse öffentliche Veranstaltungen geplant, z. B. der „Fachtag Mensch-Roboter-Interaktion“. Auf diesen Fachtagen wird neben der interessierten Gesellschaft auch Fachpublikum adressiert, welches an OPERATE partizipieren kann. Auch die im Projekt entwickelten Workshops dienen dazu, die wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Schließlich dient auch die Verbindung zu weiteren Netzwerken (z. B. Netzwerk VOLKER) der wissenschaftlichen und technischen Verbreitung der Ergebnisse sowie der Vernetzung in der Fachwelt.

Die **wirtschaftlichen Erfolgsaussichten** sind vielversprechend, denn laut Statista steigt der weltweite Umsatz mit Servicerobotern um den Faktor 2,6 in den nächsten vier Jahren (Statista 2019). Zudem ist die Tatsache zu berücksichtigen, dass die eine der Kernaufgaben der WfbM in der Vermittlung der Mitarbeitenden in den allgemeinen Arbeitsmarkt besteht. Stattdessen beläuft sich die tatsächliche Vermittlungsquote zwischen 0,1 % und 0,6 % und gleichzeitig wächst die Anzahl der WfbM stetig, von 2002-2014 z. B. um ganze 58 auf insgesamt (Fischer and Gericke 2016). Außerdem hat der Einsatz von interaktiven Assistenzrobotern im Sinne der Wirtschaftlichkeit großes Potenzial, da es ein Gesetz (SGB IX § 160 - Ausgleichsabgabe) zur Beschäftigung von schwerbehinderten Menschen gibt. Kommen Unternehmen (ab 20 Mitarbeitern) diesem Gesetz nicht nach, dann müssen sie Ausgleichszahlungen bezahlen, welche sich in einer mtl. Höhe von 140 € bis 360 € belaufen. Im Jahre 2019 zahlten beispielsweise 61 % der deutschen Unternehmen eine Ausgleichszahlung, da sie keine oder zu wenige schwerbehinderte Menschen beschäftigten (der deutschen Wirtschaft Köln e.V. 2021). Eine Besonderheit bei den Ausgleichsabgaben ist eine mögliche Kompensierung der Zahlungen, wenn Aufträge der beschäftigungspflichtigen Unternehmen an WfbM vergeben werden. Daher hat die deutsche Wirtschaft Interesse an der Auftragsvergabe zu WfbM und somit auch an OPERATE und seiner nachhaltigen Implementierung. Daher soll OPERATE am Standort Deutschland langfristig helfen, denn durch die FuE-Ansätze der interaktiven Assistenzrobotik sollen MmB aus WfbM einerseits in der Lage sein, komplexere und bislang schwer machbare Aufgaben erledigen zu können, andererseits durch die technische Unterstützung konkurrenzfähiger für den allgemeinen Arbeitsmarkt werden. Um nicht nur Theorien und Methoden zu erstellen,

sollen vor allem reale Applikationen als Use Cases untersucht und die Assistenzrobotik an ihnen erprobt werden.

Die **kurzfristigen Erfolgsaussichten** bei OPERATE (1-6 Monate) soll vor allem die erfolgreiche Umsetzung der drei Use Cases in den drei WfbM sein, welche als Basis für aufbauende und abgeleitete Produkte/Prozesse dient und weitere potenzielle Kunden (WfbM und Unternehmen, die MmB beschäftigen) zum Einsatz von interaktiver Assistenzrobotik motivieren sollen. In dieser Phase soll auch ein Weg der Vermarktung und des Vertriebs, und damit der Geschäftsmodelle etabliert werden (siehe 4.2). **Mittelfristig** (1-2 Jahre) sollen die in OPERATE entwickelten Standards, Methoden, Prozesse und Applikationen zusammen mit den ersten Kunden in weitere WfbM und Unternehmen angewendet werden. In der **langfristigen** Ausrichtung (2-10 Jahre) sollen weitere Kunden mit Anwendungen in der interaktiven Assistenzrobotik ausgestattet werden. Zudem sollen weitere Märkte erschlossen und betrachtet werden, wie z. B. Pflege oder die Spezialisierung auf weitere Behinderungen wie z. B. Blindheit oder Gehörlosigkeit, welche oft in anderen Einrichtungen als WfbM beschäftigt sind.

Während der Projektlaufzeit soll die erste Umsetzung der Projektergebnisse bei den assoziierten WfbM stattfinden. Dies hat den Vorteil, dass in OPERATE erforschte und entwickelte Ansätze zunächst in einer vertrauten und partnerschaftlichen Umgebung installiert und erprobt werden können. Während der Projektlaufzeit, spätestens aber sechs Monate nach der Projektlaufzeit sollen die entwickelten Produkte, Methoden, Prozesse und Applikationen auch außerhalb des Projektkonsortiums auf dem Markt angeboten werden. Die Marktzugänge sind bei den involvierten Partnern vorhanden. Je nach Produkt, Methode, Prozess oder Applikation sind verschiedene Partner für die Verbreitung der Ergebnisse zuständig. Die Ergebnisse der Partner sollen gebündelt in einer eigenen Geschäftsform (siehe 4.2) in den Markt gebracht werden. Dazu werden von YOUSE während des Projekts in Arbeitspaket 23 konkrete Geschäftsmodelle erarbeitet, auch zusammen mit RimA. Entwickelte Produkte wie z. B. die Kamera für interaktive Assistenzrobotik von PIEYE wird darüber hinaus auch von PIEYE selbst vertrieben.

Eine Wettbewerberanalyse hat ergeben, dass sich derzeit niemand mit interaktiver Assistenzrobotik in der Domäne MmB in WfbM beschäftigt. Die assoziierten

WfbM können dies bestätigen und somit kann ein neuer Markt mit großem Potenzial erschlossen werden. Einerseits sind bereits Marktzugänge vorhanden (z. B. das ZIM-Innovationsnetzwerke „VOLKER“ des IWT, im Bereich Pflege der HKE oder der UI/UX-Markt durch YOUSE). Weiterhin können durch Verbände wie dem *Werkstatt-räte Baden-Württemberg e. V.*, zu denen bereits Kontakt besteht, oder auf der deutschen Messe der Bundesarbeitsgemeinschaft Werkstätten für behinderte Menschen (BAG WfbM) „Werkstätten:Messe“ schnell viele potenzielle Kunden erreicht werden. Darüber hinaus sollen weitere Märkte während der Projektlaufzeit erschlossen werden. Weiterhin ist positiv zu berücksichtigen, dass bei OPERATE Konsortialpartner aus ganz Deutschland beteiligt sind (vom Bodensee über Chemnitz über Berlin bis nach Köln), womit die Wege zu potenziellen Kunden deutschlandweit kurz und effizient gehalten werden können.

8.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Nach Abschluss des Projekts soll OPERATE als eigene Geschäftsform (z. B. (g)GmbH, Verein, etc.), welche aus einem Zusammenschluss oder Ausgründungen der Konsortialpartner besteht, fortgeführt werden. Dies hängt maßgeblich vom Geschäftsmodell ab, welches von YOUSE in Kooperation mit RimA und den anderen Partnern in Arbeitspaket 23 entwickelt. Die physische Basis kann dabei die Smart Factory des IWT sein, denn dort können auch nach Abschluss des Projekts an dem dort installierten interaktiven Assistenzsystem (neue) Ansätze erprobt oder weiterentwickelt werden.

Die Grundlage bzw. das Produkt/die Dienstleistung soll das in OPERATE entwickelte Paket aus Produkten, Methoden, Prozessen und Applikationen sein, welches für die Kunden als „Begleitete Einführung von interaktiver Assistenzrobotik (in WfbM)“ zu erwerben sein wird, und Design-basiert entwickelt wird. Dabei soll der Kunde aus einem flexiblen (Geschäftsmodell-)Katalog auswählen können, welche Produkte und Dienstleistungen erwerben möchte (ähnlich einem Konfigurator für KFZ). Diese werden dann von der beschriebenen Geschäftsform bearbeitet und umgesetzt. Elemente des angebotenen Pakets sind im hellgrünen Kasten rechts unten in 8.2 beschrieben.

Nach der initialen Förderung sollen im Kompetenzzentrum weitere Ansätze zur interaktiven Assistenzrobotik erforscht und entwickelt werden. Die sollen entweder

8 OPERATE

über weitere Fördermittel oder von den Einnahmen der wirtschaftlichen Tätigkeiten realisiert werden. Während der Ausarbeitung der Machbarkeitsstudie im Konsortium sind viele Ideen entstanden, Beispiele sind die Erweiterung des „Gefahrenbeurteilenden Assistenzsystems für MRK“ aus Arbeitspaket 16 (im Projekt ist der Fokus auf dem Arbeitsbereich des MmB, dies kann erweitert werden, sodass ganze Arbeitsgebiete wie die gesamte WfbM anvisiert wird) oder die Integration einer Farbmessoption in die in Arbeitspaket 10 entwickelten 3D-Kamera. Darüber hinaus wird sich das Konsortium nach erfolgreicher Zwischenevaluation auf die Projektverlängerung um zwei Jahre bewerben, um den Transfer zielgerichtet voranzutreiben.

Die perspektivisch angebotenen Dienstleistungen sind die am Anfang des Absatzes beschriebene Paket aus Produkten, Methoden, Prozessen und Applikationen, dass es dem Kunden ermöglicht, „Begleitete Einführung von interaktiver Assistenzrobotik (in WfbM)“ zu erwerben. Die Zielmärkte sind dabei zunächst bezüglich der Branche die WfbM sowie Unternehmen, welche MmB beschäftigen. Der Zielmarkt soll langfristige auch auf andere Branchen adaptiert werden, wie z. B. Pflege. Einen regionalen Bezug gibt es dabei nicht, das Produkt bzw. die Dienstleistung soll deutschlandweit angeboten werden.

Parallel zur geplanten entstehenden eigenen Geschäftsform können/sollen die regulären oder assoziierten Partner Teilergebnisse auch selbst vermarkten und verwerten. So kann z. B. PIEYE die in OPERATE entwickelte 2D/3D-Kamera für interaktive Assistenzrobotik als Produkt vertreiben, PPP den kollaborativen Klebprozess und YOUSE die Geschäftsmodelle, UX und ELSI-Betrachtungen als Dienstleistung auf dem freien Markt anbieten.

8.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

8.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Das Konsortium hat bereits sehr viel Erfahrung mit Projekten im Bereich interaktiver Assistenzrobotik, drei Partner waren auch an RA1 oder RA2 beteiligt. In diesem Abschnitt werden deshalb nur die Erfahrungen aufgezeigt, die eine Relevanz für das Projekt OPERATE haben.

Die das **IWT** kann einige Projekte und Veröffentlichungen in der Assistenzrobotik nachweisen. In der Dissertation von Dalm (2021) ging es beispielsweise um Akzeptanz und Usability von Cobots sowohl von MmB, als auch von deren Betreuenden. Die dabei behandelte Anwendungsdomäne (WfbM) und die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Basis für OPERATE. In diesem Rahmen wurden auch Veröffentlichungen publiziert (Dalm et al. 2020, Dalm and Sahuji 2021, Sheth et al. 2021). Darüber hinaus verfügt das IWT über eine gut ausgestattete Smart Factory, in der verschiedene FuE-Ansätze erprobt werden können. Managementkompetenz kann das IWT durch den Betrieb zweier ZIM-Innovationsnetzwerke (VOLKER und SmartShip) nachweisen.

Die relevanten Erfahrungen des **IWU** können vor durch das Projekt „MIRobO – Multimodale Interaktionsstrategien für robotergestützte Objektübergaben“ (2018 - 2021) aus dem Förderprogramm RA1 des BMBF nachgewiesen werden. Das IWU behandelte im Projekt die sichere und Nutzer-gerechte Gestaltung von Übergabeprozessen zwischen Robotern und Menschen mit Sichtbeschränkung. Diese Thematik soll auch, adaptiert an die Anwendungsdomäne WfbM, bei OPERATE in diversen Arbeitspaketen weiterentwickelt werden.

Die **HKE** kann mit einigen Veröffentlichungen und Projekten Ihre Kompetenz im Bereich der funktionalen Sicherheit und Human-Maschine-Interface (HMI) nachweisen. Ein Projekt im Bereich HMI war beispielsweise die Teilnahme an „PEGASUS“ vom BMWi. Relevante Veröffentlichungen in der Funktionalen Sicherheit sind z. B. von Epple et al. (2017) oder die Dissertation von Epple (2021).

Das Unternehmen **PPP** ist in der Forschung tätig (z. B. BMWi ZIM-Kooperationsprojekt PST, Prozesssteuerungstool für 3D-Druck, 16KN095320) und entwickelt seit vielen Jahren vor allem Cloud-basierte Software im B2B-Bereich.

Die **UR** konnte bereits Erfahrung in einer verwandten Domäne sammeln, da sie als Projektpartner die Begleitforschung im Projekt „Helfen und selber gesund bleiben!“ von der Alzheimer Gesellschaft für den Landkreis Kelheim e. V. (gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit und Pflege, 2018 - 2021) durchführt. Dabei geht es um die Gestaltung und Evaluation von innovativen Selbsthilfekzepten für pflegende Angehörige von Menschen mit Alzheimer oder einer anderen Form der Demenz. Das Projekt hat insbesondere die Aufrechterhaltung der psychischen Gesundheit von pflegendem Angehörigen als Ziel und besteht aus drei innovativen Maßnahmen und ist nominiert für den Bayerischen Gesundheits- und Pflegepreis 2019 (innovative Ideen für Bayern). Relevante Publikation sind Widmann et al. (2019) oder Beer and Mulder (2020).

Die **PIEYE** hat ihren Schwerpunkt in der effizienten Entwicklung und Fertigung von Prototypen und in der 3D-Kameratechnik. Im Bereich Forschung ist ein relevantes Projekt für OPERATE „Nimbus – Entwicklung einer 3D-Kamera“, I4KMU-9-024, gefördert vom BMBF (2019-2020). Die Firma verfügt außerdem über fertigungstechnische Infrastruktur (z. B. 3D-Drucker-Farm, SMD-Bestück-Automat), welche sie dem Projekt OPERATE zur Verfügung stellen wird.

Die **RWU** hat bereits mehrere Projekte in der Assistenzrobotik und Interaktion im Institut für Künstliche Intelligenz (IKI), im Institut für Photonische Systeme (IPHOS) und im Institut für Digitalen Wandel (IDW) durchgeführt. Beispiele sind die Projekte „RobotKoop – Kooperative Interaktion und Zielverhandlung mit lernenden autonomen Robotern“ aus RA2 des BMBF, „ZAFH – Servicerobotik: Arbeitsgruppe für Sicherheitskonzepte autonomer Serviceroboter“, 2008–2013 oder „ERTRAG“ – Virtueller Ergonomietrainer in der Pflegeausbildung, BMBF, 2016–2019. Auf den Ergebnissen des RA2-Projekts „RobotKoop“ soll in OPERTAE explizit aufgebaut werden und diese zu einem „gefahrenbeurteilenden Assistenzsystem“ weiterentwickelt werden. Relevante Veröffentlichungen sind Reichold et al. (2017) oder Agrawal and Ertel (2018).

Die **THK** mit dem Cologne Cobot Lab (CCL) hat ebenfalls bereits ausgiebig Projekterfahrung in der interaktiven Assistenzrobotik gesammelt. Ein aktuelles Forschungsprojekt ist z. B. „GeneRobot – Assistenzroboter Pepper im betreuten Wohnen“, gefördert vom BMBF. Mit diesem Projekt hat das CCL sogar den Wettbewerb „Gesellschaft der Ideen“ des BMBF gewonnen. Weiterhin sind relevante Veröffentlichungen vorzeigbar, Beispiele sind Neef and Richert (2020), Neef et al. (2020) oder Thoma et al. (2021).

Die **TUD** mit dem Institut Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK) hat schon Projekte im Bereich Cloud und Digitaler Zwilling bearbeitet (z. B. „CaMPuS“ – Intelligent Cloud Manufacturing Service and Pilot Factory, BMBF) und kann die gewonnenen Erkenntnisse zielführend im Kompetenzzentrum OPERATE einbringen. Relevante Veröffentlichungen sind z. B. Ríos et al. (2020) oder Kern and Anderl (2020).

Das Unternehmen **YOUSE** unterstützt und begleitet eine Vielzahl von Forschungs- und Industrieprojekten im User-Centered-Design. Dabei hat die Firma z. B. am Projekt „MIRobO – Multimodale Interaktionsstrategien für robotergestützte Objektübergaben“ aus dem Förderprogramm RA1 des BMBF teilgenommen. Dabei führte YOUSE Interviews mit blinden und seheingeschränkten Personen durch, um die wichtigsten Ziele und Anforderungen des Roboters zu identifizieren, ergänzt durch Usability-Tests, um die Akzeptanz und das Verständnis der Mensch-Roboter-Interaktion sicherzustellen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen bei OPERATE einfließen und weiterverfolgt werden, mit erweiterter Zielgruppe (MIRobO: Menschen mit Seheinschränkung; OPERATE: Menschen mit körperlicher, seelischer oder psychischer Behinderung). Ein weiteres Projekt ist „MORPHIA – Mobiler Assistenzroboter zur Verbesserung von Teilhabe, Versorgung und Sicherheit in der häuslichen Pflege“ des BMBF.

8.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Das **IWT** deckt vier Bereiche im Kompetenzzentrum ab: Projekt- und Eventmanagement, PR und Workshops, die Entwicklung und Fertigung sicherer und barrierefreier Cobot-Zellen, die Umwandlung eines manuellen Montageprozesses in einen MRK-Arbeitsplatz anhand des Use Cases „Schraubenbeutel“ sowie die gefahrlose Interaktion

8 OPERATE

des Menschen mit einem hochpräzisen 2D/3D-Kamerasystem und einem Cobot, an dem ein Heißluftgebläse montiert ist, am Beispiel der „Outdoortasche“. Das IWT soll auch primärer Ansprechpartner für das BMBF, für den Projektträger und weitere Stakeholder sein.

Das **IWU** kümmert sich im Projekt um die Entwicklung der Gestensteuerung, welche ein Element der multimodalen User Interfaces darstellen und darin integriert werden soll. Weiterhin erstellt das IWU einen SafetyToolkit, der anhand der drei Use Cases evaluiert werden soll. Abschließend erforscht und entwickelt das IWU die intuitive Roboterprogrammierung, damit WfbM auch zukünftig in der Lage sein werden, einfache Programme oder Modifikationen selbst vornehmen zu können. Alle Applikationen werden mit Fokus auf Bedienbarkeit, Akzeptanz und Interaktion mit MmB konzipiert und entwickelt.

Die **HKE** übernimmt bei OPERATE zum einen den Teil der Funktionalen Sicherheit (FuSi), wobei dabei konkret die Mensch-Roboter-Kollaboration untersucht wird. Zum anderen betrachtet die Hochschule den Bereich Human-Machine-Interface (HMI). Hier werden modulare und standardisierte Ansätze für den Einsatz interaktiver Assistenzroboter(-Systeme) unter Berücksichtigung der Behinderung entwickelt, von der Analyse der Arbeitsumgebung und Klassifizierung der Einschränkung bis hin zur Ergebnisverwertung.

Das Unternehmen **PPP** entwickelt das Backend der multimodalen User Interfaces, sodass alle Partner mit den entwickelten Applikationen über eine gemeinsame technische Schnittstelle über Standardprotokolle kommunizieren können. Darüber hinaus konzipiert die Firma einen Ansatz zum kollaborativen Kleben, setzt diesen um und verifiziert ihn am Use Case „Gemüsehobel“.

Die **UR** unterstützt das Projekt in den Bereichen Lehren, Lernen, Didaktik und Transfer. Sie ist verantwortlich für die Durchführung von Design Thinking Workshops und für die Konzeption, die Implementierung und die Evaluation der Blended Learning Schulungsangebote. Darüber hinaus übernimmt die Universität die Schnittstelle zum Transferprojekt RimA (siehe Kapitel 8.5.4).

Die **PIEYE** hat in ihrem Produktportfolio ein 3D-Kamerasystem, welches in diesem Projekt für die Anwendung mit der interaktiven Assistenzrobotik weiterentwickelt werden soll. Dabei soll die Kamera einerseits durch iterative Anpassungen hardwaretechnisch so optimiert werden, dass die alle benötigten Schnittstellen bereitstellt und von den Anforderungen her (z. B. Auflösung) zur Mensch-Maschine-Interaktion geeignet ist. Darüber hinaus soll ein Softwareinterface so konzipiert werden, dass eine komfortable Interaktion mit dem Kamerasystem, auch ohne Programmierkenntnisse, möglich ist (UX).

Die **RWU** ist in vier Bereichen bei OPERATE involviert: Der erste ist die Entwicklung eines Onboarding Systems, mit dem MmB die für sich geeignetste Möglichkeit der Interaktion identifizieren können (z. B. AR, Touch-Eingabe, Gestensteuerung, etc.). Zweitens verantwortet die Hochschule die Multimodalen User Interfaces mit Frontend und Interaktionsmodalitäten. Der dritte Bereich ist die Entwicklung eines KI- und Kamera-basierten interaktiven Assistenzsystems zur Erkennung der Armbewegungen des Montierenden bei einer MRK-Anwendung, welches anhand eines der drei Use Cases evaluiert werden soll. Schließlich wird, weiterführend aus den Ansätzen von RA2, ein auf KI- und Kameratechnik basierendes System zur gefahrenbeurteilenden Analyse der Arbeitsumgebung erforscht und in einem Use Case evaluiert.

Die **THK** mit dem CCL bringt qualitative und quantitative Methoden aus den Sozialwissenschaften in das Projekt ein. Durch den Einsatz der Methoden werden die Bedürfnisse der Nutzenden während des gesamten Projektverlaufs erhoben und bei den Entwicklungsschritten berücksichtigt. Die Hochschule unterstützt somit die Projektpartner bei der nutzerzentrierten Erhebung von Anforderungen, deren Evaluation und der Konzeption geeigneter User Interfaces. Zusätzlich bringt sie ihre wissenschaftliche Expertise in das Projekt ein, um eine universelle Kompensationssystematik für die Zusammenarbeit von Menschen mit Einschränkungen und Cobots zu entwickeln.

Die **TUD** ist für die Entwicklung des digitalen Zwillings der interaktiven Assistenzroboteranwendungen zuständig. Damit sollen Applikationen (z. B. die Use Cases) virtuell nachgebildet und die Prozessabläufe simuliert werden können. Darüber hinaus verantwortet die Universität die Entwicklung einer Remote Maintenance Anwendung. Damit sollen WfbM langfristig in der Lage sein, kostengünstige remote Unterstützung bei den interaktiven Robotersystemen zu erhalten.

Das Unternehmen **YOUSE** unterstützt den Aufbau und den nachhaltigen Betrieb von OPERATE mit Kompetenzen im User-Centred-Design und in der Nutzerintegration (vor allem in Anforderungserhebung und unterstützend bei der Evaluation). Darüber hinaus ist YOUSE primärer Ansprechpartner für alle ELSI-Themen und für die Geschäftsmodellentwicklung.

In 8.2 sind die Zusammenhänge der Arbeitspakete der Projektpartner beschrieben (**Umsetzungskette**). Die Detaillierung ist in Abschnitt „1. Arbeitspakete inkl. Arbeitseinteilung“, die zeitliche Reihenfolge im „3. Projektplan (Gantt-Diagramm)“ des Dokuments „Arbeitsplan“ beschrieben.

Schnittstellen sind bereits im ersten Arbeitspaket des Projekts sichtbar, bei dem alle Partner mitwirken. Hier werden sie auch näher spezifiziert. Weiterhin gibt es intensive Schnittstellen im Bereich der Kameratechnik, welches bei OPERATE in Kollaboration mit dem Mensch und dem Roboter ein tragendes Element der Mensch-Maschine-Interaktion darstellt. Hier sind alle technisch-technologischen Partner involviert (IWT, IWU, HKE, PPP, PIEYE, RWU, TUD). Weiterhin wird das Multimodale UI von mehreren Partnern entwickelt (IWT, PPP, RWU, YOUSE, TUD). Zudem sind alle Partner passiv oder aktiv bei den Veranstaltungen, Workshops und beim Projektmanagement involviert. Darüber hinaus sind bei vielen Arbeitspaketen Nutzerstudien im Sinne von Usability und Akzeptanz Tests eingeplant, wodurch sich weitere Schnittstellen und Kooperation zwischen den Partnern ergeben (THK, YOUSE mit allen anderen Partnern). Beim Sicherheitskonzept kooperieren die Partner IWT, IWU, HKE und RWU. Schließlich sind die Entwicklungen in den Bereichen ELSI, Geschäftsmodelle und Ergebnisverwertung übergreifende Themen, an denen sich alle Partner beteiligen. Eine detaillierte Beschreibung mit genauen Schnittstellen und Zuweisungen ist im Arbeitsplan und in 8.2 zu finden.

8.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Bei OPERATE gibt es derzeit sieben assoziierte Partner, welche in folgendem Absatz erläutert werden.

Die **Integrations-Werkstätten Oberschwaben gGmbH (IWO) Weingarten** ist ein innovatives gemeinnütziges Sozialunternehmen mit Hauptsitz in Weingarten mit dem Ziel, Menschen, die (noch) keinen Zugang zum allgemeinen Arbeitsmarkt haben, Teilhabe an Bildung, Arbeit und Gesellschaft zu ermöglichen. Im Projekt stellt die IWO die Anwendung „Schraubenbeutel“ bereit und wirkt aktiv bei dessen Umsetzung und Integration mit.

Als Nächstes ist die **Liebenau Teilhabe gGmbH** mit Sitz in Meckenbeuren als assoziiertes Partner zu nennen. Sie verhilft MmB zu einer möglichst uneingeschränkten Teilhabe am gesellschaftlichen Leben in ihren jeweiligen Sozialräumen, in der Bildung, Erziehung und Betreuung. Die Stiftung stellt im Projekt die Anwendung „Outdoor-tasche“ und begleitet die Umsetzung mit personellen und räumlichen Ressourcen. Außerdem stellt sie ein erfahrenes Ethikkomitee bereit, mit dem bereits am Nachmittag des 25.06.2021 über OPERATE aus ELSI-Sicht intensiv diskutiert wurde.

Die **Lindenberger Werkstätten gGmbH** als Teil der Lebenshilfe für MmB e. V. mit Standorten in Lindau und Lindenberg ist ebenfalls eine WfbM und stellt bei OPERATE die Applikation „Gemüsehobel“ bereit. Außerdem werden sie bei dessen Umsetzung und Integration aktiv mitwirken und die Anwendung in den Arbeitsalltag der Werkstattmitarbeitenden implementieren.

Das Unternehmen **NEXT. Robotics GmbH & Co. KG** aus Villingen-Schwenningen verbindet aktuelle Robotertechnik mit modernster, innovativer Sensortechnik für eine bessere Interaktion zwischen Mensch und Umgebung und vertreibt darüber hinaus Cobots. Durch NEXT wird das Projekt durch attraktive Konditionen beim Erwerb der im Projekt genutzten Cobots unterstützt.

norelem Normelemente GmbH & Co. KG aus Markgröningen verfügt über eine einzigartige Auswahl aus Normteilen und Komponenten aus dem Maschinen- und Anlagenbau. Deshalb supportet norelem OPERATE als assoziiertes Partner mit

teilweise kostenlosen Normteilen für den Bau der Roboterzellen.

Die **Sumitomo (SHI) Cyclo Drive Germany GmbH** aus Markt Indersdorf forscht und arbeitet an disruptiver Technologie im Bereich der Robotik mit Fokus auf Antriebstechnik. Als assoziierter Partner unterstützen Sumitomo OPERATE bei Fragestellungen um erweiterte Antriebstechnik bei Robotern.

Ein weiterer assoziierter Partner sind die NEULAND-Werkstätten des eingetragenen Vereins **Die Zieglerschen e. V.** mit Sitz in Wilhelmsdorf. Die WfbM möchte sich beim Projekt bei Bedarf mit personellen und infrastrukturellen Ressourcen einbringen.

Interessierte Unternehmen/Forschungsgruppen können auch nach Projektstart zu jedem Zeitpunkt noch in die Testumgebung eingebunden werden. Es besteht einerseits die Möglichkeit, die Entwicklung von OPERATE zu begleiten, andererseits nach der Etablierung beim Geschäftsmodell mitzuwirken sowie Systeme und Interessen durch z. B. Tests oder Benchmarks einfließen zu lassen. Hierfür sind die drei identifizierten Use Cases eine ideale Testmöglichkeit, aus welche interessierte Partner zugreifen können. Um weitere Unternehmen/Forschungsgruppen anzusprechen, sind vor allem die geplanten PR-Aktionen angedacht (öffentliche Veranstaltungen, Social Media, etc.), zudem werden die Kontaktdaten zu den Ansprechpartnern von OPERATE auf der Projekt-Homepage, auf Flyern und Visitenkarten veröffentlicht. Darüber hinaus gibt es bereits enge Kontakte zu Robotik-Netzwerken (z.B. ZIM Innovationsnetzwerk VOLKER) und zu WfbM-Arbeitsgemeinschaften¹, deren Mitglieder potenzielle Kunden des Kompetenzzentrums sind. Der Kontakt soll dabei durch die verantwortliche Person des Projektmanagements in OPERATE erfolgen und auch über sie eine mögliche Zusammenarbeit diskutiert werden.

8.5.4 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

OPERATE stellt dem parallellaufenden Transferprojekt RimA einen designierten Transfermanager (m/w/d) als Kontaktperson zur Verfügung, welcher beim Partner UR angesiedelt ist. Grundsätzlich soll OPERATE RimA in allen Aktivitäten behilflich sein, die die interaktive Service- und Assistenzrobotik in Deutschland nachhaltig

¹Arbeitsgemeinschaft Bodensee-Oberschwaben (Bodenseekreis, Kreise Ravensburg und Sigmaringen), www.lag-wfbm-bw.de

fördern. Dabei unterstützen die Projektpartner (unter Anweisung bzw. Delegation des Transfermanagers) RimA im ersten Schritt bei der Veröffentlichung der Machbarkeitsstudien, in dem die Unterlagen in der geeigneten Form aufbereitet und übergeben werden. Zusätzlich nimmt das Konsortium am wissenschaftlich/technischen Austausch zwischen den Kompetenzzentren teil und bereichert diesen mit dem Einbringen der Projektansätze und -Ergebnisse von OPERATE. Zudem partizipieren die Projektpartner an den von RimA angebotenen Schulungen und interaktiven Workshops. Schließlich unterstützt OPERATE beim Aufbau einer Wissensplattform für die interaktive Service- und Assistenzrobotik, denn sie soll während der Projektlauf vom OPERATE-Team ebenfalls aktiv genutzt werden. Darüber hinaus nimmt das Konsortium an den von RimA ausgerichteten Benchmarks und Wettbewerben teil und bringt sich dort mit den Projektergebnissen produktiv und unterstützend ein mit dem Ziel, mehr innovative, interaktive Roboter in den Alltag zu bringen. Benchmarks und Wettbewerbe könnten dabei auch in der Smart Factory des Partners IWT stattfinden. Abschließend sollen die entwickelten Geschäftsmodelle mit RimA abgestimmt und ggf. weiterentwickelt werden, die Kriterien für Test-Szenarien/Metriken/Benchmark sind beschrieben.

Zusammen mit Rima möchte sich OPERATE darüber hinaus in seiner Transferstrategie auf die Konzepte des Partizipativen Designs (PD) und des Community-Based Research (CBR) beziehen. Gerade letzteres Konzept erfährt immer größere Beliebtheit und Relevanz, um gerade auch die Zusammenarbeit mit der Gesellschaft und den Zielgruppen wissenschaftlicher Projekte zu gestalten und zu fördern. Es handelt sich dabei um einen bidirektionalen Austausch, der das Engagement zwischen Gemeinschaft (Praxis) und Hochschule (Forschung) fördert und somit Möglichkeiten erschafft, mit (sehr) unterschiedlichen Ressourcen zur Lösung schwieriger Probleme beizutragen. So kann CBR dazu beitragen, Forschungsprozesse und -ergebnisse bereichern, eine Gemeindeentwicklungsstrategie (z. B. Aufbau von Kapazitäten, Mobilisierung von Gruppen und Bereitstellung der Möglichkeit zusätzlicher Mittel und möglicher Beschäftigungsmöglichkeiten für Akteure aus der Gesellschaft) zu entwickeln und die Beziehungen zwischen Gesellschaft und Hochschule verbessern (z. B. durch Vertrauensbildung und Zusammenführung von Partnern mit unterschiedlichen Fähigkeiten, Kenntnissen und Erfahrungen) (Flicker et al. (2007)).

Literaturverzeichnis

- Ankita Agrawal and Wolfgang Ertel. Automatic nursing care trainer based on machine learning. In *KHD@ IJCAI*, pages 53–59, 2018.
- Regina Ammicht, Quinn Maria Beimborn, Selma Kadi, Nina Köberer, Mara Mühleck, Mone Spindler, and Kaja Tulatz. *MATERIA – Menschen im Alter und Technik: ethisch-sozialwissenschaftliche Reflexion auf Interaktion: Abschlussbericht des Projekts: gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung*. Internationales Zentrum für Ethik in den Wissenschaften (IZEW), 2015.
- Andreas Bächler, Liane Bächler, Sven Autenrieth, Hauke Behrendt, Markus Funk, Georg Krüll, Thomas Hörz, Thomas Heidenreich, Catrin Misselhorn, and Albrecht Schmidt. Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefendatenerkennung. In *Zukunft der Arbeit—eine praxisnahe Betrachtung*, pages 33–49. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- Patrick Beer and Regina H Mulder. The effects of technological developments on work and their implications for continuous vocational education and training: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 11:918, 2020.
- Dirk Berndt and Steffen Sauer. Visuelle Assistenz: Unterstützung bei der Durchführung komplexer Montageaufgaben. *wt Werkstattstechnik online* 102 (3), 2012.
- Statistisches Bundesamt. Statistik der schwerbehinderten Menschen. <https://www.rehadat-statistik.de/statistiken/behinderung/schwerbehinderten-statistik/>, 2020.
- Hrsg.) Bundesarbeitsgemeinschaft Werkstätten für behinderte Menschen (BAG WfbM. Menschen in Werkstätten, Bundesarbeitsgemeinschaft Werkstätten für behinderte Menschen. <https://www.bagwfbm.de/page/25>, 2021.
- Gioele Ciaparrone, Francisco Luque Sánchez, Siham Tabik, Luigi Troiano, Roberto Tagliaferri, and Francisco Herrera. Deep learning in video multi-object tracking: A survey. *Neurocomputing*, 381:61–88, 2020.

- K Dalm. *Organization and Management of Communication between Individuals with special Needs in industrial Environment*. University of Library Studies and Information Technologies, 2021.
- K Dalm and R Sahuji. Industrial digitalization for society – a learning factory concept based on four pillars. *11th Conference on Learning Factories 2021*, 2021.
- K Dalm, L Ruhbach, R Sahuji, H Sheth, and T Dietmueller. *Robotics – Functionality and Application of Collaborative Robots*. Fakultät Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, 2020.
- Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. Statistik zur Beschäftigung schwerbehinderter Menschen, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. <https://www.rehadat-ausgleichsabgabe.de/hintergrund/statistik>, 2021.
- Fachbereich: WD 6: Arbeit und Soziales (Hrsg.) Deutscher Bundestag. Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM). Einzelfragen zu Finanzierung und Lohnstruktur. <https://www.bundestag.de/resource/blob/668564/f117ad1eeadb8f87ade6ba2030a9f750/WD-6-118-19-pdf-data.pdf>, 2019.
- Deborah G Douglas. *The Social Construction of Technological Systems, anniversary edition: New Directions in the Sociology and History of Technology*. MIT press, 2012.
- Steffen Epple, Rolf Jung, Klaus Jalba, and Vasile Nasui. Real time capable control design with increased life expectancy for research purposes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 200(1):012034, 2017.
- Steffen Erik Epple. *The conception and implementation of an intelligent optical gripper prototype for industrial robots*. PhD thesis, Technical University of Cluj-Napoca, 2021.
- Philipp Ertle, Holger Voos, and Dirk Söffker. Utilizing dynamic hazard knowledge for risk sensitive action planning of autonomous robots. In *2012 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments Proceedings*, pages 162–167. IEEE, 2012.

- Flacco Fabrizio and Alessandro De Luca. Real-time computation of distance to dynamic obstacles with multiple depth sensors. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2(1):56–63, 2017.
- B Fischer and T Gericke. Zur Weiterentwicklung von Werkstätten für behinderte Menschen unter Inklusionsanspruch. <https://www.ueberaus.de/wws/weiterentwicklung-von-wfbm.php>, 2016.
- Sarah Flicker, Beth Savan, Mary McGrath, Brian Kolenda, and Matto Mildenerger. 'if you could change one thing. . . ' what community-based researchers wish they could have done differently. *Community Development Journal*, 43(2):239–253, 2007.
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. Icd-10-gm. <https://www.dimdi.de/dynamic/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm>, 2020.
- P Gehlen. *Sicherheit von Maschinen und funktionale Sicherheit. DIN EN ISO 13849-1 mit den Erläuterungen zur DIN EN 62061 (VDE 0113-50) verstehen, unter Bezugnahme auf europäische Richtlinien und Risikobeurteilungen, Bewertungen zahlreicher Sicherheitsfunktionen aus der Praxis*. VDE Verlag GmbH, 2020.
- Verlag Moderne Industrie GmbH. Darum schont Mensch-Roboter-Kollaboration die Werker. <https://www.produktion.de/trends-innovationen/darum-schont-mensch-roboter-kollaboration-die-werker-108.html>, 2017.
- Birgit Graf. Assistenzroboter für die Pflege: Verfügbare Produkte und Forschungsfelder. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 53(7), 2020.
- Alberto Hata, Rafia Inam, Klaus Raizer, Shaolei Wang, and Enyu Cao. Ai-based safety analysis for collaborative mobile robots. In *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pages 1722–1729. IEEE, 2019.
- Marcel Heerink, Ben Kröse, Vanessa Evers, and Bob Wielinga. Influence of social presence on acceptance of an assistive social robot and screen agent by elderly users. *Advanced Robotics*, 23(14):1909–1923, 2009.
- David J Hess and Benjamin K Sovacool. Sociotechnical matters: Reviewing and

- integrating science and technology studies with energy social science. *Energy Research & Social Science*, 65:101462, 2020.
- Aidan Hogan, Eva Blomqvist, Michael Cochez, Claudia d’Amato, Gerard De Melo, Claudio Gutierrez, José Emilio Labra Gayo, Sabrina Kirrane, Sebastian Neumaier, Axel Polleres, et al. *Knowledge graphs*. 2020.
- Michael Huelke, Matthias Umbreit, and Hans Jürgen Ottersbach. Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter. *Maschinenmarkt*, 33:32–34, 2010.
- DIN ISO. DIN EN, 61508:2011: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, 2011.
- DIN ISO. ISO, 8373:2012: Roboter und Robotikgeräte – Wörterbuch, 2012.
- DIN ISO. EN ISO, 13849-1:2016: Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze, 2016.
- DIN ISO. TS 15066: 2017: Roboter und Robotikgeräte–Kollaborierende Roboter. DIN Deutsches Institut für Normung e. V, 2017.
- Sein Jang, Lkhagvadorj Battulga, and Aziz Nasridinov. Detection of dangerous situations using deep learning model with relational inference. *Journal of Multimedia Information System*, 7(3):205–214, 2020.
- M Janson. Umsätze mit Cobots knacken bald Milliardengrenze. <https://de-statista-com.ezproxy-dhrv-1.redi-bw.de/infografik/25139/prognose-de-s-weltweiten-marktvolumens-fuer-kollaborative-roboter>, 2021.
- Meng Jiang. Improving situational awareness with collective artificial intelligence over knowledge graphs. In *Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Domain Operations Applications II*, volume 11413, pages 144–154. SPIE, 2020.
- Alexandre Joyce and Raymond L Paquin. The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models. *Journal of cleaner production*, 135:1474–1486, 2016.

M Jürgens. Menschen mit Behinderung und Roboter sind bald Partner am Arbeitsplatz. <https://www.nextgeneration-mrk.de/export/sites/nextgeneration-mrk/.content/.galleries/downloads/next-generation-SozialCourage-Caritas.pdf>, 2019.

Alexander Kern and Reiner Anderl. Using digital twin data for the attribute-based usage control of value-added networks. In *2020 Seventh International Conference on Software Defined Systems (SDS)*, pages 29–36. IEEE, 2020.

Michael Kerres. *Mediendidaktik*. De Gruyter, 2018.

Keyence. Sicherheits-laserscannermodellreihe sz-v32n. <https://www.keyence.de/products/safety/laser-scanner/sz-v/models/sz-v32n/>, 2021.

Oussama Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. In *Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, volume 2, pages 500–505. IEEE, 1985.

David Kremer and Sibylle Hermann. *Robotik für Menschen mit Behinderung*. Fraunhofer IAO, 2020.

F Kring. Kollaborierende Roboter: So steht es um die Arbeitssicherheit. <https://www.safetyxperts.de/arbeitschutz/gefaehrungsbeurteilung/gefahren-und-gefaehrungen/kollaborierende-roboter/>, 2018.

Michael Kröhn and Erik Eifert. Prozesstransparenz auf Gestenbasis. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110(7–8):451–454, 2015.

F Lee. Choosing a 3d vision camera. <https://www.iotforall.com/choosing-3d-vision-camera>, 2017.

Arne Manzeschke. *Ethische Herausforderungen technologischen Wandels. Vortrag anlässlich der Tagung „Serviceroboter und Avatare – Assistive Systeme im Gesundheitswesen“*. Evangelische Akademie zu Berlin, 2015.

P Mayring. *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*, Beltz Pädagogik, 12., überarb. Aufl., Beltz, 2015.

- Caterina Neef and Anja Richert. Promoting autonomy in care: combining sensor technology and social robotics for health monitoring. *Engineering Proceedings*, 2 (1):42, 2020.
- Caterina Neef, Dario Luijckers, Jan Bollenbacher, Christian Gebel, and Anja Richert. Towards intelligent pick and place assembly of individualized products using reinforcement learning. In *International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications*, pages 325–331. Springer, 2020.
- Jochen Nelles, Christina Bröhl, Julia Spies, Christopher Brandl, Alexander Mertens, and Christopher M Schlick. ELSI-Fragestellungen im Kontext der Mensch-Roboter-Kollaboration. *Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human*, pages 1–6, 2016.
- S Noerdlinger. So funktioniert Montage 4.0, Produktion – Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie, 2017.
- Marija Radic and Agnes Vosen. Ethische, rechtliche und soziale Anforderungen an Assistenzroboter in der Pflege. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 53(7): 630–636, 2020.
- Johannes Reichold, Ankita Agrawal, Marieke Thurlings, Iris Cohen, Barbara Weber-Fiori, Anita Rölle, Muneeb Hassan, Maximilian Dürr, Ulrike Pfeil, Anna-Antonia Pape, Gerd Grünert, Artur Schmidt, Markus Pfeil, Victor Fäßler, Volker Jauch, Harald Reiterer, Maik Winter, Wolfgang Ertel, and Jörg Eberhardt. Human-machine interaction in care-education. In Manuel Burghardt, Raphael Wimmer, Christian Wolff, and Christa Womser-Hacker, editors, *Mensch und Computer 2017 - Workshopband*. Gesellschaft für Informatik e.V., 2017.
- José Ríos, Georg Staudter, Moritz Weber, and Reiner Anderl. Enabling the digital twin: a review of the modelling of measurement uncertainty on data transfer standards and its relationship with data from tests. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 12(3):250–268, 2020.
- Heinke Rübken and Kathrin Wetzel. *Qualitative und quantitative Forschungsmethoden*. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg - Center für lebenslanges Lernen, 2020.

- Bodo Rosenhahn, Uwe G Kersting, Andrew W Smith, Jason K Gurney, Thomas Brox, and Reinhard Klette. A system for marker-less human motion estimation. In *Joint Pattern Recognition Symposium*, pages 230–237. Springer, 2005.
- F Schmatz, J Meißner, J Sender, W Flügge, and E Gorr. Mensch-Roboter-Kollaboration in der Flugzeugendmontage. *Industrie 4.0 Management*, 1:19–22, 2019.
- H Sheth, K Dalm, R Sahuji, T Dietmueller, L Ruhbach, N Hohenauer, et al. Robotics – an educational perspective. *Schriftenreihe der Fakultät Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg*, 1, 2021.
- Statista. Umsatz mit Servicerobotern weltweit in den Jahren von 2018 bis 2025. <https://de-statista-com.ezproxy-dhrv-2.redi-bw.de/statistik/daten/studie/870594/umfrage/umsatz-mit-servicerobotern-weltweit>, 2019.
- Jochen J Steil and Günter W Maier. Kollaborative Roboter: universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt. In *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten*, pages 323–346. Springer, 2020.
- Christian Theobalt, Edilson de Aguiar, Carsten Stoll, Hans-Peter Seidel, and Sebastian Thrun. Performance capture from multi-view video. In *Image and Geometry Processing for 3-D Cinematography*, pages 127–149. Springer, 2010.
- A Thoma, C Neef, and A Richert. Intergenerational development of robotic applications as a social innovation: Project generobot. *Life Improvement Science Conference*, 1, 2021.
- 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.
- 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.

- Astrid Weiss, Regina Bernhaupt, and Manfred Tscheligi. The usus evaluation framework for user-centered HRI. *New Frontiers in Human–Robot Interaction*, 2:89–110, 2011.
- Andreas Widmann, Regina H Mulder, and Christoph König. Team learning behaviours as predictors of innovative work behaviour—a longitudinal study. *Innovation*, 21(2): 298–316, 2019.
- M Yoon, B Hooi, K Shin, and C Faloutsos. Fast and accurate anomaly detection in dynamic graphs with a two-pronged approach. <https://arxiv.org/pdf/2011.13085>, 2020.
- Michael Zollhöfer, Matthias Nießner, Shahram Izadi, Christoph Rehmann, Christopher Zach, Matthew Fisher, Chenglei Wu, Andrew Fitzgibbon, Charles Loop, Christian Theobalt, et al. Real-time non-rigid reconstruction using an RGB-D camera. *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, 33(4):1–12, 2014.

Kompetenzzentrum für Robotik und Interaktion für die Pflege (KO:ROP)

Förderkennzeichen 16SV8587

Marco Eichelberg¹, Tobias Krahn¹, Stefan Stiene², Alexander Sung², Manfred Hülsken-Giesler³, Yvonne Steffen³, Lena Marie Wirth³, Marion Bley⁴, Franziska Tigges⁵, Ulrike Pesch⁶, Kira Nordmann⁷, Nadine Reißner⁸, Uwe Zimmermann⁸, Christian Sternitzke⁹, Ulrich Schulze-Althoff¹⁰, Marc Ernst¹¹, Sebastian Glende¹², Sibylle Meyer¹³ und Andreas Hein¹



¹ OFFIS – Institut für Informatik Escherweg 2 26121 Oldenburg	² Universitätsklinikum Münster Albert-Schweitzer-Campus 1 48149 Münster	³ Universität Osnabrück Postfach 44 69 49069 Osnabrück	
⁴ Kompetenzzentrum Gesundheitswirtschaft e.V. Martinistraße 63 49080 Osnabrück	⁵ Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH Trippstadter Str. 122 67663 Kaiserslautern	⁶ SenVital Senioren- und Pflegezentrum Osnabrück-Haste Wilhelm-von-Euch-Straße 2 49090 Osnabrück	
⁷ immerda GmbH Ammerländer Heerstr. 163 26129 Oldenburg	⁸ KUKA Deutschland GmbH Zugspitzstraße 140 86165 Augsburg	⁹ tediro GmbH Ehrenbergstraße 11 98693 Ilmenau	
¹⁰ Medisana GmbH Carl-Schurz-Straße 2 41460 Neuss	¹¹ Space Technologies GmbH Graf-Adolf-Straße 69 40210 Düsseldorf	¹² YOUSE GmbH Florastraße 47 13187 Berlin	¹³ SIBIS GmbH Richard-Wagner-Strasse 19 10585 Berlin

9.1 Ziele des Kompetenzzentrums

9.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Die dauerhafte Sicherstellung der pflegerischen Versorgung ist eine der größten Herausforderungen der Zukunft. Während aktuell insgesamt 4,13 Millionen Menschen als pflegebedürftig im Sinne des SGB XI gelten, steigt diese Zahl Prognosen zufolge bis ins Jahr 2050 auf 4,5 bis 5 Millionen Pflegebedürftige. Dieser ansteigenden Anzahl Pflegebedürftiger stehen zunehmend weniger Pflegefachpersonen gegenüber, sodass bis 2050 mehr als 450.000 Pflegefachpersonen fehlen werden. Berufliche Pflegearbeit wird heute in äußerst heterogenen Handlungsfeldern erbracht, wobei die akutstationäre Pflege im Krankenhaus, die langzeitstationäre Pflege im Pflegeheim und die ambulante Pflege in der häuslichen Umgebung typische Orte der personenbezogenen Dienstleistung Pflege darstellen. In 2020 belief sich die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Kranken- und Altenpflege auf 1,7 Millionen, darunter 615.000 Altenpflegekräfte sowie 1,1 Millionen Krankenpflegekräfte – die Beschäftigungszahlen steigen seit 2015 kontinuierlich. Im Jahr 2019 generierte die Pflegebranche gemäß der amtlichen Statistik, also ohne Berücksichtigung der Pflege durch Angehörige, eine Bruttowertschöpfung von rund 43,1 Milliarden Euro und verzeichnet damit ein Wachstum von rund 6,2 % pro Jahr (gesamte Gesundheitswirtschaft: 4,1 %) (vgl. Rat der Arbeitswelt 2021). Vor dem Hintergrund des gegenwärtig nahezu flächendeckenden Fachkräftemangels und des kontinuierlich ansteigenden Bedarfs an Pflegeleistungen

steht die berufliche Pflege vor enormen Herausforderungen. Die jüngsten pandemiebedingten Entwicklungen haben die Pflege in Ausnahmesituationen gebracht, dabei aber verdeutlicht, dass berufliche Pflege in Deutschland in allen Handlungsfeldern systematisch an der Belastungsgrenze arbeitet (vgl. Rat der Arbeitswelt 2021).

Die Tätigkeitsbereiche der beruflichen Pflege können grob in *aufgaben- bzw. funktionsbezogene Aspekte* und *beziehungs-, emotions- und interaktionsorientierte Aspekte* differenziert werden (vgl. Hülsken-Giesler 2020, Hülsken-Giesler and Remmers 2020, Metzler et al. 2015), die in höchst heterogenen institutionellen Umgebungen erbracht werden. *Aufgaben- und funktionsbezogene Aspekte der Pflegearbeit* umfassen dabei die Unterstützung und Assistenz bzw. ggf. auch die Übernahme von Alltagsverrichtungen im Zusammenhang mit Körperpflege, Ernährung, Ausscheidung, Mobilität u. a. m. sowie Aktivitäten im Umfeld medizinisch-pflegerischer Maßnahmen zur Bewältigung oder zum Umgang mit Krankheit, Gebrechen und Leiden (z. B. Medikamentenmanagement, Wundversorgung, Monitoring von Vitalwerten). *Beziehungs-, emotions- und interaktionsorientierte Aspekte* der Pflegearbeit fokussieren vorzugsweise auf Pflege als Beziehungs- und Kooperationsarbeit, um hilfe- und pflegebedürftige Menschen aktiv in die Pflegearbeit einzubeziehen und soziale und gesellschaftliche Teilhabe zu ermöglichen. Gute Pflege wird vor diesem Hintergrund als personenbezogene Dienstleistung charakterisiert, die wissensbasiert, körperorientiert und interaktionsorientiert häufig in komplexen Bezügen als Arbeit in Ungewissheit erbracht wird und damit nur begrenzt standardisierbar ist. Die skizzierten Aufgaben der direkten Pflege sind gerahmt durch Aufgaben der indirekten Pflege, die Tätigkeiten im Bereich der Pflegeprozessplanung und -dokumentation, der Organisation und Koordination der Pflegearbeit sowie der Logistik (z. B. Beschaffung, Reinigung und Entsorgung von Materialien) umfasst.

Der systematische Einsatz von digitalen und mechatronischen Systemen zur Unterstützung der Pflege wird wegen der benannten Herausforderungen aktuell als relevante strategische Option zur Sicherstellung der Versorgungsqualität in allen Handlungsfeldern der Pflege diskutiert (vgl. z. B. Rat der Arbeitswelt 2021, Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020, Bundestag 2020, Bundesministerium für Gesundheit, BMG 2020). Der Etablierung von Robotik für die Pflege kommt dabei eine herausragende Bedeutung zu (vgl. z. B. Ethikrat 2020, Gliesche et al. 2020b, Hülsken-Giesler and Remmers 2020, Bundesministerium für Bildung und Forschung 2018, Klein

et al. 2018, Kehl 2018, Merda et al. 2017). Die Heterogenität der Handlungsfelder der beruflichen Pflege, die Sensibilität der Herausforderungen bei der Arbeit mit vulnerablen Menschen sowie die jeweils besonderen Bedingungen der institutionalisierten Pflege im Akutkrankenhaus, im Pflegeheim oder der häuslichen Umgebung von Pflegeempfänger*innen stellen allerdings besondere Herausforderungen an eine gelingende Mensch-Roboter-Interaktion. Für die Etablierung von Robotik in der Pflege sind daher technische Weiterentwicklungen der Mensch-Roboter-Interaktion notwendig, wobei neben konkreten Use Cases auf der Mikroebene auch Aspekte der Meso-Ebene (institutionelle Arbeits- und Organisationsprozesse) und der gesellschaftlichen Makro-Ebene (z. B. ethische Aspekte, Entwicklung des Care-Verständnisses unter Bedingungen der Robotik in der Pflege) zu berücksichtigen sind (vgl. z. B. Ethikrat 2020, Hülsken-Giesler and Remmers 2020, Schuh et al. 2020, Manzeschke and Assadi 2019).

9.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

In dem Verbundprojekt *KO:ROP* soll untersucht werden, wie robotische Komponenten sowie Robotersysteme in den Pflegealltag integriert bzw. an diesen angepasst werden können und ob berufliche Pflege, Pflegeempfänger*in und pflegende An- und Zugehörige bei Aufgaben und Tätigkeiten der indirekten und direkten Pflege physisch und psychisch entlastet werden können. Von entscheidender Bedeutung ist dabei, dass die robotischen Systeme angemessen auf die typischen Anforderungen und Bedarfe der verschiedenen Akteure in diesen heterogenen Handlungsfeldern reagieren können (vgl. z. B. Meyer and Fricke 2020, Merda et al. 2017, Pino et al. 2015). Zentrales Merkmal in der Pflegearbeit ist die in Abbildung 9.1 dargestellte Dreiecksbeziehung zwischen den beteiligten Pflegenden (berufliche oder Zu- und Angehörige), dem bzw. der Pflegeempfänger*in sowie dem unterstützenden Robotersystem.

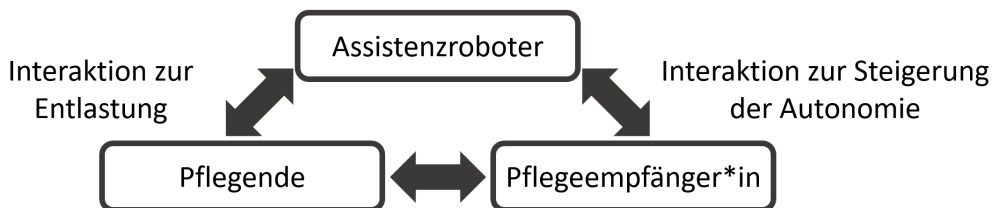


Abbildung 9.1: Interaktionsdreieck robotische Systeme für die Pflege.

Vor dem Hintergrund der Vielfalt und Unbestimmtheit möglicher Pflegesituationen (Charakteristikum der begrenzten Standardisierbarkeit von Pflegehandlungen) sind dafür hoch adaptierbare und flexible Strategien sowohl für die Zielerreichung als auch für die doppelte Mensch-Robotik-Interaktion notwendig. Auf Seiten der Pflegeempfänger*innen ist dies insbesondere durch den Wunsch nach Steigerung der Autonomie bei ggf. eingeschränkten Kommunikationsmöglichkeiten bedingt, die in Abhängigkeit von Altersbeeinträchtigungen, Erkrankungen oder auch Tagesform variieren können (vgl. Schuh et al. 2020). Auf Seiten der beruflichen Pflege entscheiden dagegen insbesondere situative Bedingungen über die konkret erwartete Entlastung und damit die Anforderungen an eine gelungene Mensch-Robotik-Interaktion: Unterstützt eine Robotik etwa eine Pflegeperson beim Patient*innentransfer vom Bett in einen Rollstuhl, kann dies in Abhängigkeit von der jeweils konkreten Situation (Tagesform auf Seiten der Patient*innen, situative Beanspruchung von Armen und Händen der Pflegeperson, räumliche Situation, z. B. Betthöhe) haptische, gestische, sprachliche oder auch ferngesteuerte Interaktionsformate zwischen den menschlichen Akteuren und der Robotik erfordern, um eine gelungene Zusammenarbeit zu erreichen. Die Bereitstellung von einzelfallrelevanten Informationen aus der Pflegeplanung oder aus evidenzbasierten Leitlinien in einer unmittelbaren Pflegesituation (Pflege als wissensbasierte Arbeit) kann etwa eine sprachliche Interaktion erfordern, während gleichzeitig eine gestische Steuerung der Robotik zur Assistenz bei der Lagerung (Pflege als körperorientierte Arbeit) notwendig ist. Der Einsatz interaktions- und emotionsorientierter Robotik bei kognitiv beeinträchtigten Menschen kann situativ eine mimisch-gestische oder sprachliche Steuerung erforderlich machen – der Einsatz von Robotik in häuslichen Umgebungen kann dagegen in komplexen Pflegearrangements (z. B. familiäre Helfer, ehrenamtliche Helfer, Haus- und Fachärzte, Pflegekasse etc.) wiederum verschiedenste Steuerungsformate (z. B. Fernsteuerung, sprachliche Steuerung, gestische Steuerung) erfordern.

Die Ergebnisse eines im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführten Workshops (26.05.2021) mit Pflegefachpersonen aus der langzeitstationären-, akutstationären- und ambulanten Pflege zum Thema „*Welche Mensch-Technik-Interaktionsformen sind in den heterogenen Handlungsfeldern der Pflege mit Blick auf relevante Pflegesituationen und aktuell verfügbare Robotik geeignet bzw. erforderlich?*“ verweisen auf Bedarfe nach verschiedenen Mensch-Technik-Interaktionsstrategien in der Pflege in Abhängigkeit der konkreten Pflegesituation und Robotik. Zur Unterstützung der aufgabenorientierten Pflege werden aus Sicht der Befragten insbesondere robotische Hebehilfen, Roboter zur Desinfektion und Reinigung sowie Logistik- und Transportsysteme als hilfreich bewertet. Hebehilfen sind demnach in allen Settings der Pflege von großer Bedeutung, logistische Lösungen eher in stationären Einrichtungen der Pflege. Zur Unterstützung der beziehungsorientierten Pflege werden Interaktions- und Telepräsenzroboter stärker präferiert als Emotionsrobotik. Neben häufig bereits realisierten Interaktionsschnittstellen (z. B. Touchpad) wird Sprache als Interaktionsformat besonders präferiert, um den Akteuren in der konkreten Pflegesituation eine freie Nutzung von Händen und Armen zu ermöglichen und die Aufmerksamkeit auf die zwischenmenschliche Interaktion richten zu können. Relevant für die Pflege sind demnach weiterhin Möglichkeiten der Gestensteuerung, der (Fern-)Steuerung über Joystick sowie ggf. über Eye-Tracking. Aspekte der gezielten und dosierten Kraftunterstützung sowie der sicheren Unterscheidung von Akteuren im Pflegearrangement sind demnach hoch relevant, um Gefährdungen der Beteiligten zu vermeiden. Eine einfache Bedienbarkeit sowie platzsparende Gestaltung (Lagerung und Nutzung in engen Räumlichkeiten) gelten als zentrale Voraussetzungen zur Etablierung der Robotik in den Handlungsfeldern der Pflege.¹

Die Präferenz von Pflegepersonen für eine robotische Unterstützung bei körperlich anstrengenden und logistischen Tätigkeiten bestätigt sich auch über die aktuelle Literaturlage (vgl. Schuh et al. 2020, Savela et al. 2018). Aus pflegfachlicher und pflegewissenschaftlicher Sicht ergeben sich vor diesem Hintergrund besondere Herausforderungen an Interaktionsmodalitäten: *Spracherkennung* hat etwa die spezifischen

¹An dieser Stelle bedanken wir uns ausdrücklich bei allen Teilnehmer*innen des Workshops für ihre wichtigen Beiträge und die zielführende Diskussion: Herr Oliver Hack (Immerda ambulante Intensivpflege, Oldenburg), Frau Stephanie Raudies (Johanniter Unfall-Hilfe), Herr Stefan Schäl (Victor's Group), Herr Sebastian Roth (AWO Oldenburg) und Frau Franziska Tigges (Universitätsklinikum Münster).

Fachsprachen, Jargons und Dialekte in den jeweiligen Handlungsfeldern verlässlich zu erkennen und zu interpretieren, *haptisches Feedback bzw. Kraftunterstützung* muss sowohl an die allgemeinen Belastungsgrenzen pro Körperteil als auch an individuelle Bedürfnisse (Schmerzempfindlichkeit) adaptiert werden, *Gestenerkennung* ist an die konkreten Arbeitsumgebungen (z. B. Licht- und Platzverhältnisse) anzupassen, *Emotionserkennung* stellt erhebliche Anforderungen an die Interpretation von technisch generierten Daten, und um pflegerelevante Informationen über Robotik in die Pflegesituation einzubringen, ist Kompatibilität mit den jeweils verwendeten Informationssystemen der Pflege zu gewährleisten.

Aus technischer Sicht müssen die Eingaben der beteiligten Personen über die Interaktionskanäle situationsgerecht interpretiert und zur Adaption der (sicheren) Ausführung einer Aktion genutzt werden. Dabei ist zwischen eher körperfernen Aufgaben der indirekten Pflege (bspw. Logistik) mit einem hohen Grad an Autonomie des Roboters (*Kollaboration*) und körpernahen Aufgaben der direkten Pflege (bspw. Umlagern) mit einem hohen Grad an Orientierung am Handeln des Menschen, d. h. einem hohen Maß an Interaktion und gegenseitiger Stabilisierung (*Kooperation*), zu unterscheiden. Aufgrund der großen Überschneidungen der Arbeitsräume der drei Akteure (Pfleger*in, Pflegeempfänger*in, Assistenzroboter) aus Abbildung 9.1 spielt die Sicherheit bei der Ausführung sowohl gegenüber dem bzw. der Pflegeempfänger*in als auch der Pflegeperson eine große Rolle. Neben Standards für die sichere Mensch-Roboter-Interaktion ist hier auch das Medizinprodukte-Durchführungsgesetz (MPDG) relevant, da die Systeme – abhängig von der Zweckbestimmung des Herstellers – als Medizinprodukte anzusehen sind.

Die Umsetzung dieser Anforderungen in sozialen Kontexten der Pflegearbeit erfordert, darauf verweisen inzwischen zahlreiche Studien (vgl. zum Überblick Bundestag 2020, Ethikrat 2020, Kehl 2018), die systematische partizipative Einbindung der potenziellen Nutzer*innen der Systeme, um eine erfolgreiche Implementierung zu erreichen. Um Akzeptanz und arbeitsprozessgerechte Einsatzbedingungen in den Handlungsfeldern der Pflege zu erreichen, sind diese Aspekte auch für Fragen der Mensch-Roboter-Interaktion dringlich zu berücksichtigen. Da im Kontext der Pflegearbeit sensible Daten und Informationen von Bedeutung sind, müssen Lösungen im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion grundsätzlich Aspekte des Datenschutzes und der Nutzungsrechte

(Benutzer-Authentifizierung, Rollen und Berechtigungen) in den jeweiligen institutionellen Kontexten berücksichtigen (vgl. Schuh et al. 2020, Krämer et al. 2019). Unter ethischen Gesichtspunkten wird betont, dass der Einsatz intelligenter Robotik kein Selbstzweck sein darf, sondern vielmehr immer unter der Zielsetzung der Förderung von Wohlbefinden gesehen werden muss (vgl. Europäische Kommission 2018). Dieser Grundsatz ist insbesondere auch in Kontexten der Pflegearbeit zu berücksichtigen. Als vertrauenswürdig gilt die Technologie demnach unter der Voraussetzung, dass sie (1) von fundamentalen Rechten, Werten und Prinzipien ausgeht und dabei die besondere Situation von vulnerablen Gruppen ebenso berücksichtigt wie bestehende Asymmetrien in der Verteilung von Information und Macht (ethical purpose), und neben dem mit einer Anwendung verbundenen Nutzen auch potenzielle Risiken kontinuierlich kritisch reflektiert, (2) auf zuverlässig anwendbarem technologischen Wissen basiert (technical robustness). Algorithmenbasierte Anwendungen bergen insbesondere dann Risiken der Diskriminierung, wenn sie zu ungerechtfertigten Benachteiligungen von Personen mit geschützten Merkmalen (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft, Religion, sexuelle Orientierung oder Behinderung) beitragen und damit zugleich auch gesellschaftliche Risiken von Generalisierungsunrecht, Einschränkung der freien Persönlichkeitsentfaltung, von gesellschaftlicher Ungleichheiten oder der Erreichbarkeit von Gleichheits- oder sozialpolitischen Zielen verstärken (vgl. Orwat 2019). Der Achte Altersbericht der Bundesregierung betont diese Aspekte in Bezug auf vulnerable Gruppen, insbesondere auch mit Blick auf pflegebedürftige Menschen (vgl. Bundestag 2020).

9.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Im Kompetenzzentrum für Robotik und Interaktion für die Pflege (KO:ROP) wird die Kernforschungsfrage beantwortet, wie situations- und personenindividuelle Interaktion mit robotischen Assistenzsystemen für die Pflege gestaltet sein muss, um Pflegearbeit adäquat im Alltag zu unterstützen. Das grundlegende Ziel besteht darin, „gute Pflege“, also eine evidenzbasierte und situations-, aufgaben- und beziehungsorientierte Pflege zu unterstützen und die Interaktion mit Robotik nutzerfreundlich zu gestalten, um die generelle Akzeptanz in der Praxis zu fördern.

KO:ROP wird dazu mehrere Praxiseinrichtungen im Großraum Nordwest in unterschiedlichen Handlungsfeldern der Pflege (akutstationär, langzeitstationär, ambulant/häuslich) mit Robotikkomponenten und -systemen ausstatten, Langzeittests durchführen, die Praxisrelevanz unter Berücksichtigung der Ergebnisse der vorangegangenen und laufenden einschlägigen BMBF-Förderlinien („Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten“ und „Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktionsstrategien“ sowie „Robotische Systeme für die Pflege“) untersuchen und klären, inwieweit sich entsprechende Interaktionsstrategien auf die Pflege übertragen lassen und wie diese ggf. zu adaptieren und weiterzuentwickeln sind. Dazu ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Robotik- und KI-Forschung, Pflegeforschung sowie Versorgungspraxis in Zusammenarbeit mit der Interaktionsforschung sowie Herstellern von Robotik-Lösungen für die Pflege notwendig (partizipative Technologie(weiter)entwicklung).

Für die praxisnahe Implementierung von Pflegeassistentenrobotern adressiert das KO:ROP über den aktuellen Stand der Forschung hinaus neben Fragen der Interaktionsfähigkeit von Robotern auch Herausforderungen der Pflegepraxis, der Pflegewissenschaft sowie ökonomische, soziale und rechtliche Problemstellungen. Die zentralen Forschungsfragen sind hierbei:

1. welche Voraussetzungen und Gelingensbedingungen sind für den Einsatz robotischer Systeme in der Pflegepraxis zu erfüllen,
2. wie kann eine sichere, situations- und personenindividuelle Interaktion zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen der Pflegepraxis und robotischen Systemen technisch realisiert werden,
3. durch welche Änderungen von Pflege- bzw. Arbeitsprozessen, IT-Unterstützung und Datenschutz sowie Hygieneanforderungen kann eine bedarfs- und nutzergerichte Unterstützung der Pflege durch robotische Systeme erzielt und evaluiert werden.

9.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

9.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

9.2.1.1 Stand der Pflegewissenschaft zum Robotikeinsatz in der Pflege

Als Robotik für die Pflege gilt, dem aktuellen Diskurs folgend, Robotik, die zum Einsatz im häuslichen Umfeld, in Pflegeheimen oder Akutkrankenhäusern zur Unterstützung, Assistenz oder Betreuung von kranken, behinderten oder vulnerablen Menschen konzipiert wurde und dabei unterschiedlichste Funktionalitäten vorhalten und unterschiedlichste Gestalt annehmen kann (vgl. Van Wynsberghe 2013, Vallor 2011). Klein et al. 2018 differenzieren in Robotik für a) Rehabilitation, b) Unterstützung des (Pflege-)Personals und c) Unterstützung zu Hause. Häufig wird auch unterschieden in sozio-assistive Systeme in der Pflege (z. B. Emotions- und Interaktionsrobotik), Servicerobotik in der Pflege (z. B. Unterstützung von Mobilität und Selbstpflege) und autonomen Systemen in der Neurorehabilitation (vgl. zur Übersicht Hülsken-Giesler and Remmers 2020). Der Einsatz von Robotik wird aktuell mit Blick auf alle Handlungsfelder der Pflege diskutiert (Krankenhaus, Pflegeheim, häuslichen Umgebung), die Anpassung an typische Anforderungen und Bedarfe in den heterogenen Handlungsfeldern ist dabei entscheidend (vgl. z. B. Meyer and Fricke 2020, Merda et al. 2017, Pino et al. 2015).

Aktuell ist international wie für den deutschsprachigen Raum lediglich eine überschaubare Anzahl an robotischen Systemen für die Pflege verfügbar (vgl. Gliesche et al. 2020a, Kehl 2018, Klein et al. 2018), EU- wie bundesweit werden aber erhebliche Anstrengungen unternommen, um Robotik für die Pflege zu spezifizieren (vgl. Lipp 2019, Bundesministerium für Bildung und Forschung 2018, Klein et al. 2018). Zum Einsatz kommen dabei Systeme im Umfeld der körperfernen Pflege (z. B. Transport- und Logistikrobotik), aber auch Anwendungen, die die direkte Pflege in Bezug auf aufgabenbezogene Tätigkeiten (z. B. Assistenz beim Heben und Transportieren von Patient*innen, (teil-) autonome Esshilfen oder robotische Greifhilfen) und empfindungsbezogene Aufgaben unterstützen (vgl. Kehl 2018, Klein et al. 2018). Neben der derzeit noch unbefriedigenden Datenlage in Bezug auf Akzeptanz,

Effektivität und Effizienz der Systeme (vgl. Krick et al. 2020, 2019, Klein et al. 2018) stellen sich im Kontext der Pflegearbeit dabei besondere Herausforderungen an eine gelungene Mensch-Robotik-Interaktion. Dies gilt sowohl in Bezug auf die Komplexität und Varianz von Pflegesituationen, die höchst unterschiedliche Mensch-Technik-Interaktionsoptionen erforderlich machen können, als auch mit Blick auf ggf. eingeschränkte Kommunikationsfähigkeiten und -möglichkeiten auf Seiten von Pflegebedürftigen und professionellen wie informellen Helfern in den jeweils konkreten Pflegesituationen. Aktuell verfügbare Robotik für die Pflege ist in der Regel mit vorab definierten Schnittstellen für die Mensch-Robotik-Interaktion ausgestattet (z. B. über Sprache, Gestik, Mimik, Berührung, Eye-Tracking, Fernsteuerung) und determiniert damit die Interaktions- und Kollaborationsoptionen in konkreten Pflegesituationen. Einige etablierte oder in praktischer Erprobung befindliche Systeme reagieren zwar auf verschiedene Interaktionsangebote (z. B. Berührungs-, Sprach- oder Touchsteuerung, vgl. Fang et al. 2019, Marco and Farinella 2018), sind aber noch nicht in der Lage, diese Interaktionsoptionen kontextsensibel und situativ an die Pflegesituation anzupassen. Ansätze, die multimodale Interaktionsformate vorhalten und (zunehmend KI-gestützt) situativ angepasst bereitstellen, sind derzeit noch in der Entwicklungsphase.

9.2.1.2 Robotische Systeme für die Pflege

Im Rahmen einer Literaturrecherche zu Robotersystemen in der Pflege wurden insgesamt 113 Projekte weltweit gefunden (mindestens eine Homepage, für die meisten Projekte auch wissenschaftliche Artikel). Die Anzahl der Artikel pro Projekt variiert. Für die weitere Analyse wurden 140 Artikel ausgewählt. Die in den Artikeln beschriebenen Robotersysteme wurden anhand des Klassifikationsschemas von Hadadin and Croft 2016 hinsichtlich i) der Nähe der Interaktion mit den potenziellen pflegerelevanten Interaktionspartnern (Pflegeperson und Pflegeempfänger*in) sowie ii) des Autonomiegrades des Robotersystems analysiert. Auf dieser Basis lassen sich die existierenden Robotersysteme für die Pflege in vier Klassen unterteilen:

(i) Kollaborative 1–1 Interaktion / Patient*in: Bei dieser Interaktionsform gibt es nur temporär überlappende Arbeitsräume von Patient*in und Assistenzroboter. Die Roboter übernehmen Aufgaben, die von den Patient*innen nicht mehr ausgeführt werden können (Anreichen von Objekten, Unterstützung beim Laufen, soziale Interaktion)

und steigern so ihre Selbständigkeit; die Roboter verfügen über einen hohen Autonomiegrad. Es gibt hohe Anforderungen an die Interaktion und die Produktsicherheit. Bei Assistenzrobotern in diesem Bereich handelt es sich in der Regel nicht um Medizinprodukte. Beispiel für diese Kategorie ist der I-SUPPORT Roboter, welcher mittels visueller Erfassung durch mehrere Tiefenkameras eine sitzende Person mithilfe eines weichen Roboterarms wäscht und somit trotz körperlichen Einschränkungen einen längeren Aufenthalt im eigenen Haushalt ermöglichen soll (vgl. Zlatintsi et al. 2020). Auch Roboter für die Nahrungsanreicherung gehören zur Klasse der kollaborativen Roboter. Bestehende Produkte am Markt können entweder bei fehlender Motorik des Menschen das Essen vom Teller durch eine simplifizierte Steuerung mit einem Löffel heben und anreichen (vgl. Dahl and Boulos 2014) oder mit Sensorik und Aktorik ausgestattete Löffel gleichen Störbewegungen aus, sodass beispielsweise bei einem Tremor in der Hand das Essen noch sicher zum Mund geführt werden kann (vgl. Miocinovic et al. 2016). In diese Kategorie gehören auch Interaktionsroboter, welche als Kommunikationsstarter, Unterhalter oder erinnernde Begleiter gesehen werden. In der Praxis erprobte und stetig weiterentwickelte Produkte sind bspw. die Roboter Pepper (vgl. Pandey and Gelin 2018) oder Nao (vgl. Tapus et al. 2012). Der Vorteil dieser Systeme liegt in der KI-basierten Spracherkennung. Eine Subgruppe bildet die Emotionsrobotik wie die Roboterrobbe Paro (vgl. Šabanović et al. 2013) oder die Katze JustoCat (vgl. Gustafsson et al. 2016), die durch Sensorik u. a. auf Berührung, Licht oder die eigene Körperposition reagieren und beispielsweise bei Menschen mit Demenz einen positiven Effekt und einen leichteren Kommunikationszugang erzielen können.

(ii) Kollaborative 1–1 Interaktion / Pfleger*in: Bei dieser Interaktionsform gibt es nur temporär überlappende Arbeitsräume von Pfleger*in und Assistenzroboter. Die Roboter übernehmen Aufgaben aus der indirekten Pflege (Reinigung, Hol-/Bringdienste) und verfügen über einen hohen Autonomiegrad. Es gibt hohe Anforderungen an die Interaktion und die Produktsicherheit. Bei Assistenzrobotern in diesem Bereich handelt es sich in der Regel nicht um Medizinprodukte. So können Systeme wie der ADLATUS CR 700 (vgl. Babel et al. 2021) mithilfe von Laserscannern und zusätzlicher Sensorik autonom durch große Räume navigieren und dabei den Boden reinigen. Im pflegerischen Kontext spielt die Desinfektion eine noch größere Rolle. Systeme wie der

DeKonBot (vgl. Kyrarini et al. 2021) können beim autonomen Wischdesinfizieren von Türklinken eine Unterstützung darstellen. Der Arbeitsbereich der mobilen Plattform muss hierfür mittels Laserscanner kartiert werden und die Türpositionen müssen danach manuell eingezeichnet werden, damit der Roboter hinterher autonom seiner Aufgabe nachgehen kann. Verfügbare Lösungen für den Bereich der Logistik greifen ggf. auf einen Manipulator zum Anreichen von Gegenständen zurück (vgl. Mišeikis et al. 2020), andere wiederum müssen manuell befüllt werden und ähneln eher einem gängigen Materialtransportwagen mit autonomer Navigation (vgl. Bloss 2011).

(iii) Telekooperative 2–1 Interaktion: Bei dieser Interaktionsform gibt es einen gemeinsamen Arbeitsraum von Patient*in und Assistenzroboter. Der Assistenzroboter wird von der Pflegeperson ferngesteuert. Roboter dieser Kategorie unterstützen die soziale Interaktion und direkte Pfl egetätigkeiten (z. B. Stützen, Halten). Es gibt hohe Anforderungen an die physische Interaktion und die Produktsicherheit. Bei Assistenzrobotern in diesem Bereich handelt es sich teilweise um Medizinprodukte. Ein Beispiel dieser Kategorie ist die soziale Interaktion über Distanz mit Pflegeerbringern (vgl. eHealth Ireland 2020, Casey et al. 2019, Barsocchi et al. 2016, Coradeschi et al. 2014, 2013). Zudem konnte gezeigt werden, dass Pflegefachpersonen einen Manipulator für simple Assistenzaufgaben fernsteuern können (vgl. Gliesche et al. 2020a) und mithilfe von Virtual Reality (VR)-Technologie auch komplexere Pflegeaufgaben aus der Distanz absolvieren können (vgl. Fifelski-von Böhlen et al. 2020a).

(iv) Kooperative 2–1 Interaktion: Bei dieser Interaktionsform liegt ein gemeinsamer Arbeitsraum von Pfleger*in, Patient*in und Assistenzroboter vor: Der Assistenzroboter unterstützt und entlastet die Pflegeperson unmittelbar bei der Arbeit an den Patient*innen (z. B. Umlagern, Transfer). Es gibt höchste Anforderungen an die Interaktion und die Produktsicherheit. Bei Assistenzrobotern in diesem Bereich handelt es sich in der Regel um Medizinprodukte. In dieser Kategorie gibt es noch relativ wenige Systeme. Bestehende Ansätze ähneln meist einem modularen Patientenlifter mit teilautonomen Zusatzfunktionen und sollen der Pflegefachperson eine körperliche Entlastung bieten, indem die Roboter an das Bett heranfahren und entweder als Stütze dienen oder die pflegebedürftige Person unter Beobachtung einer Pflegefachperson gänzlich heben (vgl. Graf 2020, Mukai et al. 2010). Für das Umlagern von Patient*innen im Bett können Roboter entweder zum Halten über mehrere Kontaktpunkte unterstützen (vgl. Gliesche

et al. 2021b,a) oder die Pflegeperson durch Kräfte, die ein Roboterarm zusätzlich und zeitlich synchronisiert aufbringt, körperlich entlasten (vgl. Kowalski et al. 2020).

9.2.1.3 Interaktionskonzepte für die Mensch-Roboter-Interaktion

Die Mensch-Roboter-Interaktion ist ein sehr aktuelles und dynamisches Forschungsgebiet der Robotik. Grundsätzlich ist die Entwicklung von spezifischen Interaktionskonzepten für die Beziehung zwischen Mensch und Roboter von Bedeutung, da diese Interaktion nachweislich auf andere Weise stattfindet als zwischen Menschen (vgl. Young et al. 2011). Konzepte der Mensch-Robotik-Interaktion sind daher breit gefächert. Der entsprechende Stand der Wissenschaft und Technik ist sehr unterschiedlich, je nachdem, welches Interaktionskonzept man betrachtet – so sind bspw. Sprachassistenzsysteme in elektronischen Geräten, Maschinen und robotischen Systemen etabliert. Herausforderungen bestehen auch für die systematische Bewertung von Mensch-Roboter-Interaktionskonzepten, insbesondere in Bezug auf die Auswahl und Quantifizierung von Messkriterien für Kontexte der sozialen Interaktion (subjektive Bewertungen, beeinträchtigte Sinnes- und Kommunikationsleistungen z. B. bei älteren und/oder pflegebedürftigen Menschen) (vgl. Šabanović et al. 2013). Vergleichende Veröffentlichungen verweisen hier auf einen hohen Forschungsbedarf (vgl. Alenljung et al. 2019).

Analog zu den existierenden Robotersystemen lassen sich Mensch-Roboter-Interaktionskonzepte in die oben erläuterten vier Klassen kategorisieren. Roboter in der Klasse Kollaboration mit der Pflege stellen ein mobiles Arbeitsgerät dar. Der Roboter dient als Arbeitshilfe oder mobiler Werkzeugkasten und stellt sich aktiv zur Verfügung, ohne dass der Mensch das Werkzeug aufsuchen muss (vgl. Graf et al. 2019). Enthaltene Funktionalitäten sind dabei Geräte wie Drucker, Kühlschrank, medizinische Geräte u. v. m. oder schlichtweg ein Lastentransport zur physischen Entlastung. Näher am Menschen und dem Bereich motorischer Interaktion findet sich die Kraftunterstützung, die bspw. als Roboteranzug bzw. Exoskelett realisiert ist. Unterstützt werden hierbei Bewegungen, die der Mensch nicht mehr in der gewünschten Intensität durchführen kann. Als Prothesen übernehmen Roboter gänzlich Bewegungen, zu denen der Mensch nicht in der Lage ist. Ebenfalls aufgabenorientiert ist die informative Interaktion, bei der der Roboter als Ortsführer oder Auskunftsstelle fungiert (vgl. Tellez et al. 2008).

Dieses Konzept ist in der Robotik allgemein weit verbreitet, findet sich speziell in der Pflege aufgrund ihres medizinischen Hintergrunds jedoch wenig in Form von Robotern.

In die Klassen Telekooperation und Kollaboration mit Patient*innen gehören Interaktionskonzepte des gegenseitigen Erkennens und Verstehens. Gestenerkennung und Aufbau von Blickkontakt sind prinzipiell verfügbare Fähigkeiten eines Roboters (vgl. Sakagami et al. 2002). In der Regel beherrscht er hierbei allerdings nur einen Teil der rein menschlichen Interaktion. Ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren, bspw. in der Erkennung, ob der Mensch dem Roboter in einem bestimmten Moment Aufmerksamkeit schenkt, ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten (vgl. Graf 2020). Im Bereich emotionaler Interaktion sind sowohl Konzepte zur Erkennung menschlicher Emotionen als auch zur Simulation und Darstellung von Emotionen seitens des Roboters seit langer Zeit in der Erforschung (vgl. Breazeal 2000). Als Medium zur Kommunikation, bspw. zur Telepräsenz, sind Roboter bereits vielfältig im Einsatz. Jedoch eignen sich Roboter auch als unmittelbare Gesprächspartner, da die Konzepte zu Sprachverständnis und -wiedergabe bereits weit entwickelt sind. Forschung findet hierzu vorrangig zum Verständnis menschlicher Sprache statt, in der die Gesprächspartner Informationen aus Hintergrundwissen und Kontext erschließen müssen.

9.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Das im KO:ROP verfolgte Konzept der Einbindung von mehreren robotischen Komponenten und Lösungen und den damit verbundenen Interaktionskonzepten und -strategien in die drei relevanten Handlungsfelder der Pflege bietet gegenüber den üblichen Forschungsprojekten (insbesondere der BMBF-Förderlinie „Robotische Systeme für die Pflege“ aber auch den vorangegangenen Förderlinien RA1 und RA2) eine Reihe *methodischer* und *technologischer Vorteile*:

- Sowohl den Pflegeerbringern als auch den Pflegeempfänger*innen wird eine Bandbreite von technologischen Lösungen angeboten, die typische Herausforderungen der aufgabenorientierten und beziehungsorientierten Pflege adressieren. Sie können sich aufgrund der Installation in konkreten Kontexten der Pflegearbeit und -bildung über einen längeren Zeitraum (siehe Abbildung 9.2) in die Technologien einarbeiten und diese erproben. Dies ermöglicht eine intensive

Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Beschränkungen der Systeme und den jeweils vorgehaltenen Interaktionsmöglichkeiten, die systematisch evaluiert werden. Die Erkenntnisse fließen in die Weiterentwicklung der Systeme sowie die entsprechenden Arbeitsprozesse der Pflege zurück. Damit können a) partizipativ-iterative Weiterentwicklungen der Mensch-Technik-Interaktion in der Pflege systematisch sichergestellt und b) Längsschnittstudien zu Robotik in allen relevanten Handlungsfeldern der Versorgungspraxis der Pflege realisiert werden.

- Gegenüber der üblichen Praxis, robotische Systeme in Laboren (d. h. künstlich vereinfachten Umwelten) mit hochtechnisierten Einsatzumgebungen und geschultem Fachpersonal zu entwickeln, realisiert das KO:ROP den Einsatz in der realen Praxis der Pflege in den relevanten Handlungsfeldern mit häufig geringer Infrastruktur, begrenzter Erfahrung im Umgang mit mechatronischen Systemen und hoher Vielfalt an räumlichen Rahmenbedingungen. Das KO:ROP nutzt diese realen Einsatzbedingungen, um systematische Analysen der Ausgangssituationen in den Handlungsfeldern der Pflege durchzuführen, Einsatzbarrieren zu identifizieren (z. B. in Bezug auf IT-Infrastruktur und Schnittstellen, Akzeptanz und rechtliche und ethische Rahmenbedingungen), Risiken des Robotereinsatzes in der Pflege für Patient*innen zu identifizieren, Zu- und Angehörige sowie Mitarbeiter*innen der Pflege zu erkennen und diese Erkenntnisse der Versorgungspraxis sowie Entwickler*innen und Anwender*innen robotischer Systeme zur Verfügung zu stellen. Damit soll die Markteintrittshürde insbesondere bei Systemen, die als Medizinprodukt klassifiziert werden, gesenkt werden (Offenlegung der Risikoanalysen insbesondere mit Blick auf Interaktionsformen und -konzepte, Bereitstellung von Testszenarien und -räumen). Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass bei komplexeren Medizinprodukten Bedien- bzw. Handhabungsfehler bei kritischen Ereignissen und Unfällen dominieren (vgl. Lauer 2013, Backhaus 2010, Wiesollek et al. 2008, Bleyer 1992) und die Zulassung klare Systemgrenzen und damit eher einfache Interaktionsmechanismen erfordert.
- Sowohl die Analyse der aktuellen Prozesse (mit Schwerpunkt auf der Interaktion zwischen Pflegeperson und -empfänger*in) als auch der roboterunterstützten Prozesse wird auf Basis von (Tiefen-)Kamera-Aufnahmen erfolgen (vgl. Brink-

mann et al. 2020, Fifelski et al. 2018). Nach der Analyse und entsprechenden Anonymisierung (bspw. Ersetzung von Bildaufnahmen von Personen durch Skelettmodelle) können diese Datenbasen auch zur Optimierung der Interaktionsstrategien anderer Robotersysteme und übergreifender Systeme wie der Mensch-Modell-Komponente (siehe Abschnitt 9.3.3) genutzt werden.

- Im KO:ROP wird eine modulare Sensorbox zur flexiblen Anpassung der Mensch-Roboter-Interaktion an die situativen Bedarfe der Pflege entwickelt und erprobt (siehe Abschnitt 9.3.3). Die Modularität dieser Sensorbox bietet bei der Datenerhebung auf zweierlei Weise Flexibilität: Zum einen ist eine situationsgerechte Anpassung der Mensch-Technik-Interaktion leicht ohne Umbau des Roboters möglich, zum anderen kann die Box mit anderen Robotern oder in weiteren Anwendungen eingesetzt werden, die über dieses Projektvorhaben hinausgehen. Dieser modulare Ansatz findet sich bisher nicht in bestehenden Lösungsansätzen für die Pflege. Dabei liegen keine Schutzrechte dritter Parteien vor, die solch einer Vorgehensweise im Wege stehen. Bezüglich der technischen Umsetzung werden vorhandene Standards berücksichtigt, auf die in Abschnitt 9.3.3 zur technischen Perspektive eingegangen wird.
- Um auch robotische Systeme, die als Medizinprodukte klassifiziert werden, aber noch nicht zugelassen sind, früh in der Praxis einsetzen zu können, ist die Einrichtung von Experimentierräumen in den Einrichtungen geplant. Patient*innen werden hier teilweise durch Trainingspuppen ersetzt; allerdings werden diese so erweitert, dass Videoaufnahmen aus Sicht der Patient*innen aufgenommen werden und entweder während der Ausführung oder später über VR-Brillen den Patient*innen in einem sicheren Bereich gezeigt werden (vgl. Fifelski-von Böhlen et al. 2020b), so dass diese eine realistische Einschätzung der Konsequenzen des Robotereinsatzes entwickeln können. Auch für die Pflegepersonen ist das Umfeld so gestaltet, dass keine Risiken entstehen können, die Handhabung aber realitätsnah gestaltet ist. In den ersten Iterationen werden die Interaktionen und Bewegungen der Roboter durch technische Projektmitarbeiter*innen per Teleoperation gesteuert (Wizard-of-Oz-Tests).

9.2.3 Risikodarstellung

Risiko	W / H ²	Alternative Lösungsstrategien & Maßnahmen
Es ist noch unklar, wie Interaktionsstrategien aussehen müssen, die auch in Stresssituationen der Pflege tragfähig ist. Daher könnten Interaktionsstrategien erarbeitet werden, die in Extremsituationen versagen.	niedrig / hoch	Die Breite der Interaktionsstrategien sowie der gewählten Handlungsfelder minimiert das Risiko. Durch Einbindung geschulten Pflegepersonals und die phasenweise Erprobung mit Überarbeitungsschritten wird die Eignung der Interaktionsstrategien validiert.
Es ist unklar, wann und in welchem Volumen sich der Markt für Robotik-Lösungen in der Pflege entwickelt. Es besteht daher das Risiko, dass die Projektergebnisse für einige Einsatzszenarien zu spät vorliegen.	mittel / gering	Die Projektdauer ist für den Umfang der Erprobungen notwendig. Durch die Detailliertheit der Experimente und die Modularität der technischen Umsetzung kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse auch nach einer zeitlichen Verschiebung der Marktentwicklung noch relevant sind.
Das Projektvorhaben beabsichtigt, geeignete Interaktionsstrategien als Vorarbeiten für zukünftige Medizinproduktezulassungen zu entwickeln, die sich später nur noch sehr begrenzt verändern lassen, ohne die Zulassung zu verlieren. Risiko besteht, dass Anpassungen über dieses Maß hinaus notwendig sind.	mittel / hoch	Im Projektvorhaben werden bereits zugelassene medizinische Produkte unverändert eingesetzt, soweit sie vorhanden sind. Zudem zielt die Einbindung erfahrener Projektpartner aus dem Pflegebetrieb darauf hin, relevante Interaktionsstrategien zu erarbeiten, die möglichst wenig Anpassungen in der Zukunft benötigen.
Roboter im Alltagsbetrieb werden in der Gesellschaft zum Teil immer noch als Fremdkörper empfunden. Die Akzeptanz der erarbeiteten Lösungen sowohl durch das Pflegepersonal als auch durch die zu Pflegenden ist somit gefährdet. In Extremfällen kann sich dies gar in einer Sabotage der Erprobungen äußern.	niedrig / hoch	Diesem Risiko wird durch die engmaschige persönliche Begleitung während des Projektvorhabens entgegengetreten. Auf Seite des Pflegepersonals ist essenziell, dass die Pflegenden in die Entwicklungs- und Umsetzungsprozesse eingebunden sind. Für die zu Pflegenden bedeutet dies, dass sie auch bei robotischer Unterstützung nicht allein gelassen werden, sondern geschultes Personal zur Seite haben.
Das Projektvorhaben dient der Entwicklung von Methodik, die eine unterstützende Funktion von Robotern in der Pflege vorsieht. Der empfundene Mehrwert für das Pflegepersonal könnte gering sein, wenn sich Arbeit lediglich verschiebt, aber nicht reduziert wird.	niedrig / mittel	Durch Vorarbeiten, durch Referenzen auf einschlägige Literatur und durch die intensive Kooperation mit verschiedenen Pflegebetrieben wird erarbeitet, was das Pflegepersonal als relevant und nützlich erachtet, und in iterativen Verbesserungszyklen erprobt.
Durch die MDR wurde der Projektantragsprozess verändert. Die Dauer zur Bewilligung von Ethikanträgen kann das Projektvorhaben verzögern, weil die Zulassung durch die BfArM nach dem Antrag mehrere Monate in Anspruch nehmen kann.	hoch / mittel	Der Projektplan sieht eine initiale Phase mit technischen und methodischen Vorbereitungen vor, so dass dieser Zeitraum in jedem Fall genutzt werden kann. Weitere Verzögerungen können gegebenenfalls durch die Flexibilität im Arbeitsplan kompensiert werden.

Tabelle 9.1: W = Eintrittswahrscheinlichkeit, H = Schadenshöhe im Fall des Eintritts.

9.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Aus dem Gesamtziel des Kompetenzzentrums (siehe Abschnitt 9.1.3) leiten sich verschiedene wissenschaftliche und technische Arbeitsziele ab. Der zentrale Anspruch, alltagstaugliche, integrierbare Lösungen für den Pflegealltag zu erzeugen, erfordert dabei eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit, die disziplinspezifische und überdisziplinäre Arbeitsziele verfolgt und eine enge partizipative Zusammenarbeit mit den Einrichtungen der Versorgungspraxis (Krankenhaus, Pflegeheim, häusliche Pflege) sowie den Akteuren der Pflege (Pflegepersonen und Pflegeempfänger*innen) voraussetzt.

9.3.1 Lösungsansatz

9.3.1.1 Vorgehensmodell

Die Erprobung und Anpassung der Assistenzroboter erfolgt in drei Settings sowie jeweils differenziert nach den zwei in Abschnitt 9.1.1 vorgestellten Aufgabenarten der aufgaben- bzw. beziehungsorientierten Aspekte der Pflegearbeit nach einem iterativen Vorgehensmodell in folgenden Schritten:

1. **Vorstellung des Erprobungs- und Evaluationskonzepts** in der Einrichtung vor Mitarbeiter*innen aus der Pflegepraxis unter Einbeziehung von Geschäftsführung, Betriebsrat/Mitarbeitervertretung, Datenschutz- und Sicherheitsbeauftragten, IT, Patient*innen und ggf. deren Angehörigen.
2. **Erstellung eines Ethikantrags** und Einholung eines Ethikvotums für die Studiendurchführung und Evaluation.
3. **Identifikation der konkreten Arbeitsbereiche** des Robotersystems sowie der Sensorik zur Umgebungserfassung in Zusammenarbeit mit der Versorgungspraxis, Information der dort tätigen Mitarbeiter*innen und Patient*innen und Angehörigen.
4. **Qualitative und standardisierte Erhebungen** zu ausgesuchten Fragestellungen (z. B. Anforderungen an die Mensch-Technik-Interaktion, Technikakzeptanz, Belastungserleben in der Pflege, Arbeitsprozessgestaltung, ethische Herausforderungen, Erwartungen etc.).

5. **Einführung des Roboters** im ausgewählten Use-Case (gemeinsam mit Projektmitarbeiter*innen, Pflegepersonen und Patient*innen/Angehörige), Feinanpassung des Use-Cases.
6. Rückzug der technischen Projektmitarbeiter, Remote-Optimierung bzw. **Adaption der Mensch-Roboter-Interaktion** mit „Wizard-of-Oz“-Experimenten, teilnehmende Beobachtung durch Pflegewissenschaft mit Fokus auf Mensch-Roboter-Interaktion.
7. **Qualitative und standardisierte Erhebungen** zu den Erfahrungen des Robotikeinsatzes in den konkreten Handlungsfeldern aus Sicht der Pflege (z. B. Anpassung von Interaktions- und Arbeitsprozessen, Akzeptanz der konkreten Robotik, Entwicklung Belastungserleben, ethische Herausforderungen etc.).
8. **Design-Sessions** der Pflegepersonen und Patient*innen/Angehörige für weitere Use Cases oder Interaktionskonzepte. *Die Schritte 3-8 werden bei jeder Iteration wiederholt.*
9. **Abschlussworkshop** mit Projektmitarbeiter*innen, Patient*innen/Angehörigen sowie Mitarbeiter*innen der drei Einrichtungen und Geschäftsführungen zur Bewertung der Praxisphase, zur Ableitung von Optimierungen sowie zur Bewertung des Robotereinsatzes hinsichtlich Nutzen, Wirtschaftlichkeit und Verträglichkeit mit den Werten der Pflege.

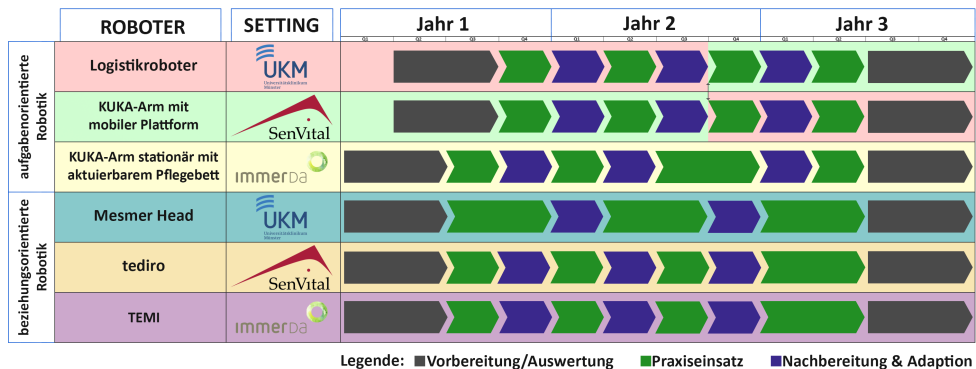


Abbildung 9.2: Phasenmodell für den Robotikeinsatz in den sechs Pflegesettings.

Dort, wo dies sinnvoll erscheint, ist darüber hinaus geplant, die Roboter in mehreren Pflegesettings zu erproben, d. h. sie nach zwei Erprobungsphasen in ein anderes Pflegesetting zu portieren. Dies betrifft primär die Settings S1 und S2 (aufgabenorientierte Robotik in der stationären Pflege). Das geplante Vorgehen wird über das Phasenmodell in Abbildung 9.2 veranschaulicht. Insgesamt ermöglicht dieses Vorgehen 24 (iterative) Feldstudien mit Robotik bei einem kumulierten Testzeitraum von 90 Monaten.

Darüber hinaus sollen Komponenten oder Teillösungen auch über die Settings und Aufgabenarten hinweg diskutiert und ggf. gegeneinander evaluiert werden (bspw. Vergleich des Mesmer Head mit vereinfachten „Köpfen“ anderer Robotersysteme wie tedirol oder Pepper; Nutzung von Transportlösungen auch in der häuslichen Umgebung etc.).

9.3.1.2 Einsatz und Auswahl der robotischen Systeme

Das KO:ROP erprobt Robotik in den pflegerischen Handlungsfeldern der *stationären Akutpflege*, der *stationären Langzeitpflege* und der *ambulanten Pflege* und differenziert dazu den Einsatz in Kontexten der *aufgabenorientierten* und der *beziehungsorientierten Pflege* (siehe Abschnitt 9.1.1). Ziel des KO:ROP ist es, in jedem der sich daraus ergebenden sechs Settings robotische Systeme zur Unterstützung der Pflege in den Praxiseinsatz zu bringen, Interaktionskonzepte zu erproben, zu evaluieren und iterativ weiterzuentwickeln. Dabei sollen alle in Abschnitt 9.2.1.2 dargestellten Interaktionstypen abgedeckt werden. Abbildung 9.3 stellt die Pflegesettings, Praxispartner, Assistenzroboter, Anwendungsfälle und Interaktionstypen, die im KO:ROP erprobt, evaluiert und weiterentwickelt werden, überblicksartig vor.




	Stationäre Akutpflege 	Stationäre Langzeitpflege 	Ambulante Intensivpflege 
aufgabenorientierte Robotik	S1: Aktivitätsassistenz/Logistik Roboter: DFKI-Logistikroboter Interaktionstyp: Kollaborative 1-1 Interaktion	S2: Mobilisierungs- und Aktivitätsassistenz Roboter: KUKA-Arme und mobile Plattform KMR iiwa Interaktionstyp: Kooperative 2-1 Interaktion	S3: Integrierte Mobilisierungs- und Aktivitätsassistenz Roboter: KUKA sowie Pflegebett Interaktionstyp: Kooperative 2-1 Interaktion und kollaborative 1-1 Interaktion
beziehungsorientierte Robotik	S4: Telepräsenz Roboter: Mesmer Head Interaktionstyp: Telekooperative 2-1 Interaktion	S5: Motivation und Monitoring Roboter: tediro Interaktionstyp: Kollaborative 1-1 Interaktion	S6: Telepräsenz Roboter: TEMI Interaktionstyp: Telekooperative 2-1 Interaktion

Abbildung 9.3: Pflegesettings, Assistenzfunktionen und Interaktionsformen im Überblick.

Setting S1: Aufgabenorientierte robotische Unterstützung in der stationären Akutpflege

In der stationären Akutpflege ist der Einsatz eines Logistikroboters vorgesehen, der Gegenstände und Verbrauchsmaterial autonom zum Ort der Pflege transportieren kann (vgl. Abbildung 9.4). Ziel dieses Use-Cases ist die zeitliche Entlastung der Pflegepersonen durch die Übernahme von Routineaufgaben durch den Roboter. Hierbei handelt es sich um eine kollaborative 1–1 Interaktion mit Pflegepersonen. Ansätze zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion sind hierbei z. B. Zieleingaben durch die Kombination von Sprache und Gesten sowie die situativ angemessene Annäherung an die Pflegeperson (optimaler Zugriff auf das transportierte Objekt bei verschiedenen Aufgaben und räumlichen Einschränkungen). Ziel ist die Maximierung der zeitlichen Entlastung der Pflegepersonen durch die optimale Anpassung der Bewegung des Roboters an die Arbeitsvorgänge der Pflegepersonen. Nach zwei Iterationen der



Abbildung 9.4: DFKI-Logistikroboter (©DFKI, Annemarie Popp).

Erprobung und Verbesserung wird dieses System mit dem in Setting S2 eingesetzten System getauscht, so dass beide Systeme an beiden Standorten zum Einsatz kommen.

Setting S2: Aufgabenorientierte robotische Unterstützung in der stationären Langzeitpflege

In der stationären Langzeitpflege ist der Einsatz einer mobilen Plattform mit einem Manipulator (KUKA KMR iiwa, vgl. Abbildung 9.5) in Kombination mit einem aktuierten Pflegebett vorgesehen. Use-Case ist die robotische Assistenz beim Umlagern, Transfer, Halten und Transport der Patient*innen sowie bei der Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme. Hierbei handelt es sich um eine kooperative 2–1 Interaktion. Ansätze zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion sind hierbei eine Optimierung



Abbildung 9.5:
KUKA KMR iiwa.

durch Gesten, verbale Interaktion oder kooperative Kraftregelung, eine Anpassung an Patient*innen-individuelle Abläufe und Techniken sowie Eingriffsmöglichkeiten der Patient*innen (z. B. Gegenkraft, Gesten). Ziel ist die Reduktion der körperlichen Belastung der Pflegepersonen. Da es sich bei diesem System um ein Medizinprodukt handelt, ist in den ersten beiden Iterationen die Identifikation von akzeptierten und sicheren Abläufen sowie deren Risikobewertung und Ableitung von Maßnahmen für Komponentenhersteller und Integratoren / Inverkehrbringer sowie die Erprobung in gesicherten Experimentierräumen im Rahmen der *Pflegeausbildung* ohne Patientenkontakt – d. h. mit Schulungspuppen – geplant. Die Abläufe werden aber aus Patient*innen- bzw. Puppensicht aufgezeichnet und mit Patient*innen diskutiert, um auch ihren Bedarf und ihre Wünsche in eine iterative Optimierung einfließen zu lassen. Eine finale Erprobung ist nach Zulassung in S1 vorgesehen.

Im späteren Projektverlauf können evtl. Ergebnisse und Systeme aus dem zu Beginn noch parallellaufenden BMBF-Projekt „PeTRA“ hinsichtlich Benutzerakzeptanz und Mensch-Maschine-Interaktion weiterführend evaluiert werden. Das Konzept „PeTRA“ kann sowohl die Mobilität der Patient*innen erweitern als auch die Pflegepersonen und Patient*innen mit Assistenzfunktion unterstützen.

Setting S3: Aufgabenorientierte robotische Unterstützung in der ambulanten Pflege



Abbildung 9.6: Manipulatoren (KUKA iiwa) montiert an einem aktuierten Pflegebett.

In der ambulanten Pflege ist der ortsfeste Einsatz von Manipulatoren (KUKA iiwa Med) in Kombination mit einem aktuierten Pflegebett vorgesehen (vgl. Abbildung 9.6). Während dies in der klassischen ambulanten Pflege auf dem heutigen Stand der Technik nicht kosteneffektiv sein dürfte, erscheint ein Einsatz in der ambulanten Intensivpflege – konkret bei Beatmungspatient*innen – durchaus angemessen. Use-Cases sind die Assistenz beim Umlagern, Transfer, Halten und bei der Mobilisation der Patient*innen sowie Assistenz bei täglichen Aktivitäten der Patient*innen (z. B. Nahrungsanreicherung, Körperpflege). Hierbei handelt es sich um eine kooperative 2–1 Interaktion. Ansätze zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion sind wie bei Setting S2 eine Optimierung durch Gesten, verbale Interaktion oder kooperative Kraftregelung, eine Anpassung an Patienten-individuelle Abläufe und Techniken sowie Eingriffsmöglichkeiten der Patient*innen (z. B. Gegenkraft, Gesten). Ziel ist die Identifikation von akzeptierten und sicheren Abläufen sowie deren Risikobewertung und Ableitung von Maßnahmen für Komponentenhersteller und Integratoren bzw. Inverkehrbringer. Da dieser Use Case beim Einsatz an Patient*innen in den Geltungsbereich des Medizinproduktegesetzes fallen würde, ist auch hier ein Einsatz im Rahmen der innerbetrieblichen *Fort- und Weiterbildung* in einem separaten Schulungs- und Experimentierraum vorgesehen.

Setting S4: Beziehungsbezogene robotische Unterstützung in der stationären Akutpflege

Für die beziehungsorientierte robotische Unterstützung in der stationären Akutpflege ist ein humanoides Robotersystem namens „Mesmer Head“ vorgesehen (vgl. Abbildung 9.7), welches den Kopf eines Menschen darstellt. Use-Case ist die Simulation von Reaktionsmustern von Patient*innen auf Pflegemaßnahmen, insbesondere der Umgang mit schwierigen Situationen

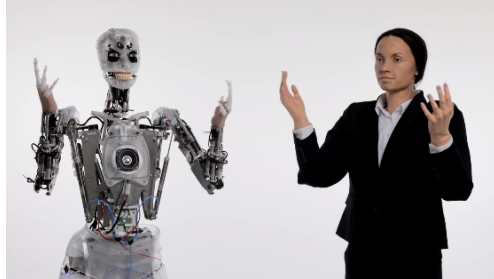


Abbildung 9.7: Mesmer humanoid robot (© Engineered Arts Ltd.).

etwa in der Pflege von Demenzbetroffenen. Fälle, in denen Patient*innen negativ (stark emotional, aggressiv usw.) auf Pflegemaßnahmen und die Pflegepersonen reagieren, können mit diesem System simuliert und für das Training von Pflegepersonen für die Bewältigung solcher Situationen eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um eine telekooperative 2–1 Interaktion. Ziel des Ausbildungs-Use Cases ist die bessere Vorbereitung und damit später in der Pflegepraxis ein professioneller Umgang mit derartigen Extremsituationen. Hier soll auch das Potential des Kopfes inklusive Sprachinteraktion zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion diskutiert und geprüft werden, wie stark die Aversion („uncanny valley“) gegenüber einer solch menschenähnlichen Repräsentation ist.

Setting S5: Beziehungsbezogene robotische Unterstützung in der stationären Langzeitpflege

Für die beziehungsbezogene robotische Unterstützung in der stationären Langzeitpflege ist eine mobile Plattform der tedirol GmbH vorgesehen, welche autonom mit Patient*innen interagiert (vgl. Abbildung 9.8). Use-Cases sind die Patient*innenbegleitung, Motivation zu mehr Bewegung als gesundheitspräventive Maßnahme mit eventuell positiven Effekten auf Betreuungsaufwand der Pflegebedürftigen, das automatische Monitoring und die Dokumentation von Bewegung sowie die Überwachung und ggf. Korrektur von Bewegungen etwa nach einer Fraktur. Hierbei handelt es sich um eine kollaborative 1–1 Interaktion.

Ansätze zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion sind hier einerseits die Konfiguration, Initialisierung und Nachnutzung durch Pflegepersonen, andererseits erweiterte Mixed-Reality-Schnittstellen für Menschen mit kognitiven Einschränkungen. Des Weiteren könnte das System um Assessments zur Delir-detektion bei Intensivpatient*innen erweitert werden. Ziel ist die Erweiterung des Einsatzspektrums des Systems sowie die Identifikation von relevanten Patient*innenrisiken als Grundlage für die Zulassung des Systems als Medizinprodukt.



Abbildung 9.8:
tediro (© tedi-ro).

Setting S6: Beziehungsbezogene robotische Unterstützung in der ambulanten Pflege

Für die beziehungsbezogene robotische Unterstützung in der ambulanten Pflege ist eine mobile Plattform namens TEMI vorgesehen, welche primär als Telepräsenzlösung sowie für die Übertragung von Vitalparametern konzipiert ist (vgl. Abbildung 9.9). Use Cases sind die Patient*innenbegleitung, das automatische Monitoring und die Dokumentation von Vitalparametern sowie die Interaktion mit räumlich entfernten Pflegepersonen bzw. Zu- und Angehörigen. Hierbei handelt es sich um eine telekooperative 2–1 Interaktion. Ansätze zur Optimierung der Mensch-Roboter-Interaktion sind die Konfiguration, Initialisierung und Nachnutzung durch Pflegepersonen sowie erweiterte Mixed-Reality-Schnittstellen für Menschen mit kognitiven Einschränkungen oder Intensivpatient*innen. Ziel ist auch hier die Erweiterung des Einsatzspektrums des Systems.



Abbildung 9.9:
TEMI.

9.3.2 Pflegewissenschaftliche Perspektive

Robotische Systeme für die Pflege sollen, so der Stand der internationalen Diskussion, personell gestützte Pflege (als personenbezogene Dienstleistung) nicht primär ersetzen. Vielmehr sollen sie das pflegerische Handeln in den Kernprozessen unterstützen, also durch den Einsatz von robotischen Systemen Pflege als Wissensarbeit (externe und interne Evidenz), als Interaktionsarbeit (Gefühlsarbeit, Emotionsarbeit, Kooperationsarbeit), als Körperarbeit (Arbeit am und mit dem Körper von Menschen) und als Arbeit in Ungewissheit (begrenzte Standardisierbarkeit) in ggf. komplexen Versorgungsarrangements in den verschiedenen Handlungsfeldern der Pflege ermöglichen und befördern (vgl. Hülsken-Giesler and Remmers 2020).

Im Rahmen des KO:ROP wird geprüft, inwieweit derzeit verfügbare Robotik in der Lage ist, diese Kerndimensionen des pflegerischen Handelns durch angemessene Interaktionsformen in der Kollaboration und Kooperation zwischen Menschen und Robotik angemessen zu unterstützen. Besondere Bedeutung für die Interaktion haben dabei die konkreten Arbeitsprozesse und -routinen der beruflich Pflegenden sowie die individuell ausgeprägte Vulnerabilität der Patient*innen in körperlicher (Mobilitätseinschränkungen, besondere/individuelle Schmerzempfindungen) und/oder kognitiver Hinsicht (demenzielle Erkrankungen, Delir). Die pflegewissenschaftliche Perspektive fragt vor diesem Hintergrund (in Zusammenarbeit mit den sozialwissenschaftlichen KO:ROP-Partnern SIBIS und YOUSE GmbH) nach Aspekten der arbeitsprozessspezifischen Mensch-Technik-Interaktion, nach Erfordernissen der Arbeitsprozessentwicklung und dem Ent- und Belastungserleben von Pflegenden unter Bedingungen der Integration von Robotik, nach der Akzeptanz und prozessspezifischen Handhabbarkeit konkreter Systeme, nach der institutionellen Einpassung von Robotik in der Pflege sowie nach ethischen und pflegeethischen Herausforderungen im Zusammenhang mit den Projektzielen. Dazu werden alle 24 iterativen Feldtests durch standardisierte (Onlinebefragungen) und qualitative (Workshops, Fokusgruppen und Einzelinterviews) Erhebungen gerahmt (jeweils t0 + t1) und durch teilnehmende Beobachtung begleitet. Insgesamt sind damit 48 Gruppeninterviews, 72 Einzelinterviews, 72 Beobachtungstage und 48 standardisierte Onlineerhebungen vorgesehen. Vor diesem Hintergrund werden Empfehlungen a) zur Weiterentwicklung von Interaktionsformen in der Kollaboration zwischen Menschen und Robotik und b) zur Weiterentwicklung von Arbeitsprozessen

der Pflege unter Bedingungen der robotisch-gestützten Pflege unter pflegefachlichen, pflegewissenschaftlichen und pflegeethischen Gesichtspunkten erarbeitet und in die Weiterentwicklung der Robotik und sowie der Versorgungspraxis zurückgespiegelt. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten Praxispartner*innen sowie mit relevanten Akteuren im Pflegesystem (Berufsverbände, Gewerkschaften, BGW, Pflegeethik). Die empirischen Erhebungen sind als formative Evaluationen (Feedback zur Weiterentwicklung Mensch-Roboter-Interaktion, organisationale Entwicklungen, qualifikatorische Herausforderungen etc.) und summative Evaluationen (Entwicklung von konkreter Technologieakzeptanz, Belastungserleben, Arbeitszufriedenheit etc. im Sinne von Längsschnittstudien) angelegt. Die empirischen Arbeiten berücksichtigen ein „Bewertungs-Tool Robotische Systeme für die Pflege“, das aktuell im Rahmen des Wissenschaftlichen Begleitprojektes (BeBeRobot) zur BMBF-Förderlinie „Robotische Systeme für die Pflege“ entwickelt wird. Weiterhin wird ein Qualifizierungsprogramm „Mensch-Robotik-Interaktion in der Pflege“ entwickelt, erprobt und evaluiert, das beruflich Pflegende auf die enge Zusammenarbeit mit robotischen Systemen in der Pflege in ggf. auch breiteren Pflegearrangements vorbereitet und diese u. a. auch zur Beratung und Schulung von weiteren Akteuren (z. B. pflegende Angehörige, Pflegeassistenten, Betreuungspersonen, weitere Gesundheitsfachberufe) befähigt. Entwickelt werden überdies Storys und Dialoge zum Einsatz der Mesmer-Robotik im Rahmen der Pflegebildung (Interaktionsübungen „Herausforderndes Verhalten“). Schließlich wird der fachöffentliche und öffentliche Diskurs zum Thema vorangetrieben, um die berufliche Pflege sowie Bürger*innen in die Entwicklungen einzubinden und die Zukunft der Pflege mitzugestalten. Diese Einbindung erfolgt über öffentliche Foren und internetgestützte Szenarioarbeit.

9.3.3 Technische Perspektive

Grundvoraussetzung für eine personenindividuelle Interaktion ist die robuste Erkennung von Personen sowie der Ableitung individueller Fähigkeits- bzw. Einschränkungsprofile sowie die standardisierte Internalisierung der Profile aller Personen, mit denen das Assistenzsystem interagiert (sowohl Pflegepersonen als auch Pflegeempfänger*innen), in ein roboterunabhängiges Interaktionssystem und darüber bis in die Robotersteuerung. Diese Profile sollten in einer maschinenverständlichen

Wissensbasis abgelegt werden, so dass das robotische Assistenzsystem selbst personenindividuelle Interaktionsmuster (sowohl auf der Planungs- als auch Regelungsebene) auf dieser Basis ableiten kann. Konkret kann das in Bezug auf die im Vorfeld beschriebenen Szenarien bedeuten, dass durch mit der Zeit wachsendem sensorischen Input eines Assistenzsystems eine Spezifizierung des eigenen Handelns durchgeführt wird, sodass individuelle Bedürfnisse der Nutzer*innen berücksichtigt werden können. Wissenschaftlich-technisches Arbeitsziel ist die Entwicklung der sensorischen Erkennung, Analyse sowie die Entwicklung und kontinuierliche Erweiterung einer Wissensbasis unter der Berücksichtigung von pflegerischen, ökonomischen, ethischen und rechtlichen Randbedingungen sowie die Erprobung, Evaluation und Optimierung dieser Technologien in ausgewählten, relevanten Use-Cases in der Praxis. Besondere technische Herausforderungen resultieren durch die o. g. Rahmenbedingungen in der Pflegedomäne:

1. Aufgrund der vielfältigen Aufgaben und der daraus resultierenden Interaktionskonzepte werden sehr unterschiedliche Roboter in den sechs Settings eingesetzt. Ist ein Roboter für eine spezielle Aufgabe ausgelegt, ist er im Allgemeinen nur mit solcher Sensorik ausgestattet, die für die Erfüllung dieser Aufgabe notwendig ist. Entsprechend fehlen ggf. Sensoren, die seine Wirkung auf Menschen in der Umgebung erfassen. Kommt bspw. ein Roboterarm als Kraftunterstützung zum Einsatz, verfügt er in der Regel nicht über eine Spracherkennung, die die Stimmung der Patient*innen erfassen kann. Ein anderes Beispiel ist ein Roboterkopf als Kommunikationspartner in einer beziehungsorientierten Interaktion. Diesem fehlen meist Sensoren, die die Reaktionen weiterer Personen im Umfeld des Gesprächspartners in Form von Bewegungen wahrnehmen können. Um diese Daten erfassen zu können, wird eine **modulare Sensorbox** entwickelt, die ergänzend zu den eigentlichen Roboterfähigkeiten der Erkennung von Verhaltensmuster der Personen in der Umgebung des Roboters dient. Die Sensorbox wird dazu an den Roboter und/oder in die Interaktionsumgebung montiert und zeichnet Daten der Sensoren auf, die auf dem Roboter oder der Umgebung platziert und mit ihr verbunden sind. Dabei bietet ihre Modularität die Flexibilität, zusätzliche Sensoren je nach Bedarf der Situation hinzuzufügen. Zugleich wird durch die Sensorbox als separate Komponente eine systematische Datenerfassung über verschiedene Roboter hinweg ermöglicht, ohne dass ein Umbau dieser notwendig

ist.

2. Robotersteuerungen sollen zukünftig um Körper-/Bewegungsmodelle der individuellen Nutzer*innen erweitert werden. Voraussetzung dazu ist die Extraktion und Verfolgung von Menschen in der Umwelt des Roboters sowie die Analyse der Körper bei Eigenbewegungen sowie bei unterschiedlichen Graden von unterstützter Bewegung. Bei den Patient*innen liegt der Fokus auf der Schätzung des Grades der Selbständigkeit bei Bewegungen sowie krankheitsspezifischen Einschränkungen (sowohl der Bewegung als auch der Assistenz). Bei Pflegenden liegt der Fokus auf der Ergonomie der Bewegungen und der ggf. vorhandenen Einschränkungen sowie der Analyse der Effizienz des Prozesses (z. B. unnötige Laufwege, ungünstiges Layout der Umgebung). Ein anderer Aspekt ist die Modellierung kognitiver Prozesse der relevanten Personen in der Umgebung des Roboters, um deren Verhaltens- bzw. Interaktionsmuster erkennen bzw. präzisieren zu können. Besonderer Bedarf besteht hier bei Patient*innen mit dementiellen Erkrankungen bzw. herausforderndem Verhalten. Da beide Voraussetzungen durch Beobachtung nur teilweise erkannt/gelernt werden können, muss hierfür eine **Mensch-Modell-Komponente** konzipiert werden, welche die sensorische Erfassung jeder einzelnen Person mit der unter 1. genannten modularen Sensorbox mit Daten der Pflegenden verknüpft. Zukünftig kann dies auch durch die Kopplung mit der Pflegedokumentation erfolgen.
3. Für die Evaluation der Wirksamkeit, Akzeptanz und technischen Sicherheit von robotischen Systemen in der Pflege ist die Langzeitautonomie der Systeme in stufenweise realistischeren Umgebungen eine wesentliche Voraussetzung. Als wesentliche Vorarbeit wird dabei die Laborinfrastruktur eingebracht, die im Rahmen des Pflegeinnovationszentrums (PIZ) am OFFIS entwickelt und in Betrieb genommen wurde. Im Rahmen des Kompetenzzentrums sollen diese Labore um Reallabore (hier verstanden als besonders gekennzeichnete und gesicherte Bereiche von z. B. Kliniken oder Pflegeeinrichtungen sowie als eine rechtlich mit den dort befindlichen Personen / Betriebsräten / Leitungspersonen ausgehandelte Situation) und Experimentierräume (Aus- und Weiterbildungsräume, in denen Patient*innen durch Schulungspuppen ersetzt werden) erweitert werden. Studien zur Langzeitautonomie in diesen Umgebungen sollen wesentliche Elemente der gegenseitigen Anpassung von Menschen und Robotersystemen aufeinander so-

wie mögliche Nebenwirkungen (Veränderungen der Mensch-Mensch-Interaktion bzw. der Kernprozesse der Pflege) aufdecken und bewerten.

9.3.4 Ethische und soziale Perspektive

Die Etablierung von robotischen Systemen für die Pflege setzt eine intensive Auseinandersetzung mit ethischen und sozialen Anforderungen einerseits an die Systeme selbst sowie andererseits an die spezifischen Einsatz- und Nutzungskontexte voraus (Robotik für die Pflege als soziotechnische Entwicklung). Das KO:ROP kann für diese Auseinandersetzungen an aktuelle und relevante Vorarbeiten anknüpfen, die aber mit Blick auf die spezifischen Herausforderungen einer gelungenen Mensch-Roboter-Interaktion und -Kollaboration bzw. -Kooperation zu spezifizieren sind. Im Rahmen des BMBF-Begleitprojektes „Begründungs- und Bewertungsmaßstäbe von Robotik für die Pflege“ (BeBeRobot) wird aktuell ein interdisziplinär begründetes Bewertungs-Tool für den Einsatz von robotischen Systemen in der Pflege entwickelt, das insbesondere auch ethische sowie soziale Kriterien hoch gewichtet. Weiterhin kann auf einschlägige relevante Vorarbeiten im Zusammenhang mit der Erstellung eines pflegewissenschaftlichen und pflegeethischen Gutachtens für den Deutschen Bundestag zurückgegriffen werden, die allerdings ebenfalls auf den spezifischen Projektgegenstand KO:ROP zu konkretisieren sind (vgl. Hülsken-Giesler and Remmers 2020, Kehl 2018). Die wissenschaftlichen Arbeitsziele bestehen in diesem Zusammenhang darin, derzeit verfügbare Robotik für die Pflege mit Blick darauf zu prüfen, in wie weit die realisierten Interaktionsformen in der Lage sind, ethisch und sozial relevante Aspekte und Prinzipien (z. B. der Teilhabe, der Autonomie, des Wohlbefindens, der Fürsorge, der Sicherheit, der Gerechtigkeit, der Privatheit oder individuell bzw. kollektiv relevanter Werte und Normen) umzusetzen oder ggf. diese Umsetzung behindern (post hoc-Analysen). Dazu werden standardisierte und qualitative Beobachtungs- und Befragungsstudien in Krankenhäusern, Pflegeheimen und häuslichen Umgebungen durchgeführt. Diese Studien sind in die rahmenden empirischen Arbeiten zu den einzelnen Feldtests integriert. Ein weiteres Ziel besteht darin, vor diesem Hintergrund Empfehlungen zur Weiterentwicklung von Interaktionsformen in der Kollaboration zwischen Mensch und Robotik unter ethischen und sozialen Gesichtspunkten zu erarbeiten (prospektive ethische Bewertung), die a) besondere Aufmerksamkeit auf

potenziell heterogene Nutzergruppen legen (z. B. Pflegende mit unterschiedlichen Qualifikationen und Technikkompetenzen, kognitiv beeinträchtigte Menschen, Menschen mit Beeinträchtigungen der Sinnesorgane, Menschen mit verminderter Compliance u. a.) und b) die zunehmende Komplexität von Versorgungsarrangements (Pflege im Hilfe-Mix, komplexe interdisziplinäre Teams, Pflege-Personalmix etc.) berücksichtigen, um die Entwicklung von ggf. auch flexiblen nutzergerechten Interaktionsformen zu unterstützen. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit (iterative Workshops) mit den beteiligten Praxispartnern sowie mit relevanten Akteuren im Pflegesystem (Berufsverbände, Gewerkschaften, Pflegeethik etc.). Im Rahmen einer Langzeiterprobung in den verschiedenen Handlungsfeldern der Pflege soll weiterentwickelte Robotik schließlich unter ethischen und sozialen Gesichtspunkten daraufhin geprüft werden, ob sich durch die gegebenen Mensch-Robotik-Interaktionen ggf. auch unerwünschte Veränderungen in den Pflegebeziehungen, den Pflegeleistungen oder im Pflegeverständnis ergeben. Auch diese Zielstellung wird über empirische Beobachtungs- und Befragungsstudien adressiert. Schließlich besteht ein wissenschaftliches Arbeitsziel darin, ein ethisch und sozial legitimes Instrumentarium zur institutionellen Arbeitsprozessentwicklung unter Bedingungen der Mensch-Roboter-Kollaboration zu entwickeln, zu erproben und zu evaluieren.

9.3.5 Rechtliche und ökonomische Perspektive

Ziel des Kompetenzzentrums ist es, datenschutzrechtliche Fragestellungen gemeinsam mit den technischen Entwicklungen zu behandeln. Dazu wird eng mit den Datenschutzbeauftragten sowie den Betriebsräten der drei Pflegeeinrichtungen als auch des OFFIS (Datenschutz Nord, über Unterauftrag eingebunden) zusammengearbeitet. Für alle Untersuchungen im Feld werden vorab ein Votum durch die Ethikkommission der Universität Oldenburg eingeholt (Prof. Hein ist Vorsitzender der Kommission und hat umfangreiche Erfahrungen sowohl mit dem Stellen als auch dem Begutachten solcher Anträge).

Die entwickelten Lösungen sollen in der Praxis erprobt werden und damit den Markt für robotische Systeme in der Pflege stimulieren. Dabei ist sowohl das Angebot an Systemen und Komponenten zu entwickeln, da – bis auf wenige Ausnahmen – kaum Produkte erhältlich sind, als auch die Nachfrage durch Einrichtungen der Pflege

zu eruieren, die bisher ihre Investitionsmöglichkeiten kaum auf Evaluationsstudien abstützen und/oder die Möglichkeit hatten Produkte im Praxiseinsatz zu beobachten und herstellerunabhängig Erfahrungen auszutauschen. Zu dieser Marktentwicklung gehört, dass im KO:ROP erste ökonomische Betrachtungen der Lösungen in Zusammenarbeit von Anbieter und Anwender*innen durchgeführt werden. Arbeitsziel der ökonomischen Betrachtung ist es, den Mehrwert eines solchen Systems aus Anwendersicht quantifizierbar zu machen, so dass gemeinsam mit dem Hersteller grobe, aber realistische Preisstrukturen erarbeitet werden können. Kosten-Nutzen-Abwägungen umfassen dabei, neben rein ökonomischen Aspekten, auch Entwicklungen im Bereich möglicher (körperlicher und/oder psychischer) Entlastungen und Arbeitszufriedenheit der Pflegenden. Diese werden in die technischen Entwicklungen als Randbedingungen eingebracht, so dass hier keine Technik zum Einsatz kommt, die für ein unrealistisches, marktfernes Preismodell sorgt.

Zur Komponente Sensorbox als auch der Mensch-Modell-Komponente gibt es Vorarbeiten am OFFIS und am DFKI in den Bereichen Marine und Agrar, wodurch bereits Expertise für ein solches modulares Konzept vorhanden ist. Dieses muss zwar für die mobile Robotik noch angepasst werden, kann aber potenziell durch Nutzung interdisziplinärer Synergien einen höheren Mehrwert erzielen als individuelle Erweiterungen einzelner robotischer Systeme.

9.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

9.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Technologische Innovationen in der Pflege sind ein hochaktuelles Thema in der Forschung. Das Potenzial zur Unterstützung der Pflege durch Technik ist enorm, insbesondere mit Blick auf die aktuelle Pflegesituation weltweit. Da das KO:ROP-Konsortium langjährige Erfahrungen in der Entwicklung und Begleitung von technischen Innovationen hat, durch die bisherigen Projekte exzellente Kenntnisse aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven über die Domäne Pflege besitzt und über Projektverbünde wie bspw. das Pflegeinnovationszentrum, das Cluster „Zukunft der Pflege“ und das BeBeRobot-Begleitprojekt zur BMBF-Förderlinie „Robotische Systeme für die Pflege“ sehr gut mit allen relevanten Akteuren im Forschungs- und

Entwicklungsfeld vernetzt ist, sind die *wissenschaftlich-technischen* Erfolgsaussichten als hervorragend anzusehen.

Die *wirtschaftlichen* Erfolgsaussichten sind angesichts des immensen Wachstums des Pflegemarkts einhergehend mit der generellen Überlastung der Pflegefachpersonen offensichtlich: Wenn die Akzeptanz des Robotereinsatzes in der Pflege steigt, könnte dies zu einer Entlastung führen. Durch die engen Kontakte des KO:ROP-Konsortiums zu allen relevanten deutschen Robotikherstellern und Systemintegratoren können die Ergebnisse zeitnah in die Weiterentwicklung der robotischen Systeme fließen. Robotikhersteller und Systemintegratoren können ihre Systeme auf Basis der wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse aus dem KO:ROP insbesondere hinsichtlich ihrer Interaktionsfähigkeiten verbessern, wodurch die Sicherheit, Akzeptanz und damit auch die Nachfrage steigen sollte.

9.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Für die Verstetigung und Überführung des KO:ROP in einen dauerhaften, etablierten Geschäftsbetrieb wird das Kompetenzzentrum in die Trägerschaft des GewiNet Kompetenzzentrum Gesundheitswirtschaft e.V. (<https://www.gewinet.de/>) überführt, einem Verein mit Mitgliedern aus allen Sektoren der Gesundheitswirtschaft (Unternehmen, Kliniken, Ärzt*innen, Hochschulen und Kommunen), der über seine Mitglieder Zugang zu allen für die praxisnahe Erprobung robotischer Lösungen in der Pflege relevanten Akteur*innen und Einrichtungen hat.

Das KO:ROP kann den Entwicklern robotischer Systeme für Pflege ein Spektrum an Dienstleistungen bieten, von der Bereitstellung von Risikoanalysen und Testszenarien und -räumen über Usability-Nutzerstudien, Studien zur Analyse geeigneter Interaktionsformen beim Einsatz von Robotik in der Pflege, bis hin zur Unterstützung bei der Konzeption und Durchführung klinischer Prüfungen bei robotischen Systemen, die in den Geltungsbereich der EU-Medizinprodukteverordnung fallen, welche bei neuartigen Medizinprodukten eine sogenannte klinische Prüfung³ vorschreibt. Die Mensch-Roboter-Interaktion und Fehlerquellen bzw. Risiken, die sich aus einer

³Klinische Prüfung: Eine „systematische Untersuchung, bei der ein oder mehrere menschliche Prüfungsteilnehmer einbezogen sind und die zwecks Bewertung der Sicherheit oder Leistung eines Produkts durchgeführt wird“.

Fehlbedienung ergeben, sind dabei explizit Bestandteil der Untersuchung. Da der Geltungsbereich der MDR die gesamte EU umfasst, wäre der Zielmarkt des KO:ROP nicht auf Deutschland beschränkt, sondern umfasst robotische Systeme für die Pflege, die auf dem EU-Binnenmarkt zugelassen werden sollen. Dieses Dienstleistungsangebot wird insbesondere für die Industrie- und Verwertungspartner der derzeit laufenden Projekte der BMBF-Förderlinie „Robotische Systeme für die Pflege“ interessant sein, welche bis zum Frühjahr 2023 Demonstratoren robotischer Systeme für die Pflege entwickelt haben werden und für die das KO:ROP der logische nächste Schritt bei der Weiterentwicklung zum Produkt wäre.

Die Verwertung der Ergebnisse der Umsetzungsphase des KO:ROP werden die beteiligten Industriepartner (Robotik-Hersteller, siehe folgender Abschnitt) übernehmen, welche ein Interesse daran haben, ihre robotischen Systeme als Produkte für den Pflegemarkt zu positionieren.

Insgesamt wächst der Markt für Servicerobotik weltweit zurzeit stetig in allen Segmenten⁴, mit einem Verkaufswert von aktuell 9,52 Mrd. €. Die COVID-19 Pandemie sorgt dabei für ein erhöhtes Interesse an Desinfektions- und Logistikrobotern, wobei auch andere Robotiksysteme erlauben, einen Beitrag zur Kontaktreduktion zu leisten. Den mit 47 % bei weitem größten Marktanteil innerhalb der Servicerobotik stellen dabei Roboter zum Einsatz im medizinischen Umfeld. Auch der Markt für robotische Assistenz für ältere und eingeschränkte Personen wächst, zuletzt um 17 % auf ca. 77 Mio. €, mit einem weiterhin großen Wachstumspotenzial. Einem Bericht von Kehl 2018 zufolge bilden Assistenzroboter für die physische Unterstützung ein vielversprechendes Feld, wobei es aufgrund technischer und normativer Hürden noch einige Jahre dauern wird, bis solche Systeme in der Breite im Pflegealltag Einzug halten werden.

⁴<https://automationspraxis.industrie.de/xing/serviceroboter-verkaufszahlen-weltweit-steigen/>

9.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

9.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Das **OFFIS-Institut für Informatik** (Prof. Dr.-Ing. Andreas Hein) verfügt über umfangreiche Vorarbeiten sowohl in der Robotik als auch in der Interaktionsforschung. OFFIS arbeitet in interdisziplinären Verbänden an robotischen, anwendungsnahen Szenarien für die Pflege, die in realitätsnahen Laboren des vom BMBF geförderten Pflegeinnovationszentrums (PIZ) für unterschiedliche Handlungsfelder der Pflege entwickelt und erforscht werden. Bereichert wird dies durch die Mitarbeit im BMBF-Projektverbund BeBeRobot, dem wissenschaftlichen Begleitprojekt der Förderlinie „Robotische Systeme für die Pflege“, über die der Antragsteller einen breiten Zugriff auf aktuelle Entwicklungen im Feld der robotischen Assistenzsysteme in der Pflege hat. Weitere, relevante Verbundprojekte für das KO:ROP mit Robotikbezug sind Florence und AdaMeKoR; mit Bezug auf die Pflege QuoVadis, LivingCare und Cicely. Somit liegen über das Domänenwissen in dem Handlungsfeld der Pflege hinaus bereits ausgeprägte Kompetenzen in der (praxisnahen) Pflegerobotik vor. Prof. Hein ist darüber hinaus Vorsitzender der Kommission für Forschungsfolgenabschätzung und Ethik der Universität Oldenburg.

Die **Universität Osnabrück, Fachgebiet Pflegewissenschaft** (Prof. Dr. Hülken-Giesler), befasst sich seit über zehn Jahren mit der Entwicklung, Erprobung und Bewertung von neuen Technologien in der Pflege und hier speziell mit den Anforderungen an Robotik für die Pflege. Das Fachgebiet Pflegewissenschaft leitet das wissenschaftliche Begleitprojekt BeBeRobot zur aktuellen BMBF-Förderlinie „Robotische Systeme für die Pflege“ und ist Herausgeber des Gutachtens „Autonome Assistenzsysteme in der Pflege: Potenziale und Grenzen aus pflegewissenschaftlicher Sicht“ (PflegeRobot) im Auftrag des Deutschen Bundestages. Mit den BMBF-Projekten MORPHIA und AdaMeKoR werden aktuell FuE-Projekte zur robotischen Unterstützung der Pflege bearbeitet. Hülken-Giesler ist Mitglied des Expertenbeirates „Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz“ der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften und war zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Andreas Hein Mitglied der Sachverständigenkommission zur Erstellung des Achten Altersberichtes der Bundesregierung zum Thema „Ältere Menschen und Digitalisierung“.

Das **Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)** ist auf dem Gebiet innovativer Softwaretechnologien auf der Basis von Methoden der Künstlichen Intelligenz die führende wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung Deutschlands. Ausgehend von anwendungsorientierter Grundlagenforschung werden Produktfunktionen, Prototypen und patentfähige Lösungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie entwickelt. Die Finanzierung erfolgt über Zuwendungen öffentlicher Fördermittelgeber, wie dem BMBF, sowie durch Entwicklungsaufträge aus der Industrie. Der Osnabrücker Forschungsbereich des DFKI entwickelt Algorithmen zur planbasierten Steuerung autonomer mobiler Robotersysteme. Anwendungsbereiche sind z. B. der Einsatz eigenständig arbeitender Landmaschinen und fahrerloser Transportsysteme. Methoden der Künstlichen Intelligenz lassen die Maschine den semantischen Kontext des Umfelds ermitteln, in dem sie sich befindet. Auf Basis des so erhaltenen Wissens erstellt die Maschine Handlungspläne, durch deren Ausführung sie selbstständig vorgegebene Handlungsziele erreichen kann.

GewiNet e.V. ist ein Gesundheitsnetzwerk, das mit seinen Mitgliedern einen Beitrag dazu leistet, auch in Zukunft eine hochqualitative Gesundheitsversorgung sicherzustellen. GewiNet ist in den fünf Arbeitsfeldern Pflege, Telemedizin, Palliativversorgung, Versorgungssicherheit und -qualität sowie Betriebliches Gesundheitsmanagement tätig. Der Bereich Pflege umfasst Projekte für die Gewinnung von Auszubildenden und Fachkräften. Der Bereich Versorgungssicherheit und -qualität widmet sich dem Entlassungsmanagement. In beiden genannten Fachgebieten steht die zentrale Frage, wie Pflegepersonen entlastet werden können. Neben der Umsetzung von Projektideen steht die nachhaltige Verstetigung von Projekten sowie das Vernetzen von Akteuren der Gesundheitswirtschaft an oberster Stelle. GewiNet ist als Verein organisiert. Die rund 100 Mitglieder stammen aus allen Sektoren der Gesundheitswirtschaft: Unternehmen, Kliniken, Pflegeeinrichtungen, Ärzt*innen, Kommunen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen haben sich unter dem Dach von GewiNet versammelt. Darüber können Projektideen auch nach Beendigung derer Laufzeit nachhaltig in der Region verstetigt werden.

Das **Universitätsklinikum Münster (UKM)** ist der führende Standort für Krankenversorgung, Forschung und Lehre im Norden von NRW. Es verfügt über 1500 Betten, in denen im Jahr 2019 insgesamt etwa 61.000 stationäre und rund 545.000 ambulante Patient*innen behandelt wurden. Pflegefachpersonen am Universitätsklinikum Münster stellen eine pflegerische Versorgung auf höchstem Niveau sicher. Universitätskliniken sind Orte der wissenschaftlichen Weiterentwicklung der Disziplin Pflege auch in Kooperation mit der Medizin sowie weiteren Bezugswissenschaften. Seit Einrichtung der Stabstelle Pflegewissenschaft im Jahr 2017 wird die Evidenzbasierung der Pflegepraxis und der damit einhergehenden Theorie-Praxistransfer vorangetrieben. 2019 konnte ein erstes Drittmittelprojekt eingeworben sowie die Einbindung in Forschungsprojekte als Praxispartner (z. B. TAILR.D, gefördert vom BMBF) realisiert werden. Die Pflege am UKM begleitet den Einsatz neuester medizinischer sowie medizintechnischer Verfahren und kann auf die Erfahrungen aus den anderen Forschungsprojekten sowie dem alltäglichen Umgang mit medizinischen Studien zurückgreifen.

SenVital Senioren- und Pflegezentren gibt es zehnmal in Deutschland. Sie stehen für einladende Gastlichkeit, stilvollen Wohlfühl-Komfort, zuvorkommenden Service und vor allem für professionelle Pflege und Betreuung. Am Standort Osnabrück, in dem derzeit 110 Mitarbeiter*innen beschäftigt sind, wird Langzeitpflege, Kurzzeitpflege und Verhinderungspflege in vier im Karree angeordneten Häusern für insgesamt 154 Pflegebedürftige mit den Pflegegraden 2 bis 5 angeboten. Eine anwachsende Multimorbidität der Pflegebedürftigen, der stetig wachsende Fachkräftemangel und eine zunehmend schwierige ärztliche Versorgung, stellen besonders hohe Herausforderungen für die stationäre Altenpflege dar. Getreu dem eigenen Leitbild „Gemeinsam Zukunft leben“ stellen sich die SenVital Senioren- und Pflegezentren dieser Entwicklung und öffnen sich für die Potentiale, die die Digitalisierung und Robotik mit sich bringen. Sie sind überzeugt, durch die Erprobung und die Implementierung dieser neuen Technologien für die ganze Branche wichtige Neuerungen einzuführen und neue Maßstäbe hinsichtlich der Versorgung pflegebedürftiger Senioren und der Entlastung des Pflegepersonals setzen zu können.

Der 2011 gegründete Intensivpflegedienst **immerda** beschäftigt derzeit 198 Mitarbeiter. Das Spektrum des Intensivpflegedienstes reicht von der Versorgung von überwachungs-pflichtigen Patient*innen bis hin zu voll beatmeten Patient*innen, die in ihrer eigenen Häuslichkeit oder in sogenannten „Intensivpflege-Wohngemeinschaften“ betreut und gepflegt werden. Ein besonderer Schwerpunkt stellt die schrittweise Entwöhnung vom Respirator dar (Weaning). Bei der Versorgung solch multimorbider Patient*innen ist der Bedarf der haus- und fachärztlichen Betreuung immens. Die Zusammenarbeit mit einem Weaningzentrum ist eine wichtige Voraussetzung, um den Betroffenen zu mehr Lebensqualität zu verhelfen. Die Versorgungsstrukturen lassen jedoch eine optimale ärztliche Betreuung nicht zu. Aus diesem Grund hat immerda ein großes Interesse, die Wohngemeinschaften in das KO:ROP einzubinden und Probanden aus den Reihen der Pflegekunden und Pflegefachpersonen für die Realisierung zu involvieren. Durch die Mitarbeit in den Projekten MeSiB und Desiree konnte immerda bereits einen Einblick in die angewandte Forschung bekommen.

Die **KUKA Deutschland GmbH (KUKA)** als Unternehmen der KUKA AG gilt als weltweit führender Anbieter von Industrierobotern, Steuerungen, Software und Anlagenbau. Als Vorreiter der kollaborativen und sensitiven Robotik, sowie mobiler Roboter gestaltet KUKA auch im Bereich der Krankenhauslogistik und Medizinrobotik die Zukunft aktiv mit. Die Konzernforschung hat über ein Jahrzehnt Erfahrung in geförderten FuE-Projekten, aus denen Wissen in das „KO:ROP“ einfließen wird. Im BMBF Projekt „MAID“ entwickelte KUKA einen Mobilitätsassistenten zur Unterstützung bewegungseingeschränkter Personen. Im BMBF-Projekt „InRehaRob“ wurde ein für Rehabilitationsanwendungen ausgelegtes Robotersystem entwickelt. Im BMBF-Projekt „RoSylerNT“ (ARA1) wurden nicht nur wichtige Grundfertigkeiten für die Mensch-Roboter-Interaktion erforscht, sondern KUKA leitete hier auch das Arbeitspaket für ethische, rechtliche und psycho-soziale Implikationen. Im EU-Projekt „MindBot“ werden aktuell die psychologischen und physiologischen Auswirkungen der direkten Mensch-Roboter-Interaktion untersucht. Im BMBF-Projekt „PeTRA“ wird mit partizipatorischer Technologieentwicklung mit starkem Einbezug des Krankenhauspersonals ein Patiententransferroboter entwickelt. Dieser kann in einer späteren Phase von KO:ROP innerhalb des Settings S2 hinsichtlich der verbesserten Interaktion und erweiterten Funktionalität evaluiert werden.

Die **tediro GmbH** ist ein 2020 gegründetes Startup mit Standorten in Ilmenau und Leipzig, das in Kooperation mit der Firma **MetraLabs GmbH** mobile Therapie- und Diagnostikroboter entwickelt, die in Kliniken und Pflegeeinrichtungen eingesetzt werden sollen. Die Grundlage für die ersten eigenen Applikationen wurde im Rahmen eines von der Thüringer Aufbaubank finanzierten Verbundprojekts mit MetraLabs, der TU Ilmenau und den Waldkliniken Eisenberg gelegt. Das Team hinter tediro hat seit 2014 in einer Vielzahl von weiteren Projekten der Gesundheitsrobotik mitgearbeitet, zusammen mit der Firma MetraLabs GmbH oder der TU Ilmenau: FRAME, MORPHIA, ROREAS (BMBF), STERY und ROSMON (EU DIH HERO H2020). Dabei sind zahlreiche Publikationen und Patentanmeldungen im Bereich der mobilen Robotik für Pflege, Therapie und Diagnostik entstanden.

Die **Medisana GmbH** operiert seit 30 Jahren im Home Health Care-Markt und ist heute einer der führenden Spezialisten in der Gesundheitsvorsorge in Deutschland. Seit rund 10 Jahren widmet sich die Medisana GmbH und die 100%ige Tochter **Space Technologies GmbH** mit zusammen rund 100 Mitarbeiter*innen und einem Jahresumsatz von 80 Mio. Euro der ‚Digitalen Gesundheit‘. Dabei entwickelt und vertreibt sie innovative Medizin- und Lifestyleprodukte für den Home Health Care-Markt und betreibt eine erfolgreiche Kombination aus Messgeräten, mobilen Applikationen und einer Online-Gesundheitsplattform mit über 1 Mio. registrierten Kunden. Mit der Entwicklung und Zulassung des Serviceroboters medisana robot RO 100 (Temi), der eine drahtlose Anbindung weiterer Medisana-Gesundheitsprodukte wie etwa Personewage, Thermometer, Blutdruck, Blutzucker, Pulsoximeter erlaubt, wird Medisana in einem neuen, hochinnovativen Marktsegment aktiv. Die Nutzung des Temi-Roboters in der Pflege ist für Medisana daher von großem Interesse.

Die **YOUSE GmbH** ist ein Dienstleister für eine nutzerzentrierte Entwicklung bzw. Bewertung von Produkten und Dienstleistungen (User-Centered-Design). YOUSE arbeitet mit einem Methodenmix aus klassischen Verfahren in Anlehnung an die Usability-DIN-Normen und die Arbeitswissenschaft (d. h. Interviews, Usability-Tests etc.), kombiniert mit Vorgehensweisen des Design Thinking (iteratives Vorgehen, Rapid Prototyping etc.) und weiteren innovativen Methoden (u. a. im Bereich ELSI). YOUSE besitzt vielfältige Erfahrungen im Gesundheits- und Pflegebereich, sowohl mit Industriekunden als auch aus vielen Forschungsprojekten (z. B. SafeAERIAL,

MyCYFAPP, Robot-Era). Im KO:ROP bringt YOUSE v. a. die Fähigkeiten zu quantitativen, standardisierten Erhebungen (zu Akzeptanz, Usability, Kosten-Nutzen etc.) ein.

Das als Unterauftragnehmer in das Vorhaben eingebundene **SIBIS Institut für Sozial- und Technikforschung GmbH (SIBIS)** unter Leitung von Frau Dr. Sibylle Meyer verfügt über eine langjährige Forschungsexpertise in den sozialwissenschaftlichen FuE-Feldern des Vorhabens, insbesondere in der empirischen Untersuchung der Mensch-Technik-Interaktion, der Assistenzrobotik für ältere Menschen sowie in den entsprechenden ethischen und sozialen Implikationen. Schwerpunkte liegen auf Methoden zur Nutzereinbindung und partizipativen Vorgehensweisen in Wissenschaft und Technologieentwicklung sowie in der empirischen Evaluation von Erprobungsprojekten in realen Settings (Häuslichkeit, Pflege, Reha, Therapie). Frau Dr. Meyer ist Mitglied der Sachverständigenkommission der Bundesregierung „Digitalisierung und Alter“ und verschiedener nationaler und internationaler Beratungsgremien.

9.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Im KO:ROP wird untersucht, wie robotische Komponenten sowie Robotersysteme in den Pflegealltag integriert bzw. an diesen angepasst werden können und ob berufliche Pflege, Pflegeempfänger*innen und pflegende An- und Zugehörige bei Aufgaben und Tätigkeiten der indirekten und direkten Pflege physisch und psychisch entlastet werden können. Dabei sind alle drei Handlungsfelder der Pflege durch Praxispartner vertreten: Das **Universitätsklinikum Münster** wird die Erprobung im Rahmen der *akutstationären Pflege* durchführen, das **SenVital Senioren- und Pflegezentrum** im Rahmen der *langzeitstationären Pflege*. Der Pflegedienst **immerDA^o Intensivpflege** wird schließlich die Erprobung im Rahmen der *ambulanten/häuslichen Pflege* ermöglichen. Seitens der Robotik-Entwicklung sind der große Robotikhersteller **KUKA**, die MetraLabs-Ausgründung **tediro** und die medisana-Tochter **Space Technologies** als Verbundpartner vorgesehen. Sie werden die von ihnen entwickelten robotischen Systeme für die Pflege zum Einsatz bringen und gemeinsam mit den Forschungspartnern die Interaktionsstrategien in einem mehrstufigen Ansatz iterativ verfeinern und erweitern. Weitere robotische Systeme werden von den Forschungspartnern DFKI

(Logistikroboter) und OFFIS (Mesmer Head) zur Verfügung gestellt und hinsichtlich der Weiterentwicklung der Interaktionsstrategien betreut.

Für die Planung, Durchführung und Evaluation der Feldstudien sind die wissenschaftlichen Partner des Verbunds verantwortlich: die technische Kompetenz bringen das **OFFIS – Institut für Informatik** und das **Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)** ein, die pflegewissenschaftliche und pflegeethische Kompetenz wird von der **Universität Osnabrück (Fachgebiet Pflegewissenschaft)** eingebracht, die die qualitativen KO:ROP-Studien verantwortet. Aspekte der nutzerzentrierten Entwicklung und Bewertung sowie der sozialwissenschaftlichen Auswertung werden von der **YOUSE GmbH** (Fokus quantitative, standardisierte Erhebungen) und dem als Unterauftragnehmer eingebundenen **SIBIS-Institut für Technik- und Sozialforschung** eingebracht. Das **Kompetenzzentrum Gesundheitswirtschaft (GewiNet)** schließlich wird die Frage untersuchen, wie das Angebot des KO:ROP auch über die Projektlaufzeit hinaus verstetigt werden kann, welche Dienstleistungsangebote (inklusive von Kosten-Nutzen-Analysen) einerseits für potenzielle Nutzer von robotischen Systemen für die Pflege, andererseits für die Entwickler dieser Systeme erbracht werden können. Zwischen einem Großteil dieser Verbundpartner existieren in unterschiedlichen Konstellationen langjährige und bewährte Kooperationsbeziehungen und Erfahrungen in der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit.

9.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Das Kompetenzzentrum soll als lebendiges Netzwerk kontinuierlich wachsen und strategisch durch assoziierte Partner ergänzt werden, um insbesondere während des Projektverlaufs auch neue robotische Systeme im KO:ROP berücksichtigen zu können. Auch das Evaluationsdesign bietet die Möglichkeit der Einbindung weiterer, von assoziierten Partnern bereitgestellter robotischer Systeme. Hierzu sind explizit Ressourcen in Arbeitspaket 1 eingeplant. Darüber hinaus ist geplant, einen Projektbeirat in die Arbeiten des KO:ROP einzubeziehen, um die Kompetenzen der Verbundpartner durch diejenigen der Beiratsmitglieder zu komplementieren.

Konkret haben sich die folgenden Experten und Organisationen zu einer Mitarbeit im Beirat bereiterklärt:

- Die **Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege** als gesetzliche Unfallversicherung für nichtstaatliche Einrichtungen in Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege.
- Der **Deutsche Berufsverband für Pflegeberufe (DBfK)** als größte Berufsorganisation der Pflege in Deutschland.
- **Prof. Dr. Uwe Fachinger** vom Institut für Gerontologie der Universität Vechta, welcher dort das Fachgebiet **Ökonomie und Demographischer Wandel** vertritt.
- **Prof. Dr. Hartmut Remmers**, Seniorprofessor des Instituts für Gerontologie der Universität Heidelberg, als **Pflegewissenschaftler und Ethiker**.
- Die **Vereinigte Dienstleistungsgewerkschaft (ver.di)** als Interessenvertretung von gut zwei Mio. Beschäftigten im Dienstleistungsbereich, darunter den Berufen im Gesundheits- und Sozialwesen.

9.5.4 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Das KO:ROP strebt eine enge Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt RimA an und wird insbesondere dazu beitragen, Synergieeffekte zwischen den verschiedenen Kompetenzzentren domänenübergreifend auszunutzen. Alle KO:ROP-Verbundpartner haben Ressourcen für die Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt und die Vernetzung mit den weiteren Kompetenzzentren eingeplant. Neben der aktiven Teilnahme an den Austauschformaten des Transferprojekts (Workshops, Evaluationsveranstaltungen bzw. Wettbewerbe) wird das KO:ROP an der avisierten Wissensplattform mitwirken. Über diese Beteiligung hinaus wären ein regelmäßiger Austausch zur Förderung der operativen, projektübergreifenden Zusammenarbeit sowie die Etablierung eines Leitungsgremiums und regelmäßige Abstimmungen der Projektkoordinator*innen für den strategischen Austausch wünschenswert, um Aktivitäten abzustimmen und Ergebnisse auszutauschen. Relevante Querschnittsthemen aus Sicht des KO:ROP sind technische Implementierung, Open Source, Praxisintegration und Vernetzung, Evaluation, Geschäftsmodelle, Sicherheit und Haftung, Vorbereitung der Wettbewerbe und Öffentlichkeitsarbeit. Weitere Ziele sind die Konzeption gemeinsamer Publikationen und ggf. über die Veröffentlichung der Machbarkeitsstudien hinaus eine

gemeinsame Publikation der Kompetenzzentren und des Transferprojekts RimA, z. B. in Form eines auch für externe Autoren offenen Sammelbandes. Weitere Formen der Zusammenarbeit können während der Projektlaufzeit entwickelt werden. Ein Anknüpfungspunkt wäre etwa die Frage der Portierbarkeit von Interaktionsstrategien für Mensch-Roboter-Interaktion zwischen verschiedenen robotischen Systemen und Anwendungsdomänen. Ein weiterer Punkt ist die Laborinfrastruktur: Neben den durch RimA bereitgestellten Laboren in Bonn und Karlsruhe stellt das KO:ROP den weiteren Kompetenzzentren die OFFIS-Laborinfrastruktur in Oldenburg zur Vorbereitung des Praxiseinsatzes oder für iterative Adaptionsphasen zur Verfügung. Im Rahmen des Pflegeinnovationszentrums (PIZ) wurden mehrere Labore entwickelt, umfangreich und realitätsnah ausgestattet und in Betrieb genommen, u. a. eine realitätsnah eingerichtete Seniorenwohnung mit umfassender technischer Ausstattung und offenen Schnittstellen sowie Videoüberwachungssystem. Die Laborinfrastruktur könnte auch als Standort für einen der jährlichen Wettbewerbe bereitgestellt werden.

Literaturverzeichnis

Beatrice Alenljung, Jessica Lindblom, Rebecca Andreasson, and Tom Ziemke. User experience in social human-robot interaction. In *Rapid automation: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, pages 1468–1490. IGI Global, 2019.

Franziska Babel, Johannes Kraus, Philipp Hock, Hannah Asenbauer, and Martin Baumann. Investigating the validity of online robot evaluations: Comparison of findings from an one-sample online and laboratory study. In *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 116–120, 2021.

Claus Backhaus. *Usability-Engineering in der Medizintechnik: Grundlagen- – Methoden – Beispiele*. Springer-Verlag, 2010.

Paolo Barsocchi, Amedeo Cesta, Luca Coraci, Gabriella Cortellesa, Riccardo De Benedictis, Francesca Fracasso, Davide La Rosa, Andrea Orlandini, and Filippo Palumbo. The giraffplus experience: From laboratory settings to test sites robustness (short paper). In *2016 5th IEEE international conference on cloud networking (Cloudnet)*, pages 192–195. IEEE, 2016.

- S Bleyer. Mitteilungen des Instituts für Biomedizinische Technik und Krankenhaustechnik der Medizinischen Hochschule Hannover. Kapitel Medizinisch-technische Zwischenfälle in Krankenhäusern und ihre Verhinderung, 1992.
- Richard Bloss. Mobile hospital robots cure numerous logistic needs. *Industrial Robot: An International Journal*, 2011.
- Cynthia Lynn Breazeal. *Sociable machines: Expressive social exchange between humans and robots*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- Anna Brinkmann, Conrad Fifelski, Sandra Lau, Christian Kowalski, Ole Meyer, Rebecca Diekmann, Melvin Isken, Sebastian Fudickar, and Andreas Hein. The aal/care laboratory – a healthcare prevention system for caregivers. *Nanomaterials and Energy*, 9(1):27–38, 2020.
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bekanntmachung Richtlinie zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet „Robotische Systeme für die Pflege“ In Bundesanzeiger vom 14.11.2018. <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2088.html>, 2018. [Letzter Zugriff: 19.10.2020].
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung. Miteinander durch Innovation. *Forschungsprogramm Interaktive Technologien für Gesundheit und Lebensqualität*, 2020.
- Bundesministerium für Gesundheit, BMG. Konzertierte Aktion Pflege. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/konzertierte-aktion-pflege.html>, 2020. [Letzter Zugriff: 15.03.2021].
- Deutscher Bundestag. Achter Bericht zur Lage der älteren Generation in der Bundesrepublik Deutschland: Ältere Menschen und Digitalisierung–und Stellungnahme der Bundesregierung. *Drucksache*, 19:21650, 2020.
- D Casey, D Aisling, G Pegman, M Raciti, T Messervey, K Murphy, and H Felzmann. MARIO Project. <http://www.mario-project.eu/portal>, 2019. [Letzter Zugriff: 26.07.2021].
- Silvia Coradeschi, Amedeo Cesta, Gabriella Cortellessa, Luca Coraci, Javier Gonzalez, Lars Karlsson, Francesco Furfari, Amy Loutfi, Andrea Orlandini, Filippo Palumbo,

- et al. Giraffplus: Combining social interaction and long term monitoring for promoting independent living. In *2013 6th international conference on Human System Interactions (HSI)*, pages 578–585. IEEE, 2013.
- Silvia Coradeschi, Amedeo Cesta, Gabriella Cortellessa, Luca Coraci, Cipriano Galindo, Javier Gonzalez, Lars Karlsson, Anette Forsberg, Susanne Frennert, Francesco Furfari, et al. Giraffplus: a system for monitoring activities and physiological parameters and promoting social interaction for elderly. In *Human-Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications 3*, pages 261–271. Springer, 2014.
- Torbjørn S Dahl and Maged N K Boulos. Robots in health and social care: A complementary technology to home care and telehealthcare. *Robotics*, 3(1):1–21, 2014.
- eHealth Ireland. Mario – Managing active and healthy ageing using caring service robots. <http://www.mario-project.eu/portal/>, 2020. [Letzter Zugriff: 26.07.2021].
- Deutscher Ethikrat. Stellungnahme: Robotik für gute Pflege. *Deutscher Ethikrat*, 2020.
- Europäische Kommission. Ethics guidelines for trustworthy AI. high-level expert group on artificial intelligence. <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation/guidelines>, 2018. [Letzter Zugriff: 19.03.2021].
- Bin Fang, Xiang Wei, Fuchun Sun, Haiming Huang, Yuanlong Yu, and Huaping Liu. Skill learning for human-robot interaction using wearable device. *Tsinghua Science and Technology*, 24(6):654–662, 2019.
- Conrad Fifelski, Anna Brinkmann, Simon Martin Ortmann, Melvin Isken, and Andreas Hein. Multi depth camera system for 3d data recording for training and education of nurses. In *2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pages 679–684. IEEE, 2018.
- Conrad Fifelski-von Böhlen, Anna Brinkmann, Christian Kowalski, Ole Meyer, Sandra Hellmers, and Andreas Hein. Reducing caregiver’s physical strain in manual patient transfer with robot support. In *2020 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE)*, pages 189–194. IEEE, 2020a.

- Conrad Fifelski-von Böhlen, Anna Brinkmann, Stephan Mävers, Sandra Hellmers, and Andreas Hein. Virtual reality integrated multi-depth-camera-system for real-time telepresence and telemanipulation in caregiving. In *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pages 294–297. IEEE, 2020b.
- Pascal Gliesche, Tobias Krick, Max Pffingsthorn, Sandra Drolshagen, Christian Kowalski, and Andreas Hein. Kinesthetic device vs. keyboard/mouse: A comparison in home care telemanipulation. *Frontiers in Robotics and AI*, page 172, 2020a.
- Pascal Gliesche, Kathrin Seibert, Christian Kowalski, Dominik Domhoff, Max Pffingsthorn, Karin Wolf-Ostermann, and Andreas Hein. Robotic assistance in nursing care: survey on challenges and scenarios. *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*, 14(9):257–262, 2020b.
- Pascal Gliesche, Christian Kowalski, Max Pffingsthorn, and Andreas Hein. Commanding a whole-arm manipulation grasp configuration with one click: Interaction concept and analytic ik method. In *2021 30th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 573–579. IEEE, 2021a.
- Pascal Gliesche, Christian Kowalski, Max Pffingsthorn, and Andreas Hein. Geometry-based two-contact inverse kinematic solution for whole arm manipulation. In *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 8269–8274. IEEE, 2021b.
- Birgit Graf. Assistenzroboter für die Pflege. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 53(7):608–614, 2020.
- Florenz Graf, Çağatay Odabaşı, Theo Jacobs, Birgit Graf, and Thomas Födisch. Mobika-low-cost mobile robot for human-robot interaction. In *2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 1–6. IEEE, 2019.
- Christine Gustafsson, Camilla Svanberg, and Maria Müllersdorf. A robotic cat in dementia care-a pilot study. In *ISG 2016. World Conference of Gerontechnology*, volume 15, pages 151–151, 2016.

- Sami Haddadin and Elizabeth Croft. Physical human–robot interaction. In *Springer Handbook of Robotics*. Springer, 2016.
- Manfred Hülsken-Giesler. Robotik für die Pflege: Pflegewissenschaftliche Begründungen und Bewertungen. In *Genese und Folgen der »Pflegerobotik«. Die Konstitution eines interdisziplinären Forschungsfeldes*, pages 146–156. Beltz Juventa, 2020.
- Manfred Hülsken-Giesler and Hartmut Remmers. *Robotische Systeme für die Pflege: Potenziale und Grenzen Autonomer Assistenzsysteme aus pflegewissenschaftlicher Sicht. Unter Mitarbeit von Dominic Seefeldt, Sabine Daxberger, Anne Koppenburger und André Heitmann-Möller*, volume 17. Vandenhoeck & Ruprecht, 2020.
- Christoph Kehl. Robotik und assistive Neurotechnologien in der Pflegegesellschaftliche Herausforderungen. *Vertiefung des Projekts „Mensch-Maschine-Entgrenzung“*. TAB-Arbeitsbericht, 177:74, 2018.
- Barbara Klein, B Graf, IF Schlömer, H Roßberg, K Röhricht, and S Baumgarten. Robotik in der Gesundheitswirtschaft: Einsatzfelder und Potenziale. medhochzwei. Seite: 1, 2, 2018.
- Christian Kowalski, Pedro Arizpe-Gomez, Conrad Fifelski, Anna Brinkmann, and Andreas Hein. Design of a supportive transfer robot system for caregivers to reduce physical strain during nursing activities. In *Digital Personalized Health and Medicine*, pages 1245–1246. IOS Press, 2020.
- Nicole Krämer, André Artelt, Christian Geminn, Barbara Hammer, Stefan Kopp, Arne Manzeschke, Alexander Rossnagel, Pauline Slawik, Jessica Szczuka, Lina Varonina, et al. KI-basierte Sprachassistenten im Alltag: Forschungsbedarf aus informatischer, psychologischer, ethischer und rechtlicher Sicht. 2019.
- Tobias Krick, Kai Huter, Dominik Domhoff, Annika Schmidt, Heinz Rothgang, and Karin Wolf-Ostermann. Digital technology and nursing care: a scoping review on acceptance, effectiveness and efficiency studies of informal and formal care technologies. *BMC health services research*, 19(1):1–15, 2019.
- Tobias Krick, Kai Huter, Kathrin Seibert, Dominik Domhoff, and Karin Wolf-Ostermann. Measuring the effectiveness of digital nursing technologies: deve-

- lopment of a comprehensive digital nursing technology outcome framework based on a scoping review. *BMC health services research*, 20(1):1–17, 2020.
- Maria Kyrarini, Fotios Lygerakis, Akilesh Rajavenkatanarayanan, Christos Sevastopoulos, Harish Ram Nambiappan, Kodur Krishna Chaitanya, Ashwin Ramesh Babu, Joanne Mathew, and Fillia Makedon. A survey of robots in healthcare. *Technologies*, 9(1):8, 2021.
- W. Lauer. Fehler-Faktoren in der Medizintechnik: Selten sind Anwender „selbst schuld“. <https://deutsch.medscape.com/artikel/4901683>, 2013. [Letzter Zugriff: 27.07.2021].
- Benjamin Michael Lipp. *Interfacing RobotCare: On the Techno-Politics of Innovation*. PhD thesis, Universitätsbibliothek der TU München, 2019.
- Arne Manzeschke and Galia Assadi. Emotionen in der Mensch-Maschine-Interaktion. In *Mensch-Maschine-Interaktion*, pages 165–171. Springer, 2019.
- Leo Marco and Giovanni Maria Farinella. *Computer vision for assistive healthcare*. Academic Press, 2018.
- Meiko Merda, Kristina Schmidt, and Bjørn Kähler. Pflege 4.0–Einsatz moderner Technologien aus der Sicht professionell Pflegender. *Forschungsbericht. Hamburg: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW)*, 2017.
- Theodore A Metzler, Lundy M Lewis, and Linda C Pope. Could robots become authentic companions in nursing care? *Nursing Philosophy*, 17(1):36–48, 2015.
- Sibylle Meyer and Christa Fricke. Autonome Assistenzroboter für ältere Menschen zu Hause: Eine Erkundungsstudie. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 53(7): 620–629, 2020.
- Svjetlana Miocinovic, Ali Shoeb, Sarah Wang, Nicole Swann, Anupam Pathak, and Jill Ostrem. Tremor severity estimation using liftware instrumented eating utensil (p4. 295), 2016.
- Justinas Mišeikis, Pietro Caroni, Patricia Duchamp, Alina Gasser, Rastislav Marko, Nelija Mišeikienė, Frederik Zwilling, Charles De Castelbajac, Lucas Eicher, Michael

Früh, et al. Lio-a personal robot assistant for human-robot interaction and care applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(4):5339–5346, 2020.

Toshiharu Mukai, Shinya Hirano, Hiromichi Nakashima, Yo Kato, Yuki Sakaida, Shijie Guo, and Shigeyuki Hosoe. Development of a nursing-care assistant robot riba that can lift a human in its arms. In *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 5996–6001. IEEE, 2010.

Carsten Orwat. *Diskriminierungsrisiken durch Verwendung von Algorithmen: eine Studie, erstellt mit einer Zuwendung der Antidiskriminierungsstelle des Bundes*. Nomos, 2019.

Amit Kumar Pandey and Rodolphe Gelin. A mass-produced sociable humanoid robot: Pepper: The first machine of its kind. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 25(3):40–48, 2018.

Maribel Pino, Mélodie Boulay, François Jouen, and Anne Rigaud. “Are we ready for robots that care for us?” Attitudes and opinions of older adults toward socially assistive robots. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 2015. doi: 10.3389/fnagi.2015.00141. URL <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnagi.2015.00141>.

Rat der Arbeitswelt. Vielfältige Ressourcen stärken – Zukunft gestalten. Impulse für eine nachhaltige Arbeitswelt zwischen Pandemie und Wandel. Arbeitswelt-Bericht 2021. Berlin, 2021.

Selma Šabanović, Casey C Bennett, Wan-Ling Chang, and Lesa Huber. Paro robot affects diverse interaction modalities in group sensory therapy for older adults with dementia. In *2013 IEEE 13th international conference on rehabilitation robotics (ICORR)*, pages 1–6. IEEE, 2013.

Yoshiaki Sakagami, Ryujin Watanabe, Chiaki Aoyama, Shinichi Matsunaga, Nobuo Higaki, and Kikuo Fujimura. The intelligent asimo: System overview and integration. In *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, volume 3, pages 2478–2483. IEEE, 2002.

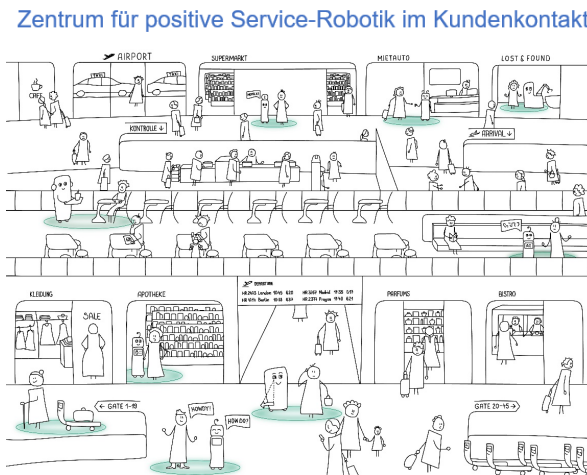
- Nina Savela, Tuuli Turja, and Atte Oksanen. Social acceptance of robots in different occupational fields: a systematic literature review. *International Journal of Social Robotics*, 10(4):493–502, 2018.
- Svea Schuh, Tobias Greff, Florian Winter, Dirk Werth, and Anne Gebert. KI-basierte Mensch-Roboter-Interaktion durch die Weiterentwicklung multifunktionaler Serviceroboter zur Unterstützung in der klinischen Pflege. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 57(6):1271–1285, 2020.
- Adriana Tapus, Andreea Peca, Amir Aly, Cristina Pop, Lavinia Jisa, Sebastian Pintea, Alina S Rusu, and Daniel O David. Children with autism social engagement in interaction with Nao, an imitative robot: A series of single case experiments. *Interaction studies*, 13(3):315–347, 2012.
- Ricardo Tellez, Francesco Ferro, Sergio Garcia, Esteban Gomez, Enric Jorge, Dario Mora, Daniel Pinyol, Joan Oliver, Oriol Torres, Jorge Velazquez, et al. Reem-b: An autonomous lightweight human-size humanoid robot. In *Humanoids 2008-8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 462–468. IEEE, 2008.
- Shannon Vallor. Carebots and caregivers: Sustaining the ethical ideal of care in the twenty-first century. *Philosophy & Technology*, 24(3):251–268, 2011.
- Aimee Van Wynsberghe. Designing robots for care: Care centered value-sensitive design. *Science and engineering ethics*, 19(2):407–433, 2013.
- D. Wiesollek, H. W. Müller-Arnecke, and U. Hold. Untersuchungen zur Ergonomie von Medizinprodukten–Fallbeispiel Spritzenpumpen. <https://d-nb.info/992538165/34>, 2008. [Letzter Zugriff: 27.07.2021].
- James E Young, JaYoung Sung, Amy Volda, Ehud Sharlin, Takeo Igarashi, Henrik I Christensen, and Rebecca E Grinter. Evaluating human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 3(1):53–67, 2011.
- Athanasia Zlatintsi, AC Dometios, Nikolaos Kardaris, Isidoros Rodomagoulakis, Petros Koutras, X Papageorgiou, Petros Maragos, Costas S Tzafestas, Panagiotis Vartholomeos, Klaus Hauer, et al. I-support: A robotic platform of an assistive

bathing robot for the elderly population. *Robotics and Autonomous Systems*, 126: 103451, 2020.

Zentrum für positive Service-Robotik im Kundenkontakt (PosiBot)

Förderkennzeichen 16SV8632

Kathrin Pollmann¹, Nora Fronemann¹, Daniel Ziegler¹, Wulf Loh², Carla Pavel²,
Johannes Kraus³, Franziska Babel³, Daryoush Daniel Vaziri⁴, David Golchinfar⁴,
Daniel Schmidt⁵, Alina Henne⁵, Georg Wegmann⁶, Laura Dreesen⁷, Ray-Allen
Taylor⁷, Matthias Krinke⁸ und Dania Rothe⁸



¹Fraunhofer IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

²Universität Tübingen
Geschwister-Scholl-Platz
72074 Tübingen

³Universität Ulm
Helmholtzstr. 16
89081 Ulm

⁸pi4_robotics GmbH
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

⁵SAG Stuttgart Airport
Ground Handling GmbH
Flughafenstraße 43
70629 Stuttgart

⁶Flughafen
Stuttgart GmbH
Flughafenstraße 32
70629 Stuttgart

⁷Ideabay GmbH
t.a. VUI agency
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 München

⁴Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

10.1 Konzept des Kompetenzzentrums

Im Rahmen des Projekts wird das PosiBot-Kompetenzzentrum aufgebaut, das Unterstützungsangebote rund um die Entwicklung und den Praxiseinsatz von Service-Robotern im Kundenkontakt anbietet.

10.1.1 Motivation: Einsatzpotenzial von Service-Robotern im Kundenkontakt bleibt aktuell ungenutzt

Unsere Marktstudie (Pollmann et al. 2021) hat ergeben, dass heute schon am Markt befindliche Service-Roboter im Bereich des Kundenkontakts (z.B. im Einzelhandel, Bankwesen, in kulturellen Einrichtungen, in der Verwaltung sowie in der Verkehrs- und Tourismusbranche) eine Reihe von Dienstleistungen erfüllen (Abb. 10.1).

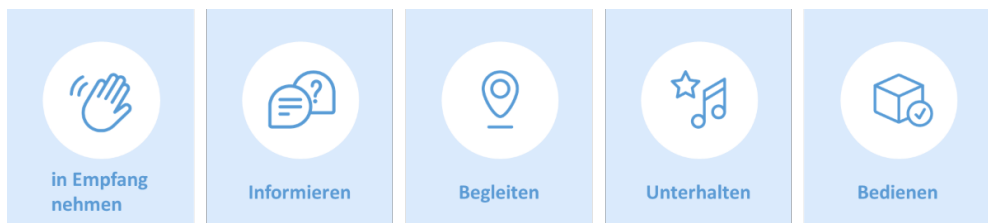


Abbildung 10.1: Überblick über die Tätigkeiten für Service-Roboter im Kundenkontakt.

Dadurch können sich die Mitarbeitenden verstärkt auf untypische Anliegen und die damit verbundene Kommunikation mit den Kund:innen konzentrieren. Der Roboter bietet außerdem das Potenzial, gerade solche Aufgaben zu übernehmen, die von Mitarbeitenden oft als wenig abwechslungsreich und erfüllend erlebt werden. Werden Service-Roboter mit den für sie adäquat ausgewählten Aufgaben betraut und funktioniert die Interaktion mit ihnen reibungslos, könnten sie perspektivisch Servicequalität und Kundenzufriedenheit verbessern.

Trotz dieser potenziellen Vorteile sind im Kundenkontakt bislang wenige Roboter dauerhaft im Einsatz. Die Gründe dafür wurden im Rahmen unserer Marktstudie durch eine umfangreiche Literaturrecherche sowie Interviews mit Roboterherstellern und potenziellen Anwender:innen untersucht und dabei Hemmnisse für vier verschiedene Stakeholdergruppen des Service-Roboter-Ökosystems identifiziert (Abb. 10.2).

- 1) *Anwendungsunternehmen* stehen vor der Herausforderung der Kosten-Nutzen-Abschätzung. Ein Service-Roboter stellt eine hohe Investition dar - aufgrund der Anschaffungskosten als auch der ggf. nötigen Anpassung von Prozessen oder baulichen Voraussetzungen. Der tatsächliche Nutzen des Roboters lässt sich vorab meist nicht genau genug beziffern, weshalb viele Unternehmen vor einer Investition in Service-Roboter zurückschrecken. Andere wiederum sind sich der Entlastungspotenziale von Service-Robotern nicht bewusst und ziehen einen Einsatz deshalb nicht in Erwägung.
- 2) Für *Entwicklungsunternehmen* ist die Entwicklung von Roboter-Anwendungen ressourcenintensiv: Funktionen, Funktionalitäten, Interaktionsgestaltung und bereitgestellte Inhalte müssen für jeden Roboter-Einsatz angepasst oder sogar neu entwickelt werden, da die Ausstattung der Roboter ab Werk generisch gehalten und nicht auf das konkrete Einsatzgebiet zugeschnitten ist.
- 3)+4) Der Erfolg eines Service-Roboters hängt maßgeblich davon ab, dass die *Mitarbeitenden* und *Kund:innen* den Roboter akzeptieren, und problemlos mit ihm kommunizieren und zusammenarbeiten können. Bisher sind nur wenige Roboter im dauerhaften Einsatz und Nutzer:innen schreiben ihnen – geprägt durch Science-Fiction Darstellungen – oft eine umfangreichere Interaktionskompetenz zu als sie bislang besitzen. Werden die Erwartungen nicht erfüllt, kann dies zu Enttäuschung und Reaktanz führen. Diese Schwierigkeit wird dadurch verstärkt, dass bislang jeder Service-Roboter auf seine eigene Art kommuniziert: Unterschiedliche Robotertypen können mitunter dieselbe Aufgabe erfüllen, und sich dabei den Nutzenden gegenüber unterschiedlich verhalten. Ebenso gut kann sich der gleiche Robotertyp in verschiedenen Einsatzkontexten in der Interaktion unterschiedlich verhalten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für die Interaktionsgestaltung von Service-Robotern wenig Standards vorhanden sind, die eine einheitliche, allgemein verständliche Roboter-Interaktionssprache fördern. Zudem werden die Interaktionsstrategien aktuell nur bedingt auf die individuellen – häufig sehr diversen – Vorerfahrungen und Bedarfe der Nutzenden abgestimmt.

Im vorliegenden Projekt wird erforscht, wie diese beschriebenen Hemmnisse reduziert werden können. Ergebnis des Projekts ist ein Unterstützungsangebot, mit dessen Hilfe deutsche Unternehmen in die Lage versetzt werden, die oben genannten Hürden zu überwinden und Service-Roboter verstärkt einzusetzen, um Mitarbeitende zu entlasten und das Serviceerlebnis für die Kund:innen nachhaltig positiv zu beeinflussen.



Abbildung 10.2: Hemmnisse des Praxiseinsatzes von Service-Robotern für verschiedene Stakeholder.

10.1.2 Zielsetzung: Mehr Service-Roboter im Kundenkontakt, die Mitarbeitende entlasten und von Kund:innen als Bereicherung erlebt werden

Das Kompetenzzentrum PosiBot hat das Ziel, eine etablierte Anlaufstelle in Deutschland für die oben genannten Stakeholdergruppen rund um den Praxiseinsatz von Service-Robotern im Kundenkontakt zu werden. Das Angebot gliedert sich in vier Bausteine, die für den Erfolg einer Einführung unverzichtbar sind: Entscheidungsunterstützung für den Einsatz von Service-Robotern im Rahmen einer Anforderungsanalyse, Module für die Interaktionsgestaltung, Werkzeuge für die Anwendungsentwicklung und Evaluationsinstrumente (Abb. 10.3).



Abbildung 10.3: Die vier Bausteine des PosiBot-Leistungsangebots werden im Rahmen des Projekts basierend auf einem menschenzentriert-ethischen Gestaltungsprozess entwickelt.

Ziel des vorliegenden Projektvorhabens ist es, das PosiBot-Leistungsangebot iterativ zu entwickeln und zu erproben. Die Entwicklung erfolgt dabei anhand eines menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozesses, der basierend auf dem Konzept der integrierten Forschung (Spindler et al. 2020, Stubbe 2018) und Co-Creation (O’Hern and Rindfleisch 2017) ethische und techniksoziologische Betrachtungsweisen mit denen der User Experience und der Anwendungsentwicklung zu vereint. So wird ein ganzheitlicher und gesellschaftlich nachhaltiger Blick auf die Gestaltung und Entwicklung von Service-Robotern ermöglicht. Zudem wird sichergestellt, dass ausschließlich Lösungen entwickelt werden, die Bedürfnisse und Werte der Stakeholder in den Fokus nehmen *und* gleichzeitig individual-ethische und gesamtgesellschaftliche Anforderungen berücksichtigen. Der Ansatz ist besonders relevant, da der Einsatz von Service-Robotern noch nicht alltäglich ist, und Vertrauen und Akzeptanz bei Nutzenden und der breiteren Bevölkerung erst noch geschaffen werden müssen. Gleichzeitig ist es notwendig, die ethischen und gesamtgesellschaftlichen Implikationen frühzeitig in der Entwicklung zu berücksichtigen, um dieses Vertrauen zu rechtfertigen und individuell vertrauenswürdige wie gesellschaftlich wünschenswerte Mensch-Roboter-

Interaktionen zu gestalten.

Hierzu kann eine einheitliche Interaktionssprache über verschiedene Roboter-Plattformen hinweg beitragen, da sie Mensch-Roboter-Interaktion im Allgemeinen voraussetzbarer macht und so für alle Beteiligten erleichtert. Gerade im Projektkontext des öffentlichen Raums ist aufgrund der vielfältigen Umgebungseinflüsse eine intuitive und klare Kommunikation zwischen Mensch und Roboter besonders relevant. Gleichzeitig darf diese nicht so gestaltet sein, dass wichtige Aspekte der informationellen Selbstbestimmung, der Autonomie sowie des Wohlergehens der Nutzenden aus dem Blick geraten (Fronemann et al. 2022).

Das PosiBot-Leistungsangebot soll es Anwendungs- und Entwicklungsunternehmen als niedrigschwelliges Angebot erleichtern, Module für eine einheitliche Interaktionssprache zu übernehmen und sich frühzeitig mit Aspekten zur Vertrauensbildung und Akzeptanzförderung zu beschäftigen.

Das PosiBot-Leistungsangebot soll überall dort Anwendung finden, wo kundennahe Dienstleistungen angeboten werden, und ist deshalb nicht auf einen bestimmten Anwendungsbereich beschränkt. Die Entwicklung der Methoden und Werkzeuge erfolgt in drei Phasen anhand der Anwendungsdomäne „Dienstleistungen für (mobilitäts-) eingeschränkte Personen am Flughafen“ unter Berücksichtigung der Roboter Workerbot4 Concierge, Nao, Pepper und Pudu (vgl. Kap. 10.1.3). In Pilotprojekten werden die entwickelten Werkzeuge erprobt und in andere Anwendungsfelder übertragen.

1. *Vorkonzeption*: Im ersten Schritt werden basierend auf bestehenden Methoden und der Expertise des Konsortiums erste Versionen der Leistungsangebots-Bausteine vorkonzipiert.
2. *Feldstudien*: Im Rahmen von Feldstudien kommen unterschiedliche Roboter am Flughafen zum Einsatz, sodass strukturierte Erfahrungen im realen Anwendungskontext gesammelt werden. Diese werden zum einen aufbereitet und im Rahmen von Publikationen und Veranstaltungen veröffentlicht. Dadurch trägt das Projekt maßgeblich zur Verbesserung der Datenlage zur Service-Robotik im Kundenkontakt bei. Darüber hinaus werden zur Erhebung und Dokumentation dieser Erfahrungen die Bausteine des Leistungsangebots eingesetzt, die auf diese Weise zugleich im Rahmen der drei Studieniterationen evaluiert und

weiterentwickelt werden.

3. *Transfer*: Die entwickelten Leistungsangebote werden im Rahmen von Pilotprojekten in weiteren Anwendungsdomänen erprobt und weiter optimiert, sodass eine Übertragbarkeit auf die unterschiedlichsten Anwendungsfälle im Bereich “Kundenkontakt” sichergestellt werden kann.

10.1.3 Anwendungsdomäne: Roboter unterstützen Services für (mobilitäts-) eingeschränkte Personen am Flughafen

Als primäre Anwendungsdomäne für Service-Roboter konzentriert sich das Projekt auf „Dienstleistungen für (mobilitäts-)eingeschränkte Personen am Flughafen“. Seit 2008 wurde den Flughäfen per EU-Verordnung (EG 1107/2006 2006) die Verantwortung übertragen, ein spezielles Service-Angebot für Personen mit eingeschränkter Mobilität (PRM) bereitzustellen. Der Service beinhaltet die Begleitung, Information und Unterstützung von PRM von der Ankunft am Flughafen bis ins Flugzeug bzw. vom ankommenden Flugzeug bis zum Verlassen des Flughafens. 2018 haben an deutschen Flughäfen fast 2 Millionen Reisende diesen Service in Anspruch genommen, die Tendenz ist steigend. Die Bereitstellung des Services ist für die Flughäfen sehr personalintensiv. Insbesondere während der Hauptreisezeiten ist es für die Mitarbeitenden herausfordernd, eine hohe Servicequalität aufrecht zu erhalten. Eine Prozessanalyse am Flughafen Stuttgart hat ergeben, dass Mitarbeitende zur Begleitung eines einzelnen PRM lange Wegstrecken zurücklegen und teils mehrfach die Sicherheitskontrolle passieren müssen. Besonders zeitraubend sind hierbei die Tätigkeiten, die im Rahmen der Servicedienstleistung für abfliegende PRM im Terminalbereich erfolgen, zum Beispiel im Falle eines Gate-Wechsels. Eine konstante Vor-Ort-Betreuung am Gate durch Mitarbeitende ist nicht möglich, sodass die PRM die oftmals langen Wartezeiten alleine meistern müssen.

Der PRM-Prozess wurde im Rahmen unserer Marktstudie (Pollmann et al. 2021) als besonders geeignete Anwendungsdomäne für die iterative Entwicklung des PosiBot-Leistungsangebots befunden, da er (a) in sich große Potenziale für die Entlastung von Mitarbeitenden und die Erhöhung der Servicequalität bietet und (b) vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Service-Roboter umfasst, die auch auf andere Anwendungsfelder mit kundennahen Dienstleistungen übertragbar sind (Abb. 10.4):

- Aktuell am Markt verfügbare Service-Roboter können im Rahmen des PRM-Prozesses in Zukunft alle o.g. Tätigkeiten (Abb. 10.1) ausüben, dadurch Mitarbeitende signifikant unterstützen und das Serviceerlebnis der Kund:innen verbessern. Die im Projekt erzielten Erkenntnisse sind so auf alle Anwendungsfelder übertragbar, die mindestens eine der genannten Tätigkeiten beinhalten.
- Im PRM-Prozess interagieren Service-Roboter mit heterogenen Zielgruppen, insbesondere mit Personen mit unterschiedlichen Einschränkungen. Die betrachteten Tätigkeiten sind aber auch für Personen ohne Einschränkungen relevant.
- Im PRM-Prozess können verschiedene Arten von Service-Robotern zum Einsatz kommen, die sowohl mit Mitarbeitenden und Reisenden, als auch untereinander und mit bestehenden IT-Systemen kommunizieren. Die Komplexität besteht somit nicht nur darin, dass die Service-Roboter mit vielen Menschen mit unterschiedlichen Anforderungen Hand in Hand arbeiten müssen, sondern auch darin, die Roboter miteinander zu vernetzen und in das Service-Ökosystem einzubinden, um eine Entlastung der Mitarbeitenden zu gewährleisten.

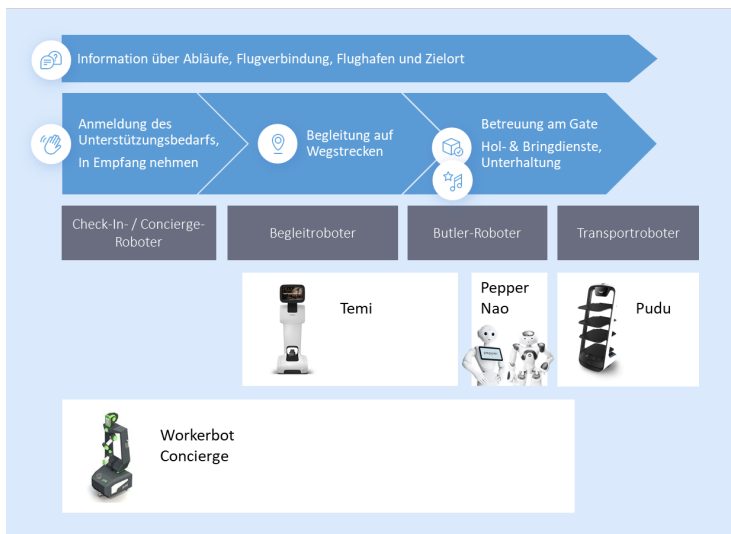


Abbildung 10.4: Überblick über die Services im PRM-Prozess, die durch Service-Roboter abgedeckt werden können, und die Roboter, die im Rahmen des Projekts zum Einsatz kommen sollen.

10.1.4 Einsatzszenario und Vision: Ein Tag am Flughafen – Roboter als Teil des Service-Ökosystems

Die Abbildungen 10.5-10.6 zeigen einen Ausschnitt des PRM-Prozesses im Terminalbereich zwischen Sicherheitskontrolle und Gate und illustrieren, wie verschiedene Service-Roboter zum Einsatz kommen könnten. Im Rahmen des Projekts werden diese und ähnliche Interaktionssituationen in Form von Nutzenstudien untersucht und die Einsatzmöglichkeiten verschiedener Roboter beleuchtet (Workerbot4 Concierge, Temi, Nao, Pepper und Pudu). Am Ende des Projekts sind alle in Abb. 10.5-10.6 beschriebenen Szenarien mit Service-Robotern umgesetzt und im Praxiseinsatz getestet. Außerdem liegt ein Konzept vor, wie Service-Roboter in das Service-Ökosystem des Flughafens integriert und bei der Prozess- und Personalplanung berücksichtigt werden können.



Abbildung 10.5: Sicherheitskontrolle.

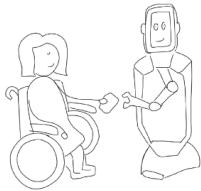


Abb. 6:

Ein Gate weiter wartet Frau Noll auf ihren Flug. Seit einem Unfall ist sie an einen Rollstuhl gebunden und war daher schon frühzeitig am Flughafen. Ihren Wunsch für einen Unterstützungsservice hatte sie bereits mit der Buchung angegeben und das PRM-Planungssystem hat Mitarbeitende und Roboter dafür bereits vorgemerkt. Frau Noll nimmt diesen Service nicht zum ersten Mal in Anspruch und hat sich an den Charakter ihres Butler-Roboters vor Ort gewöhnt. Er erinnerte sie an ihren lustigen Onkel Theo. Bei ihrer Ankunft musste sie sich nur kurz beim Check-In-Roboter in der Eingangshalle melden und wurde sogleich von einem Mitarbeiter mit ihrem Gepäck abgeholt und bis zum Gate gebracht. Hier hat sie nun noch zwei Stunden bis zum Abflug. Der Mitarbeiter hat sich verabschiedet und in der Obhut des Roboters am Gate gelassen, der sich sogleich auf seine alte Bekannte und ihre Anforderungen und Präferenzen einstellt.

Der Roboter informiert sie über alle wichtigen Details zu ihrem Flug, bevor er fragt, ob sie noch etwas spielen möchte. Da sich Frau Noll langweilt, willigt sie ein und sucht sich Scharade aus. Gemeinsam spielen sie eine Weile, bis sich mehr Personen am Gate versammeln und Frau Noll ins Gespräch mit einem anderen Passagier kommt.

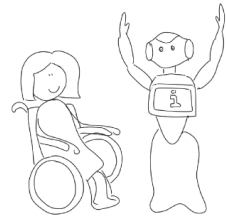


Abb. 7:



Da sie vorhin ein nettes Café gesehen hatte, fragt Frau Noll den Roboter, ob sie dort noch einmal hinfahren können. Der Roboter bietet ihr an, dass er sie begleiten kann oder ihr einfach einen Kaffee bringen lassen kann. Das findet Frau Noll noch viel besser und gibt ihre Bestellung auf.

Der Butler-Roboter kontaktiert daraufhin einen der Gastro-Transport-Roboter im Terminalbereich und übermittelt die Bestellung, die dieser an das Café vermittelt. Zehn Minuten später erscheint der Roboter am Gate mit dem Kaffee. Bezahlen kann Frau Noll den Kaffee direkt beim Roboter.

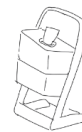


Abbildung 10.6: Abbildung 6 am Gate. Abbildung 7 im Cafe.

10.1.5 Forschungsfragen: Wie kann die Gestaltung und Entwicklung positiver Service-Roboter-Anwendungen unterstützt werden?

Das Projekt ist in verschiedene Forschungsstränge untergliedert: Analyse, Interaktionsgestaltung, Anwendungsentwicklung, Evaluation und domänenspezifische Fragestellungen. Der Erkenntnisgewinn der untersuchten Forschungsfragen fließt dabei direkt in die Entwicklung der vier Module des PosiBot-Leistungsangebots ein.

Analyse: Entscheidung für den Einsatz von Service-Robotern

- Welche Anforderungen, Bedürfnisse und Charakteristika beeinflussen die in-

itiale Wahrnehmung und Akzeptanz verschiedener Service-Roboter und wie können diese im Rahmen von Einführungsprozessen von Service-Robotern berücksichtigt werden?

- Was sind physische, organisatorische, technische, soziale und wirtschaftliche Voraussetzungen für den Praxiseinsatz von Service-Robotern im Kundenkontakt und wie können diese standardisiert erfasst und bewertet werden?
- Wie können Service-Roboter technisch, organisatorisch und wirtschaftlich in ein Service-Ökosystem integriert werden?

Interaktionsgestaltung

- Wie kann Interaktionsgestaltung für Service-Roboter im Kundenkontakt standardisiert werden im Sinne einer einheitlichen Interaktionssprache?
- Welche Anforderungen und Bedürfnisse der Nutzenden müssen adressiert werden, um eine effiziente, verlässliche und positive multimodale Interaktion zu ermöglichen?
- Wie muss eine vertrauenswürdige Interaktion gestaltet sein, die die informationelle Privatheit, Autonomie und Diversität der Nutzenden und Mitarbeitenden sichert? Wie lassen sich diese kontextübergreifend generalisieren?
- Welche Rolle spielen bestimmte Charakteristiken der Nutzenden wie Robotererfahrung, Persönlichkeit und Vertrauen bei der Interaktion mit Service-Robotern im Kundenkontakt, und wie können diese bei der Interaktionsgestaltung berücksichtigt werden?
- Wie kann die Akzeptanz und ein positives Nutzungserleben dadurch gefördert werden, dass der Roboter einen bestimmten Charakter oder eine bestimmte Persönlichkeit nach außen trägt? Welche Charaktere müssen Service-Roboter annehmen können, um von unterschiedlichen Nutzenden als positiv und nutzenstiftend wahrgenommen zu werden?
- Welche KI-ethischen Anforderungen an die Personalisierung gilt es mit Blick auf Nicht-Diskriminierung und Transparenz zu beachten?
- Wie muss die verbale und nonverbale Interaktion gestaltet sein, damit ein Roboter von einer heterogenen Zielgruppe verstanden und gerne genutzt wird?

Anwendungsentwicklung

- Wie kann Kontext-, Methoden- und Gestaltungswissen zu Service-Robotern so aufbereitet werden, dass es leicht in der Praxis anwendbar ist?
- Welche technischen Voraussetzungen müssen für eine erfolgreiche multimodale Interaktion geschaffen werden?
- Wie kann die Übertragung existierender Interaktionsstrategien auf neue Einsatzszenarien und Service-Roboter technisch unterstützt werden?
- Wie kann eine modulare Konzeption und Entwicklung von Service-Roboter-Anwendungen unterstützt werden?
- Wie können Anwendungen so entwickelt werden, dass sie gesellschaftliche Werte sowie Bedingungen guter Arbeit der Mitarbeitenden berücksichtigen? Wie lassen sich hier Lösungen kontextübergreifend generalisieren?

Evaluation des langfristigen Praxiseinsatzes

- Wie können Langzeitstudien im laufenden Betrieb von Service-Robotern realisiert und die Roboter auf Basis der Ergebnisse kontinuierlich angepasst und optimiert werden?
- Wie kann der Aufwand für den Aufbau realitätsnaher Testumgebungen für Service-Roboter im Kundenkontakt reduziert werden?
- Wie können Akzeptanz und Vertrauen langfristig kontinuierlich gemessen, interpretiert und sichergestellt werden (insbesondere für vulnerable Zielgruppen im öffentlichen Raum)?

Domänenspezifische Fragestellungen

- Wie können Service-Roboter gewinnbringend in der Passagierbetreuung am Flughafen eingesetzt werden, um Mitarbeitende zu entlasten?
- Wie können Service-Roboter das Passagiererlebnis am Gate verbessern?
- Welche Service-Roboter sind aus Nutzenden-, wirtschaftlicher, technischer und organisatorischer Sicht langfristig für den Einsatz am Flughafen geeignet?

Durch Bearbeitung der genannten Forschungsfragen werden die Ziele der BMBF-Bekanntmachung unterstützt. Abbildung 10.7 fasst zusammen, wie das Projekt zur Erreichung der Ziele beiträgt.

10.1 Konzept des Kompetenzzentrums

Bekanntmachung des BMBF	Verbundprojekt PosiBot
<ul style="list-style-type: none"> • Existierende Assistenzroboter in praxisnahen, nicht-industriellen Anwendungsszenarien erproben, aktuell implementierte Interaktionsstrategien auf ihre Wirkmechanismen untersuchen und weiterentwickeln • Untersuchungen mit existierenden Robotern unter realen Einsatzbedingungen und Verbesserung durch die Förderung der User Experience • Explizite Erfahrung in der Anwendungsdomäne • Auseinandersetzung mit „Gesamtsystemen in definierten Anwendungsdomänen“ 	<p>Es werden bestehende Systeme im Feld getestet und anschließend optimiert.</p> <p>Bei der Nutzungskontextanalyse werden relevante Aspekte für eine optimale User Experience erhoben, und der menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozess daraus ausgelegt. In den Evaluationsstudien wird auf die UX und Akzeptanz erneut ein spezifischer Fokus gelegt.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzen des Konsortiums: einschlägige Erfahrungen im Umgang und Betrieb von robotischen Systemen, Qualifikationen in den Feldern Usability und Interaktionsforschung, Beteiligung von technischen und sozialwissenschaftlichen Partner:innen 	<p>Der Flughafen Stuttgart bringt das nötige Erfahrungswissen über die Anwendungsdomäne und das Service-Ökosystem ein.</p> <p>Das Konsortium ist zusammengesetzt aus Interaktionsgestalter:innen, Psycholog:innen, Roboterhersteller:innen, Anwendungsentwickler:innen, Techniksoziolog:innen und Ethiker:innen.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Wertorientierte und nachhaltige Gestaltung von Assistenzrobotik 	<p>Der menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozess rückt Bedürfnisse, Werte und Anforderungen der Nutzenden in den Fokus und integriert ELSI-Aspekte aktiv in allen Projektphasen.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ganzheitliche Erforschung der Mensch-Roboter-Interaktion • Evaluation und Verbesserung existierender Systeme mittels aussagekräftiger Nutzer:innentests in längeren Erprobungsstudien durch iterative Vorgehensweise 	<p>Die entwickelten Lösungen werden mit Nutzenden iterativ erprobt und anschließend verbessert. In drei Zyklen werden so immer wieder neuentwickelte Aspekte evaluiert und bereits verbesserte Funktionen erneut validiert.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Test-Szenarien, Metriken und Benchmarks 	<p>Das PosiBot-Leistungsangebot enthält übertragbare Evaluationsmetriken, -instrumente, Benchmarks und Testumgebungen, die in unterschiedlichen Anwendungsfeldern zum Einsatz kommen können. Diese werden im Projekt entwickelt und erprobt.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Methodentransfer von der Wissenschaft in die Wirtschaft und Anwendungspraxis: bestehende und neue Methoden der Anwendungsuntersuchung in interdisziplinären Verbundprojekten nutzen 	<p>Projektziel ist die Entwicklung eines Werkzeugkastens für den Praxiseinsatz von Service-Robotern, der auf wissenschaftlichen Erkenntnissen fußt und für Unternehmen einfach anwendbar ist. Die Methoden und Werkzeuge werden allen Interessierten über das Kompetenzzentrum zur Verfügung gestellt. Innerhalb des Konsortiums findet Methodentransfer durch die gemeinsame Arbeit statt. Ein erster Transfer außerhalb des Konsortiums erfolgt durch Pilotprojekte.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung weiterer Dienste und Leistungen zur Reduzierung von Anschaffungskosten, z.B. neuer Geschäftsmodelle für robotische Systeme wie „pay per service“, „pay for availability“, „flat rate“ 	<p>Die workerbot4 Concierge von pi4_robotics werden bereits als „Robots as a Service“ über die Roboterzeitarbeitsfirma Robozän Deutschland zur Monatsmiete angeboten. Im Rahmen des Projektes werden Erweiterungen des Konzeptes als „pay per service“ integriert und evaluiert.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der Sicherheit und Einhaltung der Sicherheitsanforderungen für Assistenzroboter unter Berücksichtigung existierender Standards 	<p>pi4_robotics arbeitet bereits im Konsortium des BMBF-geförderten Projektes KI4MRK an einem kamerabasierten, prädiktiven, KI-basierten Sicherheitssystem zur Kollisionsvermeidung für den industriellen Kontext. Im Rahmen von PosiBot soll dieses System im Servicekontext erprobt, angepasst und ggf. als Standardlösung etabliert werden.</p>

Abbildung 10.7: Das Projekt PosiBot adressiert die Ziele der Bekanntmachung des BMBF in hohem Maße.

10.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

Der mit **PosiBot** verfolgte Lösungsansatz zeichnet sich durch die Integration von menschenzentrierten, individualethischen und techniksoziologischen Perspektiven in einen menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozess für Service-Robotik aus. In den folgenden Abschnitten wird zunächst der internationale Stand der Wissenschaft und Technik in den für das Projekt zentralen Themenbereichen dargestellt und vor diesem Hintergrund der im Projekt verfolgte Lösungsansatz mit seinen jeweiligen Vorteilen erläutert. Die mit der Durchführung des Projekts zu überwindenden technisch-wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Risiken werden in Abschnitt zusammengefasst.

10.2.1 Einsatz von Service-Robotern im Kundenkontakt

Sieben verschiedene Roboter waren im den vergangenen fünf Jahren in Deutschland in unterschiedlichen Bereichen des Kundenkontakts im Einsatz (Pollmann et al. 2021, Abb. 10.8). Die meisten davon befinden sich nach erfolgreichen Pilotstudien dauerhaft im Einsatz. Abgesehen von Pepper von SoftBank Robotics und dem workerbot4 Concierge von pi4 wird keiner der Roboter serienmäßig produziert. Pepper kam in Vergleich zu den anderen Robotern deutlich häufiger und in vielfältigeren Bereichen zum Einsatz, wurde allerdings im Rahmen der meisten Praxistests in seiner Konfiguration ab Werk für nur eingeschränkt nutzenstiftend befunden. Bei den anderen Produkten handelt es sich um einzelne Ausführungen der Roboter, die in ausgewählten Bereichen für eine klar definierte Aufgabe zum Einsatz kommen. Nach eigener Einschätzung der Roboterhersteller im Rahmen unserer Interviews ist die Erschließung eines neuen Einsatzgebietes mit hohem Entwicklungsaufwand und schwer abschätzbaren wirtschaftlichen Risiken verbunden.

An Flughäfen kommen Service-Roboter bislang selten zum Einsatz. Unsere Recherche ergab insgesamt sechs öffentlichkeitswirksame Pilotstudien (Abb. 10.9). In Deutschland wurden dabei die beiden kommerziell verfügbaren Roboter Pepper und Furhat von Furhat Robotics als intelligente Informationskioske an den Flughäfen München und Frankfurt eingesetzt. Laut Veröffentlichung der beiden Flughäfen waren die Roboter bei den Passagieren durchaus beliebt, was nahelegt, dass das Kosten-Nutzen-Verhältnis

10.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung

oder der technische Reifegrad die Gründe dafür sind, dass die Roboter nach dem Praxistest nicht in den laufenden Betrieb übernommen wurden.

	<i>Metralabs</i> Scitos A5	<i>Mojin Robotics</i> Care-O-Bot 4	<i>PI4_robotics</i> Workerbot	<i>Starship Technologies</i> Lieferroboter	<i>SoftBank Robotics</i> Pepper	<i>Robotise</i> Jeeves	<i>F&P Robotics</i> Lio
Einzelhandel	✓	✓	✓		T ✓		
Kultur	✓				T ✓		
Verwaltung	✓						
Lieferservices				T			
Tourismus		✓	✓		✓	✓	
Bank					✓		
Gastronomie			✓				✓
ÖPNV o.ä.					T		
Facility Management & Security			✓				

Abbildung 10.8: Service-Roboter und ihre Einsatzgebiete im Kontext des Kundenkontakts. Schwarze Häkchen stehen für einen dauerhaften Betrieb der Roboter, Orange Ts kennzeichnen zeitlich begrenzte Testeinsätze der Roboter.

	<i>Softbank Robotics</i> Pepper	<i>Furhat Robotics</i> Furhat	<i>EU-Projekt</i> Spencer Spencer	<i>LG CLOi</i> GuideBot	<i>Sita</i> Leo	<i>Air New Zealand</i> Chip CANdroid
In Empfang nehmen						T
Information	T	T	T	T		T
Begleitung			T	T		
Gepäcktransport					T	
Kommerziell verfügbar?	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Einsatzland	GER	GER	NL	KOR	CH	NZ

Abbildung 10.9: Service-Roboter und ihre Tätigkeiten im Rahmen von Pilotstudien im Anwendungskontext Flughafen.

In **PosiBot** liegt der Fokus auf einem praktikablen und nutzenstiftenden Einsatz von Service-Robotern im Kundenkontakt. Die Gestaltung und Umsetzung der Service-Roboter-Anwendungen werden dabei sowohl an den Wünschen und Erwartungen der Kund:innen ausgerichtet, als auch ausdrücklich als Teil der Arbeitsgestaltung der Mitarbeitenden betrachtet. Bei der Realisierung der Nutzenpotenziale werden von Beginn an die technischen Fähigkeiten von am Markt verfügbaren Service-Robotern berücksichtigt, um einen insgesamt hohen Reifegrad der Lösungen zu erreichen.

10.2.2 Multi-modale Mensch-Roboter-Interaktion mit Service-Robotern

Um die Verbreitung von Service-Robotern und Ausschöpfung ihres Potenzials zu fördern, muss gewährleistet sein, dass sie eine breite Akzeptanz finden und ein Interaktionsverhalten zeigen, das intuitiv verständlich ist - unabhängig von den genutzten Modalitäten. Forschung im Bereich Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) hat gezeigt, dass das Ausüben einer nützlichen Tätigkeit noch lange keine hinreichende Voraussetzung dafür ist, dass Service-Roboter auch akzeptiert werden (Bartneck et al. 2005). Zudem sind Menschen eher geneigt, mit einem Service-Roboter in Interaktion zu treten, wenn dieser soziale Verhaltensweisen zeigt (Breazeal 2003). Das bedeutet: “[The robot] interacts and communicates with humans by following the behavioral norms expected by the people with whom the robot is intended to interact” (Bartneck and Forlizzi 2004). Es ist demnach besonders wichtig, dass das Interaktionsverhalten des Roboters zu den Erwartungen der Nutzer:innen passt.

Sprache gilt als intuitivste und direkteste Art der Interaktion mit Maschinen. Bisher ist die Interaktion mit Sprachassistenzsystemen häufig auf Hardware begrenzt, der weder ein visuelles Erscheinungsbild noch physische Interaktion zugrunde liegt. Einen Service-Roboter mit einem entsprechenden Charakter und zielführender Konversation auszustatten, bedeutet, in der Konzeption Gebrauch von allen Erkennungs- sowie Interaktionsformen zu machen, die es Nutzenden erleichtern, ihre Bedürfnisse intuitiv zu äußern und an ihr Ziel zu gelangen. Verbale Interaktion gilt hierbei als unmittelbarste Form und ist zugleich Teil einer multimodalen Definition des Service-Roboters, dessen Verhalten durch die Konversation mit dem Menschen gelenkt wird, diese aber auch maßgeblich beeinflusst. Assistenz beruht außerdem grundsätzlich auf proaktivem Verhalten des assistierenden Roboters, was ein umfassendes Designkonzept notwendig

macht, das alle möglichen Input- wie Output-Varianten vorsieht, um verbale und non-verbale Interaktion zu ermöglichen. Um einen Service-Roboter im entsprechenden Kontext nützlich und vertrauenswürdig anstatt verstörend und übergriffig wirken zu lassen, muss ein möglichst stimmiges und zuverlässiges, konsistentes Verhalten definiert und dessen Perzeption im jeweiligen Nutzungskontext stetig überprüft werden. Sprachinteraktion kann hierbei als Grundlage für Multimodalität gelten, da Handlungen und sonstige Interaktion auf der geführten Konversation und der Intention von Nutzenden aufbauen.

Ergänzend zur Sprachausgabe können Service-Roboter auf verschiedene Kommunikationsmodalitäten zurückgreifen: Körperbewegung, Körperhaltung, Proxemik, Bewegung im Raum, Licht, Sound, Mimik und Blickverhalten können zur Kommunikation zum Einsatz kommen (Breazeal 2009). Gerade in der MRI im öffentlichen Raum oder mit vulnerablen Zielgruppen kann es unter Umständen wünschenswert sein, gänzlich auf Sprachausgabe zu verzichten. Im BMBF-Projekt NIKA¹ wurde bereits erforscht, dass generische Interaktionsverhaltensmuster (engl. *patterns*) einen Mehrwert für die Entwicklung von sozialen Service-Robotern und für eine menschengerechte MRI bieten (Pollmann and Ziegler 2021). Für Unterhaltungsanwendungen für ältere Menschen im häuslichen Umfeld wurden Verhaltensmuster entwickelt, auf drei verschiedenen Robotertypen implementiert und als Verhaltensmuster-Bibliothek aufbereitet, wobei sowohl eine positive UX als auch das Einhalten ethischer Prinzipien im Fokus standen (Fronemann et al. 2022). Die entwickelten Empfehlungen und Konventionen für die Gestaltung von MRI (z.B. Pollmann et al. 2019), sind aber noch nicht umfassend genug, um alle fünf genannten Robotertätigkeiten umfassend abzubilden. Zudem sieht der bisherige Ansatz nur bedingt eine Integration mit der Sprachausgabe der Roboter vor.

In **PosiBot** liegt der Fokus ausdrücklich auf der Entwicklung multi-modaler MRI. Dazu werden der Gestaltungsansatz aus NIKA und die Verhaltensmuster-Bibliothek erweitert und durch Gestaltungsmodule für Sprachinteraktion ergänzt. Um das Ziel einer nahtlosen Interaktion durch eine einheitliche Interaktionssprache zu erreichen, werden die multi-modalen Verhaltensmuster anhand von Robotern unterschiedlicher Erscheinung und Fähigkeiten entwickelt. Zudem wird die Entwicklung verschiedener

¹NIKA: Nutzerzentrierte Interaktionsgestaltung für Kontextsensitive und Akzeptanzfördernde Roboter, BMBF-FSP „Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktionsstrategien“, www.nika-robot.de

Roboter-Charaktere durch Kombination von Verhaltensmuster-Varianten untersucht.

10.2.3 Entwicklung von Service-Roboter-Anwendungen

Die Anzahl und Komplexität an Modulen und Sensoren, die Service-Roboter mitbringen können, variiert stark in Abhängigkeit des Anwendungsfalls. Daher sind „out-of-the-box Lösung“ derzeit nur für einfache Infotainment-Anwendungen realisierbar. Um Unternehmensprozesse im Service-Bereich sinnvoll zu unterstützen, müssen in der Regel individuelle Lösungen entwickelt werden. Die Entwicklung ist sehr aufwändig und sieht aktuell keine direkte Beteiligung des Anwendungsunternehmens vor. Die dadurch entstehenden Kosten und Einsatzhürden für Service-Roboter können durch den Ansatz des End User Development (EUD) signifikant reduziert werden. EUD ermöglicht es Techniklaien, selbst Anpassung an Softwareanwendungen vorzunehmen (Lieberman 2001). Huang et al. (2016) zeigen, dass EUD ein geeigneter Ansatz ist, um neue Verhaltensweisen von Robotern zu erstellen und auf nicht antizipierte Anwendungsfälle zu reagieren. Li et al. (2018) zeigen eine grafische EUD-Schnittstelle, die es auch Laien durch einen Learning-by-Demonstration Ansatz ermöglicht, Sprachassistenzsystemen neues Verhalten beizubringen. Leonardi et al. (2019) illustrieren, dass mittels einer EUD-Umgebung, die auf dem Trigger-Action-Paradigma beruht, auch Nicht-Programmierer:innen in der Lage sind, Roboter mit geringem Aufwand zu personalisieren. Basierend auf diesen Forschungsergebnissen hat die HBRS einen Prototyp zur MRI-Entwicklung umgesetzt (Abb. 10.10), der es erlaubt, einen Roboter und sein Interaktionsverhalten, verdeckt oder offen, im Hintergrund zu steuern. Dieser Prototyp wurde erfolgreich im Einzelhandel über mehrere Monate in einem Living-Lab-Ansatz erprobt. Die Interaktionen können dabei aufgezeichnet und zum Trainieren des integrierten Sprachassistenten und weiterer Module wie bspw. Animationen genutzt werden. Hierfür ist eine EUD-Umgebung integriert, um den Dialog nachträglich anzupassen und zu erweitern. Solche Ansätze erlauben realweltliche Erprobungen von potenziellen Funktionalitäten, um relevante und zielführende Entwicklungsfelder frühzeitig zu identifizieren (Golchinfar et al. 2019, Vaziri et al. 2020). Aktuell sind solche EUD-Umgebungen jedoch überwiegend auf einzelne Robotertypen oder spezifische Plattformen ausgerichtet (z.B. Huang et al. 2016, Vasquez and Matia 2019, Coronado et al. 2021), was zu mehrfachen

Entwicklungsaufwänden beim Einsatz verschiedener Roboter führt.

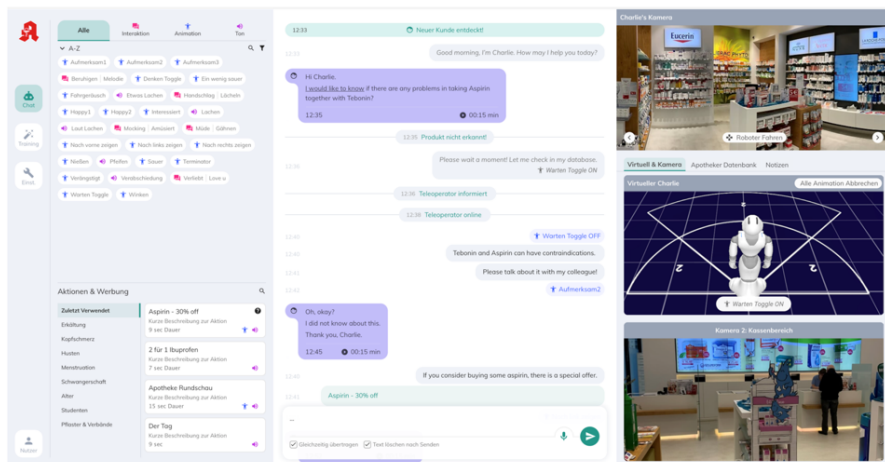


Abbildung 10.10: Plattformansatz zur Teleoperation mit integrierter EUD-Umgebung: Linker Bildbereich: Animationen des Roboters. Mittlerer Bildbereich: text-to-speech und speech-to-text Kommunikation zwischen Roboter und Mensch. Rechter Bildbereich: (oben) Kamerabild und Steuerung des Roboters; (Mitte) virtueller Roboter; (unten) externes Kamerabild zur Übersicht des Raums.

In **PosiBot** wird ein Low-Code-Ansatz für die Anwendungsentwicklung verfolgt, der Anwendungs- und Entwicklungsunternehmen einen niedrighschwelligem Zugang zur selbstständigen Konfiguration und Anpassung von Robotersystemen bietet und es ihnen ermöglicht, multi-modal Verhaltensmuster im Sinne einer einheitlichen Interaktionssprache auf verschiedenen Robotern umzusetzen.

10.2.4 Akzeptanz von und Vertrauen in Service-Roboter

Akzeptanz und Vertrauen sind entscheidende Faktoren für eine erfolgreiche Interaktion mit Technologien, automatisierten Systemen und Robotern (siehe z. B. Metaanalysen und Reviews von Baptista and Oliveira 2016, Beer et al. 2011, Blut et al. 2016, Dwivedi et al. 2019, Hancock et al. 2011, Hoff and Bashir 2015, Lee and See 2004, Kraus 2020, Schaefer et al. 2016, Young et al. 2009). Akzeptanz wird typischerweise als die Absicht zur Nutzung einer Technologie definiert (Naneva et al. 2020) und im Rahmen von Technologie-Akzeptanzmodellen (TAM, Davis 1989) mit der tatsächlichen Systemnutzung gleichgesetzt. Ein Roboter wird nur dann langfristig genutzt und als positiv erlebt werden (Weiss et al. 2009), wenn seine Akzeptanz vorab sichergestellt wird. Akzeptanz lässt sich nur ermitteln und in die Gestaltung integrieren, wenn Nutzer:innen direkt in Kontakt mit dem Roboter gebracht werden. Bei der Vorhersage von Akzeptanz spielen dabei verschiedene Aspekte eine Rolle: Emotionale und soziale Aspekte wie Freude bei der Nutzung des Roboters (De Graaf and Allouch 2013, Heerink et al. 2008, 2010) und Einflüsse des sozialen Umfelds (Alaiad and Zhou 2014, Heerink et al. 2010) sowie eine generelle positive Einstellung gegenüber Robotern und deren Nutzung (De Graaf and Allouch 2013, Heerink et al. 2010). Darüber hinaus zeigen Studien, dass die Akzeptanz durch roboterspezifische Charakteristika beeinflusst wird: Transparenz des Systems (Alonso and De La Puente 2018, Cramer et al. 2009, Ososky et al. 2014), angemessenes Sozialverhalten des Roboters und soziale Präsenz (Höflichkeit, soziale Distanz, Kommunikationsverhalten; De Graaf et al. 2015, Heerink et al. 2010) und Design des Roboters (höhere Akzeptanz bei höherer Menschlichkeit; Barnes et al. 2017, Eyssel et al. 2012, Louie et al. 2014).

Neben der Akzeptanz sollte der Roboter durch sein Verhalten das Vertrauen der Nutzer:in in die eingesetzte Technik fördern. Dies kann erreicht werden, wenn sich die tatsächlichen Fähigkeiten des Roboters mit den Erwartungen der Nutzenden decken

(Lee and Moray 1994, Muir 1987). Im Automationskontext wird Vertrauen als Einstellung definiert, dass ein Interaktionspartner (z. B. ein Roboter) in einer von Unsicherheit und Verletzlichkeit geprägten Situation zur individuellen Zielerreichung beiträgt (Lee and See 2004). Während Vertrauensprozesse zunächst schwerpunktmäßig bei der Überwachung und Bedienung von professionellen, automatisierten Industrieanlagen erforscht wurden (z. B. Muir and Moray 1996, Lee and Moray 1994), nahm die Anzahl an Forschungsarbeiten im Bereich von automatisierten Fahrzeugen (z. B. Beggiato and Krems 2013, Beggiato et al. 2015, Hergeth et al. 2015, 2016, Kraus et al. 2021) und Robotern (Babel et al. 2021, Hancock et al. 2011, Miller et al. 2021) in den vergangenen Jahren erheblich zu. Neben roboterbezogenen Eigenschaften (z. B. Reliabilität, Funktionalität, Design, Vorhersagbarkeit, Automatisierungsgrad, Fehlerfreiheit, Familiarität; Hancock et al. 2011, Beggiato and Krems 2013, Miller et al. 2021, Yu et al. 2017, Kraus et al. 2020, beeinflussen nutzerinnenbezogene Eigenschaften (z.B. Persönlichkeit, Expertise, Demografie, Erfahrung) und situationsbezogene Eigenschaften (z.B. Stimmung, emotionaler Zustand, aktuelle Arbeitsbelastung) das Vertrauen in Roboter (Hancock et al. 2011, Miller et al. 2021). Erste Ansätze verfolgen bereits eine Integration von Vertrauen in die Struktur von Technologie-Akzeptanzmodellen zur Vorhersage von Roboter-Nutzung (Alaiad and Zhou 2014, Heerink et al. 2010).

Im Projekt **PosiBot** werden die genannten Einflussfaktoren von Akzeptanz und Vertrauen gesammelt untersucht und der Stand der Forschung um ein Modell erweitert, dass beide Konstrukte mit ihren relevanten Einflussfaktoren integriert. Basierend auf diesem Modell werden Instrumente zur Erfassung von Akzeptanz und Vertrauen entwickelt, die zum Einsatz kommen sollen, um gestalterische Empfehlungen für dein Einführungsprozess von Service Robotern abzuleiten und im Nutzungsverlauf Optimierungspotenziale für das Interaktionsverhalten zu identifizieren.

10.2.5 Ethische Aspekte bei der Gestaltung und dem Einsatz von Service-Robotern

Im Bereich der Service-Robotik ergeben sich eine Vielzahl von ethischen Herausforderungen. In **PosiBot** sollen insbesondere vier Bereiche in den Fokus gerückt werden: Zum einen steht zu befürchten, dass die *Privatheit und informationelle Selbstbestimmung* aller Betroffenen durch die ubiquitäre Sensorik vieler robotischer Systeme

unzulässig eingeschränkt werden könnte (Calo 2012). Dies gilt ganz speziell für die Möglichkeit der informierten Einwilligung seitens der Betroffenen in die Datenverarbeitung. Hier bedarf es u.a. auf den Kontext zugeschnittener DSGVO-konformer als auch ethisch akzeptabler Einwilligungskonzeptionen, die bisher nicht existieren. Grundlage dieser Konzeption muss die Überlegung sein, die rechtlich und ethisch notwendigen Informationen zur Einwilligung in die Datenverarbeitung möglichst leicht verständlich und konkret zu gestalten (Fronemann et al. 2022, Loh and Wierling 2022).

Zum anderen stehen in Mensch-Roboter-Interaktionen, die allein für eine möglichst intuitive und nahtlose Interaktion designt wurden, *Autonomie und Wohlergehen* der menschlichen Interaktionspartner auf dem Spiel (Turkle 2010). Dies kann u.a. durch Designmechanismen geschehen, die bspw. emotionale oder psychomotivationale Effekte ausnutzen und dadurch die Nutzenden in manipulativer bzw. paternalistischer Weise beeinflussen. Hier bedarf es kontextuell abgestimmter Designstrategien (Fronemann et al. 2022), um die schädlichen Konsequenzen dieser Effekte zu minimieren. Diese existieren jedoch für viele Szenarien innerhalb der Service-Robotik noch nicht.

Drittens ist aus *KI-ethischer Perspektive* sicherzustellen, dass die verwendeten ML-Algorithmen, speziell im Bereich der Personalisierung robotischer Interaktionen (Pollmann et al., im Review), keine impliziten Biases und Diskriminierungen enthalten (Barocas and Selbst 2016). Während die KI-Ethik mittlerweile von Prinzipien zu Operationalisierungen und Kodifizierungen fortgeschritten ist (ethics impact group 2020; Kommission 2021), gibt es kaum klare Anhaltspunkte bzw. kontextualisierte ethisch wünschbare Beschreibungen für Service-Robotik.

Schließlich sind viertens Fragen der *Ungleichbehandlung und des Zugangs zur Technologie* zu klären. Ethische Überlegungen hierzu stehen noch am Anfang. Hierbei geht es einerseits um Barrierefreiheit, die designseitig von Beginn an mitbedacht werden muss. Andererseits spielt gerade im Nutzungskontext des Flughafens die kulturelle, weltanschauliche und ethnische Diversität der Nutzenden eine große Rolle. Hier bedarf es kontextsensitiv ethisch wünschbarer Interaktionslösungen, die gleichzeitig in ihrer Methodologie generalisierbar und damit auf andere Use Cases übertragbar sind.

10.2.6 Techniksoziologische und gesamtgesellschaftliche Implikationen

Service-Robotik als soziotechnische Ensembles verändern nicht nur den Umgang mit und zwischen Nutzenden, sie transformieren auch den Arbeitsalltag der Mitarbeitenden. Sie verändern bestehende soziale Praktiken und erzeugen neue, prägen Narrative und damit auch die ihnen zugrundeliegenden normativen Erwartungen und Ziele (Jasanoff 2015). Vor diesem Hintergrund betrachtet die techniksoziologische Begleitung und Analyse in **PosiBot** drei Aspekte:

Erstens werden mit Hilfe der Methodik des *value-sensitive design* (Friedman and Hendry 2019) diese impliziten Werthaltungen und Designannahmen der Entwickler:innen aufgedeckt und eingeordnet, um die oftmals diffusen Hintergrundannahmen und Nebenziele klarer zu bestimmen. Diese Methode ist in der Technikfolgenabschätzung gut etabliert, wird jedoch im Bereich der Service-Robotik bisher kaum eingesetzt (Dobrovestnova et al. 2022)

Zweitens werden kontextspezifische Methoden entwickelt, um *Technikzukünfte* zu modellieren und die gesamtgesellschaftlichen Implikationen der Einsatzszenarien in den Blick zu nehmen (Kosow and Gaßner 2008). Diese dienen nicht der Vorhersage der Zukunft, sondern bieten Orientierungswissen, um gegenwärtiges Handeln – in diesem Fall die Entwicklung der Produktidee, des Nutzungsszenarios, sowie des robotischen Systems – zu reflektieren und entsprechend auszurichten (Grunwald 2012). Hier existieren für den Bereich der Service-Robotik disziplinär verstreute Konzepte und Methoden, eine übergreifende Methodik und Methodologie fehlt jedoch bislang.

Schließlich wird aus gerechtigkeits- und gesellschaftstheoretischer Perspektive (Rawls 1975, Sen et al. 1980) die Frage von *gesellschaftlicher Ungleichheit* in Verbindung mit der Einführung von Service-Robotern in verschiedene Nutzungskontexte adressiert. Hier geht es vor allem auch um Fragen der Arbeitsgerechtigkeit (Schlothfeldt 2000, Honneth 2010) und die Frage nach guter Arbeit (LaGrandeur and Hughes 2017, Misselhorn 2017). Zwar gibt es einige Studien, die einen ersten Blick auf die User Experience der MRI an Flughäfen werfen (z.B. Tonkin et al. 2018, Triebel et al. 2016) und erste Ansätze, die die Erfahrung der Beschäftigten mit Service-Robotik am Arbeitsplatz in den Fokus stellen (z.B. Vatan and Dogan 2021), jedoch handelt es sich nach wie vor um ein bislang nur unzureichend erschlossenes und bearbeitetes Feld.

Beschäftigte werden bislang nicht in ausreichendem Maß als zentrale Akteure der MRI thematisiert (Dobrosovestnova et al. 2022). Im Projekt werden die entwickelten Methoden der Technikfolgenabschätzung mit gesellschafts- und gerechtigkeits-theoretischen Analysen kombiniert, um nutzungskontextspezifisch den Einfluss der Technologie für Gesellschaft und Arbeitswelt zu erfassen.

10.2.7 Risikodarstellung

Die zu entwickelten PosiBot-Leistungsgebote sind sowohl für sich als auch in ihrer Verbindung im Projekt neuartig. Ihre Entwicklung birgt daher ein hohes Risiko. Das Kompetenzzentrum kann nach Projektende nur dann erfolgreich weitergeführt werden, wenn sich die getesteten Service-Roboter als grundsätzlich wirtschaftlich rentabel erweisen und die für Akzeptanz- und Vertrauensbildung der Nutzer:innen erforderlichen Anforderungen umgesetzt werden können. Die wirtschaftlichen Folgen des Service-Roboter-Einsatzes werden im Projektverlauf vom Anwendungspartner FSG permanent überprüft und bewertet. Sollte die Nutzenpotenzialanalyse ergeben, dass die avisierten Einsatzszenarien diesem Ziel nicht gerecht werden, können andere Szenarien für die weiteren Entwicklungsschritte ausgewählt werden.

In der wirtschaftlich herausfordernden Zeit nach der Covid-19-Pandemie stellen die Beteiligung an einem Forschungsprojekt und die damit verbundene Bildung von Liquiditätsreserven für die Unternehmen im Konsortium ein nicht zu unterschätzendes Risiko dar. Gelingt es nicht, eine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse in Form von marktreifen Produkten zu erzielen, droht der Verlust der Wettbewerbsfähigkeit. Ein agiler, iterativer Entwicklungsansatz mit regelmäßiger Qualitätskontrolle kann dieses Risiko minimieren, aber nicht vollständig eliminieren. Umso wichtiger ist es daher, im Rahmen des Projekts innovative Lösungen und praxistaugliche Geschäftsmodelle für das PosiBot-Leistungsangebot zu entwickeln, die die Konsortialpartner gewinnbringend verwerten können.

Aus technischer Sicht kann vorab nicht bewertet werden, inwieweit sich die im Projekt entwickelten Gestaltungslösungen auf den verschiedenen Robotern umsetzen lassen. Die Risikobewertung wird dabei durch die Abhängigkeiten der Aufgaben der technischen Projektpartner untereinander erschwert. Insbesondere der Aufwand

für die Umsetzung der multimodalen Interaktionsstrategien auf den verschiedenen Robotern lässt sich vorab schwer bemessen. Möglicherweise stellt sich im Projektverlauf heraus, dass bestimmte Nutzer:innenanforderungen durch den aktuellen technischen Stand nicht ausreichend adressiert oder entwickelte Interaktionsstrategien nicht auf alle Roboter übertragen werden können. Dieses Risiko versucht das Konsortium durch eine enge Zusammenarbeit zwischen technischen Entwicklungspartner:innen und Interaktionsgestalter:innen zu minimieren. Das Projekt startet mit einer ersten Feldstudie am Flughafen, bei dem die technischen Möglichkeiten der Roboter einem Praxistext unterzogen werden. Die Weiterentwicklung der Interaktionsgestaltung erfolgt dann darauf aufbauend in zwei weiteren Studieniterationen und unter ständigem Abgleich von Nutzer:innenanforderungen, technischen Möglichkeiten und aktuellem Entwicklungsstand. Das agile, iterative Vorgehen erlaubt es, den Arbeitsplan zugunsten einer besseren Verzahnung der technischen Entwicklungsstränge anzupassen.

Der Projekterfolg hängt maßgeblich davon ab, dass der Praxiseinsatz der Roboter iterativ mit Nutzenden getestet wird. Die Covid-19-Pandemie hat gezeigt, dass es unerwartet zu einem eingeschränkten Zugang zu Nutzungsgruppe und -kontext kommen kann. Unabhängig davon ist der Zugang zum Flughafen Stuttgart aufgrund der Sicherheitsbestimmungen nicht immer uneingeschränkt möglich. Die Feldstudien werden im Projekt daher durch Studien in realitätsnahen Umgebungen außerhalb des Flughafens und Laboren ergänzt, sodass eine kontinuierliche Nutzer:inneneinbindung in jedem Fall gewährleistet werden kann. Ergänzend können im Labor von Pi4 Remote-Studien durchgeführt werden.

Das Projekt birgt die Risiken, dass Nutzende das System nicht akzeptieren, menschlichen Service bevorzugen, die Roboter manipulieren/beschädigen, oder dass die Mitarbeitenden den Roboter als Konkurrenz ansehen. Diesen Risiken wird durch eine frühzeitige und kontinuierliche Einbeziehung der Nutzenden in Studien und Co-Creation-Aktivitäten in den Entwicklungsprozess vorgebeugt. Zudem kommen verschiedene Roboter zum Einsatz, die teilweise dieselben Tätigkeiten übernehmen können. Stellen sich die Akzeptanzhürden für einen Roboter als zu anspruchsvoll heraus, wird im Projekt für dieses Einsatzszenario mit einem anderen Roboter gearbeitet.

10.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Zentrums

Die iterative Vorgehensweise im Projekt gliedert sich in drei zusammenwirkende Bereiche (Abb. 10.11):

1. die Entwicklung von Leistungsangeboten des Kompetenzzentrums für die vier Phasen Analyse, Gestaltung, Entwicklung und Evaluation eines menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozesses,
2. deren durchgängige Anwendung und Erprobung in drei Entwicklungsiterationen von Service-Roboter-Anwendungen im Szenario des PRM-Prozesses am Flughafen Stuttgart sowie
3. den Transfer dieser Angebote auf weitere Anwendungsfelder in individuellen Pilotprojekten und die Verstetigung dieses Angebots im Kompetenzzentrum für positive Service-Robotik.

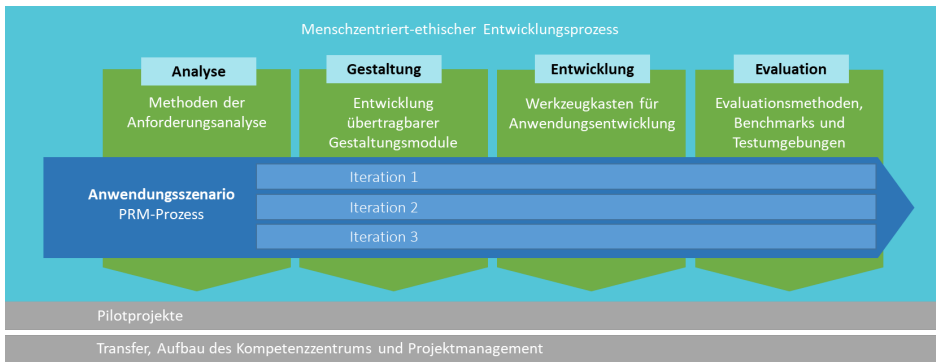


Abbildung 10.11: Die drei Bereiche des Projekts, die im Rahmen des menschenzentrierten Entwicklungsprozesses iterativ bearbeitet werden: Entwicklung der Leistungsangebote (grüne Säulen), Entwicklung und Erprobung im Anwendungsszenario (blauer Pfeil) und Transfer (graue Basis).

Die Entwicklung der später über das Kompetenzzentrum bereitgestellten einzelnen Angebote erfolgt iterativ und eng verzahnt mit den drei Entwicklungsiterationen im Anwendungsszenario. Für jedes Werkzeug oder jede Methode erfolgt zunächst die initiale Konzeption, die dann anhand des konkreten Anwendungsszenarios erprobt und auf Basis der so gewonnenen Erfahrungen weiterentwickelt wird. Wo sinnvoll, werden die überarbeiteten Methoden und Werkzeuge in den weiteren Entwicklungsiterationen erneut verwendet oder ihre Anwendung auf weitere Prozessteile ausgedehnt. Mit diesem Vorgehen wird frühzeitig die Anwendbarkeit und Relevanz im realen Umfeld gewährleistet.

Abb. 10.12 gilt einen Überblick über die konkreten Unterstützungsangebote, die im Rahmen des Projekts entwickelt werden.

Die Angebote des Kompetenzzentrums werden beispielhaft anhand des konkreten Anwendungsszenarios des PRM-Prozesses am Flughafen Stuttgart entwickelt und erprobt. Dafür kommt ein iterativ-inkrementelles Vorgehen zum Einsatz, mit dem schrittweise der Einsatz von Service-Robotern entlang der gesamten Customer Journey vervollständigt wird (siehe Abb. 10.13). Jede der drei Iterationen umfasst alle vier Phasen des menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozesses und trägt zur Entwicklung und Erprobung der Methoden und Werkzeuge bei. Die erste Entwicklungsiteration legt ihren Fokus auf einzelne, zentrale Use Cases in der Interaktion mit den Reisenden. Die zweite Iteration ergänzt diese Use Cases um die Perspektive der Interaktion mit Mitar-



Abbildung 10.12: Überblick der Methoden und Werkzeuge je Phase des menschzentriert-ethischen Entwicklungsprozesses, die als Unterstützungsangebote des Kompetenzzentrums entwickelt werden.

beitenden. Die dritte Iteration führt diese Use Cases schließlich im Gesamtszenario zusammen.

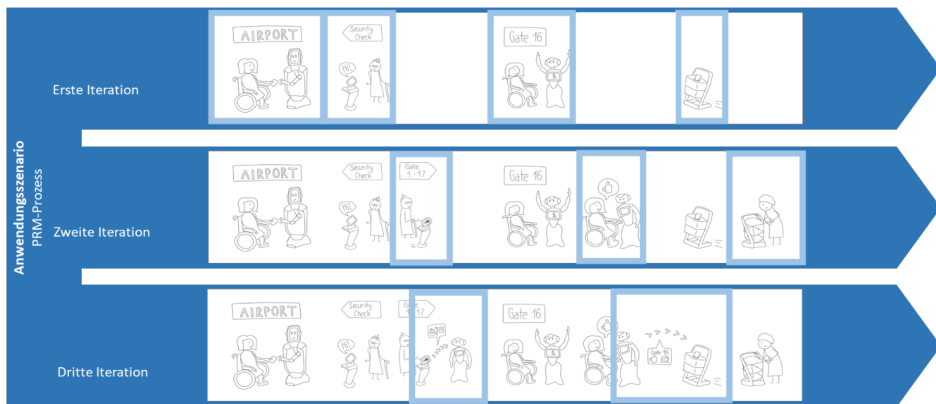


Abbildung 10.13: Das Iterativ-inkrementelle Vorgehen zur Gestaltung und Entwicklung der Service-Roboter-Anwendungen im PRM-Prozess gliedert sich in drei Entwicklungsiterationen.

10.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

10.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Das **IAO** möchte sich durch den Aufbau des Kompetenzzentrums als Leuchtturm für angewandte Service-Robotik in der Schnittstelle zwischen Forschung und Wirtschaft etablieren. Dazu werden im Rahmen des Projekts sowohl der Aufbau des Zentrums als Institution vorbereitet als auch die Expertise in den Bereichen der menschenzentrierten Interaktionsgestaltung und der praxisorientierten Anwendung und Entwicklung von Service-Robotern vertieft. Zentraler Bestandteil dafür ist die Systematik zur Gestaltung einer einheitlichen Roboter-Interaktionssprache auf der Basis multimodaler Roboter-Verhaltensmuster. Projekterkenntnisse macht das IAO bereits im Projektverlauf der wissenschaftliche Fachcommunity (Publikationen) und der breiten Öffentlichkeit (Veranstaltung) zugänglich.

Die **FSG** verspricht sich durch den Einsatz von Service-Robotern in Rahmen des Projekts eine nachhaltige Verbesserung der Passenger Experience und dadurch einen Wettbewerbsvorteil als attraktiver Standort. Bei erfolgreicher Erprobung soll der PRM-Prozess und das damit verbundene Service-Portfolio dauerhaft um robotische Lösungen erweitert werden. Zudem werden Roboter auch darüber hinaus als potenziell zusätzlich buchbare Services und als weitere Erlösquelle für den Flughafen oder einzelne Service-Dienstleister:innen in Erwägung gezogen (z.B. in Form von Duty-Free-Verkäufen über den Roboter). Das Projekt soll innerhalb der FSG außerdem als Aushängeschild fungieren und dazu beitragen, weitere Digitalisierungsprojekte im Bereich der Passenger Experience und des PRM-Prozesses anzustoßen.

Pi4 kann die bestehenden Service-Robotik-Plattformen, wie den workerbot4 Concierge (aktuell nur im Facility Management eingesetzt) oder den mobile Workerbot6 (aktuell nur in Fabriken eingesetzt) in neue Applikationsszenarien überführen und um die notwendigen Fähigkeiten erweitern. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, sind ein breiter Nutzungsmarkt der Plattformen mit entsprechenden Roboterstückzahlen (Erstellungskosten), die Realisierung mit hohen ethischen und Datenschutzansprüchen und ein hoher Kundennutzen (schnelles ROI für Erwerber:innen oder Mieter:innen)

unerlässlich. Durch PosiBot werden diese Wettbewerbsfaktoren und pi4 im internationalen Vergleich insgesamt gestärkt.

VUI strebt durch das Projekt eine Erweiterung des eigenen Produktportfolios an, um in Zukunft neue Kundensegmente im Bereich der Service-Robotik zu erschließen. Dazu können die entwickelten Methoden für die verbale Interaktionsgestaltung genutzt werden. Zudem bietet das Anwendungsszenario "PRM-Prozess" ein vielversprechendes neues Anwendungsgebiet für VUI und Erkenntnisse über das Nutzungsverhalten einer bislang wenig untersuchten Zielgruppe. In der Voice/Conversation Design Branche fehlt in Kund:innenprojekten häufig der Fokus auf echte Barrierefreiheit und Inklusion. Durch die Schaffung eines medienwirksamen Show Cases und entsprechende mediale Veröffentlichungen (Blogs, Konferenzen, Lehrmaterial) kann das Thema beworben und Handlungsdruck seitens der Industrie geschaffen werden. Der abstrakte Charakter der Assistenz-Persona muss auf eine sehr sensible Nutzer:innengruppe sowie einen recht individuellen Bedarf einzelner Nutzender abgestimmt werden. Insgesamt sollte sie als abstrakter Vorbildcharakter Einzug in die Voice Design-Branche finden und anhand von verbalen und schriftlichen Veröffentlichungen als positives Beispiel für inklusive und ethisch wünschbare Form von Mensch-Maschine-Interaktion fungieren.

Die Forschungspartner werden die Erkenntnisse für Publikationen in Fachzeitschriften und auf wissenschaftlichen Konferenzen verwerten. Außerdem sollen im Rahmen des Projekts Qualifikationsarbeiten (Dissertationen, Master- und Bachelorarbeiten) entstehen. Die **UUHF** wird hierbei insbesondere die Erkenntnisse aus den Nutzer:innenstudien verwerten und plant einen Transfer der Ergebnisse in die Lehre und andere Anwendungsdomänen. Aus Sicht des **IZEW** verspricht die ethische und sozialwissenschaftliche Forschung im Bereich von MRI einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung dieser Disziplinen. Sie stärkt zum einen die Auseinandersetzung mit angewandten technischen Fragestellungen auf exzellentem wissenschaftlichem Niveau, was wiederum die praxisorientierte Ausbildung von Wissenschaftler:innen und die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere Anwendungsgebiete fördert. Zum anderen wird der interdisziplinäre Diskurs zwischen technischen und „nicht-technischen“ Disziplinen systematisch gefördert. Die **HBRS** wird die EUD-Umgebung weiterentwickeln mit dem Ziel, sie als marktreifes Produkt im Rahmen des Kompetenzzentrums oder einer eigenen Ausgründung anbieten zu können.

10.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Über die im vorherigen Abschnitt dargestellten Verwertungspläne der einzelnen Projektpartner hinaus ist es zentrales Ziel des Vorhabens, das Kompetenzzentrum **PosiBot** als Plattform für den Austausch von Wissen und Angeboten für die menschengerechte Entwicklung und den ethischen Einsatz von Service-Robotern im Kundenkontakt zu etablieren und nachhaltig weiterzuführen. Das Rückgrat dafür bilden die im Projekt entwickelten Methoden und Werkzeuge entlang des menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozesses als Leistungsangebote des Kompetenzzentrums bzw. einzelner daran beteiligter Partner. Diese werden bereits während des Projektes in Pilotprojekten auf weitere Anwendungsfelder übertragen und dort erprobt. Entsprechend der angefertigten Marktstudie (Pollmann 2021) bietet sich aufgrund der grundsätzlichen Übertragbarkeit insbesondere ein Transfer in die Bereiche öffentliche Verkehrsanbieter, Tourismus und Gastronomie, Einzelhandel sowie Kultureinrichtungen und öffentliche Einrichtungen an.

Darauf aufbauend werden die zur Verstetigung des Kompetenzzentrums notwendigen Strukturen sowie seine Außenwahrnehmung erarbeitet und etabliert. Gemeinsam mit den Projekt- und Netzwerkpartnern wird ein Geschäftsmodell für den Betrieb des Kompetenzzentrums nach Projektende entwickelt, wobei insbesondere ein Fokus auf der Ausgestaltung der Kostenstrukturen und Einnahmequellen des Kompetenzzentrums selbst liegen wird. Abhängig davon ist eine Weiterführung des Zentrums als Joint Venture bzw. gemeinsame Ausgründung mehrerer Projektpartner oder eine Gründung als Non-Profit-Organisation denkbar.

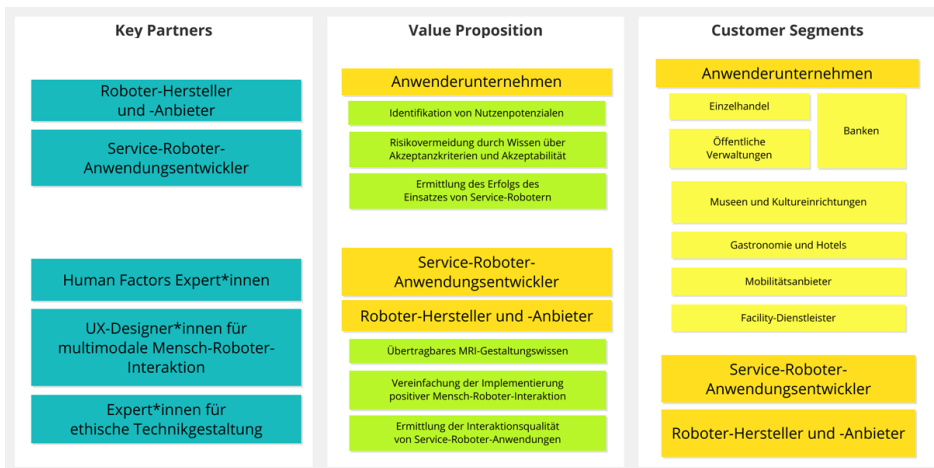


Abbildung 10.14: Die drei Kernbereiche Key Partners, Value Proposition und Customer Segments des prototypisch für das Kompetenzzentrum PosiBot skizzierten Business Model Canvas.

10.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

10.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Das Team User Experience des **Fraunhofer IAO** (Forschungsbereich Mensch-Technik-Interaktion, Leitung: Dr. Matthias Peissner) bearbeitet in Forschungs- und Industrieprojekten Fragestellungen zur Schaffung positiver UX, einer menschenzentrierten Digitalisierung von Produkten und Services und die Entwicklung von Methoden zur Einbindung von Stakeholdern. Im Projekt NIKA (2018-2021, BMBF, RA2) wurde eine umfassende Expertise in der MRI aufgebaut. In PosiBot fließen zudem Vorerarbeiten und Fachkenntnisse in den Gebieten Usability Engineering (Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Usability / 2018-2020, BMWi; Prosperity4All / 2014-2018, EU), User Experience (Design4Xperience / 2014-2016, BMWi) und Nutzerakzeptanz (MOMENTUM / 2018, BMBF) ein. Das Fraunhofer IAO hat bereits viele große Konsortien geleitet und ist als Forschungseinrichtung für angewandte Wissenschaft erfahren im Transfer von Wissen aus der Forschung in die Praxis mit Industriepartnern. Das IAO bringt in PosiBot neben der Projektleitungscompetenz die menschenzentrierte Arbeitsweise und Methodenkompetenz (vgl. Pollmann et al. 2019, 2018, Krueger et al. 2020) sowie Expertise zur Interaktionsgestaltung für Service-Roboter und Entwicklung übertragbarer Interaktionsstrategien ein. Im Rahmen des Projekts NIKA wurde bereits ein Prozess zur Entwicklung von wiederverwendbaren Verhaltensmustern entwickelt (Pollmann 2019) und darauf basierend eine Bibliothek mit 39 Verhaltensmustern etabliert,² auf die die Arbeiten in PosiBot aufbauen.

Das Team Terminal Management & Passenger Services des **Flughafen Stuttgart** (FSG) beschäftigt sich mit der Optimierung der Passenger Experience, z.B. in Projekten rund um die Prozess- (z.B. Passagierfluss) und Erlebnisoptimierung. Im Bereich PRM wurde die Auftragsdisposition von ca. 60 Mitarbeitenden für den Begleitservice durch Handhelds digitalisiert. Weitere Digitalisierungsprojekte wurden bereits initialisiert, z.B. Disposition und Bedarfsplanung (auch mit KI), Exoskelette als Hebeunterstützung im Gepäckverteiler (KI-gestützte Aufschnallvorrichtung; German Bionic), teilautomatisiertes Reporting, digitale Information und Kommunikation. Die Exoskelette sind

²<https://pattern-wiki.iao.fraunhofer.de/>

die einzigen robotischen Systeme am Flughafen, die Potenziale von Robotern werden als sehr hoch eingeschätzt.

pi4_robotics (Pi4) entwickelt seit über 27 Jahren Robotik mit Bildverarbeitung und künstlicher Intelligenz, vorrangig für die Fertigung. Seit 2016 ist pi4 zunehmend im Bereich Service-Robotik aktiv. Seit 2019 betreibt pi4 in Berlin einen Kiosk, in dem ausschließlich ein humanoider Roboter arbeitet. Dabei wurden wertvolle Erfahrungen in der Kommunikation mit Kund:innen aus aller Welt und jeder Altersklasse gesammelt. Im Jahr 2020 hat pi4 den workerbot4 Concierge Roboter auf den Markt gebracht; dieser kann den Check-In Prozess für Besucher:innen von Firmen und Gebäuden völlig autark und DSGVO-konform durchführen. Die Roboter von pi4 werden seit 2 Jahren vom Partnerunternehmen Robozän Deutschland als Zeitarbeitskräfte zur monatlichen Miete angeboten. Aktuell arbeitet pi4 an einer Cloudanbindung der Roboter, um den Support für die Nutzenden zu vereinfachen und dort auch ein Buchungssystem zu integrieren.

Als führende und größte Agentur für Design, Planung und Implementierung von Sprachinteraktion im multimodalen Kontext ist **VUI.agency** (VUI) auf individuelle Assistenzsysteme im europäischen Raum und besonders auf dem DACH-Markt spezialisiert. Auf Grundlage der linguistischen multilingualen Fähigkeiten und der technischen Erfahrung mit multimodaler Interaktion im Automobil-, Unterhaltungs- und Servicebereich arbeitet VUI an der Umsetzung von diversen, inklusiven Lösungen und sucht fortwährend nach Alternativen zu amerikanischen Großanbietern, um einen datensicheren, qualitätsgetriebenen Ansatz zu fördern.

Das Institut für Verbraucherinformatik (geleitet von Prof. Dr. Gunnar Stevens) der **Hochschule Bonn-Rhein-Sieg** (HBRS) bringt die ansässige Forschungsgruppe „Nutzerzentrierte Service Robotik, Sprachassistenten und KI“ unter der Leitung von Dr. Vaziri in das Projekt ein. Die Gruppe forscht an technischen Lösungen zur Unterstützung von Arbeitsprozessen und Arbeitsformen in der Dienstleistung und entwickelt diese. Zu diesem Zwecke hat sie u.a. eine Kollaborationsplattform zur Mensch-KI-Kollaboration und dem End User Development entwickelt, die es ermöglicht, Robotersysteme zum einen ortsunabhängig fernzusteuern, zum anderen aber auch anhand gesammelter Daten zu trainieren, um den Autonomiegrad zu erhöhen (Golchinfar et al. 2019, Vaziri

et al. 2020). Prof. Dr. Stevens ist seit über 20 Jahren im Feld des End User Development aktiv, unter anderem als Mitglied des Programmkomitee der internationalen Tagung zum End User Development. Im Rahmen des Mittelstand-4.0-Kompetenzzentrums Usability verantworten er und Dr. Vaziri ebenfalls die regionale Leitung des vom BMWI ausgerufenen KI-Trainer-Programms, bei dem Methoden zur menschenzentrierten Gestaltung von Sprachassistenten und Service-Robotern an kleine und mittlere Unternehmen vermittelt werden.³

Das **Internationale Zentrum für Ethik in den Wissenschaften (IZEW)** ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum der Universität Tübingen mit einer langjährigen Forschungserfahrung im Kontext der ethischen Reflexion und techniksoziologischen Evaluation von Technologieentwicklung. Im Bereich Robotik und KI-Ethik sind besonders das Projekt “NIKA” (2018-2021, BMBF, RA2) die enge Beteiligung am Tübinger Exzellenzcluster „Maschinelles Lernen in der Wissenschaft“ hervorzuheben. Als Teil der AI Ethics Impact Group veröffentlichte das IZEW einen Report zur praktischen Implementierung eines Ethik-Labels für KI und ist stark in der Plattform Lernende Systeme (BMBF/acatech) involviert (Lenkungsreis, Koordinationsreis, Leitung AG 3 Ethik und Recht). Informationsethische Themen bearbeitet das IZEW aktuell im “Forum Privatheit” (2013-2017; 2017-2021, BMBF), sowie den Projekten „WeNet. The Internet of Us“ (2019-2023, EU), und “digilog@bw” (2019-2022, BW). Schließlich forscht das IZEW im Rahmen des “Clusters Integrierte Forschung” (2021-2024, BMBF) zu den ethischen und sozialen Fragen von Co-Creation und integrierter Technikentwicklung.

Die Abteilung Human Factors der **Universität Ulm (UHF)** erforscht MRI mit besonderem Fokus auf das Kennenlernen eines neuen robotischen Systems und dem Aufbau und Entwicklung von Vertrauen und Akzeptanz der Nutzenden unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren. Im BMBF- Projekt RobotKoop (RA2) wurden die psychologischen Prozesse bei der kooperativen Zusammenarbeit mit Servicerobotern in zwei Use Cases im öffentlichen und häuslichen Umfeld untersucht. Die Erkenntnisse wurden in ein Rahmenmodell integriert durch einen Anforderungskatalog und Gestaltungsempfehlungen für akzeptable und vertrauenswürdige Interaktionsstrategien

³<https://www.kompetenzzentrum-usability.digital/angebote/ki-trainer>

für die Servicerobotik aufbereitet. Diese Ergebnisse ebenso wie die entwickelten Metriken zur Erfassung der relevanten psychologischen Konstrukte, können im Projekt PosiBot verwendet werden. Die UUFH verfügt über weitreichende Erfahrung in der Durchführung von Online-, Labor- als auch Feldstudien. Zudem ist ein Roboterlabor vorhanden, welches mit einer Infrastruktur ausgestattet ist, die eine Vortestung von verschiedenen Interaktionsstrategien und in Virtual Reality (VR) Umgebungen erlaubt.

10.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Als **Projektkoordinator** wird das **IAO** den effektiven Kommunikationsfluss innerhalb und außerhalb des Projekts sicherstellen und die Einhaltung des Projektplans sowie der definierten Ziele und Meilensteine gewährleisten. Darüber hinaus beschäftigt sich das IAO mit dem Aufbau des Kompetenzzentrum für einen Betrieb über die Projektlaufzeit hinaus und – im Austausch mit den assoziierten Partnern - mit dem Transfer der Projektergebnisse in andere Anwendungsdomänen. Als **Forschungspartner** ist das IAO vor allem mit Entwicklung von non-verbale Gestaltungsmodulen für die Interaktionsgestaltung betraut. Dabei kooperiert das IAO eng mit VUI, die die verbale Interaktionsgestaltung verantworten. Außerdem unterstützt das IAO mit seinen Kompetenzen in der Usability-Evaluation und im User Experience Design die Entwicklung von Methoden zur Analyse und Evaluation von Service-Robotern im Kundenkontakt.

Die **FSG** bringt als **Anwendungspartner** ihre Expertise und Erfahrung aus den Bereichen Passenger Experience und PRM-Prozess ein und begleitet die Umsetzung und Erprobung des PosiBot-Leistungsangebots und der Service-Roboter vor Ort am Flughafen. Die FSG nimmt zudem den wirtschaftlichen Nutzen der Roboter im Service-Ökosystem in den Fokus und ist damit ein zentraler Pfeiler in der wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit des Projekts.

Das **IZEW** übernimmt als **Forschungspartner** auf der techniksoziologischen Seite die Anforderungs- und Akzeptanzanalysen für MRI sowie die Modellierung von Technikzukünften für ein anwendungsbezogenes gesamtgesellschaftliches Impact Assessment robotischer Assistenzsysteme. Auf der technikethischen Seite begleitet

und unterstützt das IZEW das Konsortium sowohl forschungsethisch, als auch mit Blick auf die ethische Akzeptabilität von MRI-Szenarien und deren designseitiger Ausgestaltung. Durch die Einbettung aller Projektaktivitäten in einen menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozess wird die Integration der ethischen Perspektive in allen Entwicklungsschritten sichergestellt.

Die **UUHF** ist als **Forschungspartner** mit der wissenschaftlichen Fundierung der Methoden zur Anforderungs- und Akzeptanzanalyse sowie der Benchmarks und Metriken zur Evaluation der Service-Roboter betraut. Der Fokus liegt dabei auf der Untersuchung und Sicherstellung von Akzeptanz und Vertrauen. Neben der Entwicklung eines theoretischen Rahmenmodells und der Erhebungsmethoden ist die UUHF federführend für die praktische Anwendung dieser Methoden im Anwendungsszenario PRM-Prozess verantwortlich. Dazu zählen auch die Planung, Umsetzung und Auswertung der Evaluationsstudien nach wissenschaftlichen Kriterien sowie die wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse.

VUI fokussiert sich als **Entwicklungspartner** auf die Interaktionsgestaltung in Form von Voice und Dialoggestaltung für die gesamte Customer Journey. Dies beinhaltet die Umsetzung der Sprachassistentenfunktionen innerhalb des Kompetenzzentrums sowie des übergeordneten Assistenzkonzepts (Roboter-Charakter) - von der Anforderungserhebung über die Konzeption der Dialoge, dem Training Machine Learning-basierter Systemkomponenten, der Implementierung und Testung mit Nutzenden bis hin zum Aufbau der benötigten technischen Infrastruktur.

Die **HBRS** ist als **Forschungs- und Entwicklungspartner** primär mit dem Aufbau eines Werkzeugkastens für die nutzerzentrierte Service-Roboteranwendungsentwicklung betraut. Dabei wird auf die bereits entwickelte Plattform aufgebaut. Außerdem setzt die HBRS die von IAO und VUI erarbeiteten Interaktionskonzepte im Rahmen des Feldtests im Anwendungsszenario und unter Verwendung der entwickelten Werkzeuge auf den Robotern Pudu, Temi, Pepper und Nao um.

Pi4 bringt als **Entwicklungspartner** langjährige Expertise in der Entwicklung von Service-Robotern und deren Anwendungen mit. Diese kommt insbesondere im Rahmen der Werkzeugentwicklung gemeinsam mit der HBRS zum Einsatz, wobei pi4 hier

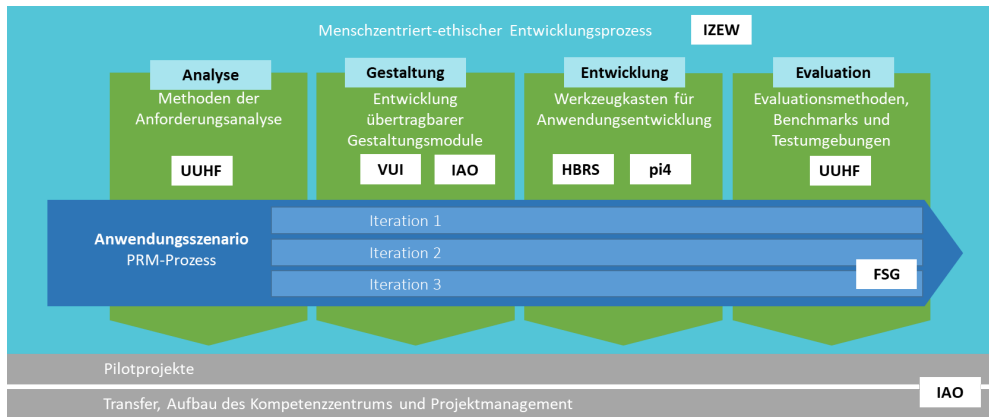


Abbildung 10.15: Übersicht über die Beteiligung der einzelnen Partner an den verschiedenen Projektbereichen.

zusätzlich auch die wirtschaftliche Perspektive eines Roboterherstellers einbringt. Im Rahmen der Feldtests entwickelt pi4 den Roboter Workerbot4 Concierge weiter und evaluiert seine Einsatzpotenziale im Flughafenkontext.

Abbildung 10.15 fasst die Schwerpunkte der einzelnen Partner im Projekt zusammen. Neben den beschriebenen Schnittstellen der einzelnen Partner innerhalb der vier Entwicklungsstränge für das PosiBot-Leistungsangebot gibt es weitere wichtige Anhängigkeiten zwischen den einzelnen Strängen, da diese gemäß des menschenzentriert-ethischen Entwicklungsprozesses aufeinander aufbauen. In diesem Sinne müssen Ergebnisse der Anforderungsanalyse in der Interaktionsgestaltung berücksichtigt sowie die erarbeiteten Interaktionskonzepte im Anschluss technisch umgesetzt werden. Die technische Implementierung der Anwendungen auf den Robotern muss dabei so erfolgen, dass eine anschließende Evaluation mit den entwickelten Methoden und Testumgebungen möglich ist. Es sind insgesamt drei Entwicklungsiterationen geplant, die inkrementell auf den Ergebnissen der vorherigen Iteration aufbauen.

10.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Die KUKA Deutschland GmbH (Ansprechpartnerin: Nadine Reissner, Nadine.Reissner@kuka.com) und MetraLabs GmbH (Ansprechpartner: Andreas Bley, Andreas.Bley@MetraLabs.com) entwickeln Service-Roboter, die aufgrund ihres technischen Reifegrads oder ihrer Funktionalität zur Unterstützung des PRM-Prozesses aktuell nicht zum Einsatz kommen können. Die beiden Unternehmen werden ihre Expertise bei der Auswahl von Pilotprojekten mit eigenen Fragestellungen und (forschungs-)prototypischen Interfaces einbringen. Dazu nehmen sie, wo sinnvoll, an Projektmeetings teil und begleiten den Transfer des PosiBot-Leistungsangebots in weitere Anwendungsfelder.

Die Robozän Deutschland GmbH (Ansprechpartner: Mathias Krinke, mk@pi4.de) ist die erste Zeitarbeitsfirma für Roboter und wirkt im Rahmen des Projektes mit, um die Notwendigkeiten, Chancen und Schwierigkeiten des Pay per Service-Modells in Konkurrenz, um jetzt bereits angebotene klassische Vermietungskonzepte auf Zeit zu evaluieren.

10.5.4 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt

Die Arbeiten im Projekt sollen - koordiniert vom IAO - eng mit den Aktivitäten des Transferprojekt verzahnt werden. U.a. ist das Konsortium an einer engen Zusammenarbeit zu folgenden Aspekten interessiert:

- *Organisation von Wissenstransfer zwischen den Kompetenzzentren:* Das Leistungsangebot des PosiBot-Leistungsangebots soll Methoden und Werkzeuge, die im Rahmen der anderen Kompetenzzentren entwickelt werden, berücksichtigen und sinnvoll ergänzen. Dies erfordert vom Transferprojekt die Organisation eines engen projektübergreifenden Austausches, sodass Erkenntnisse aus den anderen Projekten im Projektverlauf in PosiBot integriert werden können.
- *Unterstützung bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen:* Der Aufbau des PosiBot-Kompetenzzentrums kann von synergetischen Geschäftsmodellen der entstehenden Kompetenzzentren profitieren. Das Transferprojekt sollte dabei unterstützen, die Synergien zu identifizieren und praktisch umzusetzen.
- *Zusammentragen relevanter Gesetze, Vorschriften und Normen zur Assistenzro-*

botik: Rechtliche Rahmenbedingungen werden im Projekt nicht direkt beforcht. Für diese Aspekte soll auf die Expertise des Transferprojekts zurückgegriffen werden.

- *Akquise weiterer Assistenzroboter-Entwicklungs- und Anwendungsunternehmen*: Für die Pilotprojekte sollen im Projektverlauf interessierte Unternehmen akquiriert werden. Dies könnte unter anderem über das Netzwerk des Transferprojekts erfolgen.

Basierend auf den Alleinstellungsmerkmalen von PosiBot und den ausgewiesenen Kompetenzen im Konsortium, können aus dem Projekt heraus folgenden Angebote für das Transferprojekt und die anderen Kompetenzzentren generiert werden:

- *Menschzentriert-ethischer Entwicklungsprozess*: Das Vorgehen im Projekt PosiBot sieht eine enge Verzahnung der Perspektiven der User Experience und Ethik vor. Dies kann anderen Projekten als Vorbild dienen. Gegebenenfalls können einzelne in PosiBot entwickelte Methoden und Werkzeuge im Rahmen der anderen Projekte zum Einsatz kommen, um eine kontinuierliche Integration ethischer Gesichtspunkte zu realisieren.
- *Erkenntnisse zu techniksoziologischen Fragestellungen*: Im Projekt werden Methoden zur Entwicklung von Technikzukünften entwickelt und diese auf das Anwendungsbeispiel PRM-Prozess am Flughafen angewandt. Da diese Perspektive vom Transferprojekt bislang nicht abgedeckt wird, könnten die Arbeiten aus PosiBot genutzt werden, um auch in den anderen Projekten techniksoziologische Aspekte zu integrieren.
- *Öffentlichkeitswirksame Präsentation der Tests und der Ergebnisse*: PosiBot sieht ab Projektstart einen öffentlichkeitswirksamen Betrieb des Kompetenzzentrums vor. Hier können Synergien mit dem Transferprojekt und den anderen Kompetenzzentren genutzt werden, indem unsere Veranstaltungen Partner:innen aus den Projekten miteinbeziehen. Auch die öffentlichkeitswirksamen Studien am Flughafen Stuttgart können u.U. genutzt werden, um mediale Aufmerksamkeit für die gesamte Förderlinie zu schaffen.

Literaturverzeichnis

- Ahmad Alaiad and Lina Zhou. The determinants of home healthcare robots adoption: An empirical investigation. *International journal of medical informatics*, 83(11): 825–840, 2014.
- Victoria Alonso and Paloma De La Puente. System transparency in shared autonomy: A mini review. *Frontiers in neurorobotics*, 12:83, 2018.
- Franziska Babel, Johannes Kraus, Linda Miller, Matthias Kraus, Nicolas Wagner, Wolfgang Minker, and Martin Baumann. Small talk with a robot? the impact of dialog content, talk initiative, and gaze behavior of a social robot on trust, acceptance, and proximity. *International Journal of Social Robotics*, 13(6):1485–1498, 2021.
- Gonçalo Baptista and Tiago Oliveira. A weight and a meta-analysis on mobile banking acceptance research. *Computers in Human Behavior*, 63:480–489, 2016.
- Jaclyn Barnes, Maryam FakhrHosseini, Myounghoon Jeon, Chung-Hyuk Park, and Ayanna Howard. The influence of robot design on acceptance of social robots. In *2017 14th international conference on ubiquitous robots and ambient intelligence (URAI)*, pages 51–55. IEEE, 2017.
- Solon Barocas and Andrew D Selbst. Big data’s disparate impact. *California Law Review*, 104:671–732, 2016.
- Christoph Bartneck and Jodi Forlizzi. A design-centred framework for social human-robot interaction. In *RO-MAN 2004. 13th IEEE international workshop on robot and human interactive communication (IEEE Catalog No. 04TH8759)*, pages 591–594. IEEE, 2004.
- Christoph Bartneck, Tatsuya Nomura, Takayuki Kanda, Tomohiro Suzuki, and Kato Kenssuke. *A cross-cultural study on attitudes towards robots*. Lawrence Erlbaum Associates, 2005.
- Jenay M Beer, Akanksha Prakash, Tracy L Mitzner, and Wendy A Rogers. Understanding robot acceptance. Technical report, Georgia Institute of Technology, 2011.

- Matthias Beggiato and Josef F Krems. The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 18:47–57, 2013.
- Matthias Beggiato, Marta Pereira, Tibor Petzoldt, and Josef Krems. Learning and development of trust, acceptance and the mental model of acc. A longitudinal on-road study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 35:75–84, 2015.
- Markus Blut, Cheng Wang, and Klaus Schoefer. Factors influencing the acceptance of self-service technologies: A meta-analysis. *Journal of Service Research*, 19(4): 396–416, 2016.
- Cynthia Breazeal. Toward sociable robots. *Robotics and autonomous systems*, 42(3-4): 167–175, 2003.
- Cynthia Breazeal. Role of expressive behaviour for robots that learn from people. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535): 3527–3538, 2009.
- M R Calo. *Robots and privacy*. MIT Press, 2012.
- Enrique Coronado, Dominique Deuff, Pamela Carreno-Medrano, Leimin Tian, Dana Kulić, Shanti Sumartojo, Fulvio Mastrogiovanni, and Gentiane Venture. Towards a modular and distributed end-user development framework for human-robot interaction. *IEEE Access*, 9:12675–12692, 2021.
- Henriette Cramer, Nicander Kemper, Alia Amin, Bob Wielinga, and Vanessa Evers. ‘give me a hug’: the effects of touch and autonomy on people’s responses to embodied social agents. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 20(2-3):437–445, 2009.
- Fred D Davis. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, pages 319–340, 1989.
- 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.

- Maartje Ma De Graaf, Somaya Ben Allouch, and Tineke Klamer. Sharing a life with harvey: Exploring the acceptance of and relationship-building with a social robot. *Computers in human behavior*, 43:1–14, 2015.
- Anna Dobrosovestnova, Glenda Hannibal, and Tim Reinboth. Service robots for affective labor: a sociology of labor perspective. *AI & society*, 37(2):487–499, 2022.
- Yogesh K Dwivedi, Nripendra P Rana, Anand Jeyaraj, Marc Clement, and Michael D Williams. Re-examining the unified theory of acceptance and use of technology (utaut): Towards a revised theoretical model. *Information Systems Frontiers*, 21(3): 719–734, 2019.
- EG 1107/2006. Verordnung (EG) Nr. 1107/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juli 2006 über die Rechte von behinderten Flugreisenden und Flugreisenden mit eingeschränkter Mobilität. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX3A32006R1107>, 2006.
- AI ethics impact group. From principles to practice: An interdisciplinary framework to operationalise ai ethics. <https://www.ai-ethics-impact.org/>, 2020.
- Friederike Eyssel, Laura De Ruiters, Dieta Kuchenbrandt, Simon Bobinger, and Frank Hegel. ‘if you sound like me, you must be more human’: On the interplay of robot and user features on human-robot acceptance and anthropomorphism. In *2012 7th ACM/IEEE international conference on human-robot interaction (HRI)*, pages 125–126. IEEE, 2012.
- Batya Friedman and David G Hendry. *Value sensitive design: Shaping technology with moral imagination*. MIT Press, 2019.
- Nora Fronemann, Kathrin Pollmann, and Wulf Loh. Should my robot know what’s best for me? human–robot interaction between user experience and ethical design. *AI & SOCIETY*, 37(2):517–533, 2022.
- David Golchinfar, Daryoush Daniel Vaziri, Dirk Schreiber, and Gunnar Stevens. Assisting service robots on their journey to become autonomous agents: From apprentice to master by participatory observation. In *Proceedings of Mensch und Computer*, pages 889–891. Association for Computing Machinery, 2019.

- Armin Grunwald. *Technikzukünfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung*, volume 6. KIT Scientific Publishing, 2012.
- 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.
- Marcel Heerink, Ben Kröse, Vanessa Evers, and Bob Wielinga. *The influence of social presence on acceptance of a companion robot by older people*. Red de Agentes Físicos, 2008.
- Marcel Heerink, Ben Kröse, Vanessa Evers, and Bob Wielinga. Relating conversational expressiveness to social presence and acceptance of an assistive social robot. *Virtual reality*, 14(1):77–84, 2010.
- Sebastian Hergeth, Lutz Lorenz, Josef F Krems, and Lars Toenert. Effects of take-over requests and cultural background on automation trust in highly automated driving. In *Driving Assesment Conference*, volume 8. University of Iowa, 2015.
- Sebastian Hergeth, Lutz Lorenz, Roman Vilimek, and Josef F Krems. Keep your scanners peeled: Gaze behavior as a measure of automation trust during highly automated driving. *Human factors*, 58(3):509–519, 2016.
- Kevin Anthony Hoff and Masooda Bashir. Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human factors*, 57(3):407–434, 2015.
- A Honneth. Arbeit und Anerkennung. In *Das Ich im Wir: Studien zur Anerkennungstheorie*, pages 78—102. Suhrkamp, 2010.
- Justin Huang, Tessa Lau, and Maya Cakmak. Design and evaluation of a rapid programming system for service robots. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 295–302. IEEE, 2016.
- Sheila Jasanoff. Future imperfect: Science, technology, and the imaginations of modernity. *Dreamscapes of modernity: Sociotechnical imaginaries and the fabrication of power*, pages 1–33, 2015.

- Europäische Kommission. Laying down harmonized rules on artificial intelligence (artificial intelligence act) and amending certain union legislative acts: Proposal for a regulation of the european parliament and of the council. 2021/0106 (cod). <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/items/709090>, 2021.
- Hannah Kosow and Robert Gaßner. *Methoden der Zukunfts-und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien*. IZT, 2008.
- Johannes Kraus, David Scholz, Dina Stiegemeier, and Martin Baumann. The more you know: trust dynamics and calibration in highly automated driving and the effects of take-overs, system malfunction, and system transparency. *Human factors*, 62(5): 718–736, 2020.
- Johannes Kraus, David Scholz, and Martin Baumann. What’s driving me? Exploration and validation of a hierarchical personality model for trust in automated driving. *Human factors*, 63(6):1076–1105, 2021.
- Johannes Maria Kraus. *Psychological processes in the formation and calibration of trust in automation*. PhD thesis, Universität Ulm, 2020.
- Anne Elisabeth Krueger, Kathrin Pollmann, Nora Fronemann, and Beatrice Foucault. Guided user research methods for experience design—a new approach to focus groups and cultural probes. *Multimodal Technologies and Interaction*, 4(3):43, 2020.
- Kevin LaGrandeur and James J Hughes. *Surviving the machine age: Intelligent technology and the transformation of human work*. Springer, 2017.
- John D Lee and Neville Moray. Trust, self-confidence, and operators’ adaptation to automation. *International journal of human-computer studies*, 40(1):153–184, 1994.
- John D Lee and Katrina A See. Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1):50–80, 2004.
- Nicola Leonardi, Marco Manca, Fabio Paternò, and Carmen Santoro. Trigger-action programming for personalising humanoid robot behaviour. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–13, 2019.

Toby Jia-Jun Li, Igor Labutov, Brad A Myers, Amos Azaria, Alexander I Rudnicky, and Tom M Mitchell. An end user development approach for failure handling in goal-oriented conversational agents. *Studies in Conversational UX Design*, 2018.

Henry Lieberman. *Your wish is my command: Programming by example*. Morgan Kaufmann, 2001.

Wulf Loh and Anne Wierling. Informierte Einwilligung, häusliche Altenpflege und soziale Robotik–Ein Konzept zur Konkretisierung der Zweckangabe bei Social-Compagnion-Robotern. In *Datenreiche Medizin und das Problem der Einwilligung*, pages 145–164. Springer, Berlin, Heidelberg, 2022.

Wing-Yue Geoffrey Louie, Derek McColl, and Goldie Nejat. Acceptance and attitudes toward a human-like socially assistive robot by older adults. *Assistive Technology*, 26(3):140–150, 2014.

Linda Miller, Johannes Kraus, Franziska Babel, and Martin Baumann. More than a feeling – interrelation of trust layers in human-robot interaction and the role of user dispositions and state anxiety. *Frontiers in psychology*, 12:378, 2021.

Catrin Misselhorn. Arbeit, Technik und gutes Leben. Perspektiven für Menschen mit und ohne Behinderung auf Industrie 4.0. In *Arbeit, Gerechtigkeit und Inklusion*, pages 19–38. Springer, 2017.

Bonnie M Muir. Trust between humans and machines, and the design of decision aids. *International journal of man-machine studies*, 27(5-6):527–539, 1987.

Bonnie M Muir and Neville Moray. Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 39(3): 429–460, 1996.

Stanislava Naneva, Marina Sarda Gou, Thomas L Webb, and Tony J Prescott. A systematic review of attitudes, anxiety, acceptance, and trust towards social robots. *International Journal of Social Robotics*, 12(6):1179–1201, 2020.

Scott Osofsky, Tracy Sanders, Florian Jentsch, Peter Hancock, and Jessie YC Chen. Determinants of system transparency and its influence on trust in and reliance on

- unmanned robotic systems. In *Unmanned systems technology XVI*, volume 9084, pages 112–123. SPIE, 2014.
- Matthew S O’Hern and Aric Rindfleisch. Customer co-creation: a typology and research agenda. *Review of marketing research*, pages 84–106, 2017.
- Kathrin Pollmann. Behavioral design patterns for social, assistive robots-insights from the nika research project. *Mensch und Computer 2019 – Workshopband*, 2019.
- Kathrin Pollmann. The modality card deck: Co-creating multi-modal behavioral expressions for social robots with older adults. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7):33, 2021.
- Kathrin Pollmann and Daniel Ziegler. A pattern approach to comprehensible and pleasant human–robot interaction. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(9): 49, 2021.
- Kathrin Pollmann, Nora Fronemann, Anne Elisabeth Krüger, and Matthias Peissner. Positec–how to adopt a positive, need-based design approach. In *International conference of design, user experience, and usability*, pages 52–66. Springer, 2018.
- Kathrin Pollmann, Nora Fronemann, Nektaria Tagalidou, and Daniel Ziegler. Bedürfnisbasierte Personalisierung für die soziale Mensch-Roboter Interaktion. *Mensch und Computer 2019 – Workshopband*, 2019.
- Kathrin Pollmann, Nora Fronemann, Daniel Ziegler, and Milena Velic. *Service-Roboter im Kundenkontakt: Aktuelle und zukünftige Einsatzfelder, Entlastungspotenziale und Erlebnisfaktoren*. Fraunhofer IAO, 2021.
- J Rawls. Eine Theorie der Gerechtigkeit, Frankfurt: Suhrkamp. *Krankenversicherung und Äquivalenzprinzip*, 317, 1975.
- Kristin E Schaefer, Jessie YC Chen, James L Szalma, and Peter A Hancock. A meta-analysis of factors influencing the development of trust in automation: Implications for understanding autonomy in future systems. *Human factors*, 58(3):377–400, 2016.

Stephan Schlothfeldt. Ein Recht auf Beteiligung an der Erwerbsarbeit. *Politische Philosophie des Sozialstaates*, pages 372–402, 2000.

Amartya Sen et al. Equality of what? 1980.

Mone Spindler, Sophia Booz, Helya Gieseler, Sebastian Runschke, Sven Wydra, and Judith Zinsmaier. How to achieve integration? In *Das geteilte Ganze*, pages 213–239. Springer, 2020.

Julian Stubbe. Innovationsimpuls „Integrierte Forschung“. *Diskussionspapier des BMBF-Forschungsprogramms „Technik zum Menschen bringen*, 446, 2018.

Meg Tonkin, Jonathan Vitale, Sarita Herse, Mary-Anne Williams, William Judge, and Xun Wang. Design methodology for the UX of HRI: A field study of a commercial social robot at an airport. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 407–415, 2018.

Rudolph Triebel, Kai Arras, Rachid Alami, Lucas Beyer, Stefan Breuers, Raja Chatila, Mohamed Chetouani, Daniel Cremers, Vanessa Evers, Michelangelo Fiore, et al. Spencer: A socially aware service robot for passenger guidance and help in busy airports. In *Field and service robotics*, pages 607–622. Springer, 2016.

Sherry Turkle. In good company? On the threshold of robotic companions. In *Close engagements with artificial companions*, pages 3–10. John Benjamins, 2010.

Biel Piero E Alvarado Vasquez and Fernando Matia. A social robot empowered with a new programming language and its performance in a laboratory. In *2019 IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, pages 1–6. IEEE, 2019.

Ahmet Vatan and Seden Dogan. What do hotel employees think about service robots? A qualitative study in turkey. *Tourism Management Perspectives*, 37:100775, 2021.

Daryoush Vaziri, David Golchinfar, Gunnar Stevens, and Dirk Schreiber. Exploring future work-co-designing a human-robot collaboration environment for service domains. In *Proceedings of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*, pages 153–164, 2020.

Astrid Weiss, Regina Bernhaupt, Michael Lankes, and Manfred Tscheligi. The usus evaluation framework for human-robot interaction. *AISB2009: proceedings of the symposium on new frontiers in human-robot interaction*, 4(1):11–26, 2009.

James E Young, Richard Hawkins, Ehud Sharlin, and Takeo Igarashi. Toward acceptable domestic robots: Applying insights from social psychology. *International Journal of Social Robotics*, 1(1):95–108, 2009.

Kun Yu, Shlomo Berkovsky, Ronnie Taib, Dan Conway, Jianlong Zhou, and Fang Chen. User trust dynamics: An investigation driven by differences in system performance. In *Proceedings of the 22nd international conference on intelligent user interfaces*, pages 307–317, 2017.

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

Förderkennzeichen 16SV8585

Michael Herrnberger¹, Victor Fäßler¹, Alejandro Cardenas¹, Sara Dirnagl¹, Philippe Mauri¹, Paul von Rüden¹, Benjamin Stähle², Markus Schneider², Johannes Kraus³, Franziska Babel³, Johannes Steinle², Florian Fischer², Karsten Bohlmann⁴, Ivana Kruijff-Korbayova⁵ und Christian Wilms⁵



R-ITUAL



¹TWT GmbH
Science & Innovation
Ernstthaldestraße 17
70565 Stuttgart

²RWU - Hochschule
Ravensburg-Weingarten
Doggenriedstraße
88250 Weingarten

³Universität Ulm
Helmholtzstr. 16
89081 Ulm

⁴ek-robotics GmbH
Siemensstraße 3
72766 Reutlingen

⁵Deutsches 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

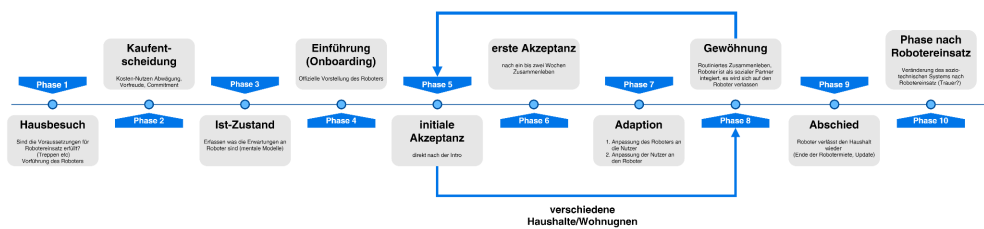


Abbildung 11.1: Akzeptanzphasen.

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 Personenn Jahren 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 verschiedene 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.

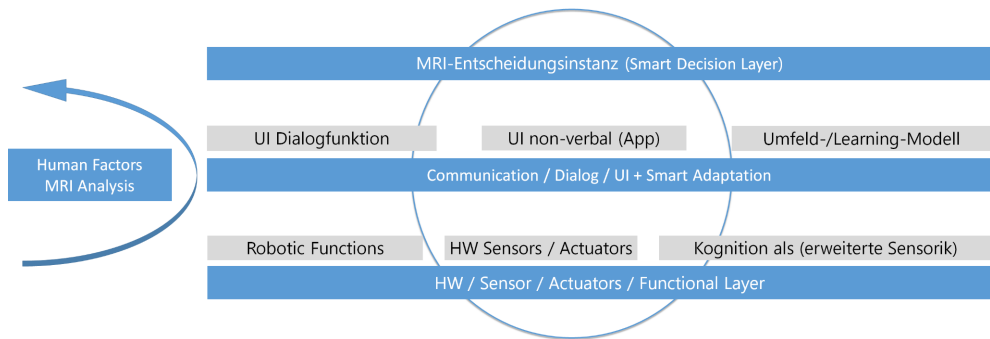


Abbildung 11.2: Layer-basierten Gliederung des R-ITUAL Vorhabens.

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 Roboterverhaltens 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 eMo 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 weniger 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 Sicherheits- vorkehrungen bei einem AR-Einsatz im privaten Umfeld bleibt.	Gering	Mittel	Das gesellschaftliche tolerierbare Rest- risiko wird schon früh durch Akzeptanz- studie 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 Vorplänen 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 Eingabe- möglichkeiten 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 Geimpfte 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 Anwendungsbereich 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.

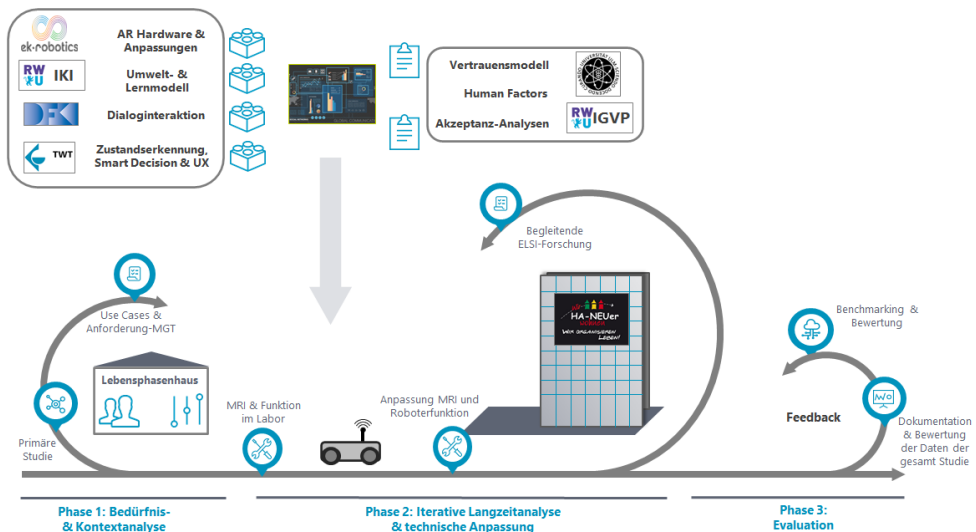


Abbildung 11.4: Schematische Darstellung der Prozesse, Interaktionen und Projektphasen für das Onboarding und den Betrieb von AR im konkreten Wohnumfeld.

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 Lebensalltags 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.

¹ 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 Pflegetätigkeiten 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. HySocialTea (BMBF): Das Projekt HySocialTea (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.

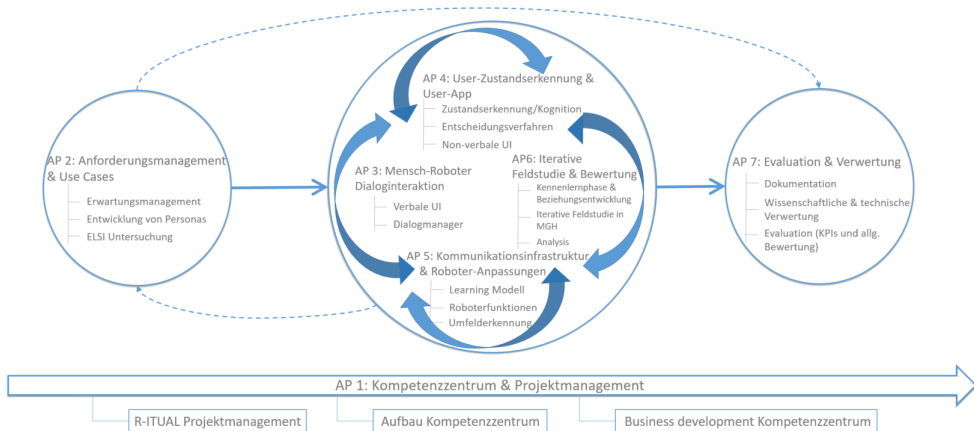


Abbildung 11.5: AP1: Kompetenzzentrum & Projektmanagement.

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:

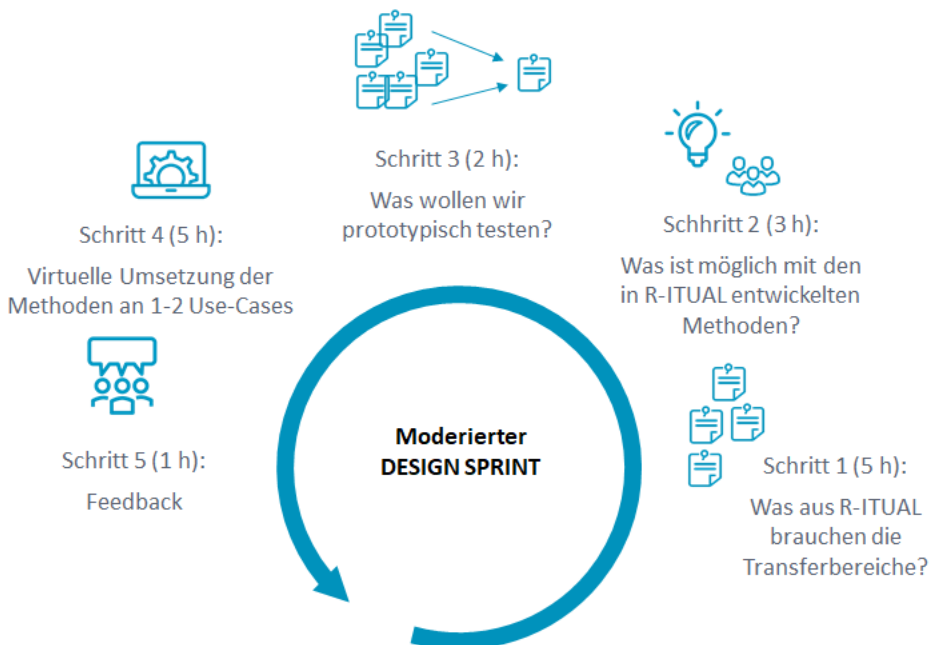


Abbildung 11.6: Moderierter Design Sprint.

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 Cuayáhuitl, 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 Cuayáhuitl, Ivana Kruijff-Korbayová, 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-Korbayova, 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.

Kompetenzzentrum für interaktive AssistenzROBOTik für REHaKIDS (ROBO:REHKIDS)

Förderkennzeichen 16SV8633

Salima Houta¹, Pinar Bisgin¹, Christoph Monfeld², Ioannis Iossifidis³,
Bernd Kuhlenkötter⁴, Alfred Hypki⁴, Laura Hoffmann⁴, Christian Walter-Klose⁵,
Hanns Rüdiger Röttgers⁶, Christian Dunker⁷ und Alexander Pröll⁷



¹Fraunhofer ISST
Emil-Figge-Straße 91
44227 Dortmund

²MedEcon Ruhr GmbH
Gesundheitscampus-Süd 29
44801 Bochum

³Hochschule Ruhr West
Duisburger Straße 100
45479 Mülheim an der Ruhr

⁴Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
44801 Bochum

⁵hsg Bochum
Gesundheitscampus 6-8
44801 Bochum

⁶FH Münster
Hüfferstraße 27
48149 Münster

⁷ENTRANCE Robotics GmbH
Viehofstraße 125
42117 Wuppertal

12.1 Ziele des Kompetenzzentrums

12.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Der gesellschaftliche und inzwischen auch rechtliche (siehe Bundesteilhabegesetz) Anspruch, gesellschaftliche Teilhabe von Kindern und Jugendlichen mit den verschiedensten Formen von Behinderungen zu realisieren, ist einerseits fest verankert, andererseits hakt die Umsetzung noch an den meisten Stellen gewaltig. Neben dringend notwendigen konzeptionellen, organisatorischen und personellen Anpassungen sind auch die Potentiale für robotische Assistenzsysteme in diesem Bereich noch lange nicht ausgeschöpft. Dabei bietet ihr Einsatz gerade bei der Zielgruppe der Kinder und Jugendlichen besondere Chancen, da deren unvoreingenommene Einstellung zu bzw. ihre Lernfähigkeit mit technischen Assistenzsystemen besonders ausgeprägt ist. Entsprechende interaktive Robotiksysteme haben in doppelter Weise die Chance, zum Begleiter dieser Zielgruppe der nachwachsenden Generation zu werden: sowohl als Assistenz für zu kompensierende Fähigkeiten, als auch als Begleitung für die in der Regel lebenslang notwendigen Lern- und Therapieprozesse, die für Kinder und Jugendliche mit Einschränkungen erforderlich sind. Die intensivierte, eigenbestimmte und alltagsnahe Nutzung solcher Assistenzrobotik bietet daher gute Möglichkeiten, um Teilhabe und auch Versorgungsqualität unter gegebenen gesundheitsökonomischen Bedingungen zu verbessern.

Um diese Potentiale zu erschließen, soll ein Kompetenznetzwerks für die Entwicklung und den Einsatz von Assistenzrobotik zur Therapie und Förderung von Kindern und Jugendlichen mit Behinderung aufgebaut werden. Dazu sollen im Rahmen des Vorhabens die organisatorischen Strukturen und Methoden für den Einsatz und die anwendungsbezogene Weiterentwicklung solcher robotischer Systeme geschaffen werden. Mit der Vernetzung von nachfrage- und angebotsseitigen Strukturen sowie dem Zusammenbringen von Wissenschaft, Wirtschaft und Anwendung soll die Tragfähigkeit des Kompetenzzentrums langfristig sichergestellt werden. Zur erfolgreichen Überführung in die praktische Anwendung erscheint es essentiell, die verschiedenen Perspektiven in die Entwicklung entsprechender Systeme einzubringen, so dass sich das Vorgehen methodisch grob an einer für die Anwendungsdomäne angepassten Balanced Scorecard (BSC) Methode anlehnen soll, mit folgenden Dimensionen:

1. Sozialwissenschaftliche und sozialpolitische Perspektive
2. Gesundheitsökonomische Perspektive (Financial Perspective)
3. Versorgungsprozess- und Anwenderperspektive (Customer Perspective)
4. Entwicklung und Evaluation von robotischen Systemen (Internal Process Perspective)
5. Innovationsmanagement und Kompetenzaufbau (Learning and Growth Perspective)

Um die Zusammenarbeit in der Partnerstruktur inhaltlich zu erproben und zu etablieren, werden neben dem Netzwerkaufbau zwei Anwendungsvorhaben als Modellprojekte und eine Bedarfs- und Machbarkeitsanalyse umgesetzt. Diese dienen zum einen der konkreten Erarbeitung von praktischen Anwendungen und zum anderen als Modell für die zukünftige Zusammenarbeit und Erweiterung des Netzwerks.

12.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

Die Themenfelder, denen sich das Kompetenzzentrum in den kommenden Jahren widmen soll, adressieren bewusst verschiedene Einsatzbereiche in der Praxis, verschiedene Typen von robotischen Systemen, verschiedene Interaktions-Settings sowie Reifegrade der Vorhaben, um ein möglichst weites methodisches Knowhow sowie Netzwerk zu etablieren. Dabei wird insgesamt Wert daraufgelegt, bei der Erschließung der Anwendungen die Zielstellung zur Teilhabe und Selbstbestimmung der Kinder und Jugendlichen mit Beeinträchtigungen noch einmal grundlegend in Bezug auf die Interaktionsgestaltung zu hinterfragen bzw. zu erarbeiten. Zur Beantwortung der Fragen sowie der notwendigen Gestaltung und Umsetzung der Assistenzrobotik für diesen praktischen Einsatz, sind die unterschiedlichen Perspektiven, wie sie im Sinne der angepassten Methode, der Balanced Scorecard Methode, vorgesehen sind, jeweils von Beginn an zu berücksichtigen und dienen daher als „Modellvorhaben“. Im Folgenden werden die ersten drei Modellvorhaben des Kompetenzzentrums motiviert. Eine detaillierte Beschreibung der wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele und Methoden sowie Forschungsfragen der Modellvorhaben erfolgt in Kapitel 12.3.

Modellvorhaben Interaktive Assistenzrobotik als Schul- und Lernbegleiter: Die Schule ist vermutlich der wichtigste Ort, um die Teilhabe bei Kindern und Jugendlichen einerseits zu ermöglichen und andererseits auch langfristig die Voraussetzungen für

ein selbstbestimmtes Leben der Kinder zu ermöglichen bzw. zu unterstützen. Bei der Umsetzung inklusiver Schulformen spielen neben allen curricularen, methodischen und didaktischen Herausforderungen, Schulbegleiter für die Kinder mit entsprechenden Einschränkungen eine wichtige Rolle. Diese Schulbegleiter sind unterschiedlich ausgebildete Erwachsene, die individuell auf die Kinder eingehen und ihnen jederzeit Unterstützung bieten. Diese flexible Eins-zu-Eins Betreuung ermöglicht in der Regel erst die Teilnahme der Kinder am Unterricht und am Schulleben, um in den jeweiligen ganz unterschiedlichen Situationen angemessene Hilfestellung zu liefern. Neben den Vorteilen durch die Flexibilität und Empathie dieser persönlichen Begleitung, impliziert diese aber auch die ständige Anwesenheit eines Erwachsenen, mit folgenden ungewollten Nebeneffekten:

- die Betroffenen können nur eingeschränkt alleine mit anderen Kindern in Interaktion treten
- der Lernbegleiter beeinflusst implizit auch das Lernverhalten der Kinder
- Abhängigkeit von „Charakter“, Fähigkeiten und Qualifikation des Lernbegleiters
- Vorhandensein mehrerer Schulbegleitungen erhöhen den Erwachsenenanteil in der Klasse und beeinflussen die Klassenatmosphäre

An dieser Stelle können Assistenzroboter die Schul- und Lernbegleitung vor dem Hintergrund der Teilhabe und die Selbstbestimmung der betroffenen Kinder komplementär zu den bestehenden Lernbegleitern ergänzen und damit neue inklusive Lernkonzepte ermöglichen. Zudem bieten Telepräsenzmöglichkeiten der Assistenzrobotik neue Möglichkeiten der Teilhabe z.B., wenn Kinder/Jugendliche (z.B. aufgrund von Krankheiten, Behandlungen oder im Falle von Schulabsentismus) längere Zeiten dem Unterricht fernbleiben. Für diesen Einsatz gilt es allerdings noch (einige durchaus) grundlegende Fragen zu klären. In dem Rahmen sollen 3 Einsatzbereiche von Assistenzrobotik betrachtet werden: Individual-Assistenz, Sozial-Assistenz sowie Absenz-Assistenz.



Abbildung 12.1: Assistenzrobotik in der Schul- und Lernbegleitung.

Modellvorhaben Assistenzrobotik in der Therapie bzw. Förderung von Kindern mit frühkindlichem Autismus: Autismus-Spektrum-Störungen (ASD) sind neurologische Entwicklungsstörungen, die durch grundlegende Merkmale wie durchdringende und anhaltende Beeinträchtigungen in Kommunikation und Sprache sowie sozialer Interaktion gekennzeichnet sind. Zusätzlich geht diese Erkrankung mit eingeschränkten und sich wiederholenden Verhaltensmustern, Interessen oder Aktivitäten einher (Grant and Nozyce 2013). Die Beeinträchtigung von Sprache und Kommunikation hat enorme Konsequenzen auf die soziale, schulische sowie langfristig auch berufliche Entwicklung des Kindes. Kinder mit Autismus haben einen erhöhten und methodisch besonderen Lernbedarf, um auf die schulische Bildung und auf die Interaktion und Kooperation mit der Umwelt vorbereitet zu sein. Eine frühe Förderung der sprachlichen Entwicklung sowie von Alltagskompetenzen als grundlegende Basis für weitere Entwicklungen ist daher unabdinglich. Goldstandard für die Förderung sind frühe und intensive verhaltenstherapeutisch-lernpsychologische Interventionen (Weinmann et al. 2009). Ziel der verhaltenstherapeutisch fundierten Frühintervention ist es, das Kind eng und, wo nötig, sehr kleinschrittig zu fördern, um Entwicklungsrückstände zu mildern, funktionales Verhalten aufzubauen und neue Lernerfahrungen zu ermöglichen. Eine hochfrequente Beaufsichtigung und Intervention kann durch Fachpersonal im Rahmen

von typischen Therapieprogrammen im Rahmen der deutschen Eingliederungshilfe aber kaum geleistet werden; diese beschränkt sich in der Regel auf wenige Stunden in der Woche und ist bei weitem nicht immer störungsspezifisch ausgestaltet (Röttgers and Rentmeister 2019). Kinder mit Autismus zeigen eine hohe Offenheit für technische und unbelebte Dinge. Dabei bleibt ungeklärt, ob diese Präferenz generisch autismusbedingt ist oder Konsequenz einer Lerngeschichte ist, in deren Rahmen insbesondere das aus autistischer Sicht unvorhersehbare Verhalten Gleichaltriger wenig Selbst- und Handlungswirksamkeit ermöglicht hat. Robotische Systeme sind daher gut geeignet, um die Therapie und Förderung autistischer Kinder zu unterstützen, da sie eine Handlungssicherheit, Verlässlichkeit sowie eine hohe Wiederholungsgenauigkeit gewährleisten können.

Modellvorhaben Assistenzrobotik als Therapiebegleiter oder –kollaborator in der neurologischen Rehabilitation: Insbesondere neurologische Erkrankungen oder Beeinträchtigungen erfordern bei Kinder- und Jugendlichen oft lebenslange Therapiemaßnahmen im Bereich Physio-, Ergo-, Moto- oder Sprachtherapie. Gerade im Kindes- und Jugendalter sind hochfrequente und qualitativ hochwertige Therapiemaßnahmen besonders wichtig und auch effizient, um Lernfortschritte zu erzielen und somit langfristig soziale Teilhabe zu verbessern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Robotikgestützte Therapiesysteme nehmen dabei bereits einen zunehmend wichtigen Stellenwert ein: Systeme von z.B. Hocoma, wie der Lokomat oder Armeo, ermöglichen dieses hochfrequente Training, bei dem die knappen therapeutischen Personalressourcen ergänzt und ein eigenständiges Training der Patienten ermöglicht wird. In der Regel bleiben diese Systeme jedoch spezialisierten (vielfach stationären) Zentren und Kliniken vorbehalten. Zudem sind diese Systeme auf bestimmte Kinematiken festgelegt, während manuelle physiotherapeutischen Therapie nach Konzepten wie Vojta oder Bobath eher auf komplexe Bewegungsmuster setzen.

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Mensch-Roboter-Kollaborations (MRK) – Robotern gilt es dieses Potential für eine individualisierte und auch kindgerechte Therapie zu erschließen. Dabei gilt es aber systematisch die therapeutischen Anforderungen und Konzepte mit den technischen Möglichen zusammenzuführen. In ersten Einzelanwendungen wurden solche Anwendungen in Anlehnung an z.B. die Hippotherapie bereits realisiert (siehe Vorarbeiten LPS unten).

12.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Das Gesamtziel des Kompetenzzentrums ist die Generierung und Bündelung sowie der Transfer von Wissen und Erfahrung zum praktischen Einsatz von interaktiver Assistenzrobotik zur Therapie und Förderung von Kindern und Jugendlichen mit Einschränkungen. Im Sinne der Ganzheitlichkeit liegt dem wissenschaftlichen Ansatz eine für die Anwendungsdomäne angepasste BSC-Methode zugrunde, die insbesondere auch eine sozialwissenschaftliche und sozialpolitische Perspektive beinhaltet. Die sozialwissenschaftliche und sozialpolitische Perspektive adressiert gesellschaftliche Anforderungen an interaktive Assistenzrobotik und analysiert sozial-wissenschaftliche Auswirkungen der Mensch-Roboter-Interaktion (Mensch-Mensch-Interaktion, Umfeld, Prozesse) sowie ethische Implikationen als Basis für eine wertorientierte und nachhaltige Gestaltung von Assistenzrobotik für Kinder und Jugendliche mit Behinderungen. Dabei kommen bestehende Metriken/Methoden (u.a. das MEESTAR-Modell) zum Einsatz und werden um Besonderheiten der interaktiven Assistenzrobotik weiterentwickelt. Die gesundheitsökonomische Perspektive berücksichtigt (gesundheits-)ökonomische Implikationen des Einsatzes von Assistenzrobotik. Sie zielt darauf ab, auf Basis existierender Strukturen (z. B. Therapieprogrammen) neue Versorgungs-/Einsatzkonzepte zu konzipieren und mögliche Betriebs- und Geschäftsmodelle dafür zu erarbeiten. Um Kompetenzen in den Projekten strukturiert anzuwenden und auszubauen, ist ein enger Austausch zwischen den Modellprojekten sowie Kompetenzfeldern/Perspektiven des Kompetenzzentrums geplant. Die Versorgungsprozess- und Anwenderperspektive etabliert Methoden für die strukturierte nutzer- und prozesszentrierte Ableitung von Anforderungen an interaktive Assistenzrobotik im Rahmen von Projekten. Ausgehend von existierenden Prozessen und wissenschaftlich etablierten Vorgehensweisen in konkreten Anwendungsfällen werden Referenzszenarien/Testsznarien für die Integration interaktiver Assistenzrobotik erarbeitet und Mensch-Roboter-Interaktionsmuster (Interaktionsverhalten) abgeleitet (inkl. multi-robotische Muster sowie triadische Muster z. B. Kind-Therapeut-Roboter). Das Kompetenzzentrum unterstützt mit Methoden, Schulungen und Templates bei der strukturierten Erhebung der Bedarfe in Projekten. Die Perspektive „Entwicklung und Evaluation von interaktiver Assistenzrobotik“ unterstützt bei der Auswahl, Konfiguration und Weiterentwicklung von robotischen Systemen. Mit dem Aufbau eines domänenspezifischen digitalen Marktplatzes wird den Projekten

ebenfalls ein Werkzeug zur Auswahl geeigneter technologischer Komponenten und Partner an die Hand gegeben und die Datenlage zur Assistenzrobotik ausgebaut und zentral vorgehalten. Die in das Kompetenzzentrum einfließenden strukturierten Erfahrungen aus abgeschlossenen Projekten sowie neue Dienste und Leistungen helfen, geeignete Systeme auszuwählen und Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Ein Showtruck soll interaktive Assistenzrobotik erlebbar machen und diese im Sinne der Nutzereinbindung sowie des Transfers zum Anwender bringen. Mit Blick auf Evaluation und Zulassung interaktiver Assistenzrobotik spielen ebenfalls regulatorische Anforderungen (wie die Optimierung der Sicherheit) eine Rolle, die ebenfalls methodisch gestützt werden. Innovationsmanagement und Kompetenzaufbau werden gezielt durch die Etablierung von Methoden zur Erschließung und zum Aufbau von Expertise vorangetrieben. Neben dem digitalen Marktplatz sind ebenfalls Kooperationen mit Kompetenzzentren überschneidender Disziplinen geplant (KI-Kompetenzzentren, Kompetenzzentren zur Förderung von Menschen mit Behinderung). Forschungsmittel-Screening sowie Technologie-Scouting sind ebenfalls zentrale Elemente zur Projektentwicklung und zum weiteren Ausbau der Kompetenzen und gehen mit dem geplanten Ausbau des Netzwerks einher.

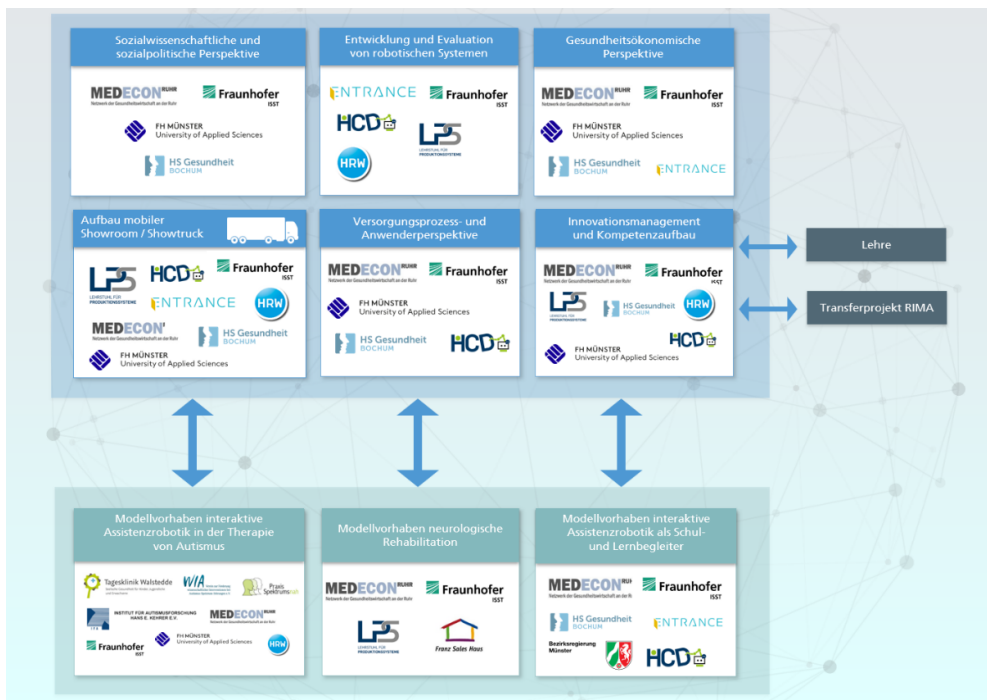


Abbildung 12.2: Verbundstruktur.

12.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

12.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Im Folgenden wird der Stand der Forschung und Entwicklung für die drei gewählten Einsatzbereiche dargestellt. Diese Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll im Rahmen des Projekts weiterentwickelt und kategorisiert werden. Anschließend werden wissenschaftliche Ergebnisse zu Akzeptanzfaktoren von Robotik dargestellt und ein Bezug zum Kompetenzzentrum hergestellt.

Interaktive Assistenzrobotik als Schul- und Lernbegleiter

In Finnland wird der Roboter Elias in Sprachschulen in der Erwachsenenbildung sowie an Grundschulen im Englisch Unterricht im Bereich des Vokabeltrainings sowie der Englisch-Konversation als Assistent eingesetzt. Schülerschaft, Lehrkräfte und Eltern gaben durchweg positives Feedback. Neben der positiven Stimmung wurde auch ein sehr diszipliniertes Arbeitsverhalten der Schülerinnen und Schüler bei Anwesenheit des Roboters beobachtet (Kersting 2019). In Weibel et al. (2020) wurde in einer Pilotstudie untersucht, wie ein AV1-Telepräsenzroboter krebserkrankten Kindern und Jugendlichen im Schulalter hilft, während der Krebsbehandlung sozial und akademisch mit ihren Schulklassen verbunden zu bleiben. Die Daten wurden durch halbstrukturierte Interviews mit krebserkrankten Kindern und Jugendlichen im Schulalter (12-14 Jahre), ihren Eltern, Lehrern, Klassenkameraden (12-14 Jahre, Fokusgruppeninterviews) und medizinischem Fachpersonal erhoben. Die teilnehmende Beobachtung erfolgte zu Hause bei den Kindern und Jugendlichen und in den Klassenzimmern während der Teilnahme am Unterricht über einen AV1-Telepräsenzroboter. Es ergaben sich fünf Themen: Erwartungen, Sozialität, Lernen, Räumlichkeit und Technologie. Die Teilnehmer erlebten die Roboter als Erleichterung sozialer Interaktionsprozesse mit Klassenkameraden und der Einbeziehung in Lernaktivitäten, wodurch ihr Gefühl der Einsamkeit und des Bildungsrückstands verringert wurde. Allerdings hängt es von mehreren Faktoren ab, ob der Roboter als exklusiv wahrgenommen wird, darunter die technische Funktionalität des Roboters, die räumliche Situation im Klassenzimmer und die gegenseitigen Erwartungen der Beteiligten. Ein interaktiver humanoider Roboter, Robovie, wurde in einem Klassenzimmer der Schule aufgestellt mit dem Ziel

langfristige Beziehungen zu bilden sowie freundschaftliche Beziehungen zwischen Menschen zu erkennen. Der Mechanismus für langfristige Beziehungen basiert dabei auf drei Prinzipien der Verhaltensgestaltung. Der Mechanismus für eine langfristige Interaktion wurde nach den folgenden drei Gestaltungsprinzipien konzipiert: (1) er ruft die Kinder beim Namen; (2) er passt sein interaktives Verhalten für jedes Kind auf der Grundlage eines Pseudo-Entwicklungsmechanismus an; und (3) er vertraut seine persönlichen Angelegenheiten den Kindern an, die über einen längeren Zeitraum mit dem Roboter interagiert haben. Bei der Einschätzung freundschaftlicher Beziehungen geht der Roboter davon aus, dass Menschen, die sich spontan als Gruppe zusammen verhalten, Freunde sind. Indem er dann jede Person in der interagierenden Gruppe um den Roboter herum identifiziert, schätzt er die Beziehungen zwischen ihnen. Es wurde eine Feldstudie von 2 Monaten durchgeführt. Die Ergebnisse des Feldversuchs zeigten, dass der Roboter zwei Monate lang erfolgreich mit vielen Kindern interagiert und eine freundschaftliche Beziehung zu ihnen aufzubauen schien. Darüber hinaus zeigte er eine angemessene Leistung bei der Erkennung von Freundschaften zwischen Kindern (Takayuki et al. 2016).

Interaktive Assistenzrobotik zur Förderung von Kindern und Jugendlichen mit Autismus

Robotische Lösungen zur Förderung von Kindern und Jugendlichen mit Autismus werden bereits in verschiedenen Bereichen erprobt (Toh et al. 2016, Vogt et al. 2017, Cheng 2021). Studien zum Einsatz bei Kindern mit Autismus zeigen bspw. eine Verbesserung der Sprache sowie des funktionalen Verhaltens (Wood et al. 2021, Huijnen et al. 2016). Weitere Forschungen in diesem Zusammenhang wurden u.a. mit den Robotersystem KiliRo (Bharatharaj et al. 2017), Kaspar (Wainer et al. 2010), Nao (Shamsuddin et al. 2015), (Belpaeme et al. 2015), Probo (Pop et al. 2013), Zeno (Torres et al. 2012) und Aibo (Dautenhahn 2000) durchgeführt. Dabei wurde ein großes Potenzial von Robotersystemen zur Förderung der Interaktion von Kindern mit Autismus und der Umwelt sowie der Verbesserung des funktionalen Verhaltens gezeigt. Wood et al. (2021) und Alnajjar et al. (2021) adressieren gezielt die Förderung der Empathie sowie der Aufmerksamkeit. Mit dem Zeno-Roboter wurden spielerisch gegenseitige Nachahmungen zwischen Kind und Roboter umgesetzt, um (fein-)motorische Fähigkeiten (z. B. Gestikulieren) der Kinder zu verbessern (Duquette

et al. 2008, Bugnariu et al. 2013). Vogt et al. (2017) motivierte Vorschulkinder mit Autismus beim Lernen einer Zweitsprache mit dem Nao-Roboter und baute Vertrauen und Aufmerksamkeit der Kinder durch Gestikulieren auf. Weitere Roboter wurden im Rahmen der Verhaltenstherapie eingesetzt, um soziale Fähigkeiten wie Augenkontakt und das Erkennen von Emotionen zu trainieren (Scassellati 2007, Yun et al. 2016, Aziz et al. 2015). Studien haben gezeigt, dass die Interaktion zwischen Kindern und Eltern, Betreuern und der Umwelt in diesem Zusammenhang mit Robotern signifikant verbessert werden kann (Cabibihan et al. 2013). In einer Studie wurde untersucht, ob die Integration einer robotischen Lösung in einem Therapieprogramm im Vergleich zur alleinigen Anwendung des Therapieprogramms effektiver ist. Dabei konnte unter Anwendung der Early Social Communication Scale (ESCS) festgestellt werden, dass der begleitende Einsatz eines robotischen Systems zu besseren Ergebnissen führt (Ghiglino et al. 2021). Zur Messung der Wirksamkeit werden Skalen eingesetzt oder aber auch die Reaktionen des Kindes, z. B. Körper- und Kopfbewegungen (Anzalone et al. 2019) beobachtet. Einige Forschungsarbeiten versuchen die Quantifizierung der Wirksamkeit mit Biosignalen zu erreichen. Im Rahmen einer Pilotstudie wurden EEG-Messungen bei der Interaktion von autistischen Kindern mit einem Roboter ausgewertet. Während der Interaktion mit dem Roboter konnte eine hohe Aktivierung von Hirnregionen festgestellt werden, die für die Entwicklung von sozialen Fähigkeiten wichtig sind. Diese Ergebnisse zeigen, dass ein Roboter ein geeignetes System zur Stimulierung sozialer Fähigkeiten und die Förderung der Interaktion mit anderen Menschen sein kann (Goulart et al. 2019). Weitere Einsatzbereiche von robotischen Interventionen bei Autismus werden im klinischen Kontext zur Hilfe bei der Stellung der Autismus Diagnose erprobt (Ramírez-Duque et al. 2020). Im Projekt MigrAVE werden in Münster NAO und QT-Robot eingesetzt, um Kinder mit ASS mit dem Ausbau von sozio-emotionalen und lebenspraktischen Fertigkeiten zu unterstützen.

Interaktive Assistenzrobotik in der neurologischen Rehabilitation

Weitere Bereiche in denen robotische Systeme zur Therapie von Kindern und Jugendlichen mit motorischen Einschränkungen eingesetzt werden, sind Zerebralparese (Krebs et al. 2009, Wu et al. 2017) oder weitere angeborene neurologisch bedingte Koordinationsstörungen der oberen Extremitäten (Frascarelli et al. 2009). Van den Heuvel et al. haben eine Studie mit dem Roboter IROMEC durchgeführt mit dem Ziel

Patienten mit schweren körperlichen Behinderungen beim Spielen zu unterstützen. Es konnte ein positiver Effekt beobachtet werden, allerdings macht die mangelnde Anpassungsfähigkeit bzw. Erweiterbarkeit des robotischen System einen Einsatz in der Pflegepraxis unmöglich (van den Heuvel et al. 2017). Auf dem Markt sind diverse Rehabilitationsroboter sowie technische Unterstützungssysteme erhältlich. Klöckner vergleicht über 50 Systeme für die automatisierte Bewegungstherapie von neurologischen Patienten (Klöckner 2018). Interessante Systeme der unterschiedlichen Kategorien sind AL-System der Firma Cyberdyne, ArmeoPower von Hocoma, Hirob der Firma Intelligent Motion und Sinfonia von der Firma Gloreha. Eine detaillierte Literaturrecherche zu kindgerechten Systemen in diesem Zusammenhang ist in der Vorstudie neurologische Rehabilitation geplant.

Akzeptanzfaktoren für robotische Systeme

Trotz vielversprechender Ergebnisse gehen viele Projekte bislang nie über die Pilotphase hinaus. Der Fokus der Projekte liegt meist auf dem Einsatz und der Evaluation ausgewählter Robotik in konkreten Szenarien. Eine ganzheitliche Betrachtung zum Einsatz von robotischen Systemen sowie deren Vergleich findet meist nicht statt, mit der Konsequenz einer fehlenden Nachhaltigkeit. Dabei spielen bei der Entwicklung von nachhaltigen robotischen Systemen für die Therapie und Versorgung verschiedene Faktoren eine Rolle. Frennert and Östlund (2014) beschreiben verschiedene Faktoren, die eine Akzeptanz von Robotik fördern. Eine große Rolle spielt die gesellschaftliche Akzeptanz derartiger Systeme, die eine sozio-technische Betrachtung der Entwicklung mit Einbezug aller relevanten Stakeholder im Sinne des partizipativen Designs notwendig macht. Neben der gesamtgesellschaftlichen Betrachtung müssen Nutzerstudien durchgeführt werden, um die Variabilität in der Zielgruppe sowie deren Bedarfe zu verstehen. Eine stereotypische Bewertung von Nutzern und die daraus resultierende starre Entwicklung von Systemen ist kontraproduktiv und mindert die Akzeptanz durch eine potenziell größere Zielgruppe. Zudem müssen insbesondere für den erwarteten Therapie-/Lernfortschritt adaptive Systeme in Betracht gezogen werden. Bei der Bewertung von multimodalen Technologien, die eine erhöhte Wahrnehmung und daraus resultierend ein höheres Interesse an den Emotionen des Patienten und so eine natürliche Interaktion ermöglichen, ist die Nutzersicht ausschlaggebend (Frennert and Östlund 2014). Eine multidimensionale Betrachtung ethischer Implikationen (z. B.

Verlust der Privatsphäre, Haftung, Kontaktverlust, Einfluss auf die Mensch-Mensch Interaktion) mit allen Stakeholdern ist notwendig. Eine Konkretisierung des Einsatzzweckes vereinfacht dabei die ethische Bewertung. In der Roboterforschung fehlt es des Weiteren noch an einheitlichen Methoden mit der Konsequenz einer mangelnden Qualität und Vergleichbarkeit von Studien. Standardisierte Methoden und Werkzeuge können helfen Transparenz zu schaffen und Längsschnittstudien zur Evaluation der positiven und negativen Auswirkungen unterstützen. Fosch-Villaronga et al. (2020) sammelten in internationalen Workshops Expertenmeinungen zu ethischen, rechtlichen und sozialen Fragen bei sozialen Robotern (Fosch-Villaronga et al. 2020). Zwei übergeordnete Aspekte wurden als Meta-Herausforderungen herausgestellt: Unsicherheit und Verantwortung. Es fehlen Leitlinien zur Anwendbarkeit von Gesetzen sowie ein Framework zur Konformitätsbewertung. Weitere Unsicherheiten betreffen auch das potenzielle unethische Verhalten der Roboterlösungen (abhängig von sozialen Standards und Kulturen) und die wirtschaftlichen Auswirkungen einschließlich Beschäftigungseffekten. Die gewählte übergeordnete Methode BSC hilft, verschiedene Faktoren im Blick zu haben, ein gemeinsames Verständnis zu erlangen und so die gesamtgesellschaftliche Akzeptanz und die der Nutzenden zu fördern sowie standardisierte Methoden der Roboterforschung (weiter-)zu entwickeln und zu evaluieren.

12.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

ROBO:REHKIDS verknüpft interdisziplinäre wissenschaftliche und praktische Expertise im Bereich der interaktiven Assistenzrobotik für Kinder und Jugendliche mit Beeinträchtigungen. Die Verbindung von praxisnaher Forschung zu Fragestellungen der interaktiven Assistenzrobotik mit der Lehre ermöglicht den Einbezug neuester Forschungsergebnisse in die Lehre, die Durchführung von praxisnahen Promotionen sowie die Ergänzung des Lehrveranstaltungsangebots mit praxisnahen Seminarangeboten. Die gewählte Methode einer angepassten Balanced Scorecard forciert eine multiperspektivische Betrachtung beim Aufbau des Netzwerks sowie der Methoden des Kompetenzzentrums. Mit dem geplanten Aufbau eines perspektivenübergreifenden Austauschs schließt ROBO:REHKIDS die Lücke zwischen technischen und gesellschaftlichen Aspekten interaktiver Assistenzrobotik. Um interaktive Assistenzrobotik zügig in die Praxis zu bringen und neue Anwendungsszenarien zu erschließen, werden

Modellprojekte/Anwendungsszenarien in verschiedenen Entwicklungsstadien durchgeführt. So werden neben konkreten, in sich abgeschlossenen Szenarien mit humanoider Robotik wie Pepper, auch Anwendungsszenarien in Laborsituationen umgesetzt, um beispielsweise in einem nicht alltagsnahen technologischen Setting eine Quantifizierung der Biosignale für die Wirksamkeit oder neue Modelle für natürliche Interaktion zu erheben. Mit der Einbettung eines Abbildes des anthropomorphen Robotersystems in die virtuelle Realität werden auch explorative Untersuchungen von graduellen, sich ändernden Szenarien möglich, um diese auf zukünftige Robotersysteme übertragen zu können. Das Kompetenzzentrum hat über den Partner MedEcon Ruhr GmbH Zugang zu den Clustern Kinder- und Jugendmedizin sowie NervenSinneTechnik und somit beste Standortvoraussetzungen für die Erschließung von neuen Projekten, den Transfer in die Anwendung sowie den Ausbau des Netzwerks. Neben der gezielten Einbindung von Anwendungspartnern in Modellprojekten sollen ein einzigartiger mobiler Showroom / Showtruck und ein Podcast einen Beitrag leisten, um die interaktive Assistenzrobotik dem Anwender näher zu bringen sowie gesellschaftliche Akzeptanz zu fördern.

12.2.3 Risikodarstellung

Im Rahmen des Einsatzes von interaktiver Assistenzrobotik ergibt sich die zentrale Herausforderung aus der vollständigen Abbildung aller denkbaren Szenarien und Variabilität der Zielgruppe in der Anwendungsdomäne. Gerade die Abbildung der Variabilität und die Vermeidung der Umsetzung von starren Systemen ist für die Akzeptanz durch eine große und variable Zielgruppe wesentlich. ROBO:REHKIDS führt im Rahmen von Modellprojekten frühzeitig Nutzerstudien durch, um die individuellen Besonderheiten der Zielgruppe zu verstehen, und erprobt Methoden, die unter anderem mit maschinellem Lernen und multimodaler Sensortechnologien eine erhöhte Wahrnehmung und somit die Umsetzung einer natürlichen Mensch-Roboter-Interaktion ermöglichen. Adaptive Konzepte sollen zudem Lern- und Therapiefortschritte erkennen und ebenfalls bei der Interaktionsgestaltung berücksichtigt werden. Zur weiteren Erhöhung der Nutzerakzeptanz werden die Anwender im Sinne des partizipativen Designs frühzeitig bei der Bedarfserhebung sowie ersten Feldtests mit eingebunden. Die wirtschaftlichen Risiken des Projektes resultieren vor allem aus den enorm hohen Kosten für den Einsatz von robotischen Systemen, die unter Berücksichtigung der zu

lösenden technischen Probleme dazu führen können, dass ein Erfolg und damit eine Refinanzierung derzeit nicht sichergestellt sind. Es fehlen Geschäftsmodelle für die gewählte Anwendungsdomäne, die im Kompetenzzentrum unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen konzipiert werden. Hier liegt ggf. auch ein Risiko in der Fokussierung auf Kinder und Jugendliche: diese “Beschränkung” des Marktpotenzials wird aber in Kauf genommen, da die oben beschriebene Potenziale, einen relevanten Bedarf in der Zielgruppe zu decken und eine vermutlich für die Robotik aufgeschlossene Zielgruppe zu erreichen, hier überwiegen. Die angestrebte Lösung ist außerdem aufgrund der notwendigen, interdisziplinären Kompetenzen nur im Verbund erzielbar. In der beschriebenen Konstellation ergibt sich die Chance, gemeinsam interaktive Assistenzsysteme in praxisnahen Szenarien zu erproben, zu evaluieren und Vorteile für Anwender transparent darzustellen. Mit der gewählten BSC-Methode wird systematisch ein multiperspektivischer Aufbau des Kompetenznetzwerks sowie standardisierter methodischer Expertise angestrebt.

12.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Der Aufbau des Kompetenzzentrums orientiert sich methodisch an der Balanced Scorecard um eine ausgewogene Betrachtung übergreifender Aspekte zu ermöglichen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Modellvorhaben eingegangen.

Im Modellvorhaben **Interaktive Assistenzrobotik als Schul- und Lernbegleiter** wird der humanoide Roboter Pepper eingesetzt und bedarfsorientiert konfiguriert und evaluiert. Ergänzende Anwendungen (Telepräsenz, Management) werden entwickelt, um die Integration in den ganzheitlichen Einsatzprozess zu unterstützen. Es sollen folgende Fragen zur Assistenzrobotik adressiert werden:

Funktion der Assistenz / Schulbegleitung

- Welche Assistenzleistungen für Kinder mit Beeinträchtigungen können von Assistenzrobotik übernommen werden und welche nicht? (Individual-Assistenz)
- Individueller Hilfegeber (Was geht dabei technisch tatsächlich?)
- Unterstützer der Interaktionsgestaltung: von Enabler / Helfer / Übersetzer bis zu

Impulsgeber / Motivation / „Trigger“

- Welche Probleme und Schwierigkeiten treten aus Sicht von Schülerschaft, Lehrkräften und Eltern auf und wie können diese bewältigt werden?
- Wie kann Assistenzrobotik zur Förderung sozialer Interaktionen in einer heterogenen Klasse eingesetzt werden? Welche Szenarien sind denkbar? Ggfs. Entwickeln von Interaktionsszenarien (Sozial-Assistenz)

Funktion der Telepräsenzrobotik (Absenz-Assistenz)

- Welche Möglichkeiten bietet die Robotik für Telepräsenz im Unterricht (Kinder zu Hause, in Klinik, Reha, . . .)?
- Welche Wirkung erzielt ein humanoider Roboter im Vergleich zu anderen Telepräsenz-Lösungen?
- Wie kann Telepräsenz im Kontext von Schulabsentismus oder Return To School-Prozessen im Zusammenhang mit Krankheiten eingesetzt werden?
- Wie beeinflusst die Assistenzrobotik die schulische Unterrichtssituation (Unterricht, Beziehungen, Technik)?
- Welche Probleme und Schwierigkeiten treten auf und wie können diese bewältigt werden?

Fragen zur Interaktionsgestaltung (in Anlehnung an Belpaeme et al. 2017)

- Welche Rolle soll der Roboter übernehmen (tutor, peer, friend) und wie wird er den Kindern vorgestellt? (Abbau von Ängsten)
- Wie wird verhindert, dass Kinder dem Roboter Schaden zufügen?
- Wie ist die Interaktion zwischen Kind und Roboter zu gestalten?
- Input: Welche Interaktionsmodalitäten stehen den Kindern zur Verfügung? Können die Kinder den Roboter über das Tablet bedienen? Kann der Roboter die Kinder „sehen“ und „hören“? Reagiert er auf Berührungen?
- Verbaler Output: Wie soll der Roboter mit den Kindern sprechen? Wie soll er Feedback formulieren (z.B., wenn die Kinder nicht aufpassen)? Wie kommuniziert der Roboter, dass er „zuhört“?
- Non-verbaler Output: z.B. Welche Distanz soll der Roboter zum Kind einhalten? Wie reagiert er auf Berührungen durch das Kind? Verwendet der Roboter Gesten/Posen? Sollen die LEDs und das Tablet des Roboters eingesetzt werden?

Als Zielgruppe werden zunächst Primärschülerinnen und Primärschüler (ca. 3. bzw. 4. Klasse) adressiert; die Eignung dieser Zielgruppe gilt es aber in den ersten Arbeitspaketen zu erarbeiten bzw. zu bestätigen. In jedem Fall soll eine inklusive Schulsituation in den Fokus genommen werden (keine reine Förderschule). Dabei sind die Passung des robotischen Assistenzsystems und die damit einhergehenden Unterstützungsmöglichkeiten mit den individuellen Bedarfen der Kinder abzugleichen, um eine angemessene Kind-Roboter-Interaktion zu gestalten.

Im Rahmen des **Modellvorhabens Assistenzrobotik in der Therapie bzw. Förderung von Kindern mit frühkindlichem Autismus** werden folgende Teilziele zur Verbesserung der Therapie / Förderung angestrebt:

- Einsatz und nutzerorientierte Weiterentwicklung des Roboters Pepper zur Förderung kommunikativer Fähigkeiten sowie Alltagskompetenzen bei Kindern mit Autismus mit dem Ziel, sowohl die Entwicklung des Kindes als auch die Interaktion im Rahmen der Therapie zu verbessern
- Einbettung der robotischen Lösung in ein Therapiemanagementsystem zur Unterstützung der Therapiepraxis sowie den Therapieprozessen durch ein digitales Therapiemanagement und einer webbasierten Schulung und Begleitung der Therapeuten
- Einbettung eines Abbildes des anthropomorphen Robotersystems in die virtuelle Realität zur explorativen Untersuchung von graduellen sich ändernden Szenarien, um diese auf zukünftige Robotersysteme übertragen zu können
- Umsetzung eines AI-Softwareframework zur kontinuierlichen Analyse und Klassifikation des Gemütszustandes und des kognitiven Trainings sowie zur Gestaltung natürlicher Interaktionen
- Erarbeitung und Anwendung von Methoden und Metriken zur Quantifizierung der Wirksamkeit als auch zur Bewertung von ELSI-Aspekten

Folgende Forschungsfragen werden adressiert:

- Wie verändert sich die Akzeptanz der Angehörigen/ des therapeutischen Teams vor und nach dem Einsatz des robotischen Systems?
- Wie ist die Akzeptanz der Kinder? Kann das Stresslevel des Kindes in der Interaktion mit dem robotischen System reduziert werden?

- Hat der Einsatz des robotischen Systems Auswirkungen auf die Lebenszufriedenheit der engen Angehörigen und Begleitpersonen? Kann der Einsatz des robotischen System das Belastungsniveau des therapeutischen Teams senken?
- Kann durch den Einsatz des robotischen Systems das sprachliche Repertoire des Kindes erweitert werden? Kann der Roboter Bedürfnisäußerungen aufgreifen und entsprechende Prompts liefern, um die Verbalisierung der Bedürfnisse zu unterstützen? Können mit Hilfe der robotischen Lösung soziale Interaktionsfähigkeiten aufgebaut werden?
- Ist der Roboter im Fördersetting als Assistent einsetzbar und in der Lage im Discrete Trial Training Instruktionen zu erteilen und entsprechende Prompts zu liefern (z.B. beim Erwerb feinmotorischer Fähigkeiten)?
- Können Alltagshandlungen durch die Assistenz des Roboters unterstützt werden?
- Ist der Roboter auch bei der Entwicklung und Förderung zentraler (vor-)schulischer Kompetenzen wie Fein- und Grobmotorik, Kategorisierung und Handlungsplanung einsetzbar?
- Welchen Einfluss hat die Technik auf die Betroffenen, ihre Angehörigen und deren Alltag? Dies umfasst insbesondere den Aspekt des individuellen Krankheitsmanagements, also wie der Robotikeinsatz den Umgang und die Bewältigung der Krankheit, sowohl aus Sicht der Kinder als auch deren direkter Bezugspersonen, wie z.B. die Eltern und das familiäre System, verändert.

Zur Evaluation werden standardisierte Instrumente der Förder- und Belastungsdiagnostik wie des PEP (Schopler), der Child Behaviour Check List oder auch der elterlichen Belastungsmessung mit dem Parental Stress Index sowie zusätzlicher qualitativer Instrumente eingesetzt. Parallel wird der Aufwand an Fach- und Assistenzpersonal in der Pilotphase sowie unter Einsatzbedingungen gemessen. Der Einsatz des robotischen Systems soll an Kindern (15-30 Kinder) mit frühkindlichem Autismus im Vorschul- und Grundschulalter getestet werden. Teilnehmen können Kinder, die ehemalige oder aktuelle Teilnehmer des Münsteraner Intensivprogramms für Kinder mit ASS der FH Münster sind oder sich in der Förderung durch kooperierende Institutionen befinden. Im Vorfeld wird eine Anforderungsanalyse durchgeführt, um die Zielgruppe einzugrenzen, und nutzerorientierte Anforderungen abzuleiten. Des Weiteren werden Datenschutz- und Datensicherheitsanforderungen erhoben, sowie ethische und Risikofaktoren analysiert, um die Patientensicherheit als oberste Priorität zu gewähren.

Das robotische System wird zunächst unter Laborbedingungen getestet, um Daten zu erheben, Verhaltensmuster zu erkennen, das System entsprechend zu justieren und validieren zu können. Folgende Parameter werden durch qualitative Befragungen und quantitative Messungen im Prä-Post-Vergleich erfasst:

- Qualitative Erfassung des Stress- und Belastungsniveaus der Angehörigen
- Qualitative Erfassung der Nutzerakzeptanz des robotischen Systems der Angehörigen und des Therapeutenteams
- Erfassung der Lebenszufriedenheit der Angehörigen
- Quantitative Erfassung des Stressniveaus des Kindes in Lernsituationen und in Ruhesituationen
- Aktuelles Entwicklungsniveau des Kindes in Zielbereichen: feinmotorische Fähigkeiten, Alltagskompetenzen, sprachlicher Bereich mit dem PEP und der CBCL
- Erfassung des Sprachniveaus: quantitative Messung der spontanen Bedürfnisäusserungen

Im Sinne der Bedarfs- und Machbarkeitsanalyse gilt es im **Modellvorhaben Assistenzrobotik als Therapiebegleiter oder –kollaborator in der neurologischen Rehabilitation** folgende Fragen zu beantworten und die dazu notwendigen Partner im Sinne des Kompetenzzentrums zusammenzubringen. Dabei sollen folgende funktionalen Aspekte betrachtet werden: Kinematisches und kinetischen Bewegungskonzept, Rolle der Bewegungsvorgabe und Korrektur, Rolle und Möglichkeit des (Neuro-)Feedbacks für das Bewegungslernen. Desweiteren sind folgende Fragen zum Therapiesetting zu klären: Möglichkeiten zur Datenauswertung und selbstständigen Anpassung, Motivationsunterstützung & Gamification, Enabler für selbstständiges Üben, Bedienbarkeit und Betreuungsaufwand. Weitere Aspekte, die eine Rolle spielen sind die Einbindung in den Versorgungsprozess sowie die Rolle der Akteure. Im Ergebnis soll auf Basis dieser Bedarfs- und Machbarkeitsanalyse ein Impuls für zukünftige Entwicklungen gegeben werden, damit im Sinne des Kompetenzzentrums nicht nur vorhandene robotische Systeme in die Anwendung kommen, sondern auch aus der Anwendung Entwicklungsimpulse hervorgehen.

12.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

12.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Durch den gewählten Lösungsansatz des Kompetenzzentrums mit der Umsetzung der BSC-Methode sowie den zu realisierenden Verbund von Partner und deren Kompetenzen bestehen sehr gute Erfolgsaussichten, dass die beteiligten Partner ihr Know-how substantiell erweitern und die Ergebnisse in ihren Bereichen erfolgreich verwerten können. Dies umfasst u.a.:

- Für die wiss. Partner: Evaluierete und ggf. standardisierte Methoden der anwendungsbezogenen Roboterforschung durch fundierte und praxisnahe Erarbeitung, Evaluation und Verbesserung von Methoden (Best Practices) für weitere Vorhaben.
- Für die Anwendungspartner: Die Nutzung robotischer Systeme mit positiven Auswirkungen auf die Lebensqualität, die familiären Systeme (Mensch-Mensch-Interaktion), auf die soziale Teilhabe, auf die Gesundheitsversorgung und auf die Prozesse von Leistungserbringern.
- Für Industriellen und technischen Entwicklungspartner: Know-how und Best-practise Erfahrungen zur Implementation robotischer Systeme in die spezifische, zielgruppenorientierte Anwendungsdomäne.

Aufgrund der Aufwendungsorientierung sind die Ergebnisse nicht auf proprietäre Lösungen oder exklusives Know-how ausgelegt, sondern sollen durch entsprechende wissenschaftliche Publikationen, zielgruppenorientierte Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichungen von Handlungsleitfäden und best-practise Modellen verbreitet werden. Damit kann über die konkret eingebundenen Partner hinaus insgesamt eine breite Nutzung der Ergebnisse erfolgen:

- Zur Förderung der Akzeptanz von Assistenzrobotik in der gewählten Domäne
- Zur Verbesserung der Interaktionsforschung: Akzeptanz / Wirksamkeit von Interaktionsmustern, adaptive situationssensitive Interaktionsmodelle
- Zur Erfassung der Nutzerbedarfe und spezifischen Anforderungen.

Wirtschaftliche Erfolgsaussicht für Entrance Robotics

Die Wirkung des FuE-Projekts „ROBO:REHKIDS“ wird für die ENTRANCE Robotics GmbH einen neuen Meilenstein in Bezug auf die Innovationskompetenz des Unternehmens im Bereich Inklusion darstellen. ENTRANCE ist durch die Softwareplattform „Robot.Care“ bereits führend im Bereich humanoide Robotik für die Interaktion / unterstützende Betreuung von Senioren in der Tagespflege und auf geriatrischen Stationen. Diese neue, forschungsinduzierte Entwicklung bedeutet eine klare Ausweitung der erprobten Firmenexpertise von Software in Kombination mit assistierender Robotik auf den Bereich Inklusion und wird grundlegende Assistenzsysteme ermöglichen, die durch die wissenschaftlichen Nachweis Ihren Mehrwert für alle Einrichtungen beweisen werden, die aktiv Menschen mit Behinderungen Arbeits-, Ausbildungs- oder Betreuungsmöglichkeiten bieten.

Durch die neuartige Kombination von Assistenzrobotik mit den erfolgreich erprobten Plattformen für die autonome Unterstützung / Selbstermächtigung von Menschen mit Behinderungen aller Altersgruppen, wird ein komplett neuer Service-Markt erschlossen. Das gesamte Projekt-Knowhow wird an deutschen Standorten gebündelt und eine langfristige Wertschöpfung für den Deutschen Standort wird gesichert. Die Wettbewerbsfähigkeit von ENTRANCE wird durch dieses Projekt, besonders unter Berücksichtigung der wachsenden europäischen Konkurrenz im Bereich digital Care und Inclusion gestärkt.

Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Technologie- und Wissenstransfer: Durch die Entwicklung und die Evaluation des Mehrwerts von robotischen Assistenzsystemen für Kinder und Jugendliche mit Einschränkungen kommt es zu direkten, langfristigen Synergien aller Projektbeteiligten aus dem Bereich Privatwirtschaft, Hochschulforschung und Instanzen des Arbeits- und Bildungsmarktes. Das initiale Partnernetzwerk entfacht auf der Projektebene ein Mikronetzwerk, welches sukzessiv Technologietransfer in das eigenständige Netzwerk jedes Projektpartners tragen wird. Jede Disziplin / Einzeltechnologie, die hier für das Komplettsystem kombiniert wird, wird durch diese interdisziplinäre Arbeitsweise aufgewertet und kann modular auf andere Use Cases mit einem Mehrwert aus der Projektphase übertragen werden.

Projektbezogene Wirkungen	Jahr 1 (2024)	Jahr 2 (2025)	Jahr 3 (2026)
Erwartete projektbezogene Umsätze (pro Jahr)			
Posten Zusammensetzung	10 x Komplettsysteme (Hardware + Software + Lizenzen 2Y)	20 x Komplettsysteme (Hardware + Software + Lizenzen 2Y)	100 x Komplettsysteme (Hardware + Software + Lizenzen 2Y) 80-100 x Folge-lizenzen (10.000 € / Jahr / System)
Beschreibungen	Roboter Plattform Pepper + modulare Software Plattform für die Unterstützung im Bereich Inklusion Komplettsystem von Hardware und Software. Optimiertes Modulpaket für die Interaktion mit Menschen mit Behinderungen.	Roboter Plattform Pepper + modulare Software Plattform für die Unterstützung im Bereich Inklusion Komplettsystem von Hardware und Software. Optimiertes Modulpaket für die Interaktion mit Menschen mit Behinderungen.	Roboter Plattform Pepper + modulare Software Plattform für die Unterstützung im Bereich Inklusion Komplettsystem von Hardware und Software. Optimiertes Modulpaket für die Interaktion mit Menschen mit Behinderungen.
Betrag (Summe)	350.000 €	700.000 €	3.500.000 €
Erwartete Einstellung neuer Mitarbeiter infolge des Projekts (pro Jahr)			
Ausblick	1 x Full-Stack Developer (Vollzeit) 1 x Customer Care Manager (Teilzeit)	2 x System-Administratoren (Vollzeit) für System Maintenance und Administration 2 x Project Manager (Vollzeit)	2 x Full-Stack Developer (Vollzeit) Für die sukzessive Weiterentwicklung des Systems

Tabelle 12.1: Projektbezogene Wirkung

Außerdem ist durch diese Leittechnologie, ein potenziell maßgeblicher Faktor für eine wirtschaftliche Führungsrolle des Projektteams auf dem deutschen Markt, da wir hier ein neuartiges, autonomes Assistenzsystem etablieren, welches für alle Altersgruppen und alle Zielgruppen von Menschen mit Behinderungen adaptiert werden kann. Langfristig wird diese Vorreiterrolle zu Kooperationsprojekten mit anderen europäischen Nachbarländern führen, in welchen Teilbereiche der erarbeiteten Technologiekompetenzen genutzt werden.

Weitere Zielmärkte / Branchen: Außerhalb des anvisierten Marktes bietet dieses Projekt die Möglichkeit einer Adaption des Systems auf alle Branchen, welche eine direkte Mensch-Maschine-Interaktion ermöglichen bzw. begünstigen. Mögliche Branchen sind: Handel, Tourismus & Gastronomie, Marketing & Nutzung durch öffentliche Einrichtungen. Der automatisierte Service, welcher für Menschen mit Behinderungen optimiert ist, entlastet auf einer breiten Fläche die vorhandenen Arbeitskräfte und schafft für alle Beteiligten eine neue Datengrundlage, mit welcher der Service an jedem Standort optimiert bzw. transformiert werden kann. So wird langfristig in vielen Alltags und Wirtschaftsbereichen Service-Robotik auch Barrierefreiheit fördern und

signifikant die Möglichkeiten im Alltag für Menschen mit Behinderungen verändern.

12.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Der Ansatz für das Kompetenzzentrum ist konsequent multiperspektivisch angelegt und setzt auf einen Verbund von Partnern. Grundsätzlich sollen die Expertisen bei den Akteuren bleiben: d.h. die Forschungstätigkeiten sollen weiter durch die wissenschaftlichen Partner ausgeführt werden, ein Vertrieb von Produkten und Dienstleistungen ist im Interesse der Industriepartner, usw. Dadurch sollen und können die jeweiligen Expertisen der Partner bestmöglich eingebracht werden und es ist kein aufwendiger Aufbau von personellen und materiellen Ressourcen in einer zentralen Struktur notwendig. Auf diese Weise ist das Kompetenzzentrum gut skalierbar und erforderliche Kompetenzen können projektbezogen und flexibel eingebunden werden, ohne Leistungsangebote und Kompetenzen aufwendig vorzuhalten. Mit Hilfe der Modellvorhaben wird die Zusammenarbeit eingeübt und etabliert. Ebenso werden entsprechende Referenzen für ein gebündeltes Leistungsangebot des Kompetenzzentrums geschaffen. Dies soll zur Akquise neuer (öffentlich und privatwirtschaftlich finanzierter) Vorhaben genutzt werden und zur Verstetigung des Zentrums beitragen.

Den Vorteilen der verteilt einzubringenden Kompetenzen stehen die Herausforderungen gegenüber, eine effiziente und operativ leistungsfähige Struktur für die Zusammenarbeit umzusetzen sowie das gebündelte Angebot von Leistungen nach außen bzw. an externe Partner überzeugend darzustellen. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist in der Aufbauphase der Förderung eine gewisse räumliche Fokussierung der Partner (Schwerpunkt Ruhrgebiet bzw. NRW) vorgesehen, um die Effizienz bei der Zusammenarbeit zu erleichtern. In diesem Kontext kann auch eine Anlehnung an die bestehende Netzwerkstruktur des MedEcon Ruhr e.V. erfolgen und die aufgebauten thematischen Schwerpunktsetzungen im Bereich der Kinder- und Jugendgesundheit sowie der Initiative NervenSinneTechnik eine gute Ausgangsbasis bilden.

Auf diesen Vorüberlegungen basiert die Ausgestaltung der für die Verstetigung wichtigen Organisationsform und der inhaltlichen Tätigkeiten bzw. Angebote des Kompetenzzentrums.

Organisationsform des Kompetenzzentrum

Ausgangspunkt für die Organisationsstruktur ist der Gedanke der dargestellten kooperativen Struktur. Mit Beginn der Umsetzung wird zunächst nur eine “in-house” Struktur realisiert, d.h. die Konsortialbildung mit entsprechendem Kooperationsvertrag. Das ISST wird die Leitung und Organisation des Konsortiums übernehmen und bei der weiteren Umsetzung der Strukturen von der MedEcon Ruhr GmbH unterstützt. Mit der weiteren strategischen Ausgestaltung und inhaltlichen Ausdifferenzierung ist dann die Gründung einer Vereinsstruktur geplant (ca. Ende des zweiten Laufzeitjahres). Die Form eines Vereins stellt eine organisatorisch vergleichsweise einfach umzusetzende eigenständige Rechtsform dar, ermöglicht aber ein eigenständiges Agieren und den gemeinsamen Außenauftritt. Gleichzeitig bildet der Verein die Idee der kooperativen Umsetzung und eines demokratischen Verständnisses mit Stimmrechten ab. Eine Satzung kann entsprechend der Erfordernisse ausgestaltet werden. Der Verein kann seitens der Organisationsstruktur schlank gehalten werden. Die Geschäftsbesorgung des Vereins kann von der MedEcon Ruhr GmbH übernommen werden, die solche Grundfunktionalitäten bereits für den eigenen Verein (MedEcon Ruhr e.V.) sowie weitere Initiativen übernimmt. Die Vereinsstruktur ist offen für neue Mitglieder; damit soll auch eine Neutralität gegenüber einzelnen gewerblichen Anbietern gewahrt werden. In seiner Grundkonfiguration engagieren sich die Mitglieder für den Verein und ziehen aber auch gleichzeitig etwas aus der gemeinsamen Vereinsarbeit. Das gemeinsame Initiieren von Projekten, die gemeinsame Außendarstellung, die Entwicklung von Methoden sowie auch gemeinsame Veranstaltungen und ggf. auch der Showroom / -truck lassen sich so verstetigen. Mit der Etablierung eines gemeinschaftlichen Leistungsangebot an externe Partner (zur Entwicklung oder Implementierung von Robotik in der Anwendungsdomäne) wird sich zeigen, ob die Organisationsform des Kompetenzzentrums weiterentwickelt werden muss. Bei verstärkter externer Nachfrage (und Kaufkraft) von außen, sind auch Organisationsformen einer (gemeinnützigen) GmbH oder einer genossenschaftlichen Struktur denkbar. Insbesondere Letztere bietet eine interessante Option, die oben dargestellte Idee der Kooperative mit der Leistungserbringung “nach innen und nach außen” zu verbinden. So könnten sowohl die Anbieter von Robotik als auch die anwenderseitigen Nachfrager gemeinsam vom Kompetenzzentrum und seiner Innovationsfähigkeit profitieren. Als Zeithorizont hierfür ist Jahr 4 oder 5 anzusetzen.

Inhaltliche Tätigkeitsschwerpunkte und Angebote

Die Tätigkeiten des Kompetenzzentrums sind in folgende Bereiche zu untergliedern. Dabei ist aus wirtschaftlicher Perspektive zu unterscheiden, welche Tätigkeiten unmittelbar durch den Verein selbst und welche durch die Mitglieder ausgeführt werden. In den ersten Jahren nach der Gründung des Vereins wird die unmittelbare Tätigkeit durch die Geschäftsstelle des Vereins sehr geringgehalten. Mit der weiteren Etablierung und einer Nachfrage von außen ist auch der Ausbau eigener Tätigkeit geplant.

Bereich	Tätigkeit	durch Verein selbst
Forschung & Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Initiierung von Projekten • Begleitung von Projekten 	Initial: <ul style="list-style-type: none"> • Konsortialbildung • Scouting von Förderprogrammen Perspektivisch: <ul style="list-style-type: none"> • Projektmanagement
Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Methodenwerkzeuge (Auswahl Systeme und Betriebsmodell, Interaktionsmodellierung, Anforderungscheckliste, Framework für Versorgungskonzepte . . .), Best Practices 	Initial: <ul style="list-style-type: none"> • Moderationsprozess Perspektivisch: <ul style="list-style-type: none"> • Gesamtreaktion von Whitepapern, Leitfäden und Vorschlägen von Standards
Dienstleistungen	<ul style="list-style-type: none"> • Implementierungs-unterstützung • Erstellung von Analysen / Expertisen, Assessments (z. B. zur BSC-Methode) • Schulungsangebote mit Nutzung des Showrooms 	Initial: <ul style="list-style-type: none"> • Anbahnung und Management (Weiterleitung) entsprechender Angebote Perspektivisch: <ul style="list-style-type: none"> • Bei hoher Nachfrage: eigene Beratungstätigkeit • Erstellung von Schulungskonzepten
Netzwerk	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung des Netzwerks • Durchführung von Netzwerkveranstaltungen zum Austausch 	<ul style="list-style-type: none"> • Betrieb einer Geschäftsstelle
Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung des Showrooms / Showtrucks 	Initial: <ul style="list-style-type: none"> • Organisation von Events Perspektivisch: <ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung des Show Cases durch technische und gewerbliche Partner • Ausbau zu Messe- oder Konferenztätigkeiten

Tabelle 12.2: Tätigkeitsschwerpunkte

12.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

12.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Das **ISST** hat eine führende Position in der Erforschung von sich verändernden Interaktionen zwischen Innovationen u. Menschen (Human-Innovation-Interaction) (Meister et al. 2018). Technologie ist eine Form der Innovation und so erforscht das ISST im Teilbereich der MTI in der Förderlinie “Technik zum Menschen bringen” mit EPItect, PCompanion oder MightyU das sich verändernde Interaktionsverhalten zwischen KI-affinen Systemen und den Anwendenden (Houta et al. 2019, Bisgin et al. 2019). Die Projekte beziehen Kinder und Jugendliche mit ein und zeigen, dass z.B. Fragen der Interaktion unter Einsatz von schwacher KI im Zusammenspiel mit Technologie anders als bei Erwachsenen beantwortet werden müssen (Hellwig et al. 2019). Robotik muss zudem auf verschiedene Modalitäten reagieren können. Ins-besondere Sprache, wie sie bei ChatBots oder Sprachassistenten genutzt wird, ist Teil der Forschung am ISST und eine essentielle Brücke bei Nutzenden mit motorischen Einschränkungen (Hellwig et al. 2018). Darüber hinaus ist ein weiterer Forschungszweig die Umsetzung von standardisierten und sicherten Datenaustauschinfrastrukturen. In Rahmen von verschiedenen Projekten (SMITH, MOND, EPItect, EFA, . . .) konzipiert das ISST Nutzern zentrierte Architekturen und will mit der Vernetzung von datenzentrierten Anwendungen Versorgungsprozesse auch mit Einbezug von Systemen (Sensorik, VR-Brillen, Robotik, ..) im Sinne des Anwenders und der Prozess-/Versorgungsgüte umsetzen. Künstliche Intelligenz spielt in verschiedenen Projekten eine Rolle. Während im Projekt EPItect und MOND die Anfallserkennung von Patienten mit Epilepsie adressiert wird, steht im Projekt digitaler Engel die Stresserkennung bei Pflegekräften im Fokus. Um das Kompetenzzentrum im Sinne eines Innovationssystems für Human-Innovation-Interaction umzusetzen, bezieht das ISST zu seiner bestehenden technischen Kompetenz Partner aus dem sozialwissenschaftlichen, ethischen sowie versorgungsbezogenen Umfeld mit ein. Erfahrung in der Umsetzung solcher Vernetzungsstrukturen hat das ISST zudem aufgrund seiner leitenden Funktion im Fraunhofer inHaus Innovationszentrum für Health & Care mit über 70 Partnern. Das ISST hat zudem erfolgreich Vereinsgründungen aus Projektinitiativen mit begleitet und maßgeblich zum Erfolg beigetragen (Beispiele: Verein Elektronische Fallakte e.V.,

International Data Spaces IDS Verein). Die Kinder- und Jugendgesundheit gehört seit einigen Jahren zu den großen Schwerpunkten von **MedEcon** Ruhr. Damit werden akute Problemlagen, vor allem aber künftige Lebensläufe der nachwachsenden Generation in den Blick genommen – an der Ruhr unter dem Motto „GESUND AUFWACHSEN IM REVIER_i“, aber auch darüber hinaus. Neben der Verbesserung der Kooperationen der Kinder- und Jugendkliniken, ist es das Ziel, die Medizin mit sozialer Teilhabe und biografischer Dimension zu verschränken. Daher werden ärztliche und andere Heilberufe bis hin zu sozialen und pädagogischen Professionen erfolgreich miteinander verknüpft (www.gesund-aufwachsen.ruhr; www.mekids-best.de). Das hier adressierte Themenfeld befindet sich zudem direkt an der Schnittstelle zu einem weiteren Schwerpunkt: „NervenSinneTechnik“. Hier geht es darum, Akteurskonstellationen und Projekte im Bereich neurogener bzw. nervlich bedingte Störungen sensomotorischer, sensorischer, kognitiver und affektiver Fähigkeiten durch MTI voranzutreiben. Auch in diesem noch jüngeren Themenschwerpunkt sind erste Erfolge in der Netzbildung zu verzeichnen, die spezifisch mit dem CC ausgebaut werden sollen. MedEcon Ruhr GmbH bringt ein einzigartiges Anwendernetzwerk, welches sowohl Kinder- und Jugendkliniken als auch Akteure im Bereich nervlich bedingter Störungen umfasst, mit Prof. Dr. Ioannis Iossifidis von der **Hochschule Ruhr West** entwickelt seit über 20 Jahren biologisch inspirierte, anthropomorphe, autonome Robotersysteme, die zugleich Teil und Ergebnis seiner Forschung im Bereich der rechnergestützten Neurowissenschaften sind. In diesem Rahmen entwickelte er Modelle zur Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn und wendete diese auf technische Systeme an. Ausgewiesene Schwerpunkte seiner wissenschaftlichen Arbeit der letzten Jahre sind die Modellierung menschlicher Armbewegungen, der Entwurf von sogenannten «Simulierten Realitäten» zur Simulation und Evaluation der Interaktionen zwischen Menschen, Maschine und Umwelt sowie die Entwicklung von kortikalen exoprothetischen Komponenten. Entwicklung der Theorie und Anwendung von Algorithmen des maschinellen Lernens, auf Basis tiefer neuronaler Architekturen, bilden das Querschnittsthema seiner Forschung. Im Rahmen der aktuellen Forschungsprojekte VAFES und REXO entwickelt Iossifidis auf Basis eines KI-Decoders für Biosignale ein Diagnose- und Rehabilitationssystem für Parkinson- und Schlaganfallpatienten, welches eigens entwickelte exoprothetische Komponenten zur Kompensation von Armdysfunktionen und Tremores einsetzt.

Literatur zur Forschung: Iossifidis (2014), Raño and Iossifidis (2013), Noth and Iossifidis (2011), Sandamirskaya et al. (2010). Ioannis Iossifidis' Forschung wurde u.a. mit Fördermitteln im Rahmen großer Förderprojekte des BmBF (NEUROS, MORPHA, LOKI, DESIRE, Bernstein Fokus: Neuronale Grundlagen des Lernens etc.), der DFG («Motor-parietal cortical neuroprosthesis with somatosensory feedback for restoring hand and arm functions in tetraplegic patients») und der EU (Neural Dynamics - EU (STREP), EUCogII, EUCogIII) honoriert und gehört zu den Gewinnern der Leitmarkt Wettbewerbe Gesundheit.NRW und IKT.NRW 2019. Neben der klassischen Industrierobotik nehmen Assistenzroboter am **Lehrstuhl für Produktionssysteme** (LPS) eine immer größer werdende Rolle ein. Der LPS und Prof. Kuhlenkötter haben verschiedene Vorarbeiten im Bereich der medizinischen Assistenzrobotik: Im Projekt Challenger wurde ein robotergestützter Therapieplatz entwickelt, der verschiedene Komponenten aus der Automatisierungs- und Informationstechnik sowohl in Hard- als auch in Software integriert. Unter neuropsychologischer Aufsicht wurde dieser Therapieplatz mit gesunden Probanden und Patienten erprobt. Der entwickelte Therapieplatz setzt sich aus einem MRK-Roboter, einem Therapie-PC und verschiedener Peripherie zusammen. Zur Steuerung des gesamten Therapieablaufs durch den Therapeuten wurde eine Softwareapplikation entwickelt, die die Funktionalitäten des Roboters und die Therapigestaltung und -auswertung integriert. Mit Hilfe dieser Applikation können verschiedene Übungstypen parametrisiert und ausgeführt werden. Zur Dokumentation des Therapieverlaufs und Bewertung des Therapiefortschritts werden zum einen die 3D-Trajektorie des Arms des Patienten und zum anderen die Reaktions- und Bewegungszeit des Patienten während jeder einzelnen Übung erfasst und aufgezeichnet (Domrös et al. 2013). Im Projekt IRBAN wurde der Bewegungsablauf der Hippotherapie auf ein leichtes und kompaktes Therapiegerät übertragen. Dadurch kann ein repetitives Bewegungstraining mit validen reproduzierbaren Bewegungsabläufen ermöglicht werden. Zudem wird durch die Geräteführung die Ergonomie des behandelnden Therapeuten entlastet (Klockner and Kuhlenkötter 2016, Klockner et al. 2018). Der LPS hat im Rahmen diverser Projekte Roboter als Bestandteil von Demonstratorzellen und Filmsetzen implementiert. Realisierte Demonstratoren sind beispielsweise für die Firma ABB für die Hannovermesse entwickelt worden, oder im Projekt SilentMod wurden insbesondere junge Menschen dazu animiert, den Kölner Dom parallel zur Gamescom zu besuchen und neu zu entdecken. Eine multisensorische Installation mit Robotern

und Musikaufführungen im und am Dom sowie eine robotergesteuerte Lasershow sorgten für ein einzigartiges Event im Kölner Dom. Im Rahmen des ZDF-Films „The new Malocher“ wurde ein Roboter implementiert, der in einem Automobilunternehmen arbeitslos geworden und der sich im Ruhrgebiet auf die Suche nach neuer Arbeit macht - und Freunde findet.

Prof. Dr. Laura Hoffmann, Juniorprofessorin für **Human Centered Design für sozio-digitale Systeme an der Ruhr-Universität Bochum**, verfügt über mehr als 10 Jahre Erfahrung in der empirischen Erforschung der psychologischen Wirkungen von Mensch-Roboter-Interaktionen (Krämer et al. 2015), z.B. wie sich Berührung zwischen Menschen und Robotern auswirkt (Hoffmann and Krämer 2021), oder ob Menschen Empathie gegenüber einem Roboter empfinden können (Rosenthal-Von Der Pütten et al. 2014). Ihre Forschung folgt einem mixed-methods Ansatz, der qualitative und quantitative Methoden vereint, die sowohl im Labor (z.B. Hoffmann and Krämer 2021), online (z.B. Hoffmann et al. 2018), als auch im Feld (z.B. Vogt et al. 2019, Schodde et al. 2017) Anwendung finden. Durch ihre interdisziplinäre Ausbildung in den Bereichen Psychologie und Informatik, sowie mehrjährige Arbeit in interdisziplinären Forschungsprojekten (z.B. EU Horizon 2020 Projekte: L2TOR, <http://www.l2tor.eu> und BabyRobot: <https://babyrobot.eu>), ist sie geschult in der Zusammenarbeit in (internationalen) interdisziplinären Teams. Die kindgerechte Gestaltung und Evaluation von Kind-Roboter-Interaktionen bilden dabei einen Schwerpunkt ihrer Forschungsarbeiten. Im Rahmen des EU-Projektes L2TOR: „Second Language Tutoring using Social Robots“ arbeitete sie beispielsweise an der Entwicklung und Evaluation von Lösungen, um das Sprachlernen von Kindern zu fördern. Ein Unterziel des Projektes betraf die Entwicklung maschineller Lernansätze, um die Interaktionsgestaltung über die Zeit hinweg an das jeweilige Kind anzupassen. Hierzu entwickelte Frau Prof. Dr. Hoffmann auf Basis von Experteninterviews ein Schema zur Kategorisierung des Verhaltens von Kindern im Umgang mit einem Roboter, wie auch Interventionsstrategien, die der Roboter einsetzen kann, wenn das Kind Anzeichen von Abgelenktheit zeigt (Schodde et al. 2017). Innerhalb desselben Projektes arbeitete sie mit an einem Leitfaden zur Gestaltung von sozialen Robotern für den Umgang mit Kindern im Lernkontext (Belpaeme et al. 2018). Darüber hinaus forscht Frau Prof. Dr. Hoffmann zusammen mit Kolleg:innen der Hochschule Ruhr West und dem Verein Leben in

Vielfalt e.V. im Rahmen des Projektes IncluBot (<http://inclubot.positive-computing.de>) an neuen Ansätzen für den Einsatz sozialer Roboter in inklusiven Kindertagesstätten. Die beispielhaft dargestellten Arbeiten sowie ihre einschlägigen Publikationen in internationalen Zeitschriften und Proceedings mit peer-review (z.B. IEEE, ACM) verdeutlichen ihren hohen wissenschaftlichen Anspruch und ihre besondere Passung zum Projekt ROBO:REHKIDS.

HSG: Nach einer praktischen Tätigkeit als beratender Psychologe, Leiter einer therapeutischen Abteilung und als stellvertretender Einrichtungsleiter in Einrichtungen der Behindertenhilfe (Schule, Wohnen, Arbeit) ist Herr Prof. Dr. Walter-Klose seit 2010 im Hochschulbereich tätig. Er lehrte und forschte bis zum Jahr 2018 am Lehrstuhl für Körperbehindertenpädagogik, Prof. Dr. Lelgemann, an der Universität Würzburg. Im Sommersemester 2018 vertrat Herr Walter-Klose den Lehrstuhl für Förderpädagogik im Schwerpunkt körperlich-motorische Entwicklung an der Universität Leipzig. Den Ruf auf die Professur „Behinderung und Inklusion“ an die Hochschule für Gesundheit, Bochum, nahm er zum Wintersemester 2018 an. An der HS Gesundheit lehrt er in den Studiengängen Gesundheit und Diversity (BA), Gesundheit und Diversity in der Arbeit (MA), Gesundheit und Sozialraum (BA) sowie Gesundheitsdaten und Digitalisierung (BA). Inhaltlich befasst er sich mit Fragen der Teilhabe von Menschen mit Beeinträchtigung und chronischen Krankheiten in schulischen und außerschulischen Lebensbereichen, wobei er einen Schwerpunkt auf die Gestaltung sozialer Systeme und den Einbezug von Unterstützungsstrukturen (Beratung, Hilfsmittel) legt. Sein Modell zur Qualität inklusiver Angebote publizierte er jüngst mit Blick auf Gelingensbedingungen zur Förderung des sozialen Miteinanders (Walter-Klose 2021). Herr Prof. Dr. Walter-Klose engagiert sich seit seiner Hochschultätigkeit im Kontext Inklusion. Beginnend mit einer Perspektive auf die schulische Bildung (Walter-Klose 2012; prämiert mit dem Deutschen Studienpreis 2013), forschte er im Team von Prof. Dr. Lelgemann zu Gelingensbedingungen schulischer Bildung in NRW (Lelgemann et al. 2012). Er arbeitete in diversen Forschungsprojekten zur schulischen Inklusion in Bayern mit (vgl. Lelgemann et al. 2014, Walter-Klose et al. 2016) und begleitete Schulen auf ihrem Inklusionsprozess (vgl. Walter-Klose 2017; derzeit auch im Projekt „EXTRA!-Klasse“ der Bezirksregierung Münster). Ein Projekt zur Entwicklung von Lernszenarien zur Förderung von Inklusion und Teilhabe unter Einbezug von Methoden

der Augmented und Virtual Reality ist in der ersten Projektphase abgeschlossen ebenso wie seine Forschungsarbeit zum Aufbau von Assistenz- und Unterstützungsstrukturen für Menschen mit Dysmelie und Conterganschädigung. Ein Überblick über eine Auswahl relevanter Forschungsaktivitäten und Publikationen ist im Anhang ersichtlich.

FHM: Die **Fachhochschule Münster, Forschungsstelle Autismus am FB Sozialwesen**, beschäftigt sich seit über 10 Jahren mit dem Themenfeld Autismus-Spektrum-Störungen und hat unter anderem in dem Leonardo-Projekt “Science and the treatment of autism: a multimedia program for parents and professionals STAMPPP” (2008-2010) und dem Erasmus+-Projekt “Job Coaches for Persons with Disabilities” (2015-2018) mitgewirkt. Darüber hinaus wurden und werden u.a. Untersuchungen zu Langzeitverläufen von Personen mit ASS und zum Belastungserleben der Angehörigen von Personen mit ASS (Rabsahl 2016) durchgeführt. Das “Münsteraner Intensivprogramm für Kinder mit ASS” MIA stellt die einzige hochschulbasierte Umsetzung des internationalen Wissensstands zur evidenzbasierten Förderung von Kindern mit ASS im Vor- und Grundschulalter in Deutschland dar und verfügt über eine umfassende Therapie- und Förderprogrammdatenbank; im Rahmen von MIA wird die hier angesprochene frühe Sprach- und Kommunikationsförderung im Wesentlichen durch intensiven Fachpersonaleinsatz geleistet (Röttgers and Rentmeister 2019). Darüber hinaus werden im Sinne des Empowerments der Angehörigen und größtmöglicher Autonomie auch Eltern zu Experten für die Förderung der eigenen Kinder qualifiziert. MIA bietet mit seinen jährlich neu beginnenden, von approbierten Ärzt:innen und Psychotherapeuten:innen supervidierten und umfangreich videodokumentierten Interventionsgruppen einen idealen Rahmen für Pilotstudien zur Anwendung robotischer und anderer technischer Hilfen. Die FH Münster ist im Projekt MigrAVE an der Entwicklung eines multilingualen Online-Lernportals sowie eines Roboter-Lernassistenten zur sprach barrierefreien Unterstützung und Ergänzung früher ASS-Interventionen, um sozio-emotionale und lebenspraktische Fertigkeiten von Kindern im Migrationskontext beteiligt. Darüber hinaus forscht die FH Münster intensiv an Finanzierungssituationen evidenzbasierter Therapieprogramme für autistische Kinder und kann so neben der sozial-wissenschaftlichen sowie nutzer- und prozessbezogenen Expertise ebenfalls gesundheitsökonomische Erfahrungen zur Ausgestaltung von Betreibermodellen mit in das Kompetenzzentrum einbringen. Wegen der möglichen ethischen Implikationen jeg-

licher intensiveren Therapie vor allem an Minderjährigen beteiligt die Forschungsstelle Autismus der FH Münster bereits im Vorfeld der Beauftragung von Ethikkommissionen betroffene Personen und beschäftigt eine Person aus dem autistischen Spektrum als wissenschaftliche Mitarbeiterin.

Entrance: Die ENTRANCE Robotics GmbH ist Integrator und Kooperationspartner für humanoide Robotik, KI und begleitende Schlüsseltechnologien (z.B.: Conversational AI Chatbots, Cloudservices & IoT Anbindungen). Vom Standort Wuppertal aus betreut ENTRANCE Robotics internationale Kunden im Bereich der Softwareentwicklung und Konzeptintegration für verschiedene Roboterplattformen. Den Schwerpunkt legt ENTRANCE Robotics auf neuartige, digitale Services, die auf die Erhöhung der Lebensqualität des Menschen abzielen. Für die strategische Ausrichtung von ENTRANCE Robotics spielen die Bereiche Care und Inklusion eine zentrale Rolle. Über die ENTRANCE Robotics GmbH wurden bereits zahlreiche humanoide Roboter Pepper in Krankenhäuser, Bildungs- und Betreuungseinrichtungen in ganz Deutschland in den aktiven Einsatz gebracht. Das Unternehmen ist auf die Mensch-Maschine-Interaktion spezialisiert und hat langfristige Erfahrung im Bereich robotische Systeme im Alltag des Menschen (Beispiel: Tagespflege & Unterstützung / Entlastung für Menschen mit Behinderungen). Derzeit steht die modulare Weiterentwicklung der vielseitigen Software „ENTRANCE Robot.Care“ im Vordergrund. Hierbei handelt es sich um eine Software speziell zur Entlastung von Pflegefachkräften und zur Nutzung durch betreute Bewohner / Patienten im geriatrischen Bereich, welche durch Robotik wieder ein hohes Maß an Selbstständigkeit erlangen können. Besonders im Bereich der Inklusion ist ENTRANCE aktiv in der Kooperation mit den Iserlohner Werkstätten (Iserlohner Werkstätten gGmbH) und dem wertkreis Gütersloh (wertkreis Gütersloh gGmbH), um hier seit Beginn 2021 den Mehrwert von humanoider Robotik im Bereich der Inklusion zu testen und Menschen mit Einschränkungen neue Möglichkeiten zu geben, um einen selbstständigen Arbeitsalltag zu bestreiten.

12.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Das ISST bringt Erfahrung in der Konsortialführung von öffentlich geförderten Projekten mit und verantwortet die Leitung des Konsortiums. Bei der Umsetzung der

Strukturen des Kompetenzzentrums unterstützt MEDECON mit ihrer langjährigen Fachkenntnis in der Netzwerkbildung sowie den bestehenden Netzwerkstrukturen in den Schwerpunktthemen Kinder- und Jugendgesundheit und NervenSinneTechnik. Die modellvorhabenübergreifende inhaltliche und methodische Ausgestaltung bezieht bestehende Expertisen der Partner mit ein und wird basierend auf den Modellvorhaben im Austausch mit allen Partnern kontinuierlich ausgebaut. Auf die methodischen Expertisen wird bei der Beschreibung der geplanten Modellvorhaben gesondert eingegangen. LPS bringt Erfahrung in der Implementierung von Robotern als Teil von Demonstrationszellen und Filmstellen in die Umsetzung des Showtrucks ein. Der strukturelle und inhaltliche Aufbau ist begleitend zu den Modellvorhaben geplant. Diese starten frühestens 3 Monate nach Projektstart und enden spätestens 3 Monate vor Ende, um initiale modellübergreifende Abstimmungen (Methoden, ...) und finale modellübergreifende Bewertung der Methoden und Ergebnisse und Ableitung von Best Practices durchzuführen. Die Umsetzungsketten der Modellprojekte Schul- und Lernbegleitung und Autismus sind sich ähnlich: Bedarfserhebung, Konzeption der Use Cases und Interaktionsgestaltung, technische Konzeption und Umsetzung der Testumgebung sowie Evaluation. Die Umsetzung und Evaluation erfolgen dabei in iterativen Schritten und im engen Austausch mit den assoziierten Partnern. Beide Modellprojekte schließen mit der Erarbeitung eines Transferkonzepts. Im Modellprojekt Autismus arbeiten HRW, MEDECON, ISST und FHM interdisziplinär und eng zusammen. FHM verantwortet die Bedarfserhebung sowie die Konzeption des robotisch gestützten Therapieprozesses. Dazu bringt die FHM mit dem MIA Therapieprogramm die einzige hochschulbasierte Umsetzung des internationalen Wissensstandes zur evidenzbasierten Förderung von Kindern mit ASS mit. Für die Bedarfserhebung und Evaluation bezieht die FHM das Netzwerk evidenzbasiert arbeitender Fördereinrichtungen mit ein. Die technische Konzeption und Umsetzung der Technologien erfolgt vorrangig durch das ISST und die HRW. Zudem sollen die bisherigen Kenntnisse in der Umsetzung von robotikbasierter Förderung der FHM mit einfließen. Das ISST steuert jahrelange Erfahrungen im Nutzen zentrierten Design und Evaluation von standardisierten und sicheren Dateninfrastrukturen, Kenntnisse in der Anwendung künstlicher Intelligenz (u. a. zur Erkennung von Stress mit) sowie in der Erforschung von sich verändernden Interaktionsaktionsverhalten zwischen KI-affinen Systemen und Anwendungen bei. Die HRW trägt mit Praxiserfahrungen in der Entwicklung und Anwendung von biologisch

inspirierte, anthropomorphe, autonome Robotersystemen sowie der Anwendung von Algorithmen auf Basis tiefer neuronaler Architekturen und Biosignalen bei. Für das VR Robot Szenario bringt die HRW Erfahrungen im Entwurf von simulierten Realitäten zur Simulation und Evaluation der Interaktion zwischen Mensch-Maschine und Umwelt mit ein. MEDECON trägt mit Expertise in der Verstetigung sowie Netzwerkbildung zum Wissenstransfer bei. Im Modellprojekt Schul- und Lernbegleitung arbeiten HCD, HSG, ENTRANCE, MEDECON und ISST interdisziplinär und eng zusammen. Die HSG verantwortet die Analyse und Spezifizierung der Aufgaben der Schullassistenten sowie die Erarbeitung von potentiellen Use Cases und bringt langjährige Expertise im Bereich Behinderung und Inklusion in der Schule mit. Zudem fließen bei der Identifikation und Erarbeitung von potentiellen Use Cases sowohl Erfahrungen in der Anwendung von Robotik (Entrance) als auch zur Gestaltung von sozialen Robotern im Lernkontext (HCD) ein. Bei der Interaktionsgestaltung bringt HCD Erfahrungen und Methoden (z. B. Schema zur Kategorisierung des Verhaltens von Kindern im Umgang mit Robotern) zur Gestaltung und Evaluation von Kind-Roboter-Interaktionen mit ein. Die technische Umsetzung erfolgt durch Entrance und das ISST. Die Fähigkeiten des ISST in der standardisierten Umsetzung von Infrastrukturen und Spezifikation von Schnittstellen werden hier ebenfalls berücksichtigt. Entrance trägt „Entrance Robot Care“, eine Software, die im Rahmen des Projekts erweitert wird, sowie Erfahrungen in der Konzeptintegration für verschiedene Roboterplattformen (z. B. Pepper) bei. Zudem hat Entrance praktische Kenntnisse in der Implementierung von humanoiden Robotern in Krankenhäusern, Bildungs- und Betreuungseinrichtungen. Die Konzeption des Transfers wird von MEDECON verantwortet. Entrance bringt Verständnis zu Betreibermodellen mit ein und HSG fundiertes Wissen zu Rahmenbedingungen im Schulbereich.

12.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

Die Fachhochschule Münster ist an einem Netzwerk evidenzbasiert arbeitender Förderinstitutionen beteiligt und arbeitet im Sinne des Empowerments der Angehörigen und hat so zahlreiche Kontakte zu Verbänden und Instituten. Neben den bereits mit LOI assoziierten Partnern sind noch weitere Anwendungspartner angefragt bzw. eingebunden (Deutsches Rotes Kreuz, Kreisverband Steinfurt, die Autismusambulanz,

Haus Walstedde und Äutismus Deutschland, Regionalverband Münster und Münsterland") deren LOI in der nächsten Stufe nachgereicht werden. Für die Vorstudie / Projektentwicklung neurologische Rehabilitation werden nach Projektstart assoziierte Partner (Franz-Sales-Haus, St. Mauritius Therapieklinik und ggf. weitere) mit in die Projektentwicklung eingebunden.

Das Kompetenzzentrum möchte Forschung & Entwicklung vorantreiben und das Netzwerk vergrößern. Im Rahmen der Initiierung von Projekten können Unternehmen / Forschungsvorhaben gezielt mit passenden Anwendern vernetzt und die Konsortialbildung unterstützt werden. Über die etablierten Netzwerke besteht ein breiter Zugang zu verschiedenen anwendungs-, sozial-wissenschaftlichen sowie gesundheitsökonomischen Partnern. Darüber hinaus bietet der digitale Marktplatz einen Zugang für weitere Interessierte.

12.5.4 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Die Zusammenarbeit mit RimA ist strategisch in der Perspektive/dem Arbeitsbereich Innovationsmanagement und Kompetenzaufbau verortet und wird Teil des geplanten Prozesses zum Management disruptiver Innovation in der gewählten Domäne. ROBO:REHKIDS wird an den geplanten Workshops, Schulungen, Austauschformaten sowie Wettbewerben teilnehmen und die Benchmarking Labore nutzen. Das in Rahmen von Schulungen und Wissensplattformen bereitgestellte Fachwissen wird gezielt für die Konkretisierung der BSC-Methode verwendet und bei Bedarf für die Anwendungsdomäne angepasst. Umgekehrt sollen Ergebnisse aus den verschiedenen Perspektiven zurückfließen. Aufgrund der domänenspezifischen Ausrichtung der sozialwissenschaftlichen sowie sozialpolitischen Perspektive liegt der Fokus der Zusammenarbeit mit RimA stark auf der wirtschaftlichen und technischen Verwertung und tangiert somit primär die Perspektiven (Gesundheits-)Ökonomie, Anwender und (Versorgungs-)Prozess sowie Entwicklung und Evaluation von interaktiver Assistenzrobotik. Die (Gesundheits-)Ökonomische Perspektive wird gestärkt durch die Teilnahme an Schulungen zur Verwertung / Unterstützung des Transfers sowie zum Aufbau von Geschäftsmodellen für Assistenz- und Serviceroboter sowie zur Verwendung von Fachwissen (Methoden, Best-Practices) des Projekts RimA. Ergebnisse, wie z. B. Best Practices sowie die Identifikation von Anforderungen an neue Geschäftsmodelle

mit domänenübergreifender Relevanz, werden mit Vorschlägen zu Lösungsansätzen eingebracht. ROBO:REHKIDS plant interdisziplinäre Methoden zur Bedarfserhebung sowie zur Szenario- und Interaktionsgestaltung zu standardisieren, um die Anwender- und Prozessperspektive im Sinne der Nutzerakzeptanz möglichst gut abzubilden und technologische Potenziale vollends auszunutzen. Mit der Teilnahme an Wettbewerben können diese Methoden auch außerhalb des Kompetenzzentrums erprobt und genutzt werden. Darüber hinaus verfolgt das Kompetenzzentrum den Open Innovation Ansatz und möchte mit offenen Software-Konzepten, offenen Schnittstellenspezifikationen sowie wiederverwendbaren Open Source-Bausteinen und Referenzimplementierungen das Innovationspotenzial der interaktiven Assistenzrobotik stärken. Das Kompetenzzentrum arbeitet außerdem an der Taxonomie für Interaktionsformen mit und nutzt diese mit domänenspezifischen Ergänzungen in der Umsetzung von Projekten. Das Thema “Sicherheit während der Interaktion” spielt gerade bei Kindern eine große Rolle. Hier greift das Kompetenzzentrum auf die Expertise von RimA zurück. Gleichzeitig sollen bisher unbekannte Sicherheitsrisiken identifiziert werden und als neue Anforderung in die Sicherheitskonzepte / Zertifizierungen des Transferprojekts einfließen. Die Evaluation setzt auch auf den Evaluationsmethoden und Benchmarks von RimA auf, um einen domänenübergreifenden Vergleich von Assistenzrobotern zu ermöglichen.

Literaturverzeichnis

Fady Alnajjar, Massimiliano Cappuccio, Abdulrahman Renawi, Omar Mubin, and Chu Kiong Loo. Personalized robot interventions for autistic children: an automated methodology for attention assessment. *International Journal of Social Robotics*, 13 (1):67–82, 2021.

Salvatore Maria Anzalone, Jean Xavier, Sofiane Boucenna, Lucia Billeci, Antonio Narzisi, Filippo Muratori, David Cohen, and Mohamed Chetouani. Quantifying patterns of joint attention during human-robot interactions: An application for autism spectrum disorder assessment. *Pattern Recognition Letters*, 118:42–50, 2019.

Azhar Abdul Aziz, Fateen Faiqa Mislan Moghanan, Mudiana Mokhsin, Afiza Ismail, and Anitawati Mohd Lokman. Humanoid-robot intervention for children with autism: a conceptual model on FBM. In *International Conference on Soft Computing in*

Data Science, pages 231–241. Springer, 2015.

Tony Belpaeme, James Kennedy, Paul Baxter, Paul Vogt, Emiel EJ Krahmer, Stefan Kopp, Kirsten Bergmann, Paul Leseman, Aylin C Küntay, Tilbe Göksun, et al. L2tor-second language tutoring using social robots. In *Proceedings of the ICSR 2015 WONDER Workshop*, 2015.

Tony Belpaeme, Paul Vogt, Rianne Van den Berghe, Kirsten Bergmann, Tilbe Göksun, Mirjam De Haas, Junko Kanero, James Kennedy, Aylin C Küntay, Ora Oudgenoeg-Paz, et al. Guidelines for designing social robots as second language tutors. *International Journal of Social Robotics*, 10(3):325–341, 2018.

Jaishankar Bharatharaj, Loulin Huang, Rajesh Elara Mohan, Ahmed Al-Jumaily, and Christian Krägeloh. Robot-assisted therapy for learning and social interaction of children with autism spectrum disorder. *Robotics*, 6(1):4, 2017.

,P Bisgin, ,S Meister, and ,C Haubrich. Erkennen von parkinsonassoziierten Mustern im Schlaf und Neurovegetativum. *64. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e. V. (GMDS)*, 1, 2019.

Nicoleta Bugnariu, Carolyn Young, Katelyn Rockenbach, Rita M Patterson, Carolyn Garver, Isura Ranatunga, Monica Beltran, Nahum Torres-Arenas, and Dan Popa. Human-robot interaction as a tool to evaluate and quantify motor imitation behavior in children with autism spectrum disorders. In *2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, pages 57–62. IEEE, 2013.

John-John Cabibihan, Hifza Javed, Marcelo Ang, and Sharifah Mariam Aljunied. Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism. *International journal of social robotics*, 5(4):593–618, 2013.

Pericles Cheng. Robotics and autism: a review of current applications of robotics for autism spectrum disorder. *Emerging Programs for Autism Spectrum Disorder*, pages 265–272, 2021.

Kerstin Dautenhahn. Design issues on interactive environments for children with autism. In *Procs of ICDVRAT 2000, the 3rd Int Conf on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*. University of Reading, 2000.

- F Domrös, D Störkle, J Ilmberger, and B Kuhlenkötter. A motion library for robot-based upper limb rehabilitation. In *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*, pages 409–413. Springer, 2013.
- Audrey Duquette, François Michaud, and Henri Mercier. Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism. *Autonomous Robots*, 24(2):147–157, 2008.
- Eduard Fosch-Villaronga, Christoph Lutz, and Aurelia Tamò-Larrieux. Gathering expert opinions for social robots’ ethical, legal, and societal concerns: Findings from four international workshops. *International Journal of Social Robotics*, 12(2): 441–458, 2020.
- F Frascarelli, L Masia, G Di Rosa, P Cappa, M Petrarca, E Castelli, and HI Krebs. The impact of robotic rehabilitation in children with acquired or congenital movement disorders. *Eur J Phys Rehabil Med*, 45(1):135–141, 2009.
- Susanne Frennert and Britt Östlund. Seven matters of concern of social robots and older people. *International Journal of Social Robotics*, 6(2):299–310, 2014.
- Davide Ghiglino, Pauline Chevalier, Federica Floris, Tiziana Priolo, and Agnieszka Wykowska. Follow the white robot: Efficacy of robot-assistive training for children with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 86:101822, 2021.
- Christiane Goulart, Carlos Valadão, Eliete Caldeira, and Teodiano Bastos. Brain signal evaluation of children with autism spectrum disorder in the interaction with a social robot. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(1):60–68, 2019.
- Roy Grant and Molly Nozyce. Proposed changes to the american psychiatric association diagnostic criteria for autism spectrum disorder: Implications for young children and their families. *Maternal and child health journal*, 17(4):586–592, 2013.
- Andre Hellwig, Caroline Schneider, Sven Meister, and Wolfgang Deiters. Sprachassistenten in der Pflege – Potentiale und Voraussetzungen zur Unterstützung von Senioren. *Mensch und Computer 2018 – Tagungsband*, 2018.

- Andre Hellwig, Corinna Simon, and Sven Meister. Versorgungsforschung in der Psychotherapie – Potentiale von Neurogaming in der Therapiebegleitung von Kindern und Jugendlichen. In *64. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e. V. (GMDS)*, 2019.
- Laura Hoffmann and Nicole C Krämer. The persuasive power of robot touch. Behavioral and evaluative consequences of non-functional touch from a robot. *Plos one*, 16(5): e0249554, 2021.
- Laura Hoffmann, Nikolai Bock, and Astrid M Rosenthal vd Pütten. The peculiarities of robot embodiment (emcorp-scale): development, validation and initial test of the embodiment and corporeality of artificial agents scale. In *2018 13th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 370–378. IEEE, 2018.
- Salima Houta, Johannes Kreuzer, Sarah von Spiczak, Ulrich Stephani, Rainer Surges, and Robert D Nass. Einsatz von Gesundheits-Apps und Sensormonitoring zur automatisierten Anfallsdetektion und-dokumentation. In *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen VI*, pages 487–498. Springer, 2019.
- Claire AGJ Huijnen, Monique AS Lexis, Rianne Jansens, and Luc P de Witte. Mapping robots to therapy and educational objectives for children with autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 46(6):2100–2114, 2016.
- Ioannis Iossifidis. Simulated framework for the development and evaluation of redundant robotic systems. In *PECCS*, pages 55–60, 2014.
- ,C Kersting. Roboter im Klassenzimmer. Humanoide Unterstützung an der Schule. In Deutschlandfunk. <https://www.deutschlandfunk.de/humanoide-unterstuetzung-an-der-schule.html>, 2019.
- M Klockner and B Kuhlenkotter. Automated movement therapy for neurological rehabilitation. In *Proceedings of the School and Symposium on Advanced Neuro-rehabilitation (SSNR2016)*, pages ,14–16. Spanish Council for Scientific Research (CSIC) and Universitätsmedizin Göttingen (UMG), 2016.

- M Klockner, Stefanie Leonhardt, Peter Meisterjahn, Stefan Theuerkorn, B Kuhlenkotter, and Michael Krampe. Automated assistive therapy device for patients with neurological diseases. In *2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (Biorob)*, pages 462–467. IEEE, 2018.
- Maike Klöckner. *Entwicklung einer Kinematik für die automatisierte Bewegungstherapie von neurologischen Patienten auf Basis einer bewährten manuellen Therapiemethode*. Shaker, 2018.
- Nicole C Krämer, Astrid M Rosenthal-von der Pütten, and Laura Hoffmann. Social effects of virtual and robot companions. *The handbook of the psychology of communication technology*, pages 137–159, 2015.
- Hermano I Krebs, Barbara Ladenheim, Christopher Hippolyte, Linda Monterroso, and Joelle Mast. Robot-assisted task-specific training in cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 51:140–145, 2009.
- ,R Lelgemann, ,P Singer, ,J Lübbecke, and ,C Walter-Klose. Qualitätsbedingungen schulischer Inklusion für Kinder und Jugendliche mit dem Förderschwerpunkt Körperliche und Motorische Entwicklung. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, 11: 465–473, 2012.
- ,R Lelgemann, ,C Walter-Klose, ,P Singer, ,E Fischer, ,J Kahlert, and ,U Heimlich. *Inklusion im Förderschwerpunkt körperliche und motorische Entwicklung*. Kohlhammer Verlag, 2014.
- Sven Meister, Wolfgang Deiters, Andre Hellwig, and Michael Pantförder. Digitale Gesundheit: Wie digitale Medien zur Unterstützung unserer Gesundheit eingesetzt werden. *Zeitschrift Medienproduktion*, 12:2–5, 2018.
- Sebastian Noth and Ioannis Iossifidis. Simulated reality environment for development and assessment of cognitive robotic systems. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pages 671–677. IEEE, 2011.
- Cristina Anamaria Pop, Ramona Simut, Sebastian Pintea, Jelle Saldien, Alina Rusu, Daniel David, Johan Vanderfaeillie, Dirk Lefebber, and Bram Vanderborght. Can the social robot probio help children with autism to identify situation-based emotions?

A series of single case experiments. *International Journal of Humanoid Robotics*, 10(03):1350025, 2013.

Anna Katharina Rabsahl. *Aktive Elternrolle bei der Therapie von Autismus-Spektrum-Störungen: Belastungen nehmen, Kompetenzen fördern*. Springer-Verlag, 2016.

Andrés A Ramírez-Duque, Teodiano Bastos, Marcela Munera, Carlos A Cifuentes, and Anselmo Frizzera-Neto. Robot-assisted intervention for children with special needs: A comparative assessment for autism screening. *Robotics and Autonomous Systems*, 127:103484, 2020.

Iñaki Raño and Ioannis Iossifidis. Modelling human arm motion through the attractor dynamics approach. In *2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pages 2088–2093. IEEE, 2013.

Astrid M Rosenthal-Von Der Pütten, Frank P Schulte, Sabrina C Eimler, Sabrina Sobieraj, Laura Hoffmann, Stefan Maderwald, Matthias Brand, and Nicole C Krämer. Investigations on empathy towards humans and robots using fmri. *Computers in Human Behavior*, 33:201–212, 2014.

Hanns Rüdiger Röttgers and Katrin Rentmeister. *Alltagsorientiertes Lernen von Menschen mit Autismus*. Kohlhammer Verlag, 2019.

Yulia Sandamirskaya, John Lipinski, Ioannis Iossifidis, and Gregor Schöner. Natural human-robot interaction through spatial language: a dynamic neural field approach. In *19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, pages 600–607. IEEE, 2010.

Brian Scassellati. How social robots will help us to diagnose, treat, and understand autism. In *Robotics research*, pages 552–563. Springer, 2007.

Thorsten Schodde, Laura Hoffmann, and Stefan Kopp. How to manage affective state in child-robot tutoring interactions? In *2017 International Conference on Companion Technology (ICCT)*, pages 1–6. IEEE, 2017.

Syamimi Shamsuddin, Hanafiah Yussof, Fazah Akhtar Hanapiah, Salina Mohamed, Nur Farah Farhana Jamil, and Farhana Wan Yunus. Robot-assisted learning for

- communication-care in autism intervention. In *2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pages 822–827. IEEE, 2015.
- Lai Poh Emily Toh, Albert Causo, Pei-Wen Tzuo, I-Ming Chen, and Song Huat Yeo. A review on the use of robots in education and young children. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(2):148–163, 2016.
- Nahum A Torres, Nathan Clark, Isura Ranatunga, and Dan Popa. Implementation of interactive arm playback behaviors of social robot zeno for autism spectrum disorder therapy. In *Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pages 1–7, 2012.
- Renée JF van den Heuvel, Monique AS Lexis, and Luc P de Witte. Can the IROMEC robot support play in children with severe physical disabilities? A pilot study. *International journal of rehabilitation research*, 40(1):53–59, 2017.
- Paul Vogt, Mirjam De Haas, Chiara De Jong, Peta Baxter, and Emiel Krahmer. Child-robot interactions for second language tutoring to preschool children. *Frontiers in human neuroscience*, 11:73, 2017.
- Paul Vogt, Rianne van den Berghe, Mirjam de Haas, Laura Hoffman, Junko Kanero, Ezgi Mamus, Jean-Marc Montanier, Cansu Oranç, Ora Oudgenoeg-Paz, and Daniel Hernández García. Second language tutoring using social robots: a large-scale study. In *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 497–505. IEEE, 2019.
- Joshua Wainer, Ester Ferrari, Kerstin Dautenhahn, and Ben Robins. The effectiveness of using a robotics class to foster collaboration among groups of children with autism in an exploratory study. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14(5):445–455, 2010.
- C Walter-Klose. *Kinder und Jugendliche mit Körperbehinderung im gemeinsamen Unterricht. Befunde aus nationaler und internationaler Bildungsforschung und ihre Bedeutung für Inklusion und Schulentwicklung*. ATHENA-Verlag, 2012.
- C Walter-Klose. *Erfolgreiches Miteinander an inklusiven Schulen. Tipps und Strategien für gemeinsames Lernen*, 2021.

- C Walter-Klose, P Singer, and R Lelgemann. Schulische und außerschulische Unterstützungssysteme und ihre Bedeutung für die schulische Inklusion. *Inklusives Schulsystem. Analysen, Befunde, Empfehlungen zum bayerischen Weg*, pages 107–130, 2016.
- Mette Weibel, Martin Kaj Fridh Nielsen, Martha Krogh Topperzer, Nanna Maria Hammer, Sarah Wagn Møller, Kjeld Schmiegelow, and Hanne Bækgaard Larsen. Back to school with telepresence robot technology: A qualitative pilot study about how telepresence robots help school-aged children and adolescents with cancer to remain socially and academically connected with their school classes during treatment. *Nursing open*, 7(4):988–997, 2020.
- Stefan Weinmann, Christoph Schwarzbach, Matthias Begemann, Stephanie Roll, Christoph Vauth, Stefan N Willich, and Wolfgang Greiner. Behavioural and skill-based early interventions in children with autism spectrum disorders. *GMS Health Technology Assessment*, 5, 2009.
- Luke J Wood, Abolfazl Zarak, Ben Robins, and Kerstin Dautenhahn. Developing kaspar: a humanoid robot for children with autism. *International Journal of Social Robotics*, 13(3):491–508, 2021.
- Ming Wu, Janis Kim, Deborah J Gaebler-Spira, Brian D Schmit, and Pooja Arora. Robotic resistance treadmill training improves locomotor function in children with cerebral palsy: a randomized controlled pilot study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 98(11):2126–2133, 2017.
- Sang-Seok Yun, Hyuksoo Kim, JongSuk Choi, and Sung-Kee Park. A robot-assisted behavioral intervention system for children with autism spectrum disorders. *Robotics and Autonomous Systems*, 76:58–67, 2016.

Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis (rokit)

Förderkennzeichen 16SV8581

Bilal Tariq¹, Norbert Elkmann², José Saenz², Björn Kahl³, Marija Radic⁴, Johannes David Drzewiecki⁴, Astrid Oehme⁵, Paul Schweidler⁵, Thomas Jürgensohn⁵, Jochen Feitsch⁶, Christian Geiger⁶, David Stegmeier⁷, Givemy Knezevic⁷, André Steimers⁸, Sabine Ammon⁹, Peter Remmers⁹ und Frank Dittrich¹⁰



¹Angsa Robotics GmbH
Freddie-Mercury-Str. 5
80797 München

²Fraunhofer IFF
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

³Fraunhofer IPA
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

⁴Fraunhofer IMW
Neumarkt 9
04109 Leipzig

⁵HFC Human-Factors-Consult
GmbH
Köpenicker Straße 325
12555 Berlin

⁶Hochschule
Düsseldorf
Münsterstraße 156
40476 Düsseldorf

⁷IKEM - Institut für
Klimaschutz, Energie
und Mobilität e.V.
Magazinstraße 15 – 16
10179 Berlin

⁸Institut für Arbeitsschutz
der DGUV
Glinkastraße 40
10117 Berlin

⁹Technische Universität
Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

¹⁰Technische Universität
Chemnitz
Straße der Nationen 62
09111 Chemnitz

13.1 Ziele des Kompetenzzentrums

13.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Das Kompetenzcluster *rokit* hat den Zweck, die mobile Assistenzrobotik und Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) im öffentlichen Raum zu fördern und voranzutreiben. Der öffentliche Raum mit seinen Verkehrs- und Grünflächen sowie öffentlich zugänglichen Gebäuden bietet für mobile Roboter zahlreiche Anwendungsfelder. Dazu gehören beispielsweise die Mikrologistik, wie der Pakettransport, die Reinigung und Pflege von Plätzen und Grünflächen oder die Inspektion und Bewachung in Betrieben mit öffentlich zugänglichen Bereichen (Krankenhäuser, Universitäten, Bahnhöfe). Der öffentliche Raum birgt allerdings eine Reihe spezifischer Herausforderungen: Zum einen sind Interaktionen zwischen Mensch und Roboter besonders vielfältig und oft unvorhersehbar, sie bergen Sicherheitsgefahren, die oft mit unklaren rechtlichen Rahmenbedingungen einhergehen. Zum anderen ist das öffentliche Bild von Robotern heute noch stark ambivalent und von überzogenen Erwartungen und Ersetzungsängsten geprägt. Beide Faktoren erschweren den wirtschaftlichen Erfolg bei einer Kommerzialisierung. Dieses Spannungsfeld technischer, aber vor allem auch ethischer, rechtlicher und gestalterischer Fragestellungen erfordert stark interdisziplinäre Lösungsstrategien. Die Arbeit im Kompetenzcluster *rokit* wird sich dazu normativ, gestalterisch und evaluierend den praktischen und wissenschaftlichen Themen des Einsatzes von mobilen Robotern im öffentlichen Raum widmen.

Als Vor- und Wegbereitung des Kompetenzclusters *rokit* werden im dreijährigen Förderzeitraum drei Anwendungsfälle exemplarisch untersucht: Der vierbeinige Roboter SPOT wird auf einem belebten Universitätscampus das Gelände inspizieren, der Roboter MULI wird Menschen beim Lastentransport helfen, indem er ihnen durch ein öffentliches Gebäude wie ein berührungsloser Handwagen folgt und der Roboter der Firma ANGSA wird gemeinsam mit Mitarbeiterinnen einer Stadtreinigung die Flächen eines öffentlichen Parks reinigen. Die zahlreichen Anforderungen aus diesen Anwendungsfällen liefern die Motivation für die Arbeit am *rokit* und leiten die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

rokit vereint alle notwendigen Kompetenzen, um das Ziel der Förderung des wissenschaftlich fundierten und wirtschaftlich erfolgreichen Einsatzes von Assistenzrobotern im öffentlichen Raum zu gewährleisten. Durch die Struktur eines verteilten Clusters ist es möglich, besonders exzellente, in Deutschland verteilte Partner zu bündeln. Außerdem wird so eine flexible, modulare und – wenn nötig – mobil und direkt vor Ort agierende Arbeit möglich. Das Kompetenzcluster setzt sich aus drei Elementen zusammen: einem **Thinktank**, einer **Methodenwerkstatt** und einem **Living Lab**. Im Thinktank werden praktische und wissenschaftliche Anforderungen gesammelt und spezifiziert, in der Methodenwerkstatt Gestaltungs-, Test- und Validierungspraktiken mit dazugehörigen Metriken und Benchmarks entwickelt und im Living Lab Tests und Felderprobungen durchgeführt. Diese Kernbereiche sind für ein iteratives, agiles Arbeiten untereinander verbunden und für partizipative Ansätze nach außen hin geöffnet. Integratives Element der Clusterstruktur ist der **rokit-Hub** als Vermittler und Bindeglied innerhalb des Clusters und als Schnittstelle und Ansprechpartner nach außen.

Die Ergebnisse von **rokit** werden insbesondere, aber nicht nur, kleineren und mittleren Unternehmen sowie Start-Ups zugutekommen, die naturgemäß ihren Fokus auf die technische Entwicklung legen müssen und vergleichsweise wenige Ressourcen für die Anknüpfung an den wissenschaftlichen Stand der Forschung haben. Zudem möchte das Kompetenzcluster auch politischen Entscheidungsträgern bei Fragen der Technikfolgenabschätzung sowie bei Regulierungsvorhaben Unterstützung bieten. Die öffentliche Verwaltung kann im Hinblick auf Beschaffung sowie auf ihre ordnungsrechtlichen Aufgaben ebenfalls von dem im **rokit** generierten und gebündelten Wissen profitieren.

13.1.2 Thema des Verbundprojektes / Problembeschreibung

Das Verbundprojekt wird zwei miteinander verknüpfte Problemstellungen thematisieren: den Einsatz von und die Interaktion mit Robotern im öffentlichen Raum mit den sich daraus ergebenden Herausforderungen und die Anpassung existierender Roboter an neue Anwendungsfälle. Es gibt für industrielle und geschützte Bereiche bereits viele gut funktionierende Automatisierungstechnologien. Deren Anpassung an neue Anwendungsfälle ist ein wichtiger Schlüssel zum kommerziellen Erfolg der Hersteller. Die Übertragung in den nicht industriellen und insbesondere öffentlichen Bereich schei-

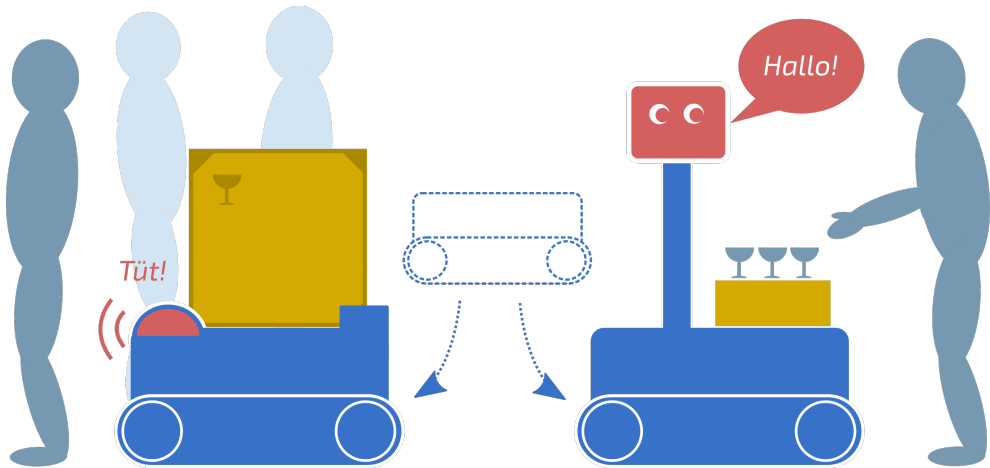


Abbildung 13.1: Eine Roboterplattform in zwei unterschiedlichen Anwendungsszenarien; links als Transporter, rechts als Servicekraft. Neben der Mechanik ändern sich auch die Bedingungen der Mensch-Roboter-Interaktion.

tert aber neben rechtlichen Problemen oft an Fragestellungen der MRI. In *rokit* wird daher die Adaption bestehender Robotertechnologie auf die Interaktion mit Menschen fokussiert. Das ist mit besonderen Herausforderungen verbunden, insbesondere wenn die Interaktion mit Personen ohne besondere Vorkenntnisse und/oder im öffentlichen Raum zu gestalten ist. Die Bandbreite reicht dabei vom Ausweichen als physische Handlungsinteraktion bis zur zielgerichteten Kommunikation. Die vorausschauende Gestaltung und die Vorwegnahme der Interaktionsanforderungen in Anwendungsszenarien mit teilweise sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen erfordert Know-how, das in diesem Umfang von eher technisch geprägten Entwicklungsteams kaum zu verlangen ist, bzw. auch andernorts nicht existiert. Dies trifft sowohl für den Bereich der Usability (Gebrauchstauglichkeit) und User-Experience (UX) zu aber auch für die vorausblickende Reduzierung von Gefahren und für die funktionale Sicherheit.

Am Beispiel lässt sich das gut verdeutlichen: Der Projektpartner Angsa möchte eine bestehende mobile Roboterplattform so weiterentwickeln, dass sie sich *vollautomatisch* durch öffentliche Parks bewegen und dort kleinteiligen Müll aufsammeln kann. Der zu erwartende Publikumsverkehr erfordert, dass die Modifikationen vorausschauende Maßnahmen für zufällige Begegnungen mit Menschen umfassen. Ist es beispielsweise angemessen, Personen auf dem Fußweg durch einen Warnton über den sich nähernden

Roboter zu informieren? Wird der Roboter im Gegenteil zur Stolperfalle, wenn er still zwischen Passantinnen navigiert? Egal, welche Entscheidung getroffen wird, wer haftet, wenn ein Schadensfall eintritt? Ist es vielleicht sinnvoll, dem Roboter einen Lautsprecher und ein paar einfache Sätze mit auf den Weg zu geben? An dieser im Grunde sehr einfachen Situation wird klar, wie stark Ethik (Einschränkung im öffentlichen Leben), Sicherheit (Stolpergefahr), Recht (Verantwortung) und MRI-Gestaltung (Hupen vs. Sprechen) unmittelbar und untrennbar miteinander verbunden sind. Die Komplexität nimmt immens zu, wenn neben dieser beiläufigen Form der Interaktion auch gezielte Kommunikationsakte angestrebt werden. Diese Problematik der bereichsübergreifenden Anwendung findet sich bei allen Assistenzrobotern mit einem gewissen Grad an Universalität, wird jedoch besonders prekär beim Einsatz im öffentlichen Raum.

Eine für den öffentlichen Raum spezifische Herausforderung ist der Vandalismus. Das von Fahrkartenautomaten, E-Scootern und Stadtmöbeln bekannte Problem wird auch Roboter im öffentlichen Raum treffen. Dabei wird es sich vermutlich nicht nur um Beschädigungsversuche handeln, sondern, wie Beobachtungen aus dem industriellen Umfeld nahelegen, auch um absichtliche Behinderungen bei der Funktionsausführung. Konkret: Personen verstellen dem Roboter den Weg, stoßen ihn in die Seite oder versuchen die Sensoren zu manipulieren. Gründe dafür können reine Akte des Vandalismus, Neugier oder auch individuelle Abneigung sein. Da solche Eingriffe einen unmittelbaren Einfluss auf die Sicherheitsfunktionen des Roboters haben, ergeben sich daraus im öffentlichen Raum schnell ernsthafte Probleme. Damit kann auf verschiedene Weisen umgegangen werden: rechtlich, durch Regulierung und Sanktionierung, auf der Ebene der MRI, durch eine entsprechende Gestaltung und spezifische Interaktionsmuster und technisch durch wirksame Schutzmaßnahmen sowie die Möglichkeit der Selbstdiagnose. Stets damit verbunden sind ethische und sozialwissenschaftliche Fragestellungen nach der Rolle des mobilen Roboters im öffentlichen Raum, die nicht beiläufig beantwortet werden können. Sie müssen gemeinsam mit kommerziellen und funktionalen Erwägungen von Beginn an mitgedacht werden.

Eine weitere Problematik, die im öffentlichen Raum besondere Brisanz erlangt, ist das Image von Robotern. Die teilweise vorherrschenden Ängste vor oder die Skepsis gegenüber Robotern, lassen sich möglicherweise durch eine durchdachte, aufgabenangemessene und selbsterklärende Gestaltung eingrenzen. Probleme, wie beispielsweise der Eindruck einer zunehmenden Ersetzung von Arbeitskräften oder auch eine auffällige Technisierung der Lebenswelt, bleiben aber weiterhin bestehen. Um einer Lösung näher zu kommen, muss konkreten Befürchtungen zum einen die faktische Grundlage genommen werden, beispielsweise indem die Situation für Arbeitskräfte durch den Einsatz von Robotern sogar verbessert wird. Zum anderen sind partizipative Gestaltungsprozesse und kommunikatives Fingerspitzengefühl erforderlich, um jene unrealistischen Erwartungen von Robotern mit nahezu menschlichen Fähigkeiten zu dämpfen, die den Ängsten und Befürchtungen ihre Stärke verleihen. Diese Aspekte sollen in *rokit* von vornherein mitgedacht und in die Lösungsfindung einbezogen werden.

Die geschilderten Umstände zeigen auf, warum die Gründung eines Kompetenzclusters wie *rokit* notwendig ist: Hersteller und Anwender können die angedeuteten Herausforderungen der Gebrauchstauglichkeit und Leistungsfähigkeit, (Rechts)Sicherheit, MRI und ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen (ELSI) in der Regel nicht allein bewältigen. Es bedarf der Unterstützung durch ein Team mit multipler Expertise. **Der wissenschaftliche Arbeitsauftrag** des *rokit* manifestiert sich dazu in folgenden Forschungsfragen:

1. Welche gesellschaftlichen und individuellen Erwartungen, Bedürfnisse und auch Ängste bestehen in Bezug auf Roboter und was bedeutet das für die Gestaltung der MRI?
2. Welche Interaktionsstrategien sind die richtigen für eine gute UX und hohe Akzeptanz von Robotern im öffentlichen Raum und wie lassen sich daraus Gestaltungsvorgaben ableiten?
3. Wie kann die MRI im öffentlichen Raum in der Praxis sicher gestaltet werden, ohne dass Performanz und Nützlichkeit darunter leiden?

4. Welcher rechtliche Rahmen ermöglicht den Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum?
5. Welche strukturierten Erfahrungen lassen sich in Hinblick auf Performanz, (Rechts)Sicherheit, MRI und ELSI für die Assistenzrobotik im Allgemeinen ableiten?

Insgesamt soll mit der Beantwortung dieser Fragen der **Vision** nähergekommen werden, mit einer durchdachten Assistenzrobotik den öffentlichen Raum lebenswerter, sauberer und sicherer zu machen sowie die damit verbundenen Arbeitsplätze gesünder, vielseitiger und attraktiver zu gestalten.

13.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

In *rokit* wird die verfügbare Technologie und Expertise zur Assistenzrobotik im öffentlichen Raum mit den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Anforderungen harmonisiert. Dazu werden beide Seiten analysiert, Lücken identifiziert, Handlungsbedarfe abgeleitet und Lösungen entwickelt. Das Gesamtziel des Kompetenzclusters ist es, Ergebnisse zu produzieren, die den sinnstiftenden, ethischen, sicheren und ökonomischen Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum ermöglichen. Das kurzfristige Ziel in den ersten Monaten ist es, Methoden und Metriken als wissenschaftliche Grundlage des Kompetenzclusters zu erarbeiten. Das mittelfristige Ziel über den weiteren Förderzeitraum ist es, in mehrtägigen Erprobungsphasen unter realen Bedingungen alltagstaugliche Szenarien der integrierten Forschung umzusetzen. Das langfristige Ziel ist es, Roboterhersteller und -anwender mit Methoden- und Fachkompetenz, Benchmarks, Best Practices und praktischer Erfahrung effektiv in der Domäne des öffentlichen Raums zu unterstützen und den politischen, normativen und gesellschaftlichen Diskurs zu befördern.



Abbildung 13.2: Die Elemente des Kompetenzclusters *rokit* und die externen Anknüpfungspunkte.

Zur Erreichung dieser Ziele sind im Konsortium Partner vereint, deren Expertisen die Interaktionsgestaltung (HFC, HSD), Ergonomie und Arbeitswissenschaft (TUC), Sicherheit (IPA, IFF), Recht (IKEM, IFA), Ethik und Technikfolgenabschätzung (TUB), Wirtschaftswissenschaften (IMW) und Robotik (ANGSA) umfassen. Diese Expertisen werden in den drei Kernelementen Thinktank, Methodenwerkstatt und Living Lab und dem vernetzenden *rokit*-Hub zur Erreichung spezifischer Unterziele gebündelt bzw. geclustert.

Im **Thinktank** werden praktische und wissenschaftliche Problemstellungen auf gesamtgesellschaftlicher Ebene bearbeitet. Dazu finden regelmäßig transdisziplinäre Fallbesprechungen aller Konsortialpartner statt. Es werden Interviews, Workshops und Fokusgruppen mit direkten Stakeholdern (wie Herstellern und Anwendern, Kommunen, Betreibergesellschaften und gesetzlichen Unfallversicherern) und mit Bürgern und Bürgerinnen durchgeführt. Außerdem erarbeitet der Thinktank auf der Ebene von Gremien Lösungen für Rechts- und Sicherheitsfragen, die in anderen Bereich des Clusters identifiziert werden und sich nicht operativ lösen lassen. Weiterhin wird der Thinktank die im Projekt gesammelten praktischen Erfahrungen, aber auch internationale Best Practices und relevante Forschung strukturiert aufbereiten und veröffentlichen. Das **Arbeitsergebnis des Thinktanks** ist die strukturierte Aufbereitung der gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Anforderungen, die den verfügbaren technischen Lösungen gegenüberstehen. Langfristig bietet der Thinktank als Dienstleistung rechtliche, ethische, normative und arbeitswissenschaftliche Gutachten, Politikberatung und die aktive Begleitung von Veränderungsprozessen an. Wissenschaftlich widmet sich der Thinktank damit aus einer dialogisch-normativen Perspektive den Fragen nach einer gesamtgesellschaftlich wertvollen Gestaltung von Assistenzrobotik.

Für die im Thinktank ausgearbeiteten Problemstellungen werden in der **Methodenwerkstatt** auf den Anwendungsfall zugeschnittene Lösungen entwickelt. Beginnend bei der Spezifikation der Anwendung bis hin zur Evaluation bietet die Methodenwerkstatt eine entwicklungsbegleitende Beratung und Begleitung zur Integration von Robotern im öffentlichen Raum. Dazu werden konkrete Metriken und Benchmarks erarbeitet, anhand derer die Nützlichkeit und Sicherheit von Assistenzrobotern und der MRI gemessen werden kann. Auf diese präskriptiven Metriken und Benchmarks ausgerichtet werden iterativ Methoden der menschenzentrierten Gestaltung (Human-Centred Design, HCD; Boy 2017) und des wertorientierten Designs (Value Sensitive Design, VSD;

Davis and Nathan 2015) zusammengestellt und angepasst. Ein wichtiges Element der agilen Arbeit in der Methodenwerkstatt sind partizipative Ansätze, die möglichst alle Beteiligten in die Gestaltung von Interaktionen einbeziehen. Gerade beim Einsatz von Assistenzrobotern im öffentlichen Raum sowie beim dafür notwendigen Einsatz verschiedener Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) sind zudem Fragen der Verifikation und Validierung des Systems ungeklärt. Die Methodenwerkstatt entwickelt auch dazu geeignete Testmethoden und -designs. Sie stellt zudem die notwendigen Umgebungen sowie Testeinrichtungen zur Verfügung, um Interaktionsszenarien in praxisnahen Feldtests des Living Labs zu erproben. Abschließend erhält die Methodenwerkstatt Rückmeldung aus dem Living Lab darüber, welche Praktiken und Methoden sich bewährt haben. Die Ergebnisse werden dann nach außen als validierte Toolkits, Best Practice Fallstudien, Schulungen oder Audits frei verfügbar gemacht oder – je nach Eignung – als Dienstleistungen angeboten. Die **Arbeitsergebnisse der Methodenwerkstatt** sind geeignete Gestaltungs-, Test- und Validierungsmethoden mit den dazugehörigen Metriken und Benchmarks sowie Angebote zur Anwendung der Methoden (Toolkits, Guidelines). Die methodische, präskriptive Sichtweise der Methodenwerkstatt hat wissenschaftlich vor allem das Ziel, allgemeingültige Praktiken und Prozesse für die Anpassung, Implementierung und Integration von Assistenzrobotern und MRI im öffentlichen Raum zu entwickeln.

Im **Living Lab** werden die Interaktionsszenarien in Tests im Feld, im Labor oder in der virtuellen und gemischten Realität (Virtual/Mixed Reality, VR/MR) überprüft. Insbesondere letztere bieten bei hoher Praxisnähe die Möglichkeit, risikoreiche Szenarien oder extreme Ausnahmefälle zu erproben, die in Felderprobungen (noch) nicht adressiert werden können. In die Untersuchungen, insbesondere die Felderprobungen, werden neben den Herstellern auch Anwender und die öffentlichen Beteiligten eng einbezogen – nur so können direkt umsetzbare Ergebnisse erzielt werden. Konkret wird überprüft, welche Interaktionsmuster, Schnittstellen und Gestaltungsprinzipien eine gesellschaftlich wertvolle Assistenzrobotik in der Öffentlichkeit praktisch ermöglichen. Begleitet werden die Erprobungen von Workshops und Interviews, mit denen die Ergebnisse durch Perspektiven betroffener Personengruppen qualitativ angereichert werden. Im Projektablauf dient das Living Lab zunächst dazu, die entwickelten Metriken (intern) zu validieren und praxisnahe Benchmarks aufzustellen. Anschließend wird das auch Herstellern und Anwendern als Dienstleistung angeboten. Das Arbeitsergebnis

des Living Labs sind Best Practices der MRI und systematisierte Erfahrungen für den alltagsnahen Einsatz von Assistenzrobotik im öffentlichen Raum. Aus wissenschaftlicher Sicht wird die empirisch-experimentelle Perspektive des Living Labs strukturierte Erkenntnisse zu konkreten Interaktionsanforderungen sammeln, Sicherheitsfragen praktisch bewertbar machen und außerdem neue Formate der integrativen Erforschung der MRI entwickeln.

Im **rokit-Hub** wird einerseits der Austausch der drei Elemente untereinander strukturiert. Andererseits dient er in Form eines *Einheitlichen Ansprechpartners* (EAP) für externe Anliegen, als Sprachrohr in die Öffentlichkeit und als bundesweiter *Kompetenzbroker*. Er soll zudem als ein Marktplatz für Dienstleistungen und Technologie zum Thema etabliert werden. Damit soll Herstellern, Anwendern, der Politik und der Öffentlichkeit einen One-Stop-Shop für sämtliche Anliegen rund um das Thema mobile Assistenzrobotik im öffentlichen Raum angeboten werden. Als zentrale Instanz wird der **rokit-Hub** zu Beginn des Förderzeitraums zudem Indikatoren festlegen, um die Wirksamkeit des Kompetenzclusters selbst zu evaluieren. Den Werten des Ist-Zustands nach dem ersten halben Jahr werden die Indikatorwerte nach 18 und 30 Monaten Projektlaufzeit gegenübergestellt. Zweck dieses Vorgehens ist es, eine agile und iterative Arbeitsmethode des Clusters zu unterstützen und so effizient und zielorientiert agieren zu können. Das Arbeitsergebnis des **rokit-Hubs** ist ein öffentlich bekannter EAP und Marktplatz für Assistenzrobotik im öffentlichen Raum sowie die Funktionsfähigkeit des Kompetenzclusters selbst. Der **rokit-Hub** soll so gestaltet werden, dass **rokit** von außen zugänglich und innerlich tragfähig ist.

Entlang des Prozesses, der sich durch die oben beschriebenen Module ergibt, werden über den Zeitraum der Projektförderung drei **Anwendungsfälle** bearbeitet. Die Anwendungsfälle unterscheiden sich in mehrfacher Hinsicht voneinander: durch den Typ des verwendeten Roboters, durch den konkreten Anwendungsbereich, durch die Form der Interaktion, durch die zu erfüllende Aufgabe und durch die zu erwartenden Interaktionsteilnehmer. Wir erwarten, dadurch ein breites Erfahrungsspektrum und allgemeingültige Erkenntnisse zu gewinnen. Die Anwendungsfälle werden aufeinander aufbauend bearbeitet, damit Erfahrungen, die in einem Anwendungsfall gewonnen werden, bereits in der laufenden Planung des nächsten Falls berücksichtigt werden können.

Die Arbeitsergebnisse des Clusters zum Ende des Förderzeitraums sind erprobte Design- und Evaluationsprozesse, Validierungsprotokolle, Toolkits, Fallstudien und Beratungsangebote, die den nützlichen, ethischen, sicheren und ökonomischen Einsatz von Robotern und die MRI im öffentlichen Raum ermöglichen.

13.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

13.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Der Einsatz von Assistenzrobotern im öffentlichen Raum steht international noch am Anfang. Japan, Südkorea oder China sind hier Vorreiter, da die Akzeptanzschwelle für (insbesondere humanoide) Roboter niedriger liegt als bspw. in Deutschland oder Frankreich (Nomura 2017). Insbesondere in Südkorea sind Roboter als Servicekräfte in Restaurants im Einsatz, allerdings bislang eher als Besucherattraktion, weniger um die Effizienz der Serviceprozesse zu steigern (Fusté-Forné 2021). Die Funktion der Roboter beschränkt sich größtenteils auf soziale und Kommunikationsaufgaben (Mubin et al. 2018), während physische Interaktion, Manipulation oder der Transport größerer Lasten eine untergeordnete Rolle spielen. Qualitativ ist das Bild im europäischen Raum identisch, quantitativ handelt es sich bei Assistenzrobotern in der Öffentlichkeit jedoch eher um Einzelfälle und F&E-Projekte als um breitenwirksame Lösungsansätze, wie etwa die Arbeiten aus dem BMBF Projekt *AuRorA* (Rönnau et al. 2020) oder der Assistenzroboter ANNIE des Projektpartners IFF¹. Einen Vorstoß in Richtung physisch assistierender Roboter wagte von 2017 bis 2019 die Deutsche Post im Projekt *PostBOT*, das jedoch aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt wurde (Voss 2019). In Bibliotheken und Krankenhäusern sind Roboter als fahrerlose Transportsysteme teilweise gut etabliert, die Interaktivität mit Menschen beschränkt sich jedoch i.d.R. auf das zur Einhaltung von Sicherheitsnormen notwendige Stoppen. Alternative Modi zur Kollisionsvermeidung, wie bspw. geeignete Ausweichstrategien, sind Gegenstand der Forschung (z. B. im BMBF-Projekt INTUITIV unter Beteiligung von HFC²).

¹ <https://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/robotersysteme/assistenzroboter-annie.html>

² <https://www.interaktive-technologien.de/projekte/intuitiv>

Mit Blick auf die Hardware sind viele der bereits entwickelten Roboter für einen Einsatz im öffentlichen Raum gut vorbereitet. Die meisten aktuellen mobilen Systeme verfügen über Lidar-Technik zur dreidimensionalen Erfassung der Umwelt. Die Ausstattung mit weiterer Sensorik zur Objekt- und Personenerkennung ist nahezu die Regel. Akkulaufzeiten, Mobilität und Navigationsfähigkeiten sind auf einem praxistauglichen Niveau angelangt. Die Grenzen der aktuell eingesetzten Technologien werden vielmehr durch fehlende Wirtschaftlichkeit, rechtliche Unsicherheiten und vor allem mangelnde Erfahrung und Expertise in der MRI gezeichnet.

Die Erforschung der MRI fokussiert meist spezifische Themen wie Pflegerobotik, industrielle Kollaboration oder soziale Robotik. Jung and Hinds (2018) bemängeln, dass zu viel MRI-Forschung im Labor stattfindet, wodurch die realen Implikationen im Kontext völlig unerforscht blieben. Rosenthal-von der Rosenthal-von der Pütten et al. (2020) sehen die Interaktion von Robotern mit beiläufigen Interaktionspartnern in der Wissenschaft derart unterrepräsentiert, dass sie von den „Vergessenen in der MRI“ sprechen und haben sich, sowie Lee and Toombs (2020), dieses Themas zumindest deskriptiv angenommen. Ein erwähnenswerter präskriptiver Ansatz zum Design von MRI für öffentliche Orte stammt von Tonkin et al. (2018). Er baut u.a. auf den Arbeiten von Weiss et al. (2011) und Alenljung et al. (2017) auf und hat eine Übertragbarkeit des UX-Konzepts auf die Gestaltung der MRI zum Ziel. Studien zur standardisierten Evaluation von MRI in der Öffentlichkeit existieren unseres Wissens ebenso wenig wie einheitliche Metriken oder Kennzahlen für diese Anwendungsdomäne.

Die **Untersuchungsmethoden** zu Interaktionen zwischen Menschen und Robotern erfordern oft ein umfangreiches Prototyping und/oder sind auf Wizard-of-Oz-Lösungen beschränkt. Virtual und Mixed Reality (VR/MR) können ein Simulationswerkzeug bieten, das schnelle, flexible und iterative Designprozesse ermöglicht. Studien zeigen, dass VR als Evaluationsumgebung für MRI sehr gut geeignet ist. So werden Gesten eines Roboterobjekts in virtuellen und physischen Interaktionsumgebungen ähnlich interpretiert (Sadka et al. 2020), was darauf hindeutet, dass die Kernaspekte der MRI in einer VR-Simulation erhalten bleiben (ökologische Validität). Der Projektpartner HFC konnte im vom BMBF geförderten Begleitforschungsprojekt ARAIG (ARA-1) außerdem zeigen, dass sich in der VR erhobene Verhaltensmaße in Bezug auf einen Roboter mit denen in der Wirklichkeit vergleichen lassen (Plomin et al., in

Bearbeitung; siehe auch Schweidler et al. 2020). Ein weiterer Vorteil des Testens in VR ist, dass die funktionale Sicherheit des Roboters zunächst zugunsten zügiger Testzyklen vernachlässigt werden kann.

Für den praktischen Einsatz hochautomatisierter Robotersysteme im öffentlichen Raum ist die **funktionale Sicherheit** hingegen eine unumstößliche Grundlage. Im EU-Projekt COVR (Valori et al. 2021) wurde dazu die Sicherheitsvalidierung auf Systemniveau für eine Vielzahl von Robotertypen untersucht und sogenannte Protokolle als Schritt-für-Schritt-Anleitungen, wie solche Validierungsmessungen durchzuführen sind, entwickelt. Aktuell wird ein aus dem COVR-Projekt entwickeltes Protokoll für die Messung von Druck und Kraft bei einer Kollision mit einem Roboter als ISO-PAS sowie ein CEN-CWA zum Thema „Aufbau und Strukturierung von Protokollen“ veröffentlicht. Die meisten Protokolle sind für Roboter im industriellen oder Rehabilitationsumfeld bestimmt. Roboter in öffentlichen Räumen wurden kaum behandelt. In *rokit* kann auf den Vorarbeiten und dem vorhandenen Wissen des Projektpartners IFF als treibendes Mitglied im COVR-Projekt aufgebaut werden, um neue Protokolle für Roboter im öffentlichen Raum zu entwickeln und durchzuführen. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Standardisierungsgemeinschaft können auch neue Erkenntnisse aus *rokit* schnell den Weg in die Standardisierung finden.

Das Recht kennt Roboter als Arbeitsmittel, Maschinen und andere Produkte (z. B. Medizinprodukte) und reguliert sie sektorspezifisch, also auf die speziellen Anforderungen und Bedürfnisse der jeweiligen Stakeholder zugeschnitten. Durch die Entwicklungen im Bereich selbstfahrender Fahrzeuge werden vollautomatisierte Systeme nun auch im öffentlichen Raum durch das Recht zunehmend adressiert (vgl. die neuen §§ 1a – 1c StVG oder das im Gesetzgebungsverfahren befindliche Gesetz für selbstfahrende Fahrzeuge). Noch kaum untersucht sind hingegen Fragen des Einsatzes robotischer Systeme im öffentlichen Raum (bzw. im Straßenverkehr) als Kleinstfahrzeuge. Auch die Forschung im Rahmen von Pilotprojekten zu selbstfahrenden Fahrzeugen nimmt vorrangig Shuttles für den Personentransport in den Blick (z. B. im Rahmen der Projekte I-AT, HEAT, HubChain).

Hoch- und vollautomatisierte Assistenzroboter erfordern einen umfangreichen Einsatz verschiedener **Methoden der KI** um ihre Aufgaben erfüllen zu können. So ist etwa zu Erfassung der Umgebungssituation nicht nur eine semantische Segmentierung der Umgebung, sondern auch eine Klassifikation der in der Umgebung befindlichen Objekte notwendig. Diese Aufgaben werden heute mit Modellen gelöst, die mit Verfahren des Maschinellen Lernens, insb. des Deep Learnings entwickelt wurden. Auch bei der Planung der auszuführenden Handlungen spielen diese Verfahren heute eine große Rolle. Hieraus ergeben sich jedoch viele Fragestellungen zu den rechtlichen, ethischen und sicherheitstechnischen Aspekten solcher Systeme. So ist bis heute beispielsweise noch ungeklärt, welche Gesetze bei Unfällen im Zusammenhang mit diesen Systemen anzuwenden sind und ob das Prinzip der Verschuldungshaftung angewendet werden kann oder eine allgemeine Gefährdungshaftung für KI-Systeme etabliert werden muss. Weiterhin existieren große Unsicherheiten bezüglich der Sicherheit der Systeme. Obgleich auch KI-Systeme in ihrer Mehrheit deterministische Ergebnisse liefern, sind sie aufgrund ihrer (Einsatz)Komplexität nicht vollständig testbar. Hierdurch ergeben sich potentielle Risiken und Fragen zur Nachvollziehbarkeit, Zuverlässigkeit und schließlich Sicherheit der eingesetzten Modelle. Die gesetzliche Regulierung von KI kommt allerdings insbesondere auf europäischer Ebene voran (Vorschläge zu neuer Maschinen-Verordnung und Verordnung über KI) und wird sich auch auf den Bereich der Robotik auswirken. Die rechtswissenschaftliche Forschung befasst sich dabei neben haftungsrechtlichen Überlegungen insbesondere mit Fragen nach Datenschutz und -sicherheit sowie Datenverfügbarkeit. Vor allem die haftungsrechtliche Diskussion weist enge Verbindungen zu ethischen Überlegungen auf.

Im Forschungsfeld **Responsible Robotics**, das sich mit der ethisch-sozial verantwortungsvollen Entwicklung und Implementierung von Robotern auseinandersetzt, gibt es bereits erste Initiativen für eine entsprechende Bewertung von robotischen Technologien. Die von niederländischen Institutionen geförderte Initiative *Foundation for Responsible Robotics (FRR)*, die mit dem Robotik-Innovations-Hub *RoboValley* zusammenarbeitet, entwickelt ein „Qualitätssiegel“, das Robotik-Unternehmen und ihre Produkte auf der Grundlage bestimmter Werte zertifiziert³. Die Initiative ist seit 2019 allerdings noch nicht über die Pilotphase hinausgekommen. Forschungsarbeiten

³FRR Quality Mark for (AI Based) Robotics

zum verantwortungsbewussten Einsatz von mobilen Robotern im öffentlichen Raum konzentrieren sich hauptsächlich auf einzelne Aspekte wie Annehmlichkeit (*comfort*) (May et al. 2017), Verhaltensbeeinflussung (Briggs and Scheutz 2014) oder Privatheit (Rueben et al. 2017). Langfristig werden sich robotische Lösungen nur dann in der Praxis durchsetzen, wenn sie nicht nur nützlich, sicher und ethisch angemessen, sondern auch wirtschaftlich tragfähig sind. Hierzu gibt es nur wenige Studien, von denen die EFFIROB-Publikation (Hägele et al. 2011) positiv hervorzuheben ist. Weiterführende Analysen der wirtschaftlichen Aspekte von Assistenzrobotik im öffentlichen Raum und ihrer Bedeutung für die Robotik-Entwicklung existieren hingegen nicht. Jüngst beschäftigen sich jedoch Studien im Bereich der MRI mit der Wirtschaftlichkeit von Robotiklösungen (Hees et al. 2019).

13.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Es gibt keinen uns bekannten Lösungsansatz mit einer ähnlichen Ausrichtung oder einer vergleichbaren methodischen und fachlichen Expertise. Bestehende Beratungs- oder F&E-Angebote fokussieren meist nur einzelne Aspekte wie die Gebrauchstauglichkeit, Akzeptanz oder Sicherheit und sind Angebote einzelner Unternehmen. Darüber hinaus existieren zwar konsortiale Angebote wie das *Forum FTS* des VDI oder das *Kompetenzzentrum für Rettungsrobotik* (DRK), diese widmen sich jedoch eng zugeschnittenen Domänen oder Technologien. Gegenüber diesen Lösungen bietet das Kompetenzcluster **rokit** den Mehrwert, dass es exzellente Partner aus *allen* entscheidenden Bereichen vereint und sich einer *übergeordneten* Anwendungsdomäne widmet. Erkenntnisse, die hier gewonnen werden, können daher gut auf andere Anwendungsdomänen übertragen werden. Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal ist, dass in den integrativen Felderproben im Living Lab neuartige Umsetzungen praktisch pilotiert werden. Das bietet erstens für Hersteller, Anwender, Öffentlichkeit und Gremien die Möglichkeit, gemeinsam zu lernen und wertvolle Erkenntnisse zur Regulierung neuer Technologien zu gewinnen. Zweitens können Hersteller ihre oft maßgeschneiderten Lösungen in situ mit professioneller Unterstützung erproben – ein Angebot, das es so bislang nicht gibt. Drittens werden erstmalig strukturierte Erfahrungen und messbare Ergebnisse zum praktischen Einsatz von Assistenzrobotern und zur MRI im öffentlichen Raum generiert.

Die VR-Simulation als fester Bestandteil der Methodenwerkstatt ist ein weiteres Alleinstellungsmerkmal des Clusters. Es wird begleitende Forschung zum Thema VR-Simulationen in der MRI betreiben, um neuartige Interaktionstechniken zu entwickeln und innovative Dienstleistungen anbieten zu können. Herausforderungen wie die Simulation des öffentlichen Raums in VR oder MR, das Steuern über natürliche Armgesten, oder auch das Hineinversetzen in den Roboter und dessen Steuerung in VR (ggf. mit Echtzeitanbindung an den realen Roboter) werden dabei untersucht.

In puncto Sicherheitsbetrachtungen ist *rokit* in zweierlei Hinsicht einzigartig. Sicherheitsnormen definieren aktuell maximale Geschwindigkeiten oder maximale Kräfte bei Kontakten zwischen bewegten Roboterteilen und menschlichen Körperteilen. Ein Roboter, der diese zwar einhält, aber auch weitgehend ausschöpft, ist zwar nach Rechtslage sicher, wird aber vom Nutzer eher nicht als sicher empfunden. In *rokit* wird deshalb auch der Einfluss von Verhaltens- und Gestaltungseigenschaften des Roboters auf dessen empfundene Leistungsfähigkeit und Sicherheit untersucht – ein in diesem praktischen Kontext unbestelltes Feld. Ein weiterer Aspekt der funktionalen Sicherheit sind die Annahmen über Personen, die in Kontakt mit den Robotern kommen werden. Bei der Risikoanalyse für Anwendungen im industriellen Umfeld werden i.d.R. gesunde Menschen mit hohen kognitiven Fähigkeiten vorausgesetzt. Für die Anwendungsfälle in *rokit* werden dahingegen vielfältige Zielgruppen angenommen, was die Anforderungen an die Generalisierbarkeit um ein Vielfaches erhöht.

Die Berücksichtigung ethischer, sozialer und rechtlicher Aspekte von Anfang an stellt eine weitere Besonderheit dar. Im Unterschied zu der „ethischen Zertifizierung“ von Roboter-Systemen, wie sie beispielsweise von der FRR entwickelt wird, verfolgt *rokit* einen prozessbegleitenden Ansatz, der nicht auf eine reine Beurteilung beschränkt ist. Dem Anspruch von Responsible Research and Innovation (RRI) folgend, wird die Operationalisierung und Spezifizierung von ethisch-sozialen Werten um Methoden der integrierten Forschung ergänzt und erweitert. Das ELSI-Angebot von *rokit* ist dabei umfassender als bisherige Ansätze, da die Technologie mobiler Roboter hier nicht isoliert von der Anwendungssituation, sondern in den komplexen Umgebungen des öffentlichen Raumes betrachtet wird. Auf diese Weise können im *rokit*-Angebot beispielsweise Anwendungsszenarien aus der Perspektive einer verantwortungsvollen urbanen Innovation thematisiert werden (Nagenborg 2020).

Rechtlich werden in *rokit* maßgerechte Lösungen entwickelt, da für die unterschiedlichen Stakeholder verschiedene Aspekte relevant sind. So sind für die Anwender neben Fragen zu Haftung, Datenschutz und -sicherheit bei der Objekterkennung auch produkt-, versicherungs-, und ggf. straßenverkehrsrechtliche (also zulassungsrechtliche) Fragen vorrangig. Aus Perspektive indirekt Betroffener können Datenschutz und Haftungsfragen ebenfalls von zentraler Bedeutung sein. In *rokit* werden wir die rechtlichen Aspekte neuer Ansätze der Assistenzrobotik aufzeigen, Lücken oder Unklarheiten im Recht durch die Praxiserfahrungen der Stakeholder ermitteln und Handlungsempfehlungen für die Beschaffung und den Einsatz von Robotern geben, aber auch mögliche rechtliche Hindernisse aufzeigen. Zudem werden für die Kunden interessante patent- und schutzrechtliche Gesichtspunkte adressiert.

13.2.3 Risikodarstellung

rokit wird durch interdisziplinäre Exzellenz befähigt, hoch innovative und maßgerechte Lösungen für neuartige Probleme anzubieten. Die Innovationshöhe, die Bindung profilierter wissenschaftlicher Kapazitäten und der Aufbau einer neuen Organisationsstruktur bergen jedoch Risiken, die nicht individuell getragen werden können.

Das geplante Verbundvorhaben erschließt technisch und wissenschaftlich Neuland, indem die identifizierten Lücken für die Robotisierung des öffentlichen Raums geschlossen werden. Im Bereich Technik umfassen die Herausforderungen zum einen die Entwicklung von Lösungen für die Prüfung von Benchmarks, die valide und robust sind sowie über vielfältige Robotertypen und fortlaufend neue Anwendungsszenarien hinweg eingesetzt werden können. Dies betrifft Prüftechniken für die Funktion und auch für die empfundene Sicherheit. Zum anderen muss im Projekt die „letzte Meile“ an den Robotern selbst realisiert werden, was die Umsetzung nützlicher Interaktionskonzepte erfordert und unter Umständen neue Anforderungen an die Sensorik, Steuerung sowie Ein- und Ausgabetechnologien stellt. Wissenschaftliche Risiken entstehen aus den vielfältigen Anforderungen und noch immer bestehenden Lücken für Assistenzrobotik aus ethischer und rechtlicher Perspektive, wofür im Projekt daher teils weitere Grundlagen erarbeitet werden müssen. Auch die MRI-Forschung und Umsetzung sukzessiver Tests im Feld ist bisher in dem vorgeschlagenen Umfang für Assistenzrobotik neu. Damit verbunden sind Risiken der Durchführbarkeit, der

Akzeptanz und damit der breiteren Wirkung der Evaluationsstudien in der Öffentlichkeit. Schließlich bietet auch die transdisziplinäre Zusammenarbeit Chancen wie Risiken für die wissenschaftliche Arbeit. Es muss gelingen, im Projekt eine gemeinsame Sprache zu entwickeln, die wissenschaftlichen und technischen Ziele zu harmonisieren und ein sinnvolles Gesamtpaket an Angeboten zu entwickeln, das einfach kommunizierbar, nachhaltig und vor allem nützlich für Hersteller und Anwender ist. Das wirtschaftliche Risiko für die geplanten Entwicklungen ist für die Verbundpartner hoch und ohne eine Förderung des geplanten Kompetenzclusters nicht möglich.

Wie oben skizziert, ist ein interdisziplinärer, multiperspektivischer Ansatz notwendig, um die mit Assistenzrobotik im öffentlichen Raum verbundenen Problemstellungen erfolgreich zu bearbeiten. Das Konsortium ist entlang der notwendigen Disziplinen aufgestellt und umfasst Interaktionsgestaltung und Ergonomie, Sicherheit, Recht, Ethik, Wirtschaftswissenschaften, Arbeitswissenschaft, Sozialwissenschaften und Technikfolgenabschätzung. Die ausgewiesene Expertise der Partner in ihrem jeweiligen Fachgebiet, der breite methodische Ansatz und ein breites Angebot durch die miteinander vernetzten Kernbereiche Thinktank, Methodenwerkstatt, Living Lab und *rokit*-Hub werden als Lösungsstrategien und Maßnahmen angesehen, die technischen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Risiken für die Verbundpartner zu minimieren.

13.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Das wissenschaftliche Ziel des Projekts ist ein Prozess, der die Anforderungen und die Performanz, (Rechts-) Sicherheit, MRI und ELSI von Assistenzrobotik im öffentlichen Raum integriert. Als Blaupause für diesen Prozess dient die von Tonkin et al. (2018) vorgestellte Methodik des User Experience Designs für MRI. Diese wird in mehrfacher Hinsicht erweitert: im Großen um die Einbettung in den gesamtgesellschaftlichen Rahmen, im Detail um die konkrete Validierung funktionaler und rechtlicher Aspekte und in der Durchführung um neue Untersuchungs- und Testmethoden. Außerdem werden Metriken (weiter)entwickelt, um das Ergebnis des Prozesses formal bewerten zu können. Die Teilarbeitsziele werden im Folgenden jeweils kurz dargestellt.

Methoden der integrativen Gestaltung: Wir sind überzeugt, dass die Konzeption



Abbildung 13.3: Die einzelnen Methoden und Kompetenzen in rokit im Zusammenspiel. Die Grafik ist grob nach einem zeitlichen Ablauf von links nach rechts geordnet, allerdings nicht streng als Prozess zu lesen.

von Robotern für den öffentlichen Raum mit der Erwägung der gesellschaftlichen, ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen beginnen sollte, damit die Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von vornherein sichergestellt werden. Dazu wird als Rahmen der Methodik ein Prozess des szenariobasierten Designs (Rosson and Carroll 2009) aufgesetzt. Dieses Vorgehen ist besonders gut geeignet, um unterdefinierte und komplexe Problemstellungen, insbesondere in dynamischen Umgebungen, beherrschbar zu machen. Konkret werden durch beobachtende, investigative (Interviews, Workshops) und partizipative (VSD, Co-Design) Verfahren die Bedürfnisse und Vorstellungen der Stakeholder eines bestimmten Szenarios gesammelt und strukturiert. Diese Anforderungen dienen anschließend als Benchmarks, um die entwickelten Lösungen im Rahmen der Test-Szenarien – unter anderem den Anwendungsfällen – zu validieren. Da die Arbeit in diesem Bereich qualitativer Natur und als solche schwer in Metriken zu fassen ist, werden die Anwendungsszenarien in beherrschbare Test-Szenarien der einzelnen Unterpunkte (MRI/UUX, Performanz, Sicherheit) aufgegliedert.

Methoden, Metriken und Test-Szenarien der MRI und UUX: Die Qualität der Interaktion mit einem Roboter ist ein subjektives Maß und kann daher ausschließlich durch die Einbeziehung der Nutzer und Nutzerinnen erfasst werden. Zwei Bewertungskonzepte, die sich hier als grundsätzlich nützlich erwiesen haben, sind die Akzeptanz und die UUX. Diese Konzepte lassen sich gut durch bestehende Fragebögen erheben, haben jedoch den immanenten Nachteil, dass die Erhebung post-hoc erfolgt, was besonders im öffentlichen Raum schwer bis nicht möglich ist. Eine Alternative stellen direkt durch Motion Tracking gemessene physische Maße dar, über die indirekt Angaben über die Qualität der Interaktion gemacht werden können. Das Annäherungsverhalten gibt beispielsweise Auskunft über das Vertrauen einer Person in einen Roboter, die körperliche Zugewandtheit und die Zeit, die eine Person in der Interaktion verbringt, lassen Schlüsse auf das Interesse und die Zu- oder Abneigung bezogen auf den Roboter zu. In den Vorarbeiten im vom BMBF geförderten Projekt ARAIG wurden vom Projektkoordinator HFC erste Versuche durchgeführt, um diese Metriken zu harmonisieren und Test-Szenarien zu entwickeln. In *rokit* soll nun darauf aufgebaut werden, mit dem Ziel, eine Testbatterie zusammenzustellen, die sowohl die Fragebögen als auch die beobachteten und gemessenen Verhaltensmaße umfasst. Um Benchmarks zu erstellen und die Testbatterie an verschiedenen MRI-Strategien validieren zu können, wird – neben den Feldversuchen – auf den Einsatz von VR zurückgegriffen. Die Simulation der MRI in der VR hat gegenüber dem Test in der Realität zwei entscheidende Vorteile: Zum einen können Interaktionsszenarien schneller und kostengünstiger umgesetzt werden, zum anderen können auch solche Interaktionen getestet werden, die in der Realität aus Sicherheitsgründen nicht für Experimente geeignet wären, aber im freien Feld durchaus vorkommen können (etwa ein sich von hinten nähernder Roboter).

Metriken und Test-Szenarien der Performanzmessung: Der Begriff der Performanz umfasst sowohl physische Metriken wie Robustheit oder Schnelligkeit, als auch im subjektiven Erleben der Nutzer liegende Eigenschaften wie die Natürlichkeit einer Interaktion, die Verständlichkeit von Rückmeldungen oder Anforderungen des Systems an seine Nutzer oder das Sicherheitsgefühl interagierender Personen. In Bezug auf die funktionale Sicherheit gehen wir davon aus, dass die zu testenden Systeme bereits notwendigen Grundanforderungen einschlägiger Normen und Rechtsvorschriften zu ihrem Betrieb in der jeweiligen Situation erfüllen. Untersuchungen zur Sicherheit

beziehen sich in diesem Fall auf die *empfundene* Sicherheit und deren Ursachen. Die im Projekt ARAIG vom Projektpartner Fraunhofer IPA erarbeitete mobile Testumgebung für Funktions- und Sicherheitstests wird um neue Methoden und Funktionen zur Performanz-Evaluation erweitert und so zu einem mobilen Leistungstestlabor ausgebaut. Die Weiterentwicklung des mobilen Leistungslabors erfolgt in einem iterativen Prozess, bei dem zuvor identifizierte Anforderungen einzeln oder in eng zusammenhängenden Gruppen umgesetzt und möglichst unmittelbar praktisch erprobt werden. Durch das iterative Vorgehen wird eine enge Orientierung an tatsächlichen Bedarfen der Nutzer/Kunden des Kompetenzclusters gewährleistet. Ziel ist eine mobile, d.h. vor Ort bei Nutzern/Kunden einsetzbare Testumgebung zur umfassenden, objektiven Analyse der empfundenen Leistungsfähigkeit des Robotersystems in der Interaktion mit seinen Nutzern bzw. seiner Umgebung unter realen Bedingungen. Dazu sollen unterschiedliche optische und andere Beobachtungsverfahren zur Analyse des äußeren Verhaltens und – soweit von den Nutzern gewünscht oder zugelassen – der internen (Software-)Abläufe des zu testenden Systems erprobt und mit verschiedenen Verfahren der Zeitreihen- und Verhaltensanalyse unter Beachtung einschlägiger Datenschutzregeln in einer integrierten Testumgebung zusammengeführt werden.

Metriken und Test-Szenarien zur Feststellung der Funktionalen Sicherheit: Anforderungen an die funktionale Sicherheit werden durch Gesetze und harmonisierte Normen gestellt und durch Roboterhersteller, Systemintegratoren und Endanwender verwendet, um die gesetzlich geforderte CE-Kennzeichnung zu erlangen. Nachdem das komplette System aufgebaut und betriebsbereit ist, sind sogenannte Validierungsmessungen auf Systemniveau (im Gegensatz zur Validierung der Funktionalität einzelnen Sensoren) nötig, um die Sicherheit nachzuweisen. Diese Validierung soll unter betriebsnahen Bedingungen erfolgen und darf aus ethischen und wissenschaftlichen Gründen nicht mit Menschen als Testpersonen durchgeführt werden. Die Methoden zur Validierung werden auf Basis der im EU-Projekt COVR mit Beteiligung des Fraunhofer IFF entstandenen Methoden zur domänenunabhängigen Validierung von Robotersystemen (Valori et al. 2021) weiterentwickelt. Es werden sowohl herkömmliche Validierungsmethoden (z. B. durch Messungen) als auch neuartige digitale Methoden (Simulation) untersucht und Empfehlungen für deren Nutzung, die aktuellen Einsatzgrenzen und wesentlichen F&E-Fragestellungen zum Thema dokumentiert. Die

Entwicklung beinhaltet auch den Prozess der Risikobewertung und Risikominderung, um Risiken auf ein gesellschaftlich akzeptables Niveau zu reduzieren. Insbesondere werden hier Best Practices und hilfreiche Beispiele erarbeitet, die weit über die Vorschläge für typische Gefährdungen aus ISO 12100:2011 oder ISO 13482:2014 gehen. Für die Beratung und die Bearbeitung von F&E-Fragestellungen der Hersteller und Anwender aus dem Bereich mobiler Serviceroboter wird das IFA und dessen Mitglieder einbezogen.

Anwendungsfälle und deren Bezug zu den Arbeitszielen: Die Anwendungsfälle sind von Anfang an formgebend für sämtliche Arbeiten am *rokit* und ziehen sich als konzeptuelle rote Fäden durch alle Schritte der Entwicklung von Methoden, Metriken und Test-Szenarien. Sie werden als Feldversuche nach 12, 18 und 21 Monaten des Förderzeitraums ausgeführt und bauen iterativ aufeinander auf.



Abbildung 13.4: Der Roboter SPOT und ein Mitarbeiter des IFF beim Annäherungsversuch.

Im ersten Anwendungsfall soll ein beim Konsortialpartner Fraunhofer IFF vorhandener vierbeiniger, zoomorpher Roboter (SPOT) auf einem Universitätscampus für Inspektions- und Kontrollaufgaben eingesetzt werden. Fokussiert wird dabei die MRI mit Passanten, Radfahrern und weiteren zu erwartenden Personen. Dabei ist wichtig, dass stets ein sicherer Abstand zwischen Mensch und Roboter eingehalten und der Roboter nicht zum Hindernis wird. Gleichzeitig muss der Roboter sich zügig über

das Gelände bewegen, damit die Inspektionsroute innerhalb eines wirtschaftlichen Zeitraums zurückgelegt werden kann. Es wird also eine **hohe Leistungsfähigkeit bei hoher Sicherheit** angestrebt. Beides, Leistungsfähigkeit und Sicherheit, kann aus Sicht des Konsortiums durch eine geeignete **MRI** gesteigert werden. Dazu sollen einerseits verschiedene Formen von Ausweichmanövern bzw. intuitiv lesbarer Trajektorien untersucht werden. Zum anderen soll es um die kommunikative Gestaltung gehen: Dem

Roboter kann durch eine symbolhafte Farbgebung institutionelle Autorität geliehen werden, der Einsatz von Warnbeleuchtung kann zur Rücksichtnahme anregen und schließlich kann sich der Roboter durch Geräusche oder Sprachausgaben bemerkbar machen. Die Frage, inwiefern sich all diese Gestaltungsmaßnahmen funktional eignen, ist zwangsläufig mit der Frage nach deren Angemessenheit, also einer **ethischen Beurteilung**, verbunden. Hinzu kommt ein Komplex **rechtlicher Fragestellungen**, die zum einen die Interaktion und zum anderen die Aufgabenerfüllung betreffen. Komplementär dazu soll das Szenario auch im Innenbereich eines Büro- oder Verwaltungsgebäudes getestet werden. Damit wird eine Nähe und Vergleichbarkeit zum zweiten Anwendungsfall hergestellt und dadurch die Entwicklung **bereichsübergreifender Metriken** überhaupt erst möglich.

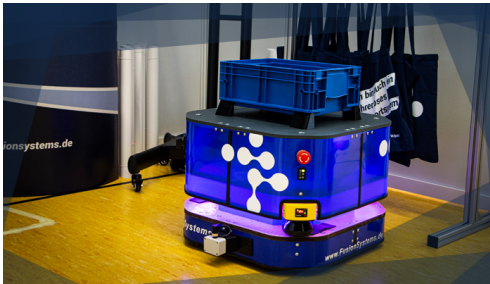


Abbildung 13.5: Der Roboter MULI, beladen mit einer Kiste.

Im **zweiten Anwendungsfall** wird das fahrerlose Transportsystem MULI des assoziierten Partners FusionSystems in einer kollaborativen Transportaufgabe im öffentlichen Innenbereich einer Universität betrachtet. Der Roboter wird, mit einer Last beladen, dem Menschen auf seinen Wegen durch das Gebäude folgen (Follow-me-Funktion). Die Steuerung der Interaktion

bzw. Navigation erfolgt dabei durch berührungslöse Gesten. Sämtliche Herausforderungen aus dem ersten Anwendungsfall treffen auch hier zu, jedoch eröffnet sich durch die gezielte Interaktionsform ein Komplex weiterer Fragen. Diese betreffen die **MRI** (Welche Gesten eignen sich aus menschlicher Sicht?), die **Leistungsfähigkeit und Sicherheit** (Wie werden konkurrierende Navigationsanforderungen von Mensch und Umwelt integriert?) sowie das **Recht und die Ethik** (Was passiert, wenn unberechtigte Personen versuchen, den Roboter zu steuern?).



Abbildung 13.6: Der Reinigungsroboter der Firma Angsa Robotics im Einsatz.

Im **dritten Anwendungsfall** wird der Roboter des Konsortialpartners ANG-SA Robotics in einem öffentlichen Park Kleinstmüll einsammeln. Auch hier sind die Probleme des ersten Anwendungsfalls präsent, auch hier kommt eine spezifische Anforderung hinzu: Der Roboter soll durch Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Stadtreinigung eingesetzt werden. Deren Einbeziehung in die **technischen und rechtlichen** Aspekte der Roboterbe-

dienung soll ebenso Gegenstand der Forschung sein wie die dreifache Interaktion zwischen Öffentlichkeit, Roboter und Mitarbeiterinnen. Der dritte Anwendungsfall ist außerdem deshalb besonders, weil die Feldversuche einen unmittelbar darauf folgenden produktiven Einsatz pilotieren sollen. Gewissermaßen wird sich an diesem Anwendungsfall damit die Nützlichkeit sämtlicher im Förderzeitraum erarbeiteten Ergebnisse unmittelbar prüfen lassen.

13.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

13.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Das Projektergebnis ist ein ganzheitliches Beratungs- und Begleitungsangebot des Kompetenzclusters, insbesondere für KMU und Start-ups in Deutschland (siehe Tabelle in Abbildung 13.7). Die im Projektverlauf entwickelten Angebote und Methoden unterstützen bei der nutzer- und stakeholderzentrierten Integration von interaktiven Robotik-Technologien im öffentlichen Raum. Dadurch ist als Ergebnis ein umfassender Know-how-Gewinn sowohl im Bereich der betrachteten Anwendungen als auch darüber hinaus zu erwarten, der wissenschaftlich verwertet werden soll. Die Konsortialpartner sind hoch motiviert, das Kompetenzcluster nach Ablauf des Förderzeitraums fortzuführen und die Weiterentwicklung der o.g. Dienste und Leistungen voranzutreiben. Hierfür werden im Projekt die entsprechenden Verwertungskonzepte auf Basis der

13.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

	UX & MRI	Sicherheit & Performanz	Ethik & Gesellschaft	Recht & Politik
Thinktank	Publikationen	Gremienarbeit	Öffentlichkeitsarbeit	Gremienarbeit
Methoden-Werkstatt	Toolkits, Training, Beratung, Begleitung	Toolkits, Sicherheitsworkshops Bzw. -trainings, Selbstzertifizierung	Toolkits, Workshops, Leitfäden	Toolkits, Beratung, Leitfäden
Living Lab	Evaluation + Benchmarks (MRI)	Zertifizierung + Benchmarks (Performanz)	Ethikgutachten	Zertifizierung, Begutachtung
rokit-Hub	Kompetenzbroker und Ansprechpartner für Anwender, Hersteller, Öffentlichkeit, Gremien & Politik			

Abbildung 13.7: Die rokit-Angebote, strukturiert anhand der Clusterelemente und Kompetenzbereiche.

Hersteller- und Anwenderbedarfe entwickelt.

Die Konsortialpartner gehören in ihren Bereichen zu den jeweils führenden Forschungsinstitutionen und haben umfangreiche Erfahrungen in der Durchführung interdisziplinärer Forschungsprojekte. Darüber hinaus sind die **rokit**-Partner hochgradig in ihren jeweiligen Domänen vernetzt. Die Arbeiten im Projekt sind sorgfältig aufeinander abgestimmt und auf die Entwicklungsbelange eines Kompetenzclusters zugeschnitten. Es kann deshalb erwartet werden, dass **rokit** erfolgreich und mit hohem Nutzen für die Anwender im Speziellen und für die deutsche Forschung auf dem Gebiet der Assistenz- und Servicerobotik im Allgemeinen durch- und weitergeführt werden wird.

Aus dem Thinktank und den Ergebnissen der Studien im Living Lab werden sich für die Partner Fragestellungen und Forschungsbedarfe ergeben, die anschlussfähig an eine Arbeit nach dem Projekt sind. Die Forschungsergebnisse fließen in aktuell laufende und zukünftige Forschungsprojekte ein und werden auch zur Fortschreibung und Weiterentwicklung der jeweiligen F&E-Programme der Projektpartner genutzt. Im Rahmen der geplanten öffentlichkeitsarbeit des Projektes werden alle Forschungspartner individuell und in Gemeinschaft die Ergebnisse des Projektes in Form von Veröffentlichungen, Fachvorträgen und Informationsmaterial der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen. Dies umfasst auch White Papers für nationale und Europäische Institutionen, Stellungnahmen zu Gesetzgebungsverfahren sowie wissenschaftliche Abschlussarbeiten. Die Ergebnisse fließen zudem in die Ausbildungs- und Lehrveranstaltungen der wissenschaftlichen Partner ein. Darüber hinaus ergeben sich folgende

partnerspezifische wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Angsa Robotics entwickelt Reinigungsroboter, die auch im öffentlichen Raum eingesetzt werden sollen und profitiert daher als Anwendungspartner direkt von in **rokit** erzielten Ergebnissen. Bereits während der laufenden Entwicklung können gemeinsam mit den Projektpartnern Fragen zu MRI, Sicherheit, Ethik und Recht eruiert werden. Durch das Know-how der Projektpartner werden sowohl geplante Interaktionen mit Nutzern prospektiv gestaltet und zugleich unregelmäßige, passive Interaktionen möglichst intuitiv und konfliktvermeidend konzipiert. Angsa gewinnt im Projekt zum einen Erkenntnisse für die Produktgestaltung, zum anderen kann durch das Beratungs- und Begleitangebot selbst methodisches Know-how für die Gestaltung von Robotern und deren Interaktionen im öffentlichen Raum aufgebaut werden.

Basierend auf umfangreichen Vorarbeiten des **Fraunhofer IFF** können mit den Projektergebnissen Toolkits, wie Checklisten und webbasierte Planungshilfen sowie Simulationstools zur Ermittlung sicherer Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) weiterentwickelt werden. Das Fraunhofer IFF ist auch in der internationalen Normung aktiv (Convenor der TC 299 Working Group 8 zu Mess- und Validierungstechniken) und ist im Board of Directors der euRobotics vertreten. Die Projektergebnisse von **rokit** werden innerhalb dieser Institutionen ausgetauscht um die Roadmapping-Aktivitäten zu unterstützen.

rokit adressiert mehrere in Kundenprojekten des **Fraunhofer IPA** wiederkehrende Probleme: Potentiellen Anwendern sind die mit der MRI verbundenen Herausforderungen nicht bewusst, es fällt ihnen schwer die Komplexität und damit die zu erwartenden Kosten und in Folge die Wirtschaftlichkeit einer Lösung einzuschätzen. Es gibt praktisch keine Möglichkeiten am Markt, Anwendungskonzepte niederschwellig zu testen und die Performanz (insbesondere in Hinblick auf Interaktionsqualität) innovativer Robotersysteme zu vergleichen und objektiv zu messen. Die vom IPA in das Kompetenzcluster **rokit** eingebrachte transportable Testumgebung für Serviceroboter wird im Projekt weiterentwickelt und breit gefächert potentiellen Anwendern und Herstellern zur Nutzung angeboten.

Die Projektergebnisse aus **rokit** werden über die Institutsleitung des **Fraunhofer IMW** in die Lehre und die Arbeit mit Promovierenden und Studierenden der Universität

Leipzig einfließen. Die Forschungsergebnisse werden weitergehend in einschlägigen nationalen und internationalen forschungs- und praxisorientierten Zeitschriften im Bereich der nutzerzentrierten Produktentwicklung und im Technologietransfer publiziert. Eine breite wissenschaftliche Verwertung soll auch über die Teilnahme an nationalen und internationalen Fachtagungen erreicht werden.

Als eines der wenigen KMU im Bereich MRI wird **HFC** seine Expertise und sein Methodenportfolio in diesem Bereich weiter ausbauen und nach Ende der Förderung weiter als ein kommerzielles Angebot führen. Die Arbeitsergebnisse des Projekts können zudem rück- oder weitergeführt werden in angrenzende Einsatzgebiete, wie die MRI im industriellen Kontext oder auch für Interaktionskonzepte des vollautomatisierten Fahrens. Durch die angestrebten Vernetzungsaktivitäten eröffnen sich zudem hervorragende Möglichkeiten der Kooperation und für die Akquise kommerzieller Anschlussprojekte. HFC wird durch das Projekt insgesamt als Forschungsdienstleister im Bereich Robotik gestärkt.

Die Arbeitsgruppe Mixed Reality & Visualisierung (MIREVI) der **Hochschule Düsseldorf** wird die Ergebnisse aus **rokit** in den regelmäßigen Publikationen der Arbeitsgruppe auf nationalen und internationalen Konferenzen verbreitet. Neben einer umfassenden Vernetzung in der nationalen und internationalen Community der Mensch-Technik-Forschung wird mit **rokit** auch die direkte Verbindung zu regionalen KMUs weiter gestärkt. Die Arbeitsgruppe wird mit Präsentationen des Projektes bei Führungen sowie auf Messen und Veranstaltungen die Öffentlichkeitsarbeit und nachhaltige Forschungsverwertung unterstützen.

Das **IFA** unterstützt als ein Teil des Kompetenznetzwerks *Prävention* der DGUV bei der Erfüllung des gesetzlichen Auftrags zur Verhütung von Arbeits- und Wegeunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren. Die Projektergebnisse kommen bei der Umsetzung dieses Auftrags aus langfristiger Perspektive zweifach zum Tragen: durch die Bereitstellung von Assistenzrobotern, die dabei helfen besonders unergonomische, schwere und sich wiederholende Tätigkeiten zu automatisieren, sowie durch Methoden zur sicheren Umsetzung, aber auch Evaluation solcher Systeme, was unmittelbar zur Unfallprävention beitragen wird. Aus kurz- und mittelfristiger Perspektive werden die Erkenntnisse aus **rokit** vom IFA in nationale sowie internationale

Standardisierungsprojekte eingebracht.

Im Sinne einer nachhaltigen Nutzung des öffentlichen Raums können die gewonnenen Erkenntnisse in der Schnittmenge *selbstfahrende Fahrzeuge, Robotik* und *KI* durch das **IKEM** genutzt werden, um hier die technische Entwicklung mit dem aktuellen rechtswissenschaftlichen Forschungsstand zu begleiten und für Gesetzgebungsvorhaben Wissen aus der Praxis zu heben. *rokit* bietet dafür die Möglichkeiten, in einem breit aufgestellten Konsortium eine Vielzahl von Stakeholdern zu adressieren, die rechtlichen Implikationen in der Praxis zu erforschen, die Umsetzung von Assistenzrobotik im öffentlichen Raum zu begleiten und gleichzeitig Politik und Verwaltung mit einzubinden.

Durch das Berlin Ethics Lab der **TU Berlin** wird das nur in Ansätzen ausgearbeitete Forschungsfeld einer Ethik der MRI (Arnold and Scheutz 2017) um signifikante Themen wie gesellschaftliche Teilhabe, ökologische Nachhaltigkeit, Automatisierungseffekte oder Technisierung des öffentlichen Raumes erweitert. Aus einer Evaluation der vielfältigen Ansätze, die in den Workshops und in begleitenden ethisch-sozialen Interventionen des Projektes zum Einsatz kommen, wird ein umfassendes Best-Practice-Programm für eine ELSI-Reflexion und entsprechende Integration für den Übergangsprozess von der Entwicklung in den realen Einsatz der Roboter-Systeme erarbeitet und für den zukünftigen Einsatz im Kompetenzcluster mit den Projektpartnern abgestimmt.

Die Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der **TU Chemnitz** baut mit Hilfe des Projekts ihre Expertise im Bereich der MRK weiter aus. Mittels der in *rokit* entwickelten Methoden und Werkzeuge zur Durchführung von Felderprobungen von MRK-Systemen im öffentlichen Raum kann die Professur eine in Wissenschaft und Praxis existierende Lücke schließen. Dies bietet wichtige Anknüpfungspunkte für Forschungsleistungen der Professur im Zukunftsfeld MRK. Insbesondere können Synergien mit dem Profilschwerpunkt *Mensch und Technik* und dem Sonderforschungsbereich *Hybrid Societies* genutzt werden. Die Professur ist zudem in Verbänden zur Stadtgestaltung der Zukunft, wie der *Morgenstadt* Initiative, aktiv und wird die Ergebnisse hier verbreiten.

13.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Für alle Projektpartner sind neben dem wissenschaftlichen Zugewinn auch eine nachhaltige wirtschaftliche Perspektive des Clusters und individuelle Verwertungskonzepte von Bedeutung. Vor diesem Hintergrund werden im Projekt schon frühzeitig Ansätze und Modelle erarbeitet, wie eine dauerhafte Refinanzierung von Dienstleistungen nach Beendigung der Projektlaufzeit gewährleistet werden kann. Die Prozesse und Organisationsformen werden in einem gemeinsamen Verwertungs- und Verstetigungskonzept festgelegt, dessen Ziele und Umsetzungsschritte im gesonderten Arbeitsplan beschrieben sind. Das Konzept bildet regionale, branchenspezifische und standortübergreifende Anforderungen und Möglichkeiten ab, berücksichtigt einen kontinuierlichen kommunikativen Prozess mit internen und externen Akteuren, beinhaltet eine Reflexion und Bewertung der bisherigen durchgeführten Prozesse (welche der zu Beginn gestellten Ziele wurden erreicht, was waren die Gründe für Erfolg oder Misserfolg) und erarbeitet eine zukunftsorientierte Zielvorstellung aller Beteiligten.

Nach Projektende wird ein in vier Geschäftsbereiche gegliedertes Ertragsmodell angestrebt. Der erste Geschäfts-Bereich speist sich direkt aus den Ergebnissen der Methodenwerkstatt und besteht aus dem Vertrieb von Toolkits, Guidelines, Best Practices, Studien und Schulungsmaterialien. Der zweite Bereich bietet standardisierte Beratungs- und Leistungspakete zur Konzeptfindung, Lasten- und Pflichtenhefterstellung, Projektbegleitung, Gebrauchs-Tauglichkeits-, Sicherheits- und Performanztests sowie Gutachten und Audits. Diese standardisierten Angebote können teilweise an individuelle Anforderungen angepasst werden, werden aber vor allem durch reproduzierbare Anteile wirtschaftlich. Im dritten Geschäftsfeld werden individualisierte Beratungs- und Begleitangebote gemacht, die über die standardisierten Angebote hinaus eine stärkere individuelle Passung bieten und so auch organisationale Prozesse wie das Change-Management oder Trainings beinhalten. Das vierte Geschäftsfeld dient der Auftragsforschung, der Durchführung von Fallstudien oder der Begleitung von gesellschaftlichen Transformationsprozessen aus technischer Sicht und unter ELSI Aspekten.

Damit die Angebote des Clusters reibungslos in einen Betrieb nach der Förderphase überführt werden können, wird im Projektzeitraum permanent daran gearbeitet, eine lauffähige Angebots- und Ertragsstruktur entlang der Nutzerbedarfe zu gestalten und zu testen. Die letzten 6 Monate vor dem Projektende werden dazu genutzt, realistische Geschäftspläne für die nächsten Monate zu fixieren sowie die Prozesse und Leistungen zu definieren. Etwa ein Jahr nach Projektende soll erreicht sein, dass sich das Cluster aus dem Vertrieb der Serviceleistungen und ggf. den Finanzquellen der Partner refinanziert. Zwei Jahre nach Projektende wird ein vollständig tragfähiges Grundgeschäft des Clusters angestrebt. Abhängig von den vorherigen Entwicklungen und Erfahrungen wird eine geeignete Organisations- und Geschäftsform (Netzwerk, eingetragener Verein, Kapitalgesellschaft) festgelegt.

13.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

13.5.1 Übersicht über die Verbundpartner

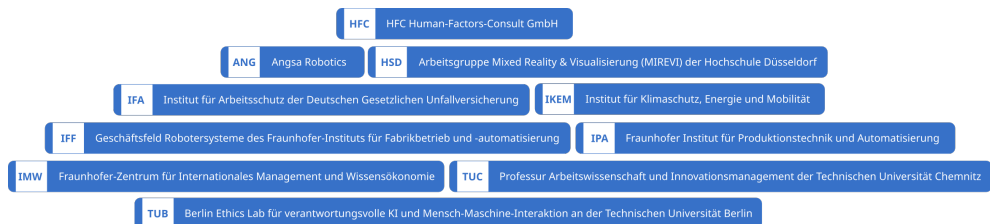


Abbildung 13.8: Übersicht der Verbundpartner.

13.5.2 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

HFC Human-Factors-Consult GmbH (HFC) ist eines der erfahrensten Unternehmen im Bereich Mensch-Maschine-Forschung und -Entwicklung. Seit 2002 bearbeitet ein interdisziplinäres Team Themen der Interaktionsforschung für viele unterschiedliche Anwendungskontexte und -domänen. Besonders relevante Vorarbeiten für *rokit* wurden bei der Forschung und Konsortialführung im Begleitforschungsprojekt ARAIG (ARA-1) geleistet, bei der Entwicklung und Erprobung intuitiver und barrierefreier MRI in den BMBF-Projekten INTUITIV und MiRoBo (beide RA-2), bei der

Entwicklung sicherer MRI-Strategien im EU-Projekt COVR, der Konzeption von Change-Management-Maßnahmen für die Einführung kollaborativer MRI in KMU im BMBF-Projekt KUKoMO sowie bei der Aufbereitung rechtlicher und ethischer Rahmenbedingungen für den Einsatz von MRI-Lösungen in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA. HFC hat in der Rolle der Konsortialführerin zahlreiche Projekte erfolgreich durchgeführt und damit ihre Stärke gezeigt, auch komplexe Verbünde zu leiten. HFC kann zudem eine breite Expertise im Design, der Durchführung und Auswertung von Labor-, Simulator- und Feldtests vorweisen und ist mit den methodischen, datenschutzrechtlichen und logistischen Herausforderungen von Nutzertests bestens vertraut. Das KMU hat mit fast allen der Verbundpartner schon in gemeinsamen Projekten erfolgreich kooperiert. Eine reibungslose Zusammenarbeit ist deshalb anzunehmen.

Das **Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)** ist ein Forschungs-, Prüf- und Beratungsinstitut der DGUV und unterstützt diese bei der Erfüllung des gesetzlichen Auftrags zur Verhütung von Arbeitsunfällen und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren. Dem Projekt *rokit* kommt dabei insbesondere die Erfahrung des IFA als notifizierte Stelle für Konzeptbeurteilungen und Prüfungen von kollaborativen Robotern, Assistenzsystemen sowie Sensorsystemen zur Personenerkennung zugute. Auch aus den Forschungsarbeiten des IFA zur sicheren Gestaltung von Assistenzrobotik und vertrauenswürdiger künstlicher Intelligenz, wie der Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Beurteilung der Leistungs- und Kraftbegrenzung kollaborierender Roboter im EU-Projekt COVR, ergeben sich wichtige Impulse für das Projekt. Durch die direkte Beteiligung an nationalen sowie internationalen Standardisierungsaktivitäten in den Bereichen der funktionalen Sicherheit und künstlichen Intelligenz ist das IFA zudem gut über die aktuellen sowie noch kommenden Anforderungen an solche Systeme informiert.

Das Geschäftsfeld *Robotersysteme* des **Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF)** mit 30 Mitarbeitenden verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Entwicklung, Konstruktion und Integration unterschiedlicher Robotertechnologien und -systeme für den Einsatz in unterschiedlichen Umgebungen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umfassen nahezu die gesamte Disziplin der Automatisierung: Mechanik und Konstruktion, Elektrik und Elektronik, Steuerungstechnik,

Sensorentwicklung und -integration, komplexe Datenverarbeitungssysteme und Softwarearchitekturentwicklung. Ein Schwerpunkt des Geschäftsfeldes *Robotersysteme* ist die sichere MRK. Dazu gehören taktile Sensorik zur Kollisionserkennung, sichere mobile Manipulatoren, sichere Arbeitsraumüberwachung mittels optischer Sensoren, Studien zu biomechanischen Grenzwerten bei Mensch-Roboter-Kollisionen und computergestützte Werkzeuge zur effizienten Planung von industriellen Anwendungen mit kollaborierenden Robotern. Das Fraunhofer IFF verfügt über eine Vielzahl von Patenten für Sicherheitssensorik und hat diese erfolgreich an industrielle Hersteller lizenziert, die derzeit an der finalen Produktentwicklung vor der Markteinführung arbeiten. Darüber hinaus hat das IFF in jüngster Zeit im Auftrag der Industrie umfangreiche Forschungsarbeiten zur Schulung großer Unternehmen aus der Automobil- und Luftfahrtindustrie zum Einsatz von kollaborativen Robotern durchgeführt. Dabei werden insbesondere Aspekte wie die Konformität mit Normen und Methoden zur Verifizierung eines Systems nach dessen Installation berücksichtigt. Das IFF kann auf eine nachgewiesene Erfolgsbilanz bei der Überführung seiner Entwicklungen aus dem Labor in die industrielle Anwendung verweisen.

Das **Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)** ist seit vielen Jahren in der Entwicklung von Robotersystemen und deren Transfer in die betriebliche Praxis aktiv. Mit dem Care-o-Bot hat das IPA mit seinem Start-Up Mojin Robotics eine vielfach beachtete Anwendungsplattform für Servicerobotersysteme im direkten Kontakt mit Menschen am Markt etabliert. Das IPA verfügt über umfassende Kenntnisse zur Bewertung von Sicherheitsaspekten in der Servicerobotik und ist mit mehreren Mitarbeitenden aktiv an der Weiterentwicklung relevanter ISO-Normen beteiligt. Im Rahmen der ARAIG-Begleitforschung zur ARA-1-Ausschreibung hat das IPA eine mobile Testumgebung zur Analyse von Performanz- und Sicherheitseigenschaften mobiler, direkt mit Menschen interagierender Systeme entwickelt und in ersten Tests mit ARA-1 bzw. RA-2 Partnern evaluiert. Darüber hinaus ist das IPA Konsortialführer im SeRoNet-Projekt, in dem Methoden und technische Bausteine zur signifikanten Reduktion des Aufwands in der Entwicklung angepasster Serviceroboterlösungen entstehen. Diese Methoden und Bausteine werden durch eine Ausgründung aus SeRoNet, mit der das IPA eng kooperiert, bereits in Form der One-Stop-Shop-Plattform *Xito.one* für Entwicklungsdienstleistungen, Komponenten und Lösungen in der professionellen Servicerobotik am freien Markt angeboten und können einen deutlichen Beitrag zur

wirtschaftlichen Umsetzung von technischen Anforderungen an Assistenzsysteme, wie sie sich aus der Arbeit des Kompetenzclusters mit Anwendern solcher Systeme ergeben, leisten.

Im Fokus der Forschungen der **Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der Technischen Universität Chemnitz (TUC)** liegt die Verbesserung der Schnittstellen zwischen Mensch, Technik und Organisation. TUC verfügt über mehr als 15 Jahre Erfahrung in der Anwendung und Entwicklung von Methoden aus dem Bereich User Centered Design. So fanden zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte statt, um innovative Anwendungen aus den Bereichen produktionstechnische Assistenzsysteme (z. B. *S-CPS*, *Vir-Mont*), Ambient Assisted Living (z. B. *AUXILIA*, *Mova3D*), Fahrer-Fahrzeuginteraktion (z. B. *KomfoPilot*, *ComfyDrive*), Medizin- (z. B. *Innotech4Health*, *SmartLense*) und Sicherheitstechnik (z. B. *3D4F*) und neue Formen der Mensch-Technik-Interaktion (z. B. *WisAP4.0*, *MeGest3D*, *TaktilFeedback3D*) zu beforschen und praxistauglich zu gestalten. Einen Schwerpunkt bildet dabei insbesondere auch die Anwendungsdomäne der MRK (z. B. *MIRobo* in RA-2 gemeinsam mit Projektpartner HFC, *3DImir*). Methodische Schwerpunkte der Arbeiten der TUC siedeln sich vornehmlich im Bereich der Evaluationsforschung aus Sicht des Faktors Mensch an. Bewertungskriterien in Labor- und Feldforschung bilden hierbei vor allem Konstrukte wie Usability, User Experience, Akzeptanz, Vertrauen sowie emotionale Faktoren. Hierbei wurden bereits in einer Vielzahl von Projekten, u.a. aus dem Bereich MRK, innovative Techniken der Virtual Reality genutzt, um Prototypen und Umgebungsszenarien zu simulieren und unter Einbezug von Anwendern zu evaluieren (z. B. *3D4F*, *Mova3D*, *3DImir*, *MeGest3D*). Zur Simulation nutzt die Professur eigene Expertise im Bereich der Modellierung von interaktiven 3D-Szenarien mittels Unity, die sie ins Projekt einbringen wird. Zudem steht eine große Laborlandschaft mit Usability-Lab und Virtual-Reality-Lab für die Forschungsaktivitäten zur Verfügung. Die TUC verfügt über eines der national am besten ausgestatteten Labore zur Durchführung von Nutzerstudien mittels Methoden der virtuellen Realität. Mobile Messtechnik ermöglicht hierbei auch die Durchführung von Feldforschung. Die TUC verfügt zudem über umfangreiche Erfahrungen zur Durchführung von Kompetenzzentren sowie zur transferorientierten Forschung. So leitete die TUC 2012-2015 das Kompetenzzentrum Usability für den Mittelstand und ist seit 2016 verantwortlich für das Kompetenzzentrum Mittelstand 4.0.

Die Expertise des **Instituts für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM)**, gegründet im November 2009 als An-Institut der Universität Greifswald, liegt in der Analyse, Bewertung und Fortentwicklung des rechtlichen, sozioökonomischen und politischen Rahmens zu den drei namensgebenden Forschungsschwerpunkten. Als unabhängige, gemeinnützige Organisation beschäftigt sich das IKEM mit aktuellen wissenschaftlichen Schlüsselfragen auf dem Weg in eine zukunftsfähige Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung. Dabei wird eine interdisziplinäre, integrative und internationale Perspektive zugrunde gelegt. Zentrale Forschungsthemen des IKEM sind neben dem Ausbau erneuerbarer Energien, zukunftsfähiger Energienetze und Elektromobilität die zunehmende Fahrzeugautomatisierung und verwandte Verkehrs- und Mobilitätsthemen, die Implementierung von Klimaschutzziele und Grundfragen von Energieversorgung, Planung, Ressourcenschutz und -effizienz. Zum Thema Robotik hat das IKEM bereits am Projekt ARA-1 Begleitforschungsprojekt ARAIG mitgearbeitet. Zudem hat es gemeinsam mit HFC und dem TÜV Nord den Rechtsrahmen für autonome und KI-Systeme für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erforscht (2018 bis 2020). Im Rahmen des Projekts *OmniConnect* (zusammen mit HFC) wurde ein Rechtsgutachten für den Einsatz eines Smart-Home-Systems im Pflegebereich erstellt (2020). Weiter ist das IKEM zusammen mit anderen Forschungseinrichtungen, Herstellern und Standardisierungsorganisationen im Netzwerk von *Humanising Autonomy* aktiv, das sich mit der Einbindung vulnerabler Verkehrsteilnehmer in die Erarbeitung und Standardisierung von *Operational Design Domains* für selbstfahrende Fahrzeuge beschäftigt.

Das **Berlin Ethics Lab** für verantwortungsvolle KI und Mensch-Maschine-Interaktion (BEL) an der **Technischen Universität Berlin (TUB)** ist spezialisiert auf ELSI-Fragen und ethische Prozessbegleitung bei der Entwicklung neuer Technologien in den namensgebenden Bereichen. Als Projektpartner im Begleitforschungsprojekt ARAIG haben Mitarbeitende des BEL umfassend die ELSI der Assistenz- und Servicerobotik untersucht und beratend in die Projektverbünde integriert. Aktuell ist das BEL Verbundpartner im vom BMBF geförderten Projekt *RoMi* (Roboterunterstützung bei Routineaufgaben zur Stärkung des Miteinanders in Pflegeeinrichtungen) mit dem Teilvorhaben, ethische Aspekte für die konkrete Anpassung eines bestehenden Robotersystems für die Pflege zu reflektieren und zu übersetzen. Projektübergreifend

bearbeitet das BEL ethische Hintergründe technologischer Visionen und erarbeitet kritisch-konstruktive Prozesse und Methoden für eine transdisziplinäre Technikentwicklung mit Schwerpunkt auf MRI und künstlich intelligente Systeme. Thematische Schwerpunkte liegen u.a. auf dem strategischen Umgang mit der Automatisierung ethisch sensibler Tätigkeiten sowie auf den systemischen Auswirkungen robotischer Systeme auf ethisch relevante Entscheidungs- und Handlungsspielräume.

Das **Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie (IMW)** verfügt über umfangreiche Erfahrung in der sozioökonomischen Forschung. In verschiedenen Projekten wurden erfolgreich Markt- und Wettbewerbsanalysen und ökonomische Analysen durchgeführt sowie Verwertungskonzepte unter Berücksichtigung einer frühzeitigen Markt- und Nutzerorientierung entwickelt. Besonders relevante Vorarbeiten für *rokit* wurden in folgenden Projekten geleistet: Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes *ASARob* leitete das Fraunhofer IMW das Teilprojekt Nutzerzentrierung und ELSI und entwickelte gemeinsam mit den Endanwenderinnen Szenarien für einen Lotsen- und Kommunikations- und Aktivierungsroboter. Mit Blick auf das Thema Wirtschaftlichkeit und Verwertung wurden Führungskräfte in ambulanten und stationären Pflegeeinrichtungen und Kliniken zu den Mehrwerten, Zeitersparnissen und Zahlungsbereitschaften für die Robotiklösungen befragt. Das Ziel des BMBF-geförderten Verbundprojekts *KUKoMo* (zusammen mit HFC) war es, produzierende Unternehmen des Mittelstands dabei zu unterstützen, innovative Systemlösungen zur MRK in der Montage zu entwickeln, prototypisch umzusetzen, unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten zu validieren und die Ergebnisse anderen potenziellen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Das Fraunhofer IMW leitete dabei das Teilprojekt Wirtschaftlichkeit. Die Aufgabe bestand darin, einen methodischen Ansatz zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit zu entwickeln und die Wirtschaftlichkeit der fünf Anwendungsfälle zu berechnen und zu optimieren. Im Projekt *MobDi* begleitet das Fraunhofer IMW die Entwicklung von Reinigungs- und Transportrobotern für drei unterschiedliche Einsatzgebiete (Gebäude, Kliniken, öPNV). Aufgabe des Fraunhofer IMW sind dabei die Szenarienentwicklung unter Einbindung von Anwendern, die Entwicklung des UI-Designs sowie die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsanalysen.

Die Arbeitsgruppe Mixed Reality & Visualisierung (MIREVI) der **Hochschule Düsseldorf (HSD)** umfasst derzeit 25 Mitarbeitende aus den Bereichen digitale Medien, Informatik, Kommunikationsdesign und Kulturanthropologie. In den letzten fünf Jahren konnten F&E-Projekte im Bereich VR/MR und Mensch-Technik-Interaktion akquiriert werden: NRW (*Doc2Go, DISTEL*), BMBF (*NOSTRESS, EXGAVINE, IKPT40*), BMWI (*MobilePreViz*) und auf EU-Ebene (*MODI*) sowie in Kooperation mit externen Partnern (Wirtschaftswoche, WDR, Museen). Seit 2016 setzt sich die Arbeitsgruppe verstärkt mit Themen der digitalen Gesellschaft auseinander, insbesondere auch im öffentlichen und halböffentlichen Raum, z. B. mit der Oper am Rhein im Projekt *Digitales Foyer* (Kulturstiftung des Bundes). Zusammen mit zwei KMUs wird von der Arbeitsgruppe der Innovations-Hub.de betrieben. In Düsseldorf und Umgebung gilt dieses Living Lab als Vorzeigemodell für die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und KMUs im Bereich MRI. Im BMBF Begleitprojekt *GINA* (RA-2) arbeitet die HSD an der VR-Simulation und prototypischen Umsetzung von MRI und beteiligt sich am nationalen Wissenstransfer. Hier werden derzeit verschiedene VR-Komponenten und -Dienstleistungen entwickelt, wie z. B. eine einfache Steuerung eines Robotersystems durch Armbewegungen in Echtzeit oder eine MRI VR-Simulation aus Sicht eines Roboters.

Angsa Robotics besitzt als Robotik-Start-up zum einen Expertise in der technischen Entwicklung und Gestaltung, der Auslegung, dem Aufbau und dem Betrieb von vollautomatisierten Robotern. Durch die Entwicklung von bereits drei funktionsfähigen Evolutionsstufen eines Reinigungsroboters bietet Angsa dem Projekt daher eine ideale Plattform für Versuche und Weiterentwicklungen. Zum anderen bringt Angsa ein Netzwerk an Kunden im öffentlichen Segment mit, u.a. Stadtreinigungen und Grünflächenämter. Speziell durch eine aktuell laufende Kooperation mit der Berliner Stadtreinigung bietet sich für **rokit** die Möglichkeit realer Tests sowie Workshops und Feedbackschleifen mit Entscheidungsträgern im öffentlichen Raum.

13.5.3 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

HFC ist als Konsortialführerin für das Projektmanagement, die Qualitätssicherung und die Gewährleistung der internen und externen Kommunikation sowie die Entwicklung des Kompetenzclusters zuständig. Basierend auf den umfangreichen Vorarbeiten im Bereich MRI wird HFC zudem die diesbezügliche Methodenwerkstatt sowie die Durchführung der Feldtests im Living Lab leiten.

Das **Fraunhofer IFF** bringt entwickelte Toolkits für sichere MRK (Projekt COVR) in das *rokit*-Vorhaben ein sowie umfangreiche Erfahrungen und Material zur Schulung von Unternehmen im komplexen Themenfeld sichere MRK. Des Weiteren stehen Simulationstools für die Fälle *Kraft- und Leistungsbegrenzung* und *Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung* zur Verfügung, mit denen eine zuverlässige Planung und Ausführung von Roboterbewegungen ermöglicht wird. Das Fraunhofer IFF forscht zudem an vollautomatisierten, mobilen Assistenzrobotern. Das Know-how sowie Robotersysteme für den ersten Anwendungsfall werden dem *rokit*-Konsortium bereitgestellt.

Das **Fraunhofer IPA** bringt seine mobile Testumgebung zur Analyse von Performanz- und Sicherheitsaspekten von mobilen, interaktiven Robotersystemen ins Kompetenzcluster ein. Es unterstützt damit auch die Angebote zu Verifikations- und Validierungsaktivitäten, insbesondere vor Ort bei Anwendern von Assistenzrobotersystemen. Mit seiner langjährigen Erfahrung in Projekten in der Pflegerobotik kann das IPA Beratungen insbesondere zu technischen Aspekten der Mensch-Roboter-Interaktion beitragen. Während der Förderphase, insbesondere aber auch danach, stellt das IPA über das Kompetenzcluster seine vielfältigen Entwicklungs- und Beratungsdienstleistungen (z. B. in Form von Auftragsforschung und Pilotumsetzungen) interessierten Kunden zur Verfügung.

Die Professur *Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement* der **TU Chemnitz** ist hauptsächlich für die Durchführung von Nutzungsstudien und die Evaluation mit Sicht auf den Faktor Mensch zuständig. Sie beteiligt sich an Laborstudien und koordiniert die Vorbereitung der Evaluations- und Feldtestphase im Living Lab. Dabei ist die

TUC für methodische Fragestellungen zur Erhebung von Faktor-Mensch-Kriterien wie Usability, UX, Akzeptanz und Vertrauen verantwortlich und begleitet insbesondere die Umsetzung des zweiten Anwendungsfalls.

Die **Hochschule Düsseldorf** analysiert die im Thinktank entwickelten Anwendungsfälle auf relevante Anforderungen für eine VR-Simulation und verantwortet den Entwicklungsprozess der VR-Simulationen, vom prototypischen Entwurf inklusive Bewertung und Spezifikation, über die konzeptionelle Ausarbeitung und tatsächliche Implementierung, bis hin zur Synthese weiterer wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Verwertungsmöglichkeiten. Hierbei arbeitet die HSD eng mit dem Thinktank und dem Living Lab zusammen, um generalisierbare Handlungsempfehlungen (MRI-Guidelines) zu entwerfen und öffentlich verfügbar zu machen. Die durch den Entwicklungsprozess der VR-Simulationen gewonnenen Erkenntnisse werden auf Publikationspotential überprüft. Hierdurch und zusätzlich durch die Begleitforschung zum Projekt generiert die Hochschule Düsseldorf Erkenntnisse zu grundlegenden VR-Interaktionstechniken für die MRI.

Das **IKEM** bearbeitet federführend alle rechtlichen Aspekte im Projekt. Es werden intern rechtliche Rahmenbedingungen ermittelt und untersucht, um die Realisierung des **rokit** zu unterstützen und die Instrumente in den Methodenwerkstätten zu entwickeln. Die Projekte der Anwendungspartner und weiterer Kunden werden durch rechtliche Expertise im Rahmen des Forschungsprojekts begleitet, wobei Rechtsfragen beantwortet und gebündelt werden. Auf Grundlage der technischen, wirtschaftswissenschaftlichen und ethischen Erkenntnisse im Projekt wird in der Folge rechtlicher Anpassungsbedarf identifiziert und nach außen kommuniziert. Zudem werden der Verwaltung und Politik die rechtswissenschaftlichen Ergebnisse (z. B. in Form von Stellungnahmen) zur Verfügung gestellt. Ergänzend erfolgt die Teilnahme an Fachveranstaltungen und der Austausch mit rechtswissenschaftlicher Forschung und Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse.

Das **IFA** bringt im Projekt Beratung zu allgemeinen regulatorischen Anforderungen im Hinblick auf den Arbeitsschutz, zum normativen Umfeld sowie zur Umsetzung sicherheitstechnischer Aspekte im Kontext der funktionalen Sicherheit sowie vertrauenswürdigen künstlichen Intelligenz und Mensch-Maschine-Schnittstellen ein und unterstützt

die Aktivitäten der entsprechenden Methodenwerkstätten. Ebenso unterstützt das IFA bei der Planung und Durchführung von Verifikations- und Validierungsaktivitäten. Auch die Durchführung von Konzeptbeurteilungen sowie EG-Baumusterprüfungen können umgesetzt werden, insofern sich ein Bezug zur Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit herstellen lässt.

Der Projektpartner **TU Berlin** mit dem **Berlin Ethics Lab** arbeitet an technikethischen Fragen, an prozessbegleitenden Formaten zur Integration von Aspekten der gesellschaftlichen und ökologischen Nachhaltigkeit und am transdisziplinären Wissenstransfer im Verbund. Ausgehend von einem initialen Stakeholder-Workshop zu den übergreifenden ethisch-sozialen Visionen der MRI in der Öffentlichkeit werden die Projektarbeiten mit regelmäßigen Interviews der Entwicklungspartner, mit kleineren Workshop-Formaten mit den Konsortialpartnern, mit feldtestbegleitenden Stakeholder-Workshops zur Reflexion und Diskussion von praktischen Fragen und schließlich mit einem abschließenden Rückblicks- und Ausblicks-Workshop begleitet.

Das **Fraunhofer IMW** ist mit der Ausarbeitung des Organisations- und Verwertungskonzept des Kompetenzclusters betraut. Neben der organisatorischen Konzeption wird in diesem Kontext ebenfalls die wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwertung detailliert und in eine inhaltliche und wirtschaftliche Roadmap überführt. Als Grundlage hierzu dient die Mitarbeit an der Stakeholderanalyse und der Erstellung des Dienstleistungskonzeptes, sowie die anvisierte Vernetzungs- und öffentlichkeitsarbeitsstrategie des Kompetenzclusters.

Angsa Robotics ist als fester Anwendungspartner eng in die Stakeholderanalysen und Planung sowie Durchführung der Labor- und Feldtests eingebunden und bietet mit den aktuellen Prototypen des Roboters eine Test- und Weiterentwicklungsplattform. Theoretische Fragestellungen können im Projekt anhand des Roboters vergegenständlicht und praktisch getestet werden. Zugleich können die Projektpartner den Roboter gemeinsam als Fallstudie für den Aufbau des Beratungs- und Begleitungsangebots nutzen. Schnittstellen ergeben sich für Angsa mit der TU Berlin in ethischen, mit der IFA in normativen, mit der Fraunhofer IPA und Fraunhofer IFF in sicherheitsrelevanten und technischen sowie mit HFC in gestalterischen Fragestellungen.

13.5.4 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

FusionSystems ist ein Softwareunternehmen aus Chemnitz, das seit 2005 Software und Systeme für die Bereiche Automotive, Karten und Navigation, Automation sowie Smart Systems entwickelt. Die Firma besitzt fundierte Kenntnisse und langjährige Erfahrungen auf den Gebieten multisensorielle Datenerfassung, Sensordatenverarbeitung und Datenfusion. FusionSystems wird als assoziierter Partner seinen mobilen Roboter MULI ins Projekt einbringen, der im Rahmen des zweiten Anwendungsfalls für den Einsatz in öffentlichen Gebäuden angepasst und im Feld erprobt werden wird. Die Firma wird zudem im Rahmen der Aktivitäten des *rokit*-Hubs und der Methodenwerkstatt ihre Anwendungsexpertise einbringen.

Im Konsortium bestehen zudem weitere Kontakte zu Herstellern, die im Projekt im Rahmen der Aktivitäten des *rokit*-Hubs und der Methodenwerkstatt ihre Anwendungsexpertise einbringen und auch nach Projektstart je nach Interessenslage noch in die geplanten Validierungs- und Evaluationstests eingebunden werden können. Einige Unternehmen haben bereits ihr Interesse an der Projektbegleitung bekundet. Weitere Stakeholder werden über die umfangreichen Kontakte der Projektpartner während der Anforderungsanalysen und Vernetzungsarbeiten im Projekt in den entsprechenden Arbeitspaketen akquiriert und eingebunden.

13.5.5 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Das Transferzentrum RimA stellt im Rahmen dieser Bekanntmachung Integrations- und Harmonisierungspunkte dar, anhand derer die Ergebnisse der Kompetenzzentren gebündelt und erprobt werden können. RimA integriert und verallgemeinert diese Ergebnisse mit dem Fokus auf die technologische und wirtschaftliche Verwertung. Zu diesem Zweck werden in Zusammenarbeit mit den Kompetenzzentren Workshops, Schulungen und die Teilnahme an Kickoff- und Konsortialtreffen, Benchmarking-Labore, eine Wissensplattform sowie Wettbewerbe erarbeitet bzw. durchgeführt. Daher sehen wir die Zusammenarbeit mit RimA thematisch in folgenden Bereichen:

Projektübergreifende Workshops: *rokit* wird die Vorbereitung und Durchführung von Workshops und Schulungen zu den von RimA anvisierten Themen insbesondere den Bereichen Sicherheit, Recht und Geschäftsmodelle durch ihre Experten unterstützen. Zudem werden aus den Stakeholderanalysen in *rokit* Fragestellungen und Anforderungen der Praxis abgeleitet und in RimA beigetragen. Die vorgeschlagenen Themen sind nicht nur für die Kompetenzzentren, sondern insbesondere für verwertende und anwendende Unternehmen interessant, und gehen über die beispielhafte technische Integration in den Kompetenzzentren hinaus. *rokit* wird die von RimA angebotenen Workshops und Schulungen innerhalb des Konsortiums und darüber hinaus im Rahmen der Vernetzungsarbeit bewerben und daran teilnehmen.

Unterstützung der RimA-**Benchmarking**-Labore: Die in *rokit* entwickelten Metriken und Benchmarks werden für die weitere Bearbeitung in den RimA-Benchmarking-Laboren aufbereitet und entsprechend zur Verfügung gestellt.

Durchführung von **jährlichen Wettbewerben:** Die *rokit*-Partner werden an den geplanten Wettbewerben rund um die MRI teilnehmen. Darüber hinaus wäre eine Evaluation ausgewählter Kombinationen von Demonstratoren verschiedener Kompetenzzentren interessant, um die technische Integration und die synergetischen Mehrwerte in der Anwendung zu erkunden. So können z. B. Prozessketten und neue Formen der MRI und Roboter-Roboter-Interaktion angedacht und erprobt werden, um die Entwicklung neuer Geschäftsfelder zu befördern.

Projektübergreifende Öffentlichkeitsarbeit: Ein wichtiger Teil der Zusammenarbeit mit dem Transferzentrum ist, (Teil-)Ergebnisse der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Hierfür werden Ergebnisse aus der Arbeit des Thinktanks gebündelt und RimA zum Aufbau der Wissensplattform zur Verfügung gestellt. Des Weiteren können gemeinsam durchgeführte Events, technische Veröffentlichungen oder gemeinsam betreute Pressebesuche durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

- Beatrice Alenljung, Jessica Lindblom, Rebecca Andreasson, and Tom Ziemke. User experience in social human-robot interaction. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI)*, 8(2):12–31, 2017.
- Thomas Arnold and Matthias Scheutz. Beyond moral dilemmas: exploring the ethical landscape in HRI. In *2017 12th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 445–452. IEEE, 2017.
- Guy A Boy. *The handbook of human-machine interaction: a human-centered design approach*. CRC Press, 2017.
- Gordon Briggs and Matthias Scheutz. How robots can affect human behavior: Investigating the effects of robotic displays of protest and distress. *International Journal of Social Robotics*, 6(3):343–355, 2014.
- Janet Davis and Lisa P Nathan. Value sensitive design: Applications, adaptations, and critiques. *Handbook of ethics, values, and technological design: Sources, theory, values and application domains*, pages 11–40, 2015.
- Francesc Fusté-Forné. Robot chefs in gastronomy tourism: What’s on the menu? *Tourism Management Perspectives*, 37:100774, 2021.
- Martin Hägele, Nikolaus Blümlein, and Oliver Kleine. Wirtschaftlichkeitsanalysen neuartiger Servicerobotik-Anwendungen und ihre Bedeutung für die Robotik-Entwicklung. *Eine Analyse der Fraunhofer Institute IPA und ISI im Auftrag des BMBF, Fraunhofer Gesellschaft*, 2011.
- F Hees, S Müller-Abdelrazeq, M Voss, R Schmitt, G Hüttemann, K. Rook-Weiler, . . . , and A Schmidt. *Projektatlas Kompetenz Montage: kollaborativ und wandlungsfähig*. RWTH Aachen University, 2019.
- Malte Jung and Pamela Hinds. Robots in the wild: A time for more robust theories of human-robot interaction, 2018.
- Ahreum Lee and Austin L Toombs. Robots on campus: understanding public perception of robots using social media. In *Conference Companion Publication of the 2020*

on *Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, pages 305–309, 2020.

David C May, Kristie J Holler, Cindy L Bethel, Lesley Strawderman, Daniel W Carruth, and John M Usher. Survey of factors for the prediction of human comfort with a non-anthropomorphic robot in public spaces. *International Journal of Social Robotics*, 9(2):165–180, 2017.

Omar Mubin, Muneeb Imtiaz Ahmad, Simranjit Kaur, Wen Shi, and Aila Khan. Social robots in public spaces: a meta-review. In *International conference on social robotics*, pages 213–220. Springer, 2018.

Michael Nagenborg. Urban robotics and responsible urban innovation. *Ethics and Information Technology*, 22(4):345–355, 2020.

Tatsuya Nomura. Cultural differences in social acceptance of robots. In *2017 26th IEEE international symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN)*, pages 534–538. IEEE, 2017.

Arne Rönna, Jakob Weinland, Marc Schroth, Christoph Zimmermann, Robert Klebbe, Nicole Strutz, Luis Perotti, Michael Maier, Felix Messmer, and Benjamin Maidel. 11 AuRorA – Interaktive Roboter unterstützen im Smart Home. *Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten–Ergebnisse und Forschungsperspektiven*, page 172, 2020.

Astrid Rosenthal-von der Pütten, David Sirkin, Anna Abrams, and Laura Platte. The forgotten in HRI: Incidental encounters with robots in public spaces. In *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 656–657, 2020.

Mary Beth Rosson and John M Carroll. Scenario-based design. In *Human-computer interaction*, pages 161–180. CRC Press, 2009.

Matthew Rueben, William D Smart, Cindy M Grimm, and Maya Cakmak. Privacy-sensitive robotics. In *Proceedings of the companion of the 2017 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, pages 425–426. Association for Computing Machinery, 2017.

- Ofir Sadka, Jonathan Giron, Doron Friedman, Oren Zuckerman, and Hadas Erel. Virtual-reality as a simulation tool for non-humanoid social robots. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–9, 2020.
- P Schweidler, A Oehme, and T Jürgensohn. Objektivierbare Performancekriterien. In *Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten – Ergebnisse und Forschungsperspektiven des Förderprogramms ARA1*, pages 57–75, 2020.
- Meg Tonkin, Jonathan Vitale, Sarita Herse, Mary-Anne Williams, William Judge, and Xun Wang. Design methodology for the ux of HRI: A field study of a commercial social robot at an airport. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 407–415, 2018.
- Marcello Valori, Adriano Scibilia, Irene Fassi, José Saenz, Roland Behrens, Sebastian Herbster, Catherine Bidard, Eric Lucet, Alice Magisson, Leendert Schaake, et al. Validating safety in human-robot collaboration: Standards and new perspectives. *Robotics*, 10(2):65, 2021.
- O Voss. Post stoppt Paketkästen für Privathaushalte. <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/kein-bedarf-post-stoppt-paketkaesten-fuer-privathaushalte/23939236.html>, 2019. [Letzter Zugriff: 19.10.2020].
- Astrid Weiss, Regina Bernhaupt, and Manfred Tscheligi. The usus evaluation framework for user-centered HRI. *New Frontiers in Human–Robot Interaction*, 2:89–110, 2011.

Bürgernahe und nutzendengerechte soziale Roboter in den Stadverwaltungen der Metropole Ruhr (RuhrBots)

Förderkennzeichen 16SV8589

Carolin Straßmann¹, Sabrina C. Eimler¹, Simone Roth², Edwin Naroska³,
Aysegül Dogangün¹, Andreas Gourmelon⁴, Rainer Becker⁵,
Wolfgang Grötting⁶, Julia Hermann¹ und Alexander Arntz¹



¹Hochschule Ruhr West
Lützowstraße 5
46236 Bottrop

²Hochschule Ruhr West
Duisburger Straße 100
45479 Mülheim an der Ruhr

³Hochschule Niederrhein
Reinarzstraße 49
47805 Krefeld

⁴HSPV NRW
Haidekamp 73
45886 Gelsenkirchen

⁵Robo4Care
Hensges Neuhaus 30a
42349 Wuppertal

⁶inHaus-Zentrum
Finkenstraße 61
47057 Duisburg

14.1 Ziele des Kompetenzzentrums

14.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

Deutschlands Nachholbedarf in Sachen Digitalisierung ist nicht erst seit der COVID-19-Pandemie ein prominentes Thema in der öffentlichen Diskussion. Die **digitale** Transformation ist unaufhaltbar und es ist an den gestaltenden Akteur*innen (Forschung, Politik, Wirtschaft), den Weg in die digitale Zukunft so verantwortungsvoll zu gestalten, dass alle **Bürger*innen hier gleichermaßen partizipieren** können. Bei der Transformation zur digitalisierten Welt hat der Einsatz von modernen Technologien, wie z. B. **Assistenzroboter in Stadtverwaltungen**, eine große **Hebelwirkung**, da die städtischen Institutionen **Begegnungsraum** der Bürger*innen sind und somit sowohl **Vorbild- als auch Aufklärungsfunktion** haben. **Zugangs- und Nutzungsklüfte** in der Bevölkerung (sowohl bei Besuchenden als auch Mitarbeitenden der Institutionen) jedoch stellen aktuell noch eine **große Herausforderung** dar (**Digital Divide**). Diese führen zu starken Unterschieden in der Bereitschaft zur Aneignung moderner Technologien und dem wahrgenommenen Nutzen, schließen jedoch andererseits durch eine **tatsächliche Diskriminierung** aufgrund einer nicht barrierefreien Gestaltung der Hard-/Software oder anderer technischer Eigenschaften der Systeme (z. B. Algorithmic Bias bei Erkennung von Hautfarben, Akzenten), Personen mit bestimmten Merkmalen aus. Anwendungssysteme, auch **Assistenzroboter**, werden bislang oft **nicht diversitätsgerecht konzipiert, umgesetzt und eingesetzt**, so dass nicht alle sie nutzen können oder nutzen wollen, ihr Mehrwert unerkannt bleibt und ein langfristiger Einsatz scheitert. Insbesondere Kommunen sehen sich im **Spannungsfeld** zwischen rasanter **technologischer Entwicklung** bei gleichzeitiger **Sicherung von Barrierefreiheit und Diversitätsgerechtigkeit**, um die **Teilhabe**, Zugänglichkeit und Akzeptanz aller zu sichern. Für die **Gestaltung und Erprobung** von Assistenzrobotik im öffentlichen Raum bieten die Ruhrgebietskommunen aufgrund ihrer Größe, Bevölkerungsdichte und -vielfalt ein ideales und europaweit einzigartiges Erprobungsfeld für **zukunftsweisende und akzeptierte soziale Robotik**. Sowohl in Hinblick auf die Erweiterungspotenziale technischer Entwicklungen (z. B. durch diverse Interaktionspartner*innen) als auch bei der **Erforschung der Interaktionsmuster, Gestaltung und Wirkungen, sowie der Implementierung teilhabeorientierter Anwendungsentwicklungsmethoden**

unter Berücksichtigung von **ethischen, sozialen, psychologischen, juristischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten**. Das **Kompetenzzentrum RuhrBots** untersucht Gelingensbedingungen und gestaltet den Einsatz von Robotern für die **menschen- trierte Digitalisierung der Stadtverwaltung in Ruhrmetropolen**. Im Fokus stehen dabei Stadtbibliotheken und Museen, die einen frei zugänglichen Begegnungsraum darstellen mit einer Vielzahl von Nutzungsanlässen jenseits der Literatur- und Mediensuche sowie Ausleihe. Roboter können hier in verschiedensten Anwendungsszenarien assistieren, wie z. B. Literatur- und Mediensuche, Förder- und Lehrangebote, Ausleihe- und Rückgabestationen oder Kulturveranstaltungen.

14.1.2 Problembeschreibung und Thema des Verbundprojektes

Assistenzroboter im Bereich des Service wurden bereits an mehreren Stellen im öffentlichen Raum erforscht und praktisch eingesetzt. So gibt es erste Erkenntnisse aus den Bereichen öffentlicher **Transport** (Flughafen, Bahnhof etc.; z. B. Thunberg and Ziemke 2020, Joosse and Evers 2017, Masahiro et al. 2008), **Bibliotheken** (z. B. Mubin et al. 2020, Behan and O’Keeffe 2008), **Museen** (z. B. Robb et al. 2020, Pitsch et al. 2009) und **Bürger*innen-Service-Center** (z. B. Hansen and Hansen 2021). Bisherige Forschungserkenntnisse aus **Feldstudien** konzentrieren sich auf die technologische Entwicklung und Prüfung der Funktionalitäten und Handlungsweisen des Roboters (z. B. Gedächtnis zur gemeinsamen Historie; Edirisinghe et al. (2018), Lee et al. (2012)), Art der Interaktionsinitialisierung (Satake et al. 2009), Sicherung und Erhaltung der Aufmerksamkeit (Pitsch et al. 2009) sowie die allgemeine Reaktion der Nutzenden den Systemen gegenüber (z. B. Tian et al. 2020). Erste Ansätze, wie das EU-Projekt **MuMMER**, versuchen Assistenzroboter gemeinsam mit den relevanten Stakeholdern so zu gestalten, dass die Interaktion ansprechend und unterhaltsam wird. Obwohl viel **Aufwand und Zeit** in die Erforschung und **Gestaltung einer guten Mensch-Roboter-Interaktion** gesteckt wird (vgl. u. a. BMBF-Projekte RobotKoop, VIVA, KOMPASS), verweisen aktuelle **Feldstudien** im öffentlichen Raum auf **Probleme bei der Annahme und Akzeptanz durch Bürger*innen**. Eine Studie in einem dänischen Stadtverwaltungszentrum zeigte, dass nur fünf Prozent der Besuchenden mit dem eingesetzten Roboter Pepper interagiert haben (Hansen and Hansen 2021).

Ergebnisse wie diese zeigen, dass neben der Gestaltung des Roboters und der **Ver-**

haltensweisen, vor allem der **Faktor Mensch mit seinen Erwartungen und Befürchtungen** eine große Rolle für den **langfristigen Einsatz** und die **Akzeptanz von Assistenzrobotern** spielt. Wenn der Mensch, aufgrund von Ängsten, persönlichen Einstellungen und Erfahrungen, nicht zur Interaktion und Nutzung der Roboter bereit ist, können auch die funktionellsten und optimiertesten Roboter nicht ihr volles Potenzial entfalten. Regelmäßig kommen **neue robotische Systeme** mit einem breiten Funktionsumfang auf den Markt, **können sich jedoch nicht langfristig halten** (vgl. die aktuelle Nachricht, dass die Produktion des Roboters Pepper gestoppt wurde (Beer, 2021)). Dies liegt oft **nicht** an einem **Mangel an Grundfunktionen** oder einer schlechten Gestaltung, **sondern** daran, dass etablierte Einführungsprozesse unter **Betrachtung der menschlichen Vielfalt im Gesamtsystem der Anwendung fehlen**. Es muss entsprechend bereits weit vor dem Einsatz und der Interaktion mit den Robotern angesetzt werden. Nur wenn **gemeinsam mit den Menschen** sinnvolle Anwendungsfälle entwickelt und in der **konkreten Anwendungsdomäne erprobt** werden, lassen sich Roboter langfristig in den menschlichen Alltag integrieren. Es benötigt Maßnahmen, die bedarfs- und nutzendengerechte Anwendungsfälle gestalten, **Nutzenden ein realistisches Verständnis** und **mentales Modell** der Technologien geben und ihnen das **Gefühl von Kompetenz, Autonomie und Verbundenheit** im Umgang vermitteln. Daneben müssen Unternehmen und einsetzende Institutionen über Best-Practice-Vorgehensweisen bei der menschenzentrierten Anwendung informiert und geschult werden.

Diese Aspekte und Herausforderungen wurden im Rahmen der **Machbarkeitsstudie** näher beleuchtet, definiert und in einer **Forschungsagenda** ausgestaltet. Nachfolgend wird zunächst auf die partizipative Einsatzszenarien- und Visionsgestaltung eingegangen.

14.1.3 Partizipative Einsatzszenarien und Visionsgestaltung

Im Sinne eines menschenzentrierten Gestaltungsprozesses wurde basierend auf dem **Participatory-Design-Ansatz** (Vines et al. 2015) ein iteratives, dreistufiges qualitatives Vorgehen gewählt.

Hierdurch sollte die Entwicklung von **akzeptierten und realistischen Anwendungs-**

szenarien gesichert werden. Zur Erhebung von **Visionen** für den Einsatz, wie **Einstellungen** zu und **Anforderungen** an soziale Roboter von Bürger*innen sowie Mitarbeitenden aus Ruhrgebietskommunen, wurden (1) **acht qualitative Interviews** mit Bürger*innen, (2) ein **Anforderungs-Workshop** mit **Verwaltungsangestellten** einer Großstadt und (3) ein **Szenarien-Workshop mit Stadtverwaltungs-Expert*innen** aus sechs Kommunen des Ruhrgebiets durchgeführt (Abbildung 14.1). Aus den qualitativen Interviews entstanden vier **Personas** (Nielsen 2013), welche die Diversität der Menschen im Ruhrgebiet in Bezug auf Lebenssituation, kulturellen Hintergrund, Anforderungen und Einstellungen zu Robotern widerspiegeln. Diese dienten den Mitarbeitenden städtischer Einrichtungen und dem Forscherinnen-Team im letzten Workshop als **Diskussionsgrundlage** für die **gemeinsame Reflexion und Schwerpunktsetzung** während der Szenarienerstellung. Ergänzend entstanden, basierend auf den Aussagen und Anforderungen der Stadtverwaltungsbeschäftigten im ersten Workshop, acht verschiedene **Kurzscenarien**, die verschiedene Anwendungsfälle sozialer Roboter in städtischen Institutionen skizzieren. Auf Basis der **Personas** und **Kurzscenarien**, entwickelten die Ruhrgebietskommunen im zweiten Workshop **Storyboards**, aus denen sich **konkretisierte Anwendungsszenarien, technische und soziale Anforderungen**, sowie der **Mehrwert** aus Anwendungsdomänen-Sicht ergaben. Die Anwendungsszenarien in Abbildung 14.2 skizzieren die Anforderungen an die Anwendung von sozialen Robotern unter der Berücksichtigung von Bürger*innen mit unterschiedlichen (ausgewählten) Diversitätsmerkmalen.

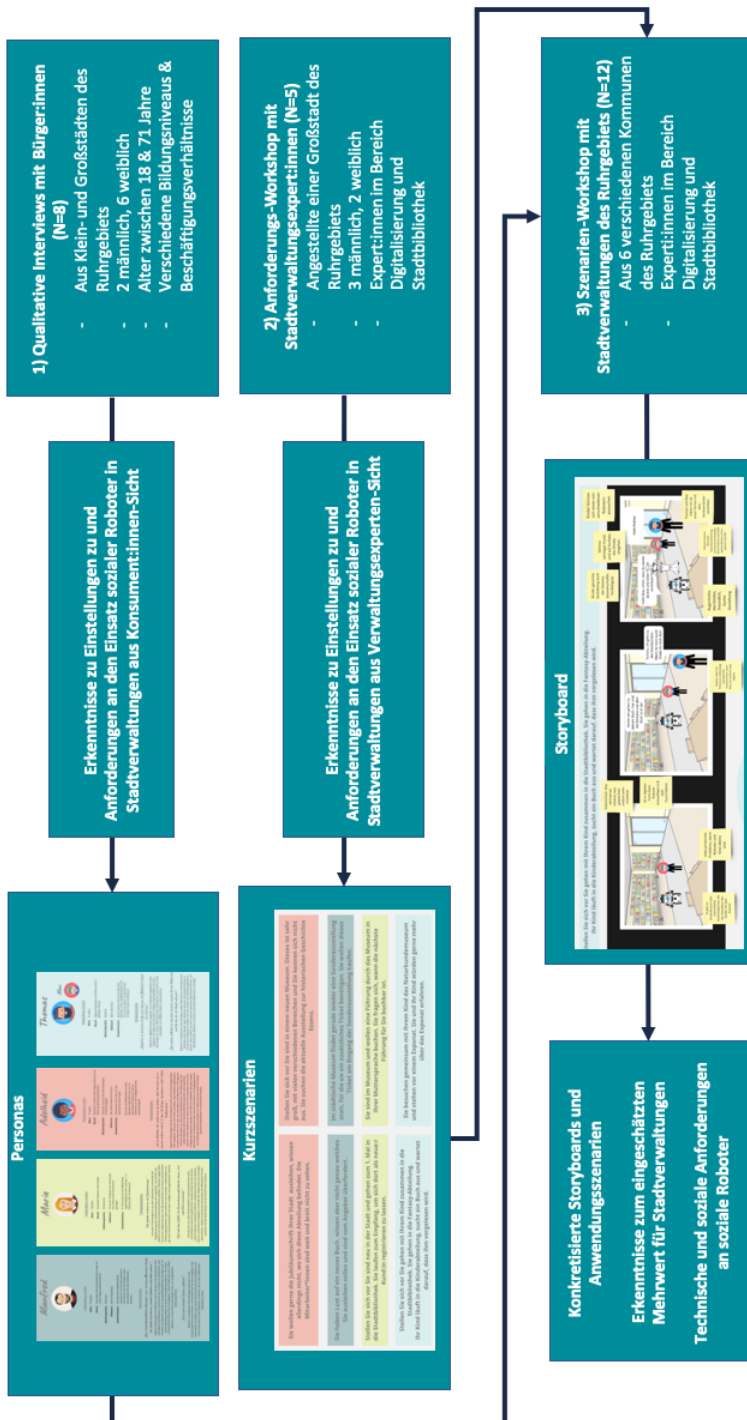



Abbildung 14.1: Vorgehen bei der partizipativen Szenarienentwicklung.

Marie (28 Jahre) ist vor einem Jahr für ihr Studium aus China nach Dortmund gezogen. In ihrem Heimatland hat sie die Bibliothek regelmäßig besucht. Nun will sie sich auch in der Dortmunder Stadtbibliothek registrieren lassen. Als sie eintritt sieht sie einen Roboter am Empfang. Da sie neuer Technologie gegenüber sehr offen ist, geht sie direkt auf ihn zu (Ankunftsphase). Dieser begrüßt sie freundlich mit den Worten „Herzlich willkommen in der Dortmunder Stadtbibliothek. Wie kann ich Ihnen helfen? Sie können mir gerne Fragen stellen.“ (Erstkontakt) Marie lebt erst seit einem Jahr in Deutschland und ist noch sehr unsicher in Deutsch zu kommunizieren. Deshalb antwortet sie dem Roboter in einem Mix aus Englisch, Deutsch und Chinesisch: „Do you speak English? Wo finde ich Deutschkurse? Wǒ zài nǎlǐ kǎiyì zhāodào yǒuguān réngōng zhīnèng de shūjí („Wo finde ich Bücher zum Thema künstliche Intelligenz?“ auf Chinesisch)?“ Durch seine multilinguale Funktion versteht der Roboter Marie ohne Probleme und zeigt ihr auf dem Bildschirm den Weg zu ihren gewünschten Büchern. „Soll ich Sie zu den Regalen begleiten?“ fragt er sie anschließend auf Chinesisch. Marie verneint und macht sich auf den Weg, die Bücher zu finden. Nachdem sie ihre Bücher gefunden hat, geht sie noch einmal zu dem Roboter, um diese auszuleihen (Loyalitätsphase). „Haben Sie bereits einen Bibliotheksausweis?“ fragt dieser auf chinesisich, da er Marie wiedererkannt hat. Da Marie das erste Mal in der Bibliothek ist, hat sie noch keinen Ausweis. „Das ist kein Problem. Die Erstellung des Bibliotheksausweis ist ganz einfach und geht schnell.“ Daraufhin gibt Marie ihre persönlichen Angaben auf dem Bildschirm des Roboters ein und wählt Paypal als ihre Zahlungsart aus. Anschließend drückt der Roboter ihren neuen Ausweis direkt aus. „Um die Bücher auszuleihen, halten Sie bitte zunächst ihren Ausweis vor den Scanner bis Sie den Signalton hören.“ Marie hält ihren Ausweis vor den Scanner. „Vielen Dank. Nun halten Sie bitte ihre Büche nacheinander vor den Scanner bis sie den Signalton hören.“ Daraufhin hält Marie ihre Bücher nacheinander vor den Scanner. „Vielen Dank. Ihre Bücher sind bis zum 28.07.2021 ausgeliehen. Kann ich sonst noch was für Sie tun?“ Marie verneint (Aufgabenerfüllung), verabschiedet sich und geht zufrieden nach Hause.



Szenario 1

Thomas (41 Jahre) geht regelmäßig mit seinem Sohn Max (7 Jahre) in die Stadtbibliothek Duisburg. Er hat gehört, dass die Bibliothek nun verschiedene Roboter einsetzt und ist neugierig, aber gleichzeitig auch skeptisch, ob sie wirklich schon so weit entwickelt sind, dass sie echte Hilfestellungen geben können. Thomas hat vorab über die Homepage der Bibliothek einen Termin mit einem Vorleseroboter, den Max sich ausgesucht hatte, vereinbart (Ankunft). Diese Roboter sind extra kindgerecht gestaltet: sie sind auf Augenhöhe der Kinder, freundlich und bunt in Form einer Stoffpuppe gestaltet. Als die beiden die Bibliothek betreten kommt der Vorleseroboter direkt auf sie zu und spricht mit einer kindgerechten Stimme und Sprache den Sohn an: „Hallo Max, schön, dass du da bist und wir heute Zeit miteinander verbringen.“ (Erstkontakt). „Hallo Robbie, ich freu mich schon.“ antwortet Max daraufhin. „Komm wir gehen uns ein Buch aussuchen, ich habe schon eine Idee was Dir gefallen könnte.“, sagt Robbie zu Max. Er weiß bereits, welche Bücher Max schon gelesen hat und hat auf Grundlage dieser ein Buch zum Vorlesen ausgewählt. Gemeinsam gehen die Beiden in die Kinderecke, wo zusätzlich eine menschliche Aufsichtsperson ist, die die Interaktion der Kinder mit den Robotern überwacht. Thomas verabschiedet sich daraufhin und geht zur Abteilung mit den Kochbüchern. Per App ist er stets mit Robbie in Verbindung und wird benachrichtigt, falls etwas sein sollte. Nach einem interessanten Nachmittag (Aufgabenerfüllung) in der Bibliothek verabschiedet sich Thomas und Max von Robbie und vereinbaren zu Hause direkt den nächsten Vorlesetermin (Loyalität).



Szenario 2

Abbildung 14.2: Partizipativ entwickelte Einsatzszenarien – Beispiele.

Gemeinsam mit den **Expert*innen der Stadtverwaltungen** ist eine **Vision** und ein Mehrwert für den, durch das Kompetenzzentrum begleiteten, Einsatz von Assistenzrobotern in den Kommunen des Ruhrgebiets entstanden. Die **partizipativ entwickelte Vision** sieht vor, dass **soziale Roboter in den Stadtverwaltungen teilhabeorientiert in die Institutionen integriert** werden sollen. Die Roboter selber müssen dabei so in die Prozesse integriert werden und gestaltet sein, dass sie die vielfältigen **Bedarfe der Bürger*innen abdecken** und **alle Bürger*innen** sie ohne Ängste, schlechte Erfahrungen, oder Vorbehalte nutzen können. Ziel ist es, dass die Roboter sich an die unterschiedlichen Bedürfnisse anpassen und die Interaktion **barrierefrei, usability-optimiert, intuitiv, multimodal und nicht-diskriminierend** erfolgt. Dazu müssen die Erkennungssysteme (z. B. Sensoren, Software) der Roboter **für alle Bürger*innen gleich bzw. ausreichend gut funktionieren**, damit Erkenntnisse zu den **individuellen Bedarfen** berücksichtigt werden können. Um Akzeptanzhürden zu vermeiden, sollten die Roboter **intuitiv** nutzbar sein, die Anwendungsszenarien und Interaktionen **sinn- und nutzenstiftend** gestaltet sein und im Sinne einer **positiven Interaktion** das Gefühl der **Selbstbestimmung (durch Kompetenz, Autonomie, Verbundenheit)** berücksichtigen, um das allgemeine Wohlbefinden der Nutzenden im Umgang erhalten und steigern zu können. Dies beinhaltet auch Aspekte von **Nutzungssicherheit, Datenschutz und Privatsphäre zum informierten und selbstbestimmten Umgang**. Nur wenn die Systeme einen positiven Effekt auf alle Bürger*innen mit ihren unterschiedlichen Diversitätsmerkmalen haben und von allen (barrierefrei) genutzt werden können, lassen sich Roboter langfristig in die städtischen Institutionen integrieren.

Gelingt es, erhöht dies die **Assistenz- und Servicequalität der Einrichtungen**, da Mitarbeiter*innen entlastet werden, personelle Engpässe bewältigt und Grenzen in den Fähigkeiten der Mitarbeitenden (z. B. fehlende Fremdsprachenkenntnisse) überwunden werden können. **All dies erleichtert den Bürger*innen des Ruhrgebiets die Behördengänge**. Zudem können durch die teilhabeorientierte Integration Barrieren und Nutzungshemmnisse durch die niederschwellige Begegnung mit robotischen Systemen in gewohnten Bereichen des täglichen Lebens abgebaut werden. Für die Ruhrgebietskommunen führt dies zu einem **Technologiesprung**, der zu einem **Imagegewinn** und einer **Attraktivitätssteigerung der Metropolregion Ruhr** führt, die sich als digitalisierungsstarke, diversitätssensible Modellregion (inter-)national attraktiv etablieren kann.

RuhrBots ermöglicht den Kommunen:

- Aufbau und Erweiterung der Datenbasis zur Verbesserung der Systeme
- Erkenntnisse zum Einsatz von Assistenzsystemen und deren Praxistauglichkeit
- Abbau von psychologischen Barrieren und Nutzungshemmnissen durch das Erlebbarmachen und den niederschweligen Einsatz von sozialen Robotern in vertrauten Bereichen des alltäglichen Lebens; Aufbau und Erweiterung von Nutzungskompetenz
- Kompetenzsteigerung der Kommunen, deren Mitarbeiter*innen und der Bürger*innen durch die aktive Beteiligung an der Entwicklung und Integration sozialer Roboter
- Bewusstseinssteigerung für Diversität und Selbstbestimmung im Kontext von Digitalisierung
- Überregionale Strahlkraft und Inspiration neuer Geschäftsideen rund um (inklusive) soziale Robotik

14.1.4 Forschungsfragen und Forschungsagenda

Zur Realisierung dieser Vision, die von Kommunen und dem Verbund gleichermaßen geteilt wird, ist ein Abgleich der gemeinsamen Vision mit dem Stand der Forschung und Technik notwendig sowie die Beschreibung einer **Forschungsagenda**, die den **Weg zur Verwirklichung ebnet und den Lückenschluss zwischen Vision und Umsetzung** beschreibt. Eine Übersicht über die **interdisziplinäre Forschungsagenda** gibt Abbildung 14.3. Um soziale Roboter in das sozio-technische System der Stadtverwaltungen zu bringen, ist es wichtig, an bereits existierende Erkenntnisse, u. a. zum Interaktionsdesign, zur (optischen) Gestaltung wie auch zur technologischen Umsetzung, anzuknüpfen und mit einem speziellen Fokus auf die Anwendungsdomäne folgende **Fragen** zu klären:

- Wie lassen sich soziale Roboter **diversitätsgerecht, bedarfs- und menschenzentriert** in die Systeme der Stadtverwaltungen eingliedern?
- Welche **Förderfaktoren und Enabler** sowie (technische, menschliche und organisatorische) **Barrieren bzw. Störfaktoren** gibt es?

- Wie kann ein **partizipatives Vorgehen** die **Teilhabe**, **Nutzungsmotivation** und **Akzeptanz** von robotischen Systemen steigern, **psychologische Barrieren** abbauen und die Erkenntnisse auch **ökonomisch** transferieren?

Studien belegen, dass eine kleinschrittige Anpassung verschiedener Charakteristika robotischer Systeme zielführend ist und sich Roboter auf ihr Gegenüber und die Situation im Gespräch anpassen müssen. Bekannt sind **zielgruppenspezifische Präferenzen** beim Erscheinungsbild (Straßmann and Krämer 2018) sowie der **Interpretation und Bewertung** von nonverbalem Verhalten (Rosenthal-von der Pütten et al. 2019); eine Anpassung an den **kulturellen Hintergrund** (nicht aber umfangreiche Diversitätsgerechtigkeit) wurde bereits vorgeschlagen (O’Neill-Brown 1997). Bisher wurden diese Faktoren **nicht ganzheitlich kombiniert** und **über längere Zeit im Feld getestet**. Für eine langfristige Umsetzung ergibt sich entsprechend die Frage, wie soziale Roboter die Bedarfe erkennen und auf diese reagieren können:

- Wie lassen sich (ggf. konfligierende) **Bedarfe miteinander verhandeln** und welche **Präferenzen und Bedürfnisse** müssen am dringendsten adressiert werden?
- Wie **erkennt der Roboter** die Bedarfe **zuverlässig** und reagiert **diversitätsgerecht**? Welche **Algorithmic Biases** beeinträchtigen den Nutzungszugang und die Interaktion (z. B. durch fehlerhafte Erkennung, Hürden bei der Wahrnehmung und Interpretation des Gegenübers auf Seiten des Systems) und (wie) lässt sich die **Beseitigung** dieser Einschränkungen **priorisieren**?
- Wie können **KI-Komponenten** auch extern (in der Cloud) genutzt werden, ohne dass dadurch **Datenschutz** oder **Privatsphäre** der Nutzenden gefährdet werden?
- Wie kann dies nicht nur unter kontrollierten **Laborbedingungen**, sondern **im Feld** beantwortet werden (Lim et al. 2021)?

Anders als bei Single-Interaktion-Laborstudien, in denen Kontaktaufnahme, Interaktionsverlauf und Stadien der Interaktion oft experimentell beschränkt und klar definiert sind, ist der Beziehungsaufbau im Feld offen. Es baut sich in der **Praxis eine komplexe Interaktionshistorie** auf (Straßmann 2018), die im Sinne einer **Human-Robo-Journey** (adaptiert nach klassischen Customer-Journey-Modellen; Court et al. 2009) zu verstehen ist. Um Menschen in der Interaktion mit Robotern langfristig in

die **Loyalitätsphase** (Wunsch zur erneuten Interaktion) zu bringen, ist zu erörtern: Wie ist die **Ankunftsphase** zu gestalten, um vor dem ersten Kontakt psychologische Hemmnisse abzubauen? Welche Gestaltungsmerkmale des Roboters und Metriken zur Bewertung der Mensch-Roboter-Interaktion führen zum Eintritt in die **Loyalitätsphase**? Wie entwickelt sich die Haltung und Beziehung gegenüber Robotern langfristig?

Um die im **Kompetenzzentrum** gewonnen Erkenntnisse in die **Wechselwirkung zwischen Theorie und Praxis** zu bringen, muss geklärt werden, wie strategische Bausteine eines **Ökosystems** für den Transfer von den Erkenntnissen der Anwendungsdomäne Stadtverwaltungen in andere Branchen gestaltet werden können. Welche Erkenntnisse ergeben neue Ansatzpunkte für Startups und KMUs? Wie lässt sich der wissenschaftliche State-of-the-Art anwendungsnah und verständlich kommunizieren, um einem Scheitern von Technologieunternehmen vorzubeugen?

14.1.5 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Die bedarfs- und nutzendengerechte Erforschung und praktische Anwendung von sozialen Robotern in Stadtverwaltungen sowie der begleitete Transfer der Erkenntnisse in die Wirtschaft und breite Öffentlichkeit sind das Kernziel des Zentrums. Daher strebt **RuhrBots** neben der **Beantwortung der erarbeiteten Forschungsagenda** an, Stadtverwaltungen und relevante Stakeholder aus Wissenschaft und Wirtschaft zu **informieren, beraten, qualifizieren und miteinander zu vernetzen**.

In Labor- und Feldstudien wird, auf der Basis von mit Nutzenden, Institutionen und Wirtschaftspartnern identifizierten Anwendungsfällen, das Interaktionsverhalten von sozialen (Assistenz-)Robotern mit dem Menschen strukturiert untersucht und entlang der in Abbildung 14.3 beschriebenen Metriken auf Seiten von Technik und Mensch **evaluiert und iterativ adaptiert**. Dabei steht die **Bedarfs- und Diversitätsgerechtigkeit** im Vordergrund und die sich daraus ergebenden Herausforderungen an das sozio-technische System, sowie Überlegungen zur Systematisierung und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Gestaltung und Integration von robotischen Systemen, um einen nachhaltigen Einsatz zu fördern. Neben den sozialen Implikationen werden im Rahmen dessen Datenschutz, Sicherheits- und ethische Aspekte gleichwertig berücksichtigt (ELSI).

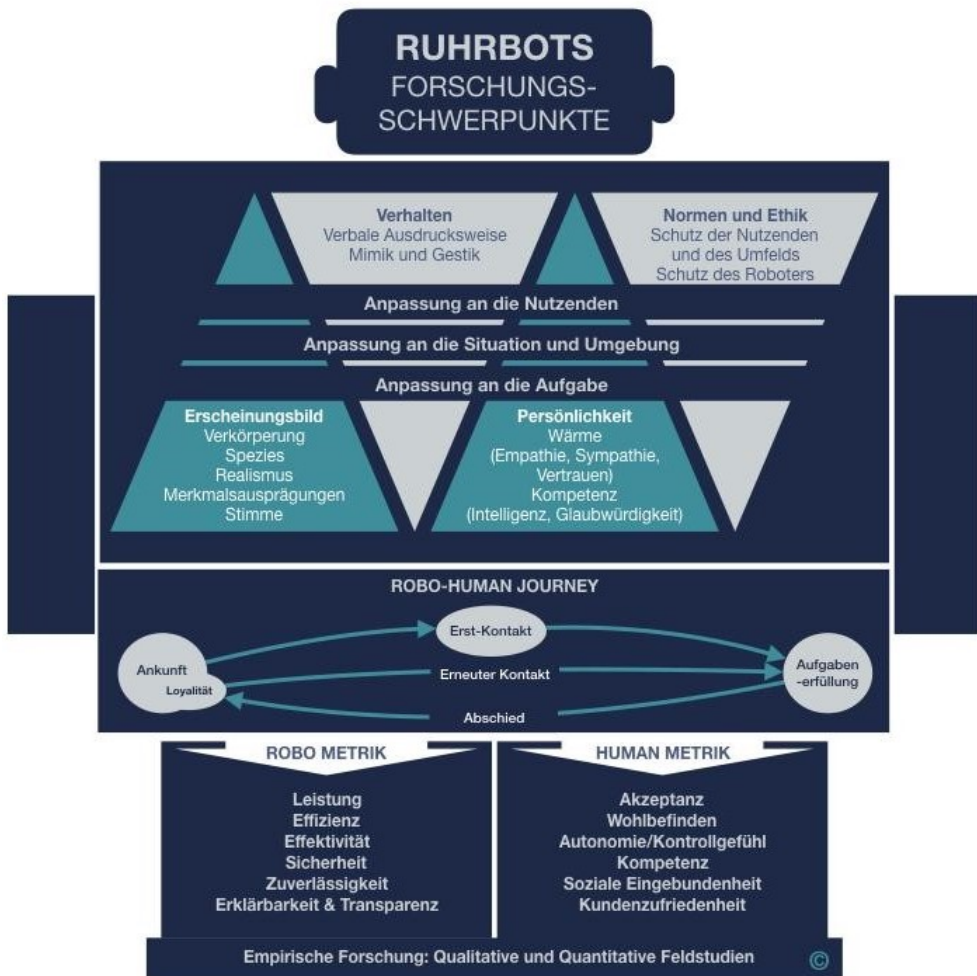


Abbildung 14.3: Erarbeitete Forschungsagenda des Kompetenzzentrums.

Durch die **transdisziplinäre Struktur** entsteht eine umfangreiche Datenlage über den bedarfs- und diversitätsgerechten Einsatz von sozialen Robotern. Zum Beispiel nicht nur in der Interaktion zwischen Mensch und Robotern, sondern auch in der Wirkung des Einsatzes im Gesamtsystem der Stadtbibliothek (z. B. durch den Einbezug von Gleichstellungsbeauftragten, Personalräten, angeschlossene Abteilungen) und angeschlossenen Diensten (z. B. interessierte Unternehmen oder Inspiration von Startups).

14.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

14.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Es gibt bereits mehrere Studien, die **Roboter in städtischen Institutionen** (Hansen and Hansen 2021, Mubin et al. 2020, Kaipainen et al. 2018, Pitsch et al. 2009) untersucht haben. Diese zeigen zum einen, dass befragte Nutzende den **Einsatz von Robotern befürworten**, besonders für Anwendungsszenarien, die **partizipativ entwickelt** wurden (z. B. Kaipainen et al. 2018). Jedoch wird zum anderen durch Feldstudien eine geringe Interaktionsrate (Thunberg and Ziemke 2020, Hansen and Hansen 2021) und eher ablehnende Haltungen (Mubin et al. 2020) dokumentiert. Mehrere Forschungsergebnisse (Nielsen et al. 2021, Tian et al. 2020, Kaipainen et al. 2018) verdeutlichen die **Bedeutung der Teilhabe und Integration** der Nutzenden in die Gestaltung und den Einsatz sozialer Roboter. Dies ist besonders für den Einsatz in städtischen Institutionen von **hoher Relevanz**, da dort Menschen mit **unterschiedlichen Diversitätsmerkmalen** auf soziale Roboter treffen. Roboter müssen somit diversitätsgerecht gestaltet und in die Anwendungsdomäne und damit verbundene Prozesse integriert werden.

Die Mensch-Maschine-Interaktion selbst abhängig vom kulturellen Hintergrund zu machen, wurde schon früh vorgeschlagen (O'Neill-Brown 1997, Lim et al. 2021). Studien illustrieren, dass eine kleinschrittige Anpassung der Eigenschaften robotischer Systeme von Vorteil ist und sich Roboter auf ihr gegenüber und die Gesprächssituation anpassen müssen. Bekannt sind zielgruppenspezifische Präferenzen beim Erschei-

nungsbild (**Straßmann et al., 2020¹**) sowie der Interpretation und Bewertung von nonverbalem Verhalten (**Rosenthal-von der Pütten et al. 2019, Straßmann et al. 2019**). Das **Erscheinungsbild** kann hinsichtlich der **Verkörperung** (Embodiment; z. B. sprachliche Systeme vs. Texteingabe), **Spezies** (z. B. anthrophomorph, zoomorph oder Objekt), **Realismus** und **Merkmalsausprägungen** (Geschlecht, Rasse, Kleidung, Körperformen) (**Straßmann and Krämer 2017**), sowie der **Stimme** (natürlich, text-to-speech, Stimmfarbe etc.) variiert werden. Das **Verhalten des Roboters** sollte (non-)verbal angepasst werden. Essentiell ist die sprachliche und nonverbale **Anpassung** an das Gegenüber und die Umgebung (**Eimler et al. 2011**) (z. B. kultursensible/diversitätsgerechte Sprache). So bevorzugen z. B. Asiat*innen Roboter mit „asiatischen“ Verhaltensmustern, während dies deutschen Testpersonen nicht so wichtig war (Li et al., 2010) und arabisch sprechende Menschen bevorzugen eine höfliche Ansprache (Salem et al. 2014), um nur zwei Beispiele zu nennen. Effekte der sprachlichen Anpassung von Menschen an robotische Systeme sind zu bedenken (**Rosenthal-von der Pütten et al. 2016**). **Nonverbale Verhaltensweisen** beeinflussen u. a. die **wahrgenommene Persönlichkeit** des Roboters (**Straßmann et al. 2016, Eimler et al. 2011**). So wurde z. B. gezeigt (Wang et al. 2010), dass chinesische und US-amerikanische Studierende Empfehlungen eher von Robotern mit passenden Verhaltensmustern akzeptieren. Die Studie zeigte jedoch auch, dass chinesische Studierende insgesamt deutlich ablehnender den Robotern gegenüber waren als ihre amerikanischen Kommiliton*innen. Die **Persönlichkeit** ist hinsichtlich Wärme- und Kompetenz-Faktoren (Bergmann et al. 2012) gestaltbar. So kann z. B. der **Bedarf an Empathie und Dominanz** durch die Gestaltung nutzenden- und bedarfsgerecht erfüllt werden. Allerdings sind die Empfindungen der Menschen in diesem Zusammenhang kompliziert und nicht immer rational.

Die Wahrnehmung des Roboters hängt nicht nur von seinen Verhaltensweisen und der Passung zu den Diversitätsmerkmalen der Nutzenden ab, sondern wird auch durch **Stereotype** (z. B. ausgelöst durch die **präsentierte Herkunft des Roboters** (Spatola et al. 2019) oder die **Umgebung**, in der der Roboter eingesetzt wird (Straßmann et al. 2022), beeinflusst. Soziale Roboter benötigen **Normen und eine unterliegende Ethik**, um die Nutzenden und das Anwendungsumfeld zu schützen. Psychische (z.

¹Fett markiert sind Verweise auf eigene Vorarbeiten der Verbundpartner

B. Einschränkung menschlicher **Entscheidungsfreiheit** (Straßmann et al., 2020) und **physische Schäden** (Arntz and Eimler 2020) sind basierend auf existierenden Standards zu vermeiden. Erste Feldstudien zeigen, dass Roboter in der Praxis auch durch Menschengruppen eingeschränkt und beschädigt werden (Nomura et al. 2016). Daher sollten Mechanismen erörtert werden, wie der Roboter sich selber schützen kann (Horstmann et al. 2018).

Bisher werden die Faktoren nicht ganzheitlich kombiniert und über längere Zeit im Feld getestet. Um dem zu begegnen, werden im **RuhrBots Kompetenzzentrum Off-the-Shelf Produkte** hinsichtlich **vier Hauptcharakteristika sozialer Roboter (Erscheinungsbild, Verhalten, Persönlichkeit, Normen und Ethik)** ausgewählt und angepasst. Auswahl und Anpassung basieren auf Erkenntnissen von Anforderungsanalysen hinsichtlich der Nutzenden, Situation und Umgebung sowie der Anwendungsaufgabe. Aus dem partizipativen Vorgehen in der **Machbarkeitsstudie** und den daraus **resultierenden Szenarien** ergaben sich erste **technische Anforderungen** (multimodale Interaktionsmöglichkeit, Möglichkeiten der Fortbewegung und Navigation, mehrere Sprachen/Übersetzungsfunktion, Option Objekte zu transportieren, Robustheit gegenüber äußere Einflüsse, Personen- und Emotionserkennung sowie offene Programmierschnittstellen) an den **Einsatz von Assistenzrobotern in städtischen Institutionen**, auf Basis dessen existierende Roboter analysiert und (vor)ausgewählt wurden. Dies geschah basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen (Hansen and Hansen 2020) in einem **Technikpartner-Workshop**. Abbildung 14.4 zeigt einen Überblick über die Analyseergebnisse.

Vor dem Hintergrund dieser Analyse ergibt sich eine Differenzierung der Roboter auf Basis der Hauptcharakteristik, die in dem jeweiligen Szenario angewendet und hinsichtlich der Diversitätsgerechtigkeit erforscht wird. **Es gibt keinen Roboter, der alle Skills, die in den entwickelten Szenarien erforderlich sind, vollumfänglich erfüllt**, wenngleich die meisten Roboter sich für Aufgaben im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Informationen, der Begrüßung, dem Sammeln von Benutzenden-Feedback, der Führung und der Wegfindung eignen (Hansen and Hansen 2020). Besonders die Erkennung der **Diversität der Nutzenden** und die **Reaktion auf deren Bedarfe** wird **durch die Off-the-Shelf-Roboter nicht abgedeckt**.

Für die Interaktion von Menschen untereinander, aber auch für eine **gelungene Kommunikation** zwischen Mensch und sozialem Roboter, ist die Erkennung von Emotionen wie auch die Generierung von passenden emotionalen Signalen durch den Roboter jedoch ein wichtiger Faktor (Hall et al. 2014, Eyssel et al. 2010, Bennett and Šabanovic 2013, Crumpton and Bethel 2016, Zecca et al. 2009). Dabei spielt nicht nur die Ausdrucksfähigkeit des Roboters, sondern auch die Konsistenz zwischen den verschiedenen Ausdrucksformen (Gesicht, Stimme, Gestik) sowie ein zum Interaktionskontext passender Ausdruck eine wichtige Rolle (Cramer et al. 2010).

Der **Einsatz mehrerer Modalitäten**, eine **gute Konsistenz** zwischen ihnen, sowie dem Situationskontext, verbessern so u. a. Akzeptanz und Vertrauen (Salem et al. 2011, Cramer et al. 2010, Salem et al. 2011). Somit ist die Erfassung der aktuellen Situation, einschließlich der non-verbale Reaktionen des Menschen, ein wichtiges Element für eine intensive und gelungene Kommunikation zwischen Roboter und Mensch.

Das **Auslesen von Emotionen** aus der Mimik wie auch die Erfassung der Körper- und Kopfhaltung (Zhang et al. 2020) wird zurzeit sehr erfolgreich mit Methoden der künstlichen Intelligenz durchgeführt. Dabei existieren inzwischen **zahlreiche freizugängliche Modelle** wie auch kommerzielle Lösungen, die zum Teil **Cloud-basiert** arbeiten (siehe z. B. Pose-Detection im ML-Kit von Google², Movenet³ oder IVA/IOT-Plattform⁴ von NVIDIA zur Pose-Erkennung). Neben der **Kopfausrichtung** auch die **Blickrichtung über Kameras** zu erfassen, ist ebenfalls ein langjähriges Ziel zahlreicher Forschungsanstrengungen (Cazzato et al. 2020, Cheng et al. 2020, Akinyelu and Blignaut 2020) und entsprechende Lösungen sind daher verfügbar (vgl. Fischer et al. 2018⁵; Park et al. 2019⁶). Das **Erfassen von Emotionen** aus der Gesichtsmimik (vgl. Rangulov and Fahim 2020⁷) – kommerzielle Lösungen sind z. B. ⁸ ⁹ ¹⁰ – und

²<https://developers.google.com/ml-kit/vision/pose-detection>

³<https://www.tensorflow.org/hub/tutorials/movenet>

⁴<https://developer.nvidia.com/blog/fast-track-your-production-ai-with-pre-trained-models-and-transfer-learning-toolkit-3-0/>

⁵https://github.com/Tobias-Fischer/rt_gene

⁶https://github.com/NVlabs/few_shot_gaze

⁷<https://github.com/DenisRang/Combined-CNN-RNN-for-emotion-recognition>

⁸<https://imotions.com/biosensor/fea-facial-expression-analysis/>

⁹<https://www.noldus.com/facereader>

¹⁰<https://azure.microsoft.com/de-de/services/cognitive-services/face/>

aus der Sprache (Lieskovská et al. 2021, Xu et al. 2021¹¹) werden ebenfalls seit vielen Jahren adressiert, wobei auch **fusionierte Lösungen** entwickelt worden sind (Hu et al. 2017, Hossain and Muhammad 2019, Zadeh et al. 2018¹²).

Zwar ist die Genauigkeit der Erfassung in realen Anwendungen oft nicht sehr hoch (Samadiani et al., 2019), interessant ist aber in vielen Fällen gar nicht, ob die Emotionen immer korrekt erkannt werden (das gelingt uns Menschen ja auch nicht immer), sondern vielmehr die Veränderungen während der Interaktion zu verfolgen.

Neben der “**non-verbale Emotionsanalyse**” gibt es Ansätze, die inhaltliche Stimmung des Gesprochenen zu klassifizieren. Für letzteres sind in den vergangenen Jahren insbesondere **BERT-basierte Systeme** (Gao et al. 2019 (<https://deepset.ai/german-bert>)) erfolgreich eingesetzt worden. Um die Emotionen aus dem Sprachinhalt zu extrahieren, muss zunächst die Sprache in Text umgewandelt werden. Hierfür gibt es - neben den großen **Cloud-basierten Lösungen** z. B. von Google (<https://cloud.google.com/speech-to-text/>) oder Microsoft (<https://azure.microsoft.com/en-us/services/cognitive-services/>), - ebenfalls **lokale Lösungen**, die (auch) ohne Internetverbindung arbeiten (wie z. B. Spracherkennungssysteme von Nuance (<https://www.nuance.com/de-de/dragon.html>) oder EML (<https://www.eml.org/deutsch/produkte.php>)). Aufgrund der zahlreichen verfügbaren Lösungen für alle hier relevanten Bereiche, liegt der Fokus im Projekt auf der Auswahl und Anpassung existierender Lösungen.

Ein hingegen noch **wenig adressiertes und gelöstes Problem** ist, **Daten und Privatsphäre** der beteiligten Personen zu schützen. Für die KI-Analyse werden eine Reihe von sensiblen Daten verschiedenster Modalität erfasst (Bild, Video, Audio, Verhaltenprofile etc.), die vor unberechtigtem Zugriff geschützt werden müssen. Doch auch die **Hoheit über die eigenen Daten** muss für den Nutzenden stets gewahrt werden. Ein naheliegender Ansatz ist, die Daten grundsätzlich lokal (auf dem Robotersystem) zu verarbeiten und nach der Analyse zu löschen. Das scheitert meist an der verfügbaren Rechenleistung und den Energiereserven insbesondere mobiler Roboter. Ansätze hier speziell für den mobilen **Einsatz optimierte KI-Komponenten** (siehe z. B., Groos et al. 2021, Howard et al. 2017) oder **entsprechende Beschleuniger-Hardware** (siehe

¹¹<https://github.com/makcedward/nlpaug>

¹²<https://github.com/A2Zadeh/CMU-MultimodalSDK>

z. B. Chen et al. 2020, Zhang et al. 2018) zu nutzen, helfen nur begrenzt weiter. Denn die Vielzahl von KI-Modellen, die für eine vielschichtige und komplexe Interaktion mit den Nutzenden benötigt werden, überfordern spätestens in der Summe die vorhandenen lokalen Ressourcen. Zudem ist es wünschenswert, möglichst leistungsfähige KI-Komponenten zu nutzen. Ein Beispiel für ein sehr leistungsfähiges neuronales Netz ist GPT-3 (Floridi and Chiriatti 2020) - eine Sprach-KI, die aus 175 Milliarden Parametern besteht. Diese auf einem mobilen Roboter auszuführen ist zumindest derzeit nicht praktikabel. Auch wenn es sich dabei eher um einen Extremfall handelt, zeigt es doch deutlich, was in Zukunft erwartet werden kann. Viele leistungsfähige KI-Modelle zu nutzen wird dementsprechend bei vertretbaren Kosten nicht ohne die Nutzung von externen Rechenressourcen gelingen. Daher sind Konzepte notwendig, wie diese Nutzung erfolgen kann, ohne dafür Daten und Privatsphäre der Nutzenden opfern zu müssen. So gibt es in der Literatur Ansätze, die z. B. für eine **“verschlüsselte Berechnung”** von KI-Modellen genutzt werden können: **Homomorphic Encryption** (HE) (Bost et al. 2014, Jiang et al. 2018, Park et al. 2018) oder **two-party bzw. multi-party Computation** (2PC/MPC) (Mohassel and Zhang 2017). Leider ist HE mit einem extremen Rechenaufwand verbunden, während 2PC/MPC nicht kooperierende Rechenserver voraussetzt und einen hohen Kommunikations-Overhead erzeugt. Xie et al. (2021) auf der anderen Seite nutzen **(abgeschottete) Software-Container**, die auf einem Server ausgeführt werden. Dieser Ansatz senkt den Rechen-Overhead deutlich, setzt aber voraus, dass der Server nicht kompromittiert werden kann, was natürlich eine unbefriedigende Anforderung ist. Trotzdem bietet dieser **Ansatz einen Ausgangspunkt**, der mit **zusätzlichen Konzepten kombiniert** werden kann, um die **Sicherheit weiter zu erhöhen**.

Die Leistungsfähigkeit moderner KI-Systeme und das damit verbundene Bestreben, sie in realen Anwendungen einzusetzen, hat schnell Probleme bezüglich der **„Gleichbehandlung“** von Menschen durch solche Systeme aufgeworfen (West et al. 2019). Das fängt bei Problemen von **Personen-Erkennen** an, **Menschen mit dunkler Hautfarbe** zu erkennen (Buolamwini and Gebru 2018) und geht über Werkzeuge zum automatischen Bewerbermanagement mit einer Tendenz zur Benachteiligung von Frauen (Dastin 2018) bis hin zu **Entscheidungssystemen aus dem Gesundheitsbereich**, die Schwarze Menschen anders klassifizieren als Weiße (Obermeyer et al.

2019). Die Gründe liegen oft in den **genutzten Trainings-Datensätzen**, wie z. B. Personenbilder-Datenbanken, die nur eine relativ geringe Anzahl von Schwarzen Menschen enthalten (Han and Jain 2014). Die Herausforderung zuverlässig über unterschiedlichste Ethnien hinweg z. B. die Emotionen aus dem Gesicht auszulesen, versucht man durch den Aufbau geeigneter Bilder-Sätze zu begegnen (Conley et al. 2018, Merler et al. 2019, Du et al. 2014, Zadeh et al. 2018). Betrachtet man allerdings die frei verfügbaren KI-Modelle, so findet man **in** den entsprechenden **Dokumentationen nur selten** entsprechende **Einschätzungen** oder gar Untersuchungen **bezüglich des Einflusses von Diversity**-Aspekten auf die Leistungsfähigkeit der Modelle.

14.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Der Vorteil des **skizzierten Lösungsansatzes** liegt in der **Verknüpfung von Labor- und Feldstudien** und der **intensiven Beteiligung von Bürger*innen und Kommunen**, mit einem kontinuierlichen Blick auf die Belebung und Entwicklung des **wirtschaftlichen Ökosystems**. Durch die Verortung im öffentlichen Raum im **Balungsraum Ruhrgebiet** wird auch auf algorithmischer Ebene ein ideales Szenario geschaffen, in dem die Grenzen bisheriger Systeme (z. B. Algorithmic Bias) zunächst sichtbar gemacht und in **Richtung Inklusion und Adaption** iterativ und kontinuierlich erweitert werden. Durch die Verortung im Feld und die Gestaltung einer vollständigen **Human-Robo-Journey**, wird die vollständige und komplexe Interaktion der verschiedenen Teilaspekte des sozio-technischen Systems für die Erforschung zugänglich (Abbildung 14.3). Ein **multi-methodisches Vorgehen** erlaubt sowohl in den Laborstudien unter z. B. der **Verwendung von Virtual Reality (VR)** (Sammlung von objektiven Daten, angereichert durch Self-Report-Auskünften) als auch in den **Feldstudien in den Stadtbibliotheken**, die beschleunigte Erprobung und (Weiter-)Entwicklung von (diversitätsgerechten, teilhabeorientierten) **Metriken und Handlungsempfehlungen** sowie die Ableitung von Kriterien für einen **Zertifizierungsprozess**. Dabei bietet VR den Vorteil der vollständigen Kontrollierbarkeit und Gestaltungsflexibilität bei gleichzeitig vergleichbar geringen Kosten zu einer unmittelbaren Implementierung im Feld. Verfügbare **Normen** (z. B. solche zur Gebrauchstauglichkeit und Barrierefreiheit), **Checklisten** (z. B. Gendered Innovation Checklist) und **Modelle** (z. B. Diversity Wheels) sowie **Design-Guidelines** werden berücksichtigt, erweitert und veröffentlicht. Zusätzlich werden freie und kommerzielle Soft- und Hardware-Komponenten

bezüglich ihrer Kompatibilität zu diesen Normen und Guidelines untersucht und die Ergebnisse verfügbar gemacht. Durch diesen Ansatz partizipiert eine große Menge verschiedener Interessengruppen beginnend mit Hersteller*innen und Anwender*innen von sozialen Robotern bis hin zu den eigentlichen Endnutzer*innen von den Aktivitäten des Kompetenzzentrums.

14.2.3 Risikodarstellung

Das Projekt kombiniert und erweitert eine Reihe von **Standardtechnologien** und **State-of-the-Art-Vorgehensmodellen** aus Forschung und Technik mit den geschilderten wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen. Daher ist das Projekt insgesamt mit einem hohen Risiko verbunden.

Das Risiko leitet sich dabei vor allem aus der **Verfügbarkeit (Existenz und Rechte) von Daten** sowie der **Nutzendenakzeptanz** ab. Hinsichtlich der Daten ist stets die rechtliche Lage sowie die technische Absicherung (z. B. Zugriff durch Unbefugte; Absicherung Kommunikation und Datenspeicherung) zu klären. Prinzipien der **Datensparsamkeit und Methoden zur Anonymisierung** reduzieren diese Risiken zusätzlich. Sollte sich die Rechtslage nicht nachdrücklich ändern, sollte das Risiko gering sein. Datenschutz und ungeahnte Hürden in den organisationalen und bürokratischen Prozessen stellen in diesem Zusammenhang ebenfalls ein Risiko dar, dem sowohl durch die **aktive Einbindung verschiedenster Akteur*innen** (Kommunen mit entsprechenden Fachleuten, Beiräte, ELSI-Workshops etc.) frühzeitig begegnet wird. Die Akzeptanz wird maßgeblich durch die Gestaltung der Robotersysteme (siehe Abbildung 14.3) in den unterschiedlichen Anwendungsszenarien und Aufgabenfeldern und deren wahrgenommener Nützlichkeit bestimmt. Da sich das Vorhaben durch den **transdisziplinären Ansatz** bestimmt und die beteiligten Expert*innen jahrelange Erfahrung in der menschenzentrierten Gestaltung von Robotern haben, ist auch dieses Risiko als gering einzuschätzen. Konkret wird es durch **verschiedene partizipative Vorgehensweisen** in dem Arbeitsplan adressiert.

Zudem wird durch den Einsatz eines **VR-Labors** ein Teil des Risikos durch eine **a priori Bewertung** bereits vor der Nutzung im Feld abgedeckt. Gleichmaßen ist nicht mit einer mangelnden Akzeptanz von **Unternehmen** zu rechnen. Ein Risiko

in diesem Bereich wird durch die Beteiligung von Wirtschaftsförderungen, Transferpartner*innen und Beirat reduziert. Die **ökonomische Einbindung** ist durch ein entsprechend sensibles und kenntnisreiches **Vorgehen gut abgesichert**. Insgesamt sind die Erfolgsaussichten, trotz des hohen Risikos, sehr hoch.



































































Übersicht Roboter							
							
Hersteller	Softbank Robotics Europe	temi	UBTECH	Kompaï robotics	Qihan Technology Co. Ltd.	Keenon Robotics	Ling Technologie
Hardware	Höhe: 1,20, Gewicht: 30kg	Höhe: 1,00, Gewicht: 12kg	Höhe: 1,20, Gewicht: 30kg	Höhe: 1,18, Gewicht: 45kg	Höhe: 0,90, Gewicht: 19kg	Höhe 1,45, Gewicht: 70,0kg	Höhe 0,25, Gewicht: 1,2kg
Sensoren	IR, 3D, Sonar, Laser, Camera, microphones	360 degrees LIDAR 2 depth cameras RGB camera IMU sensor 6 Time of Flight linear sensors	IR Gyroscope, accelerometer & GPS Camera microphones		Gyroscope, Human body induction sensor, IR evading obstacle sensor, IR message receiving sensor, touch & electronic compass sensor	Lidar, machine vision, depth vision, infrared sensor, touch sensor	Camera, microphone, Gyroscope
Interaktionsmöglichkeit Fortbewegung, Navigation	 Eingeschränkte Navigation	 SLAM Navigation, Follow me-mode	 Eingeschränkte Navigation	 SLAM Navigation	 Eingeschränkte Navigation	 SLAM Navigation	 Taster
Sprachen, Übersetzungsmöglichkeiten	Ja, beliebig	Ja, beliebig	Ja, beliebig	Französisch, Englisch, weitere folgen	Ja, beliebig	Englisch, Chinesisch	Deutsch
Bring- und Tragemöglichkeiten	Nein	Kleinteile (Buch, Tasse, Brille, Smartphone)	Nein	Full Delivery option	Nein	Nein	Nein
Robustheit							
Personen- & Emotionserkennung	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Move detection Obstacle recognition	Move detection
Schnittstellen & Programmiermöglichkeiten	Offen für beliebige Anwendungen / Apps	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Offen für beliebige Anwendungen / Apps		Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Nein
Einsatzszenarien		 			 		
							
Hersteller	Pudu Robotics	Pudu Robotics	Suzhou Pangolin Robot Corp., Ltd	Suzhou Pangolin Robot Corp., Ltd	Keenon Robotics	SIASUN	Softbank Robotics
Hardware	Höhe 1,30, Gewicht 35kg	Höhe 1,30, Gewicht 57kg	Höhe 1,10, Gewicht 50kg	Höhe 1,50, Gewicht 91kg	Höhe 1,20, Gewicht 67kg	Höhe 0,84, Gewicht 18kg	Höhe 0,60, Gewicht 5,5kg
Sensoren	IR, LIDAR, RGBD-Tiefenkameras	IR, LIDAR, RGBD-Tiefenkameras	LIDAR	Camera, microphone, LIDAR, IR	Lidar, machine vision, depth vision, infrared sensor, touch sensor	LIDAR	2x OV5640 2592x1944 cameras
Interaktionsmöglichkeit Fortbewegung, Navigation	 SLAM Navigation und Lokalisierung mittels Marker	 SLAM Navigation und Lokalisierung mittels Marker	 SLAM Navigation	 SLAM Navigation	 SLAM Navigation und Lokalisierung mittels Marker	 SLAM Navigation	 Eingeschränkte Navigation
Sprachen, Übersetzungsmöglichkeiten	Deutsch, Englisch, Chinesisch	Deutsch, Englisch, Chinesisch	Englisch, Chinesisch	Englisch, Chinesisch	Englisch, Chinesisch	Ja, beliebig	Ja, beliebig
Bring- und Tragemöglichkeiten	Full delivery function	Full delivery function	Full delivery function	Nein	Full delivery function	Nein	Nein
Robustheit							
Personen- & Emotionserkennung	Face recognition Obstacle recognition	Face recognition Obstacle recognition	Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection Obstacle recognition	Face recognition Human detection Move detection
Schnittstellen & Programmiermöglichkeiten	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Nein	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps	Bedingt offen mittels API für beliebige Anwendungen / Apps
Einsatzszenarien		 			 		 
Legende  Gesten  robust  Szenario I: Stadtbibliothek  Sprache  flüchtig  Szenario II: Museum  Tablet							

Abbildung 14.4: Übersicht über robotische Systeme.

14.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Zur Zielerreichung verfolgt **RuhrBots** ein transdisziplinäres, iteratives und agiles Vorgehen, das alle relevanten Stakeholder (siehe Kapitel zu Verbund und Akteur*innen) einbezieht. Gemeinsam mit den Stadtverwaltungen des Ruhrgebiets werden **Nutzenden- und Anforderungsanalysen zur Erfassung der bisherigen Erfahrungen, Einstellungen und psychologischen Hemmnisse** diverser Zielgruppen und deren Bedarfe sowie Anforderungen an die technischen Umsetzungen und Besonderheiten der Umgebung durchgeführt. Ein **Methoden-Mix aus qualitativen und quantitativen Verfahren aus den Bereichen Usability** (Beobachtungen, Personas, Empathy Maps, Storyboards und Customer Journey Maps) und **Psychologie** (Fokusgruppen; quantitative mehrwellige Befragungen mit standardisierten Fragebögen) sichert die **umfangreiche Datengrundlage** zur Nutzendenakzeptanz unter Berücksichtigung eines breiten Diversitätsverständnisses (vgl. Diversity Wheel, z. B. Gardenswartz and Rowe 2010). Damit die **organisationale Transformation** gelingt und soziale Roboter erfolgreich in den Stadtverwaltungen eingesetzt werden können, sind die **Interessen, Einstellungen und Befürchtungen der Mitarbeitenden und weiterer innerbehördlicher Stakeholder** zu berücksichtigen. Diese werden durch empirische Untersuchungen erforscht, um praxisorientierte Hinweise und Best-Practices zu erarbeiten. Dies geschieht, abgeleitet vom aktuellen Stand der Wissenschaft, in den Bereichen **digitale Transformation, Change Management** und **organisationaler Wandel im Verwaltungssystem** mit Hilfe von qualitativen Interviews, moderierten Gruppendiskussionen und Kreativ-Workshops unter Beteiligung der Mitarbeiter*innen, Stakeholder (z. B. Personalräte, Gleichstellungs- und Datenschutzbeauftragten) und Verwaltungsexpert*innen (z. B. erfahrene Führungskräfte im Transformationsprozess).

Damit **Off-the-Shelf-Produkte** in diversitätsgerechtem Einsatz anhand verschiedener Metriken geprüft werden können, ist der **Aufbau eines Reallabors in den Räumlichkeiten der beteiligten Stadtverwaltungen** notwendig (Anwendungspartner*innen Abschnitt zu weiteren Akteur*innen, u. a. Herne, Essen, Duisburg) (**Feldstudien**). Dazu werden auf Basis der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie anfänglich **Roboter angeschafft und für den Einsatz in den Stadtverwaltungen vorbereitet**, sodass die

Grundfunktionen zur Aufgabenerfüllung der in den Workshops entstanden Szenarien (z. B. Service & Auskunft, Führung & Navigation) gegeben sind. **Längerfristige und wiederkehrende Feldstudien (Reallabor) werden mit ergänzenden (Vor-)Studien in steuerbarer und gesicherter (Labor-)Umgebung** kombiniert, um die beschriebenen Forschungsfragen zu adressieren. Zwar weisen Feldstudien eine hohe externe Validität auf, durch das wenig kontrollierbare Umfeld und den hohen Durchführungsaufwand lassen sich aber nicht alle Forschungsfragen kleinschrittig experimentell im Feld testen. Aus diesem Grund wird neben dem **Reallabor** ein **Showroom** aufgebaut, welcher die Anwendungsdomänen (Bibliotheksszenario und Servicepunkt) nachstellt und bei dem die Umgebung sowie Sicherheitsaspekte besser kontrolliert werden können. Zudem wird eine bereits bestehende **Virtual-Reality-Versuchsumgebung** (siehe **Arntz et al., 2020**) um notwendige Anwendungsszenarien erweitert und für kontrollierte empirische Untersuchungen in der Anwendungsdomäne weiterentwickelt. VR-Umgebungen etablieren sich aktuell zunehmend in der Erforschung menschlichen Verhaltens (**Arntz et al., 2020, Straßmann et al., 2020**). Auf Basis des CASA-Phänomens (Computers as Social Actors, Nass and Moon 2000, Gambino et al. 2020) lässt sich in vielen Bereichen (abseits von Präsenz und nonverbalen Verhaltensweisen) eine Verallgemeinerbarkeit unterstellen. In den geplanten Studien werden **Off-the-Shelf-Roboter mit existierenden KI-Elementen und weiteren Sensoren ausgerüstet und** bezüglich ihrer Wirkung anhand verschiedener Metriken in verschiedenen Interaktionssituationen geprüft. Neben der Funktionsweise (**Robo-Metrik** u. a. Erklärbarkeit, Sicherheit) ist die Wirkung auf den Menschen (**Human-Metrik**, u. a. i. S. des Positive Computing Paradigmas; Pawlowski et al. 2015) von Relevanz.

Gebündelt werden die Erkenntnisse entlang einer **Human-Robo-Journey**, um wichtige Merkmale für die Touchpoints zu definieren. Die Erhaltung und Ermöglichung von Gefühlen der Kompetenz, Autonomie und Verbundenheit im Zusammenhang mit der Nutzung und Entwicklung von Technologien sind dabei Kerngedanken, sodass sich diese menschlichen Grundbedürfnisse in den Metriken widerspiegeln. Basierend auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik sowie den gewonnenen Erkenntnissen aus den **Feld- und Laborstudien** werden Empfehlungen zur **diversitätsgerechten Gestaltung** sozialer Roboter erarbeitet. Nur wenn Nutzende in ihrer Vielfalt erkannt werden, ist eine diversitäts-, teilhabeorientierte und bedarfsgerechte

Anpassung möglich. Somit wird, neben der Beantwortung der psychologischen und usability-orientierten Fragestellungen, mit Hilfe der Untersuchungen im Feld eine **umfängliche Datenbasis** aufgebaut. Die Beobachtungsdaten und **Log-Files** der bestehenden Systeme (inkl. KI-Methoden) werden dabei durch eine Datenanreicherung in einem multi-methodischen Vorgehen erweitert. Durch die umfassende Datenerhebung werden systematische Diskriminierungen (Algorithmic Bias) der technischen Systeme sichtbar und können im Anschluss adressiert und verbessert werden. Erhebung und Speicherung dieser Datensätze erfolgen im Rahmen der **DSGVO** und werden auch durch entsprechende **Gutachten und Analysen** hinsichtlich rechtlicher und ethischer Perspektiven überprüft. Hier besteht im Rahmen des Konsortiums breite Vorerfahrung (Projekte: OurPuppet, RubyDemenz, TraM). Konzepte und geeignete Maßnahmen stellen sicher, dass nur die notwendigen Daten erfasst, anonymisiert und schließlich gelöscht werden. Zudem ist auch ein Fokus des Projekts, die Nutzung von Cloud-Ressourcen so abzusichern, dass auch hier Datenschutz und Privatsphäre sichergestellt bleiben.

Bei empirischen Arbeiten des Kompetenzzentrums wird ein **beteiligungorientiertes methodisches Vorgehen** gewählt, um das Ziel der Diversitätsgerechtigkeit zu erreichen. Dazu **ergänzen Bürger*innen oder Gründer*innen das Forschungsteam** und werden Teil von agilen, interdisziplinären Teams, die Effekte der Roboter selbstständig untersuchen (**Citizen Science**). Daraus ergibt sich für die Bürgerwissenschaftler*innen ein höheres Verständnis von Gestaltungselementen, sodass die Transparenz des Handelns gestärkt wird („Explainable Robotics“). Gleichzeitig können diese Projekte zur fachspezifischen und fachfremden Wissenschaftskommunikation genutzt und die Kluft zwischen Erwartungen der Bürger*innen und Stand der Technik sowie Wissenschaft verringert werden. Bürger*innen werden als Roboter-Paten eingesetzt, welche in den Feldstudien aktiv bei der Datenerfassung unterstützen. Anders als Forscher*innen, die durch ihre Expertise und die Distanz zu Laien oft blinde Flecken oder Hierarchiegefälle in die Kommunikation einbringen, sprechen Bürgerwissenschaftler*innen mit den Nutzenden auf Augenhöhe. In dieser Konstellation trägt das Forscher*innen-Team dafür Sorge, dass das **methodische Vorgehen und die Datenerhebung** sauber durchgeführt wird. Es schult die **Roboter-Pat*innen** (siehe „Robot-Begleiter*innen“ bzw. „Puppet-Begleiter*innen“ aus den BMBF-Projekten „OurPuppet“ und „RUBYDe-

menz“), begleitet alle Durchführungsphasen und ist vor Ort und bereit einzuschreiten. Die Bürgerwissenschaftler*innen werden somit durch die **Forscher*innen befähigte Mittler:in** zur Zielgruppe und haben die Chance, **selber zu erlernen und erforschen**, welche Grenzen und Potenziale aktuelle Assistenzroboter haben. Durch die Integration in die Prozesse erlangen sie ein **Gefühl von Ownership und Teilhabe**, sodass die Akzeptanz für Assistenzroboter gesteigert wird. Dies wird katalysiert durch gestärkte KI-Kompetenzen, ein realistisches Bild der Systeme sowie eine höhere Selbstwirksamkeit mit den Systemen. Der Austausch von Bürger*innen für Bürger*innen hebt Grenzen und Barrieren zu Forscher*innen „im Elfenbeinturm“ aus.

Ethische und rechtliche Fragestellungen werden teilhabeorientiert adressiert. Dazu wird eine **ELSI-by-Design-Methode** entwickelt und verwendet. Das Vorgehen basiert auf Phasen von SCRUM, Einbeziehung künftiger Nutzer*innen in den Entwicklungsprozess durch Inclusive Research (Nind 2014) und Participatory Design (Schuler and Namioka 1993). Ziel ist, mit Hilfe von ethischen Prüfkategorien, die in **MEESTAR-Workshops und Workshops zur rechtlichen Beratung** während des Designprozesses (nicht erst nach Abschluss der Anpassungen) erarbeitet werden, ELSI-by-Design in die anzupassenden Roboter und die ausgewählten Szenarien zu integrieren. Diese Idee basiert auf einem Vorgehen, dass in einem BMBF-Projekt entwickelt und erprobt wurde (Bente et al. 2019) und in RuhrBots fortgeschrieben werden soll. Zur weiteren Überprüfung und **Reflexion der ELSI-Faktoren** wird ein **transdisziplinärer Beirat** eingerichtet, dem das Projektteam in regelmäßigen Abständen die Arbeiten und Erkenntnisse präsentiert, um diese gemeinsam hinsichtlich ELSI-Fragestellungen zu reflektieren. Im nächsten Abschnitt wird neben der wissenschaftlichen Erfolgsaussicht detailliert auf die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten und Verwertungspläne im Zusammenhang mit dem **RuhrBots Ökosystem** und der geplanten **ShareBots Plattform** eingegangen.

14.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

14.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

RuhrBots wird **interdisziplinäre wissenschaftliche Beiträge** leisten in den in der Forschungsagenda beschriebenen Zielbereichen und Forschungsfragestellungen - sowohl im technischen Bereich, z. B. bei der **Erfassung und Reduktion algorithmischer Herausforderungen** und Gestaltung von **Systemadaptionen** für eine **positive, inklusive und nachhaltig akzeptierte Nutzung robotischer Assistenzsysteme**, als auch in den nicht-technischen Bereichen (z. B. Akzeptanz, Interaktionsdesign, ELSI) und im Bereich der methodischen Gestaltung und Nachhaltigkeit des Gesamtvorhabens (z. B. **Menschzentrierung, Bürger*innenbeteiligung, Robo-Metriken, Human-Metriken, Transfer in Stadtverwaltungen und Wirtschaft**). Durch den gewählten Ansatz werden Erkenntnisse und Perspektiven zwischen den Disziplinen ausgetauscht, produktiv verwertet und insgesamt, im Austausch mit Wirtschaft und Gesellschaft, ein hoher Erkenntnisgewinn erzielt. Publikationen in Journals (z. B. ACM Trans. Intelligent Interactive Systems, Int. J. Human-Computer Studies, Computers in Human Behaviour, Frontiers in Services) und Konferenzbesuche bei (inter-)disziplinären Konferenzen (z. B. CHI, HRI, Ro-Man, ISCR, AMA) sichern die Verbreitung der Erkenntnisse in den Communities. Nach Möglichkeit werden hier Open-Access-Publikationen angestrebt. Im Sinne der Nachhaltigkeit, Inspiration von **Neugründungen** und **Fachkräftesicherung** sind Qualifikationsarbeiten (Dissertationen, Bachelor- und Masterarbeiten) vorgesehen sowie die Einbettung von Fragestellungen des Kompetenzzentrums in die **Lehre** der beteiligten Hochschulpartner*innen (z. B. in den Studiengängen Angewandte Informatik, Mensch-Technik-Interaktion, eCommerce, BWL, eGovernment, Verwaltungsinformatik). Hier sind neben Vorlesungen, Seminare und Projekte (z. B. auch Hackathons) im nationalen und internationalen Kontext denkbar. Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes werden ökologische, ökonomische und soziale Aspekte der Nutzung von Assistenzrobotern in hochschul- und fächerübergreifenden Lehrangeboten wie dem Zukunftssemester, dem Studium Generale oder Gründungsförderungsinitiativen (z. B. HRWStartups, EXIST) betrachtet.

Die **wirtschaftlichen Erfolgsaussichten** lassen sich in **zeitlicher** Hinsicht in solche **während** und **nach** der Projektlaufzeit unterscheiden. In der Projektphase ist die Verwendung der Erkenntnisse von RuhrBots und Kommunikation und Transfer aus dem Kompetenzzentrum geplant, ebenso wie die Konzeption und Pilotierung der **digitalen Plattform ShareBotS als Ökosystem**, mit der der nachhaltige Anschluss sichergestellt wird. Der strategische Rahmen des Ökosystems wird innerhalb der Projektlaufzeit erforscht und entwickelt, um später als Fundament für die wirtschaftliche Tragfähigkeit zu dienen. In der Anschlussphase ist die Nutzung der digitalen Plattform ShareBotS vorgesehen. **In sachlicher Hinsicht** lassen sich die **Handlungsempfehlungen** anhand der vorliegenden Metriken und Leitfäden nennen sowie Richtlinien für mögliche Zertifizierungen eines nutzendenzentrierten Einsatzes robotischer Systeme in Stadtverwaltungen in Deutschland allgemein. Mehr noch, das Zentrum wird von Beginn an als "ShareBotS" Ökosystem¹³ konzipiert, das als orchestriertes Netzwerk auf einer gemeinsamen digitalen Plattform nach einheitlichen/abgestimmten Standards arbeitet und Verbindungen untereinander nutzt, um die erarbeiteten Metriken (**Robo-Metriken** und **Human-Metriken**) in Produkten und Dienstleistungen in Deutschland zur Anwendung zu bringen. Das dahinterliegende **plattformbasierte Geschäftsmodell** ist als **Sharing Economy** angelegt. Es handelt sich bei dem **ShareBotS Ökosystem** um eine **Kombination** eines **technischen** (App Store) mit einem **marktbasierten** Ansatz (analog zu AirBnB oder Spotify, siehe auch Zervas et al. 2017; Schreieck et al. 2016). Für die Konzeption von ShareBotS liegt der Fokus auf den folgenden strategischen Bausteinen: **Wertschöpfung & Spannweite**: Hier wird die Frage beantwortet, welchen Mehrwert eine städtische Einrichtung (z. B. Bibliothek, Museum) aus der Nutzung des ShareBotS Ökosystems erhält (Wertschöpfung¹⁴

Solche **konkreten Dienstleistungen** ergeben sich aus den vielfältigen Wissens- /Anwendungsbeispielen des Kompetenzzentrums und den dort entwickelten Erkenntnissen aus dem **Human-Robo-Journey**, die in Leitfäden für den Einsatz von robotischen

¹³Dabei liegt diesem Antrag die Definition eines Ökosystem als ein orchestriertes Netzwerk, das mehrere Sektoren umfasst. Die beteiligten Firmen arbeiten nach gemeinsamen Standards, manchmal auf einer gemeinsamen Plattform, um ihre Produkte und Dienstleistungen kompatibel zu machen. Und sie schaffen Verbindungen untereinander, die es für Außenstehende schwierig machen, einzudringen", (Jacobides 2019, S. 130).

¹⁴Weitere Hintergründe zu Wertschöpfung als strategischer Baustein von Ökosystemen findet sich unter Jacobides 2019, S. 132; Howard et al. 2017, S. 1187 und Karami and Read 2021 sowie digitalen Plattformen finden sich unter Chen and Wang 2019, sowie Eckhardt et al. 2019, S.28.

Systemen münden. Es wird ein Entscheidungsbaum für die effiziente und komfortable Nutzung von Kenntnissen und Metriken für den konkreten Einsatz der Systeme in der Stadtverwaltung entwickelt. Darüber hinaus ist ebenfalls die Erarbeitung einer **ShareBotS-Zertifizierung** als Dienstleistung geplant. Die Forschungsarbeiten liefern auch die Basis generalisierbarer **Entscheidungsheuristiken** für andere Marktfelder wie bspw. den Einsatz im Handel - der Transfer in diese anderen Geschäftsbereiche stellt einen wichtigen Teil von ShareBotS dar. Darüber hinaus gilt es, die geeignete und notwendige **Spannweite** des Ökosystems zu erforschen. Dies bedingt die Festlegung, welche weiteren Unternehmenspartner*innen für die Vernetzung notwendig sind, z. B. robotische Hersteller*innen oder BtB-Anbieter*innen robotischer Systeme und KI-Komponenten oder auch notwendige, ergänzende Dienstleistungspartner*innen wie Versicherungen, Schulungen der Beschäftigten etc. Denn nur dann wird die digitale Plattform zu einem Nährboden für Anwendungsinnovationen (Hein et al. 2020). **Erfolgreiche Ökosysteme** basieren oftmals auf einem **inkrementellen Ansatz** (Jacobides 2019). So ist auch hier geplant die Kenntnisse und Metriken, die zunächst für die Stadtverwaltungen entwickelt wurden, auf andere Anwendungsfelder zu erweitern. Diese sind namentlich stationäre Handelsunternehmen wie bspw. Douglas. **Rollen & Partizipation:** Hier wird die Eigentumsstruktur (einzelne Eigentümer*innen, Konsortium, Peer-to-Peer) für das Ökosystem entwickelt. Die Gestaltung der juristischen Person (bspw. GmbH, gemeinnütziger Verein), die die digitale Plattform erhält, gehört hier ebenso dazu wie die Verteilung der Macht und damit Entscheidungsbefugnisse (Kontinuum aus zentralisiert vs. dezentralisiert) (Hein et al. 2020, Schreieck et al. 2016). Denn erst der Grad der Freiheit der Geschäftsbeziehungen mit den Partner*innen im Ökosystem (sog. Komplementäre) und die Regeln der Partizipation entscheiden auch über die gemeinsame Wertschöpfung mit der digitalen Plattform (Jacobides 2019, Ye and Kankanhalli 2018, Hein et al. 2020). Besonders wichtig ist an dieser Stelle auch, dass zu der Entwicklung des Ökosystems auch die Verwaltung/Führung (Governance) gestaltet wird. Das betrifft formelle Mechanismen für die Gewährung des Zugangs zur Technologie, aber auch informelle Kontrollmechanismen (Schreieck et al. 2016). Damit gehen die Umsatz-/Gewinnbeteiligung der Komplementäre und dementsprechend wesentliche Aspekte für das Erzielen und Teilen von Netzwerkeffekten einher (Schreieck et al. 2016). In diesem strategischen Baustein gilt es auch zu entscheiden, ob und wenn ja, welche Kenntnisse als Open Source Access von den Software-Schnittstellen

zur Verfügung gestellt werden und welche als Begrenzung auf die im Ökosystem beteiligten Partner*innen festgelegt werden (Schreieck et al. 2016). Letztlich stellen wesentliche Punkte auch das technische Design, die **Modularität der Schnittstellen** und die **Kompatibilität des Ökosystems** dar (Schreieck et al. 2016). Darüber hinaus wird hier die **Wettbewerbsstrategie** definiert und die Frage beantwortet, was die geeignete Strategie ist, um ShareBotS als Plattform-Ökosystem unter Konkurrierenden zu etablieren (Kollaboration, Koopetition oder direkter Wettbewerb) (Mantena and Saha 2012, Schreieck et al. 2016). **Kultur & Philosophie:** Letzter wichtiger Baustein für die Definition des Ökosystems ist es, sich mit dem Entstehen einer vertrauensvollen Kultur (Heeks and Stanforth, 2007, Sundararajan and Woodard, 2018) zu beschäftigen, da Vertrauen - als Gegenstück zur Machtverteilung - als Grundvoraussetzung für den Erfolg eines Plattform-Ökosystems zu benennen ist (Hurni and Huber 2014). Dies gilt es, sowohl für die Beziehung zwischen Plattformbetreiber:in und Komplementären als auch für die Beziehung zwischen Kund*innen und dem Plattform-Ökosystem, als Ganzes zu betrachten (Schreieck et al. 2016, Jacobides 2019). Zur konzeptionellen Ausgestaltung der strategischen Bausteine wird auch ein **Beirat** mit Kompetenzen in den relevanten strategischen Bausteinen eines Ökosystems geschaffen, der ebenfalls beratend für die wirtschaftliche Durchführung eines Ökosystems tätig wird.

14.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Zur Verstetigung des **Kompetenzzentrums** soll die digitale Plattform ShareBotS, die der Logik der Share Economy folgt, entstehen. Der Grundgedanke: Unternehmen mieten und vermieten auf der ShareBots Plattform Roboter und bieten weitere für die Anwendung notwendige Dienstleistungen, die auf den Metriken und Erkenntnissen des RuhrBots-Zentrums basieren. Beispielsweise möchte ein Schwimmbad der öffentlichen Hand einen Roboter einsetzen oder ein Handelsunternehmen in seinem Einzelhandelsgeschäft einen Roboter einsetzen, weiß aber weder, was für konkrete Aufgaben sinnvoll zur Effizienzsteigerung genutzt werden können, noch kennt er konkrete Anbieter*innen robotischer Systeme oder kann das Personal entsprechend schulen (Anwendungsprojekt). Zur Verdeutlichung für die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit wird das **Geschäftsmodell als Lean Canvas**¹⁵ erläutert.

¹⁵Der Lean Canvas wurde speziell von Ash Maurya entwickelt auf die Bedürfnisse von Startups.

Die Robotertechnik erlebt einen Aufschwung, doch der Einsatz von robotischen Systemen ist vielschichtig, komplex und - aufgrund **mangelnder Erfahrung** - unsicher in der Nutzung in Stadtverwaltungen und in anderen wirtschaftlichen Geschäftsbereichen und **hemmt** damit eine nutzendenzentrierte Anwendung. Konkret fehlen für die Anwendung **Kenntnisse** über die Anbieter **robotischer Systeme, Erfahrungen** und **Handlungsempfehlungen** für den Einsatz und Umsetzungsunterstützung (Problem).

ShareBotS bietet durch eine **digitale Plattform** und ein **Umfeld** die Möglichkeit, sich mit relevanten Unternehmen für eine konkrete Anwendung zu verknüpfen, seien es Anbieter*innen von robotischen Systemen, Realitätstests, Versicherungen (siehe LOIs), Rechtsberatung, weitere Software-Lösungen, Trainingscenter für Arbeitssicherheit (siehe LOIs) etc. (Lösung). Darüber hinaus können Erkenntnisse des Kompetenzzentrums genutzt werden, namentlich **Checklisten** und konkrete **Handlungsempfehlungen** für **Einsatzszenarien** und **Anwendungsprojekte**. Letztlich bietet ShareBotS ein Umfeld für **innovative zusätzliche Hardware- und Softwarelösungen** weiterer spezialisierter Unternehmen rund um den Einsatz robotischer Systeme in **Stadtverwaltungen und anderen Geschäftsbereichen**. Das können ebenfalls bereits Partner*innen in der Plattform selbst sein, die Daten zur Verbesserung der Metriken nutzen.

Der **Wettbewerbsvorteil** ergibt sich insbesondere aus der **interdisziplinären, wissenschaftlichen Basis** und Forschungsaktivität (siehe Abbildung 14.3). ShareBotS geht damit weit über den **Mehrwert** eines robotischen Verleihers hinaus und ist als Netzwerk der gemeinsamen Wertschöpfung angedacht. Als zusätzlicher Mehrwert für den **sorgenfreien Einsatz von robotischen Unternehmen in der Praxis** ist dementsprechend auch ein **Zertifizierungsprozess ‘ShareBotS certified’** vorgesehen.

Zur Sicherstellung der **wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit** und mit Blick auf die Schnelligkeit in der Umsetzung wird der Fokus auf wirtschaftliche Unternehmungen der Anwendung (erstes Zielgruppensegment) gelegt, namentlich Startups, KMU sowie größere Konzerne mit Fokus auf Handelsunternehmen. Öffentlichen Einrichtungen (insb. Stadtverwaltungen, Hochschulen, Städten, Kommunen, städtischen Töchtern, Bildung und Kultur) bleiben auch im Anschluss an das Projekt eine relevante Zielgruppe (zweites Zielgruppensegment). Räumlich liegt der Fokus auf dem deutschsprachigen Raum.

Einzigartiges Leistungsversprechen: ShareBotS ist eine Plattform zur Verknüpfung von relevanten Partner*innen für den Einsatz robotischer Systeme, die alle an einem Ort zu finden sind. Durch den Zusammenschluss verschiedener Branchen und Unternehmenspartner*innen findet eine gegenseitige Bereicherung im Ökosystem statt. Auf Basis der Checklisten wird ein ShareBotS Zertifizierungsprozess definiert und mit Start des wirtschaftlichen Anschlusses für Unternehmen als zusätzliche Dienstleistung angeboten.

Hauptkennzahlen der Zielerreichung sind die Anzahl der Partner*innen verschiedener Geschäftsbereiche im Ökosystem, der teilnehmenden Unternehmen und Bürger*innen der Reallabore, der Teilnehmenden der Showroom Workshops sowie realer Projekte im Feld.

Kanäle: Die digitale Plattform basiert auf einer Website mit einem geschützten Bereich (LogIn). Die Erreichung der Zielgruppen erfolgt aus den Zugängen über RuhrBots, d.h. Kontakte aus den Workshops, Partner*innen etc. bis Projektende. Je nach Zielgruppe sind Newsletter und Workshops (Roadshow) für die Gewinnung weiterer Nutzer*innen und Partner*innen der digitalen Plattform geplant. Die Bekanntheit und Reichweite werden auch durch die Projektpartner*innen und die wissenschaftliche Verwertung gefördert. „RuhrBots“ ist von der HRW als **Marke** angemeldet und könnte ggf. im Anschluss an den Förderzeitraum im Rahmen der Gestaltung der digitalen Plattform weiter ausgebaut werden. Darüber hinaus besitzen die HRW-Antragssteller*innen die entsprechenden Webdomains RuhrBots und ShareBotS.

Kostenstruktur und Umsatzgenerierung: Es ist eine Gebühr für den Gebrauch der Plattform (Roboterhersteller*innen) bzw. eine Gebühr für das Ausleihen robotischer Systeme auf der Plattform (Kund*innen) vorgesehen. Ebenso ist eine Teilnahmegebühr für weitere Dienstleistungen wie dem Angebot von (Weiter-)Bildungsmaßnahmen und Trainings, die Möglichkeit der Durchführung einer Zertifizierung (ShareBotS certified), eine Co-Finanzierung durch Stiftungen etc. für die Unterstützung von Gründungen geplant. Die genaue Ausgestaltung der Umsatzpotenziale erfolgt sukzessive mit der Ausgestaltung der digitalen Plattform.

14.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

14.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner*innen

Die **Hochschule Ruhr West** (HRW, Koordination) zeichnet sich insbesondere durch ihre **Forschungsstärke an der Schnittstelle der Informatik zu anderen Disziplinen** und die enge Verzahnung mit **Wirtschaft und Gesellschaft im Ruhrgebiet** aus, wodurch die beteiligten Akteur*innen auf ein ausgezeichnetes inter- und transdisziplinäres Netzwerk und auf eine gut ausgebaute und moderne **Forschungsinfrastruktur** (technisch und personell) zurückgreifen. Die Forschungsschwerpunkte zu Künstlicher Intelligenz und Positive Computing (inkl. dem **Forschungsinstitut Positive Computing**), gute Verbindungen zu Schulen, **zdi-Zentren** und **Wirtschaftsförderungen** wirken sich im Vorhaben synergetisch aus. Es bestehen teils langjährige enge Verbindungen mit den anderen (assoziierten) Partner*innen. Die Partner*innen verfügen über komplementäres Know-how in Bezug auf die Ziele des Zentrums.

Dr. Straßmann und **Prof. Dr. Eimler** bringen umfangreiche Expertise aus anwendungsorientierten, sozial-, medien-, und kommunikationspsychologischen Forschungs- und Lehrprojekten in der Mensch-Technik-Interaktion unter Anwendung **quantitativer/qualitativer Methoden** sowie einschlägige Forschungsexpertise im Bereich **sozialer Robotik** (Straßmann et al., 2020), **Industrierobotik** (Arntz et al., 2021), **virtueller Agenten** (Straßmann et al., 2020) und **Nutzung von Virtual Reality für die psychologische Forschung im Bereich Lernen** (Keßler et al. 2020; Arntz et al., 2020), **Verhaltensänderung** (Straßmann et al., 2020), **Diversity-Sensibilisierung** (Helgert et al. 2021, Dümpel et al. 2019) und **Human-AI-Interaction** (Arntz et al., 2020) ein. In einer gemeinsamen Kooperation mit Prof. Dr. Laura Hoffmann (RUB) und dem Verein Leben in Vielfalt untersucht das Team im **Projekt IncluBot** wie Roboter als Therapieunterstützung für Kinder mit Förderbedarf genutzt werden können. Die Forscherinnen sind interdisziplinär, auf der Schnittstelle zwischen Psychologie, Informatik, Kultur- und Sozialwissenschaften, ausgebildet und bringen Erfahrungen mit modernen Methoden (z. B. Hackathon) und Beteiligung diverser Zielgruppen ins Vorhaben ein.

Dr. Carolin Straßmann forscht und lehrt als Post-Doc und blickt auf eine langjährige Forschungshistorie zu robotischen Assistenzsystemen (u. a. in den **BMBF geförderten Projekten noAlien und KOMPASS (ARA-RAR1)**) und eine gute Vernetzung in die (soziale) **Robotikcommunity** zurück. Sie verfügt über besondere Kenntnisse zur Wirkung und Gestaltung von Robotern und virtuellen Agenten hinsichtlich des Erscheinungsbildes und nonverbalen Verhaltens, um Technologien optimal an menschliche Bedürfnisse anzupassen. In ihrer Dissertation fokussierte sie **wiederkehrende und längerfristige Interaktionen mit robotischen Systemen** und ist daher routiniert bei der Planung und Durchführung von Langzeitstudien. **Prof. Dr. Sabrina Eimler** (Human Factors & Gender Studies) bringt ergänzend neben **Diversity-Expertise** (langjährige Gleichstellungsbeauftragte, Absolventin der Qualifizierung Diversity Professionals - KomDim an der Universität Duisburg-Essen, Diversity in Forschung/Lehre und Leitung von Workshops, u. a. für das DFG Graduierteninstitute) auch besondere Forschungserfahrung aus dem **EU Projekt SERA mit (z. B. (non) verbaler Beziehungsaufbau mit Robotern im häuslichen Umfeld Zielgruppe ältere Menschen)**. Aus dem Projekt PARCURA (BMBF) bringt sie Erfahrungen zur **wohlbefindens- und beteiligungsorientierten** Einführung von Datenbrillen in der Krankenhauspflege unter Berücksichtigung des **Positive Computing Paradigmas** ein. Aus dem Projekt **COURAGE** (VW Stiftung) bringt sie interkulturelle und interdisziplinäre Perspektiven auf **menschzentrierte KI** und deren Training ein. Sie begleitet mehrere interdisziplinäre kooperative Promotionsverfahren. **Eimler** (u. a. Startupbeauftragte am HRW Standort Bottrop) und **Straßmann** pflegen enge Verbindungen zur Startup Szene im Ruhrgebiet. Unter anderem durch Lehraufträge im **Masterstudiengang Innopreneurship** an der Universität Duisburg Essen und die Begleitung von forschungsorientierten Masterarbeiten zur Diversitätsgerechtigkeit und Teilhabe im Gründungskontext.

Prof. Dr.-Ing. Aysegül Dogangün ist Professorin für menschzentrierte Technikentwicklung und Expertin für Mensch-Technik-Interaktion, was u. a. **Usability** und **Interaktionsforschung** (Ammon et al. 2018, Herrmann and Dogangün 2016 und **Emotionserkennung** (Beckmann et al. 2019) sowie **Förderung von Wohlbefinden** durch Interaktion umfasst. Sie hat sich im Rahmen von vorangegangenen Projekten (z. B. PAnalytics Beck (Beckmann et al. 2015) mit **adaptiven, lernenden Systemen** (Dogangün et al. 2017) sowie zusammenhängenden **ELSI**-Themen (Sauer et al.

2018) befasst. Alle sind Mitglieder des interdisziplinären Forschungsinstituts Positive Computing an der HRW.

Prof. Dr. rer. pol. Simone Roth, Professorin für BWL (insbesondere Marketing) am Wirtschaftsinstitut der HRW, bringt 14-jährige Berufserfahrungen mit, die die Entwicklung neuer Marken (**Ideengenerierung** bis **Markteinführung** in verschiedenen Ländern), die Führung vorhandener Marken sowie die Entwicklung neuer **Markt-Marken-Kombinationen** im **internationalen Kontext** umfasst. Ihre aktuellen Forschungsschwerpunkte sind internationale Markenführung, Social Media und Interkulturelle Kommunikation (Roth and Nazemian 2019). Aufgrund des vorhandenen Netzwerks in die Wirtschaft ergibt sich ein **Feldzugang** in den **Handel** (Douglas) sowie weiterer relevanter Wirtschaftsbereiche wie **Versicherungen** (Assekuranz Marketing Circle).

Prof. Dr.-Ing. habil. Edwin Naroska ist Professor für Technische Informatik und Mitglied des Kompetenzzentrums FAST (**Forschung für intelligente Assistenzsysteme und -technologien**) an der Hochschule Niederrhein. Er erforscht die Entwicklung von verschiedenen Assistenzsystemen, u. a. unter Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens (Kitzig et al. 2018, Lee et al. 2018, Degen et al. 2019, 2020. In den **BMBF Projekten „OurPuppet“** und **„RUBYDemenz“** hat er eine automatisierte Roboterpuppe für die Unterstützung von dementiell erkrankten Menschen und ihren Angehörigen entwickelt (Kuhlmann et al. 2017, Naroska et al. 2018). Diese Puppe wird hier für die **Interaktion mit Kindern** eingesetzt. In den Projekten hat FAST das erforderliche Knowhow zur Realisierung komplexer robotischer Systeme erworben. Dabei ist FAST für die Entwicklung der Roboter-Puppe (Hardware; Firmware) verantwortlich, was die Anbindung von Sensorik und Aktorik sowie die lokale Vorverarbeitung der Daten auf der Puppe umfasst. Im Rahmen **des EFRE-Projekts Fahrrad** (Degen et al. 2019, 2020 wurden Lösung zur Realisierung von **KI-Funktionen** auf kleinen eingebetteten Geräten erforscht und umgesetzt, die als Grundlage für die Entwicklung von **Datenschutz-konformen KI-Cloud-Diensten** dienen.

Die Hochschule für **Polizei und öffentliche Verwaltung Nordrhein-Westfalen (HSPV)** ist die **größte Fachhochschule des öffentlichen Dienstes** und stellt die akademische Ausbildung (BA, MA) für Polizei, Landesverwaltung, Kommunalverwaltung und Rentenversicherung. Durch ihre anwendungsorientierte Forschung leistet die HSPV NRW einen wertvollen Beitrag zu wissenschaftlichen Erkenntnissen und **Innovationen im öffentlichen Sektor**. Aufgrund der engen Verzahnung mit den Behörden in NRW und Ausbildungspartnerschaften ergibt sich ein einmaliger Feldzugang. **Prof. Dr. Andreas Gourmelon** ist **Professor für Personal- und Verwaltungsmanagement** und Sprecher des **Forschungsinstituts für Personal und Management** an der HSPV. Er bringt interdisziplinäre Kenntnisse aus den Bereichen Software Ergonomie/HCI sowie Angewandte- und Sozialpsychologie und Wirtschaftswissenschaften ein, die er in seiner Lehr- und (empirischen) Forschungstätigkeit in den Bereichen **Verwaltungsmanagement und -organisation, Personalmanagement sowie E-Government / Digitalisierung** zur Wirkung bringt. Seine umfangreiche Feldkompetenz in den Kommunalverwaltungen des Ruhrgebiets durch zahlreiche Entwicklungs-, Forschungs- und Fortbildungsprojekte (vgl. Schophaus et al. 2019, Gourmelon 2015, 2019) in Zusammenarbeit mit Fach- und Führungskräften aus Kommunalverwaltungen (z. B. zu Open Data, Verwaltung 2030 – Zukünftige Kompetenzanforderungen an das Personal in Kommunalverwaltungen, uvm.) und seine praktische Berufserfahrung in der Bundesagentur für Arbeit und die dadurch vorhandenen, umfassenden Netzwerke in diese Community **runden die Zusammensetzung der Forschungspartner*innen ideal ab**.

Das **Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS** ist eines von mehr als 74 eigenständigen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung. Im Herzen des Ruhrgebiets forscht, entwickelt und pilotiert das IMS innovative, mikroelektronische Produkte und Anwendungen in den Feldern Gesundheit, Mobilität, Industrie, Raumfahrt und Sicherheit. Kernelemente sind dabei die Sensorik in den unterschiedlichsten Ausprägungen - von Drucksensoren für menschliche Körper, Vakuumsensoren in Baumaterialien, Korrosionssensoren in Betonelementen, Abstandssensoren im Weltraum, Messung von Vitalparametern mit Hilfe von Kameras und künstlicher Intelligenz bis hin zu RFID-Technologien zum Verfolgen von OP-Besteck im Krankenhaus. Seit einigen Jahren ist die The-

matik künstliche Intelligenz ein wichtiger Bestandteil. Das **inHaus-Zentrum** als Teil des Fraunhofer IMS hat die **Erfolgsgeschichte** von **Living Labs** in Deutschland und Europa erfolgreich mitgeprägt. Mit seinen über zwanzig Jahren und seinen **unterschiedlichen Applikationsfeldern** (Wohnen, Leben, Arbeiten) sowie als Innovationsplattform ist das **inHaus** ein exzellenter Partner für die Themen **Reallabor** und **Transfer** im RuhrBots Kompetenzzentrum. Erst kürzlich hat das **Fraunhofer-inHaus-Zentrum** den Zuschlag zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für die Digitalisierung im Handwerk zu den Themen Smarthome, Smartcare und Smartcity erhalten (Start Juli 2021, Dauer vorauss. 3 Jahre). Es wird erwartet, dass sich hier wichtige Synergien im Zusammenhang mit Vernetzung und Transfer ergeben.

Roboter4care ist eines der wenigen in Deutschland und Europa agierenden Unternehmen, die nutzendenzentriert aus einem Portfolio von **aktuell über 60 verschiedenen Robotertypen** den jeweils definierten Arbeitsprozess mit dem dafür geeignetsten Roboter und robotischen Technologien für die Anwender*innen aus den Bereichen Pflege und Gesundheit, **kommunale Services**, Retail und HORECA umsetzen. Roboter4care hat bisher ca. 180 Roboter-Systeme in reale Anwendungen gebracht und dabei einen wesentlichen Fokus in der Umsetzung einer pragmatischen Anwendung durch den Menschen. Roboter4care ist Mitbegründer des **Forschungs- und Praxiszentrum Robotik & KI** in der Pflege, Bochum. Weiterhin ist das Unternehmen als Konsortialpartner beteiligt an: „smarte Mülltonne“ mit der Hochschule Niederrhein und der Stadt Krefeld; „Remscheid bringt´s“ last mile delivery mit autonomen Outdoor-Robotern mit der Stadt Remscheid. In der **Kooperation** mit dem **Fraunhofer-inHaus-Zentrum** werden robotische Systeme von roboter4care dort in **Reallaboren** präsentiert und eingesetzt.

14.5.2 Funktion der einzelnen Partner*innen im

Kompetenzzentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Im **RuhrBots-Kompetenzzentrum** arbeiten die **HRW**, **HSNR** und die **HSPV** als Forschungspartner*innen gemeinsam mit **Roboter4Care** als Wirtschaftspartner und dem **Fraunhofer-inHaus-Zentrum** als **Transferpartner**. Die Partner*innen haben in verschiedenen Vorhaben und Konstellationen bereits zusammengearbeitet. Die

HRW koordiniert den Verbund. Die Partner*innen verfügen über Vorerfahrungen in inter- und transdisziplinären Teams. Der Partner **HRW** verantwortet vor allem die Human-Factors-Aspekte (Beitrag bisheriger Erfahrungen und Erkenntnisse im Bereich sozialer Robotik mit Blick auf Diversitätsgerechtigkeit, Konzeption und Analyse der VR-Laborexperimente, Feldexperimente, Human Centered AI - **Straßmann, Eimler**), die barrierefreie UX/UI Gestaltung entlang bestehender Normen der Schnittstellengestaltung (inkl. Anpassungsempfehlung für Adaption; UX/UI Handlungsempfehlungen - **Dogangün**) unter Berücksichtigung des **Positive-Computing-Paradigmas** und die wissenschaftliche Begleitung wirtschaftlicher Fragestellungen (Human-Robo-Journey, Transfer, Ökosystem - **Roth**). **Roboter4Care** verantwortet die technische Bereitstellung sowie das Interaktionsdesign der robotischen Systeme und deren Aufbereitung für den Langzeiteinsatz bei den Anwendungspartner*innen auf Basis der Experimentalgestaltungsanforderungen. Dies geschieht vor allem im engen Austausch mit **HSNR (Naroska)**, welche Softwarekomponenten zur (nicht-diskriminierenden) Erkennung der Bedarfe gestalten und diversitätsgerechte Anpassung begleiten, im Abgleich mit UX/UI-Gestaltungserwägungen für Sicherheit, Datenschutz und barrierefreie Nutzung sowie ELSI-Aspekten (**Dogangün**). Die **HSPV (Gourmelon)** bildet auf Basis langjähriger Erfahrung die Schnittstelle zwischen Anwendungs- und Forschungspartner*innen, indem sie detaillierte Einblicke in die prozeduralen Abläufe des Verwaltungssystems gibt und den Kontakt sowie das Netzwerk zu Verwaltungspersonal und dessen Ausbildung nachhaltig sicherstellt. Das **Fraunhofer-inHaus-Zentrum (Gröting)** agiert als Kommunikations- und Interaktionsplattform in Abstimmung mit den Partner*innen und Wechselwirkung mit den Anwendungspartner*innen und assoziierten Partner*innen. Mit dem **Showroom** wird hier ein zusätzlicher Möglichkeit geschaffen, um Bürger*innen im Rahmen von **Citizen Science** zu beteiligen und Veranstaltungen (Infoveranstaltungen, Hackathons, Gründerwerkstatt, etc.) mit den Akteur*innen (Startups, Unternehmen, Forschende, Studierende, etc.) durchzuführen. Hier werden die Erkenntnisse für den **Transfer** gebündelt. Zur Steuerung des Zentrums wird ein **Lenkungskreis** (Partner*innen, Anwendungspartner*innen) eingesetzt, der sich regelmäßig mit den **assoziierten Partner*innen** und dem **Beirat** austauscht. Als Projektsteuerungsmethode unter den Partner*innen ist SCRUM als agiler Ansatz vorgesehen.

14.5.3 Einbindung weiterer Akteur*innen



Abbildung 14.5: Funktionen und Schnittstellen der Partner untereinander und mit weiteren Akteuren.

Die Partner schöpfen bei Aufbau und Ausgestaltung des Zentrums aus einem vielseitigen und belastbaren Kontakt- und Kollaborationsnetzwerk aus Anwendungs- und Infrastrukturpartner*innen sowie Partnernetzwerken, die die wissenschaftliche, wirtschaftliche und öffentliche Anschlussfähigkeit und Verbreitung der Erkenntnisse sichern. Dieses Netzwerk wird zusätzlich durch Mitglieder des **Instituts Positive Computing unterstützt**, einem interdisziplinären Forschungsinstitut der HRW. Eine Erweiterung um weitere Akteur*innen ist aufgrund des partizipativen Grundansatzes des Projekts möglich und, wo sinnvoll, selbstverständlich. Eine vollständige Liste der Absichtserklärungen befindet sich im Anhang.

Als **Anwendungspartner*innen aus Stadtverwaltungen** sind die Städte **Herne, Bottrop, Duisburg** und **Essen** vertreten, teilweise auch mit mehreren Stabsstellen. Hierdurch ist der Zugang zu Stadtverwaltungen gesichert, insbesondere zu den Bibliotheken. Die Wirtschaftsförderungen der Städte **Bottrop, Dortmund** und der **Emscher-Lippe Region (WIN)** haben ihre Unterstützung für das Zentrum ebenfalls zugesagt, z. B. zur Steigerung der Sichtbarkeit des Zentrums, für den Transfer der Erkenntnisse und Weiterleitung in ihre Partnernetzwerke. Der **Prosperkolleg e.V.** sorgt als Transferverein im Bereich Digitalisierung als **Schnittstelle** für die Verbreitung der Ergebnisse des Kompetenzzentrums in die breite Bevölkerung des Ruhrgebiets. Ähnlich wie wie **HSPV**, nur als privatwirtschaftliches Beratungsunternehmen, unterstützt **Innovise** das Zentrum mit Schnittstellenwissen aus der wissenschaftlich basierten Beratung digitaler Transformationsprozesse in öffentlichen Verwaltungen.

Sicherheitsschulungen für das Verwaltungspersonal im Umgang mit Robotern können durch **KSG** gestaltet werden.

Als Expert*innen für Bürger*innenbeteiligung konnte das Projektteam die **Wissenschaft im Dialog gGmbH** gewinnen, die als Betreiber der Citizen Science Plattform „buergerschaffenwissen“ deutschlandweit bekannt und aktiv sind. Mit der „**Es geht Los**“-**Initiative** kann das Kompetenzzentrum auf einen zivilgesellschaftlichen „Think and Do Tank“ für zufallsbasierte Bürger*innenbeteiligung zurückgreifen. Das **zdi-Zentrum in Oberhausen** hat sich als zusätzliches Reallabor und Begegnungsort mit dem Fokus auf Kinder und Jugendliche angeboten. Hier bestehen ebenfalls enge Verbindungen zu Stadtverwaltungen. Für einen transdisziplinären **Beirat** konnten Persönlichkeiten aus der Forschung, der Wirtschaft (aus KMU, Großkonzernen wie Douglas) und aus sozialen Organisationen/gemeinnützigen Vereinen (z. B. Leben in Vielfalt e.V. mit Fokus auf Inklusion) gewonnen werden.

Der **Beirat** berät zur **Transferierbarkeit** und **Skalierung** und zu **ruhrgebietsübergreifenden ELSI-Gesichtspunkten** (u. a. Frage nach gesellschaftlicher Akzeptanz, technisch/juristischen/sozialen Implikationen) der Aktivitäten des Kompetenzzentrums und wird ca. zweimal im Jahr zusammenkommen oder anlassbezogen konsultiert. Eine Erweiterung des Beirats ist möglich.

Im Zusammenspiel zwischen **Forschungsteams** und **assozierten Partner*innen mit den Stadtverwaltungen, Wirtschaftsförderungen** und **Beiratsmitgliedern** wird die **Lückenschließung** zwischen Idee, Gründung und Skalierung sowie die Bereitstellung und dem Ausbau der wirtschaftlichen Infrastruktur gesichert.

14.5.4 Zusammenarbeit mit Transferprojekt

Das **RuhrBots-Konsortium** bringt sich an den vorgesehenen **Schnittstellen** ein, teilt bei Veranstaltungen Erfahrungen und Erkenntnisse, unterstützt bei der Wissensaufbereitung (z. B. im Rahmen von Öffentlichkeitsarbeit, White Papern, bei der wissenschaftlichen Verwertung etc.) und lädt Akteur*innen des Transferprojekts regelmäßig zu Konsortialtreffen ein. In die **Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt** bringt das **RuhrBots Kompetenzzentrum** die gewonnen Erkenntnisse insbesondere

aus folgenden Bereichen **ein**: 1) **Bürger*innenbeteiligung** (Akzeptanz, Wirkungsgrad, Formate, Gelingensbedingungen) 2) **Methoden, Normen und Metriken** für akzeptierte, barrierefreie und diversitätsgerechte Assistenzroboter (auch unter Berücksichtigung des Positive Computing Paradigmas) 3) **ELSI-Erkenntnisse** in der Anwendung, Testung und Langzeitnutzung von sozialen Robotern mit Assistenzfunktionen in der Stadtverwaltung (z. B. ELSI-SCRUM Best Practices als Leitlinie) 4) **Adaption der Interaktion** (technisch, inhaltlich, inkl. Umgang und Reduktion von Bias) 5) **Nutzung von Virtual Reality Laboren** (Chancen, Grenzen, Erkenntnisse). 6) **Erkenntnisse aus der Geschäftsmodellerprobung** und dem **Ökosystem-Aufbau**, sowie **Zusammenarbeit mit Startups**.

Eine **Teilhabe anderer Zentren** ist dabei z. B. 1) im Rahmen der **Bürger*innen-Beteiligung** möglich, durch 2) die (**gemeinsame**) **Erprobung des VR-Laborszenarios** oder 3) durch **Besuch** oder gemeinsame **Planung und Durchführung von Veranstaltungen** wie Hackathons (mit Bürger*innen, Studierenden, etc.) oder **Gründungswerkstätten** sowie **Informations- und Transferveranstaltungen** beim Partner **Fraunhofer-inHaus-Zentrum**. Großes Interesse besteht auch 4) an der **gemeinsamen** Organisation oder **Beiträgen zu wissenschaftlichen Tagungen**. **RuhrBots** erhofft sich vom Transferprojekt und dem **Austausch mit anderen Zentren** die Erhöhung der **Sichtbarkeit** der gewonnenen Erkenntnisse, die **Beratung** und **Diskussion** über **Best Practices** und **Reichweite** und **Transferierbarkeit** der Erkenntnisse. Wünschenswert ist eine **Zugänglichkeit** und **Offenheit** aller Akteur*innen, regelmäßige **Kommunikation** und eine gute **Planungsfähigkeit** der (gemeinsamen) Aktivitäten.

Literaturverzeichnis

- Andronicus A Akinyelu and Pieter Blignaut. Convolutional neural network-based methods for eye gaze estimation: A survey. *IEEE Access*, 8:142581–142605, 2020.
- Sabine Ammon, Diego Compagna, Aysegül Dogangün, Kalman Graffi, Elke Greifenreder, Andreas Kaminski, Athanasios Karafillidis, Matthias Kettemann, Walid Maalej, Thomas Niendorf, et al. *Multidisziplinäre Perspektiven und interdisziplinäre Konzepte*. Cuvillier Verlag, 2018.
- Alexander Arntz and Sabrina C Eimler. Experiencing AI in VR: a qualitative study on designing a human-machine collaboration scenario. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 299–307. Springer, 2020.
- N Beckmann, R Viga, A Dogangün, and A Grabmaier. Measurement and analysis of local pulse transit time for emotion recognition. *IEEE Sensors Journal*, 19(17): 7683–7692, 2019.
- Nils Beckmann, Aysegül Dogangün, Katja Herrmann, Hanno Sauer, and Katharina Kloppenborg. Das Projekt Panalytics — Selbstmonitoring für gesundes Altern. In Anette Weisbecker, Michael Burmester, and Albrecht Schmidt, editors, *Mensch und Computer 2015 – Workshopband*, pages 589–594, Berlin, 2015. De Gruyter Oldenbourg.
- Kristina Beer. Vorläufiger abschied von humanoidem roboter pepper. <https://www.heise.de/news/Softbank-Weg-von-humanoiden-Robotern-vorlaeufiger-Abschied-fuer-Roboter-Pepper-6122135.html>, 2021.
- Julie Behan and Derek T O’Keeffe. The development of an autonomous service robot. implementation:“lucas”—the library assistant robot. *Intelligent Service Robotics*, 1 (1):73–89, 2008.
- Casey Bennett and Selma Šabanovic. Perceptions of affective expression in a minimalist robotic face. In *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 81–82. IEEE, 2013.

- Stefan Bente, Baptiste Egelhaaf, and Isabel Zorn. ELSI-Scrum als integrierte ELSI-by-Design-Entwicklungsmethode für Technologieprojekte. *Mensch und Computer 2019 – Workshopband*, 2019.
- Kirsten Bergmann, Friederike Eyssel, and Stefan Kopp. A second chance to make a first impression? how appearance and nonverbal behavior affect perceived warmth and competence of virtual agents over time. In *International conference on intelligent virtual agents*, pages 126–138. Springer, 2012.
- Raphael Bost, Raluca Ada Popa, Stephen Tu, and Shafi Goldwasser. Machine learning classification over encrypted data. *Cryptology ePrint Archive*, 2014.
- Joy Buolamwini and Timnit Gebru. Gender shades: Intersectional accuracy disparities in commercial gender classification. In *Conference on fairness, accountability and transparency*, pages 77–91. PMLR, 2018.
- Dario Cazzato, Marco Leo, Cosimo Distanto, and Holger Voos. When I look into your eyes: A survey on computer vision contributions for human gaze estimation and tracking. *Sensors*, 20(13):3739, 2020.
- Yiran Chen, Yuan Xie, Linghao Song, Fan Chen, and Tianqi Tang. A survey of accelerator architectures for deep neural networks. *Engineering*, 6(3):264–274, 2020.
- Yubo Chen and Liantao Wang. Commentary: marketing and the sharing economy: digital economy and emerging market challenges. *Journal of Marketing*, 83(5): 28–31, 2019.
- Yihua Cheng, Xucong Zhang, Feng Lu, and Yoichi Sato. Gaze estimation by exploring two-eye asymmetry. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29:5259–5272, 2020.
- May I Conley, Danielle V Dellarco, Estee Rubien-Thomas, Alexandra O Cohen, Alessandra Cervera, Nim Tottenham, and BJ Casey. The racially diverse affective expression (radiate) face stimulus set. *Psychiatry research*, 270:1059–1067, 2018.
- David Court, Dave Elzinga, Susan Mulder, and Ole Jørgen Vetvik. The consumer decision journey. *McKinsey Quarterly*, 3(3):96–107, 2009.

- Henriette Cramer, Jorrit Goddijn, Bob Wielinga, and Vanessa Evers. Effects of (in) accurate empathy and situational valence on attitudes towards robots. In *2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 141–142. IEEE, 2010.
- Joe Crumpton and Cindy L Bethel. A survey of using vocal prosody to convey emotion in robot speech. *International Journal of Social Robotics*, 8(2):271–285, 2016.
- Jeffrey Dastin. Amazon scraps secret ai recruiting tool that showed bias against women. <https://www.reuters.com/article/us-amazon-com-jobs-automation-insight/amazon-scraps-secret-ai-recruiting-tool-that-showed-bias-against-women-idUSKCN1MK08G/ttps://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2088.html>, 2018. [Letzter Zugriff: 03.10.2021].
- C Degen, C Domnik, A Kürten, M Meuleners, M Notz, R Pohle-Fröhlich, and E Naroska. Driver assistance system for pedelecs. In *2019 20th International Radar Symposium (IRS)*, pages 1–8. IEEE, 2019.
- C Degen, C Domnik, S Hüsches, A Kürten, M Meuleners, E Naroska, M Notz, R Pohle-Fröhlich, and M Weberskirch. Ein Assistenzsystem zur Unterstützung älterer E-Bike-FahrerInnen. In *AAL-Kongress 2020*. VDE e. V., 2020.
- Aysegül Dogangün, Michael Schwarz, Katharina Kloppenborg, and Robert Le. An approach to improve physical activity by generating individual implementation intentions. In *Adjunct Publication of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, pages 370–375, 2017.
- Shichuan Du, Yong Tao, and Aleix M Martinez. Compound facial expressions of emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(15):E1454–E1462, 2014.
- V Dümpel, S C Eimler, G Brandenburg, C Straßmann, A Arntz, D Keßler, and S Szielinski. Divirtuality – designing and testing a virtual gallery for stereotype reduction and diversity awareness. *Technology, Mind & Society APA Conference*, 2019.

- Giana M Eckhardt, Mark B Houston, Baojun Jiang, Cait Lambertson, Aric Rindfleisch, and Georgios Zervas. Marketing in the sharing economy. *Journal of Marketing*, 83(5):5–27, 2019.
- MMSN Edirisinghe, MAVJ Muthugala, and AGBP Jayasekara. Application of robot autobiographical memory in long-term human-robot social interactions. In *2018 2nd International Conference On Electrical Engineering (EECon)*, pages 138–143. IEEE, 2018.
- Sabrina C Eimler, Nicole C Krämer, and Astrid M von der Puetten. Empirical results on determinants of acceptance and emotion attribution in confrontation with a robot rabbit. *Applied Artificial Intelligence*, 25(6):503–529, 2011.
- Friederike Eyssel, Frank Hegel, Gernot Horstmann, and Claudia Wagner. Anthropomorphic inferences from emotional nonverbal cues: A case study. In *19th international symposium in robot and human interactive communication*, pages 646–651. IEEE, 2010.
- Tobias Fischer, Hyung Jin Chang, and Yiannis Demiris. Rt-gene: Real-time eye gaze estimation in natural environments. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pages 334–352, 2018.
- Luciano Floridi and Massimo Chiriatti. Gpt-3: Its nature, scope, limits, and consequences. *Minds and Machines*, 30(4):681–694, 2020.
- Andrew Gambino, Jesse Fox, and Rabindra A Ratan. Building a stronger casa: Extending the computers are social actors paradigm. *Human-Machine Communication*, 1: 71–85, 2020.
- Zhengjie Gao, Ao Feng, Xinyu Song, and Xi Wu. Target-dependent sentiment classification with bert. *Ieee Access*, 7:154290–154299, 2019.
- Lee Gardenswartz and Anita Rowe. Managing diversity: a complete desk reference and planning guide. 3. aufl., alexandria. *Beijing/Mumbai*, 2010.
- A Gourmelon. *Kompetenzen für die Zukunft – Personalentwicklung im Fokus (PöS - Personalmanagement im öffentlichen Sektor)*. Rehm, 2015.

- A Gourmelon. *Quo vadis Personalmanagement? Wegweiser Personalpolitik (PöS - Personalmanagement im öffentlichen Sektor)*. Rehm, 2019.
- Daniel Groos, Heri Ramampiaro, and Espen AF Ihlen. Efficientpose: Scalable single-person pose estimation. *Applied intelligence*, 51(4):2518–2533, 2021.
- Joanna Hall, Terry Tritton, Angela Rowe, Anthony Pipe, Chris Melhuish, and Ute Leonards. Perception of own and robot engagement in human–robot interactions and their dependence on robotics knowledge. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(3):392–399, 2014.
- Hu Han and Anil K Jain. Age, gender and race estimation from unconstrained face images. *Dept. Comput. Sci. Eng., Michigan State Univ., East Lansing, MI, USA, MSU Tech. Rep.(MSU-CSE-14-5)*, 87:27, 2014.
- Søren Tranberg Hansen and Karl Damkjær Hansen. Public relation robots-an overview. In *Proceedings of the 8th International Conference on Human-Agent Interaction*, pages 284–286, 2020.
- Søren Tranberg Hansen and Karl Damkjær Hansen. What’s a robot doing in the citizen service centre? In *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 677–679, 2021.
- Richard Heeks and Carolyne Stanforth. Understanding e-government project trajectories from an actor-network perspective. *European Journal of Information Systems*, 16(2):165–177, 2007.
- Andreas Hein, Maximilian Schreieck, Tobias Riasanow, David Soto Setzke, Manuel Wiesche, Markus Böhm, and Helmut Krcmar. Digital platform ecosystems. *Electronic Markets*, 30(1):87–98, 2020.
- André Helgert, Sabrina C Eimler, and Alexander Arntz. Stop catcalling-a virtual environment educating against street harassment. In *2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 419–421. IEEE, 2021.
- K Herrmann and A Dogangün. Wissen die menschen, was sie wirklich wollen? *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, page 193, 2016.

- Aike C Horstmann, Nikolai Bock, Eva Linhuber, Jessica M Szczuka, Carolin Straßmann, and Nicole C Krämer. Do a robot's social skills and its objection discourage interactants from switching the robot off? *PloS one*, 13(7):e0201581, 2018.
- M Shamim Hossain and Ghulam Muhammad. Emotion recognition using deep learning approach from audio–visual emotional big data. *Information Fusion*, 49:69–78, 2019.
- Andrew G Howard, Menglong Zhu, Bo Chen, Dmitry Kalenichenko, Weijun Wang, Tobias Weyand, Marco Andreetto, and Hartwig Adam. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint arXiv:1704.04861*, 2017.
- Ping Hu, Dongqi Cai, Shandong Wang, Anbang Yao, and Yurong Chen. Learning supervised scoring ensemble for emotion recognition in the wild. In *Proceedings of the 19th ACM international conference on multimodal interaction*, pages 553–560, 2017.
- Thomas Hurni and Thomas Huber. *The interplay of power and trust in platform ecosystems of the enterprise application software industry*. Citeseer, 2014.
- Michael G Jacobides. In the ecosystem economy, what's your strategy? *Harvard Business Review*, 97(5):128–137, 2019.
- Xiaoqian Jiang, Miran Kim, Kristin Lauter, and Yongsoo Song. Secure outsourced matrix computation and application to neural networks. In *Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC conference on computer and communications security*, pages 1209–1222, 2018.
- Michiel Joesse and Vanessa Evers. A guide robot at the airport: First impressions. In *Proceedings of the companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 149–150, 2017.
- Kirsikka Kaipainen, Aino Ahtinen, and Alekski Hiltunen. Nice surprise, more present than a machine: Experiences evoked by a social robot for guidance and edutainment at a city service point. In *Proceedings of the 22nd International Academic Mindtrek Conference*, pages 163–171, 2018.

Masoud Karami and Stuart Read. Co-creative entrepreneurship. *Journal of Business Venturing*, 36(4):106125, 2021.

Dustin Keßler, Alexander Arntz, Joachim Friedhoff, and Sabrina C Eimler. Mill instructor: Teaching industrial cnc procedures using virtual reality. In *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pages 231–234. IEEE, 2020.

Andreas Kitzig, Julia Demmer, Tobias Bolten, Edwin Naroska, Gudrun Stockmanns, Reinhard Viga, and Anton Grabmaier. An hmm-based averaging approach for creating mean motion data from a full-body motion capture system to support the development of a biomechanical model. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 4(1):389–393, 2018.

Andrea Kuhlmann, Verena Reuter, Renate Schramek, Todor Dimitrov, Matthias Goernig, Eva-Maria Matip, Olaf Matthies, and Edwin Naroska. Ourpuppet-caring support with an interactive puppet for informal caregivers: Opportunities and challenges in the social and technical developmental process. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 51(1):3–8, 2017.

Chih-Wei Lee, Peter Chondro, Shanq-Jang Ruan, Oliver Christen, and Edwin Naroska. Improving mobility for the visually impaired: A wearable indoor positioning system based on visual markers. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(3):12–20, 2018.

Min Kyung Lee, Jodi Forlizzi, Sara Kiesler, Paul Rybski, John Antanitis, and Sarun Savetsila. Personalization in hri: A longitudinal field experiment. In *2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 319–326. IEEE, 2012.

Dingjun Li, Pei-Luen Rau, and Ye Li. A cross-cultural study: Effect of robot appearance and task. *International Journal of Social Robotics*, 2(2):175–186, 2010.

Eva Lieskovská, Maroš Jakubec, Roman Jarina, and Michal Chmulík. A review on speech emotion recognition using deep learning and attention mechanism. *Electronics*, 10(10):1163, 2021.

- Velvetina Lim, Maki Rooksby, and Emily S Cross. Social robots on a global stage: establishing a role for culture during human–robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 13(6):1307–1333, 2021.
- Ravi Mantena and Rajib L Saha. Co-opetition between differentiated platforms in two-sided markets. *Journal of Management Information Systems*, 29(2):109–140, 2012.
- Shiomi Masahiro, D Sakamoto, T Kanda, CT Ishi, H Ishiguro, and N Hagita. A semi-autonomous communication robot-a field trial at a train station-a f. In *HRI'08 Proceedings of the 3th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*, pages 303–310, 2008.
- Michele Merler, Nalini Ratha, Rogerio S Feris, and John R Smith. Diversity in faces. *arXiv preprint arXiv:1901.10436*, 2019.
- Payman Mohassel and Yupeng Zhang. Secureml: A system for scalable privacy-preserving machine learning. In *2017 IEEE symposium on security and privacy (SP)*, pages 19–38. IEEE, 2017.
- Omar Mubin, Isha Kharub, and Aila Khan. Pepper in the library—students' first impressions. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–9, 2020.
- Edwin Naroska, Sebastian Schmitz, Tobias Bolten, Chih-Wei Lee, Ping-Chen Tsai, and Shanq-Jang Ruan. Project ourpuppet: A system to support people with dementia and their caregiving relatives at home. In *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 1–4. IEEE, 2018.
- Clifford Nass and Youngme Moon. Machines and mindlessness: Social responses to computers. *Journal of Social Issues*, 56(1):81–103, 2000.
- Lene Nielsen. *Personas – user focused design*, volume 1373. Springer, 2013.
- Sara Nielsen, Rodrigo Ordoñez, Karl Damkjær Hansen, Mikael B Skov, and Elizabeth Jochum. Rodeca: A canvas for designing robots. In *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 266–270, 2021.

- Melanie Nind. *What is inclusive research?* A&C Black, 2014.
- Tatsuya Nomura, Takayuki Kanda, Hiroyoshi Kidokoro, Yoshitaka Suehiro, and Sachie Yamada. Why do children abuse robots? *Interaction Studies*, 17(3):347–369, 2016.
- Ziad Obermeyer, Brian Powers, Christiane Vogeli, and Sendhil Mullainathan. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464):447–453, 2019.
- Patricia O’Neill-Brown. Setting the stage for the culturally adaptive agent. In *Proceedings of the 1997 AAAI fall symposium on socially intelligent agents*, pages 93–97. AAAI Press Menlo Park, CA, 1997.
- Heejin Park, Pyung Kim, Heeyoul Kim, Ki-Woong Park, and Younho Lee. Efficient machine learning over encrypted data with non-interactive communication. *Computer Standards & Interfaces*, 58:87–108, 2018.
- Seonwook Park, Shalini De Mello, Pavlo Molchanov, Umar Iqbal, Otmar Hilliges, and Jan Kautz. Few-shot adaptive gaze estimation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pages 9368–9377, 2019.
- Jan M Pawlowski, Sabrina C Eimler, Marc Jansen, Julia Stoffregen, Stefan Geisler, Oliver Koch, Gordon Müller, and Uwe Handmann. Positive computing. *Business & Information Systems Engineering*, 57(6):405–408, 2015.
- Karola Pitsch, Hideaki Kuzuoka, Yuya Suzuki, Luise Sussenbach, Paul Luff, and Christian Heath. “the first five seconds”: Contingent stepwise entry into an interaction as a means to secure sustained engagement in hri. In *RO-MAN 2009-The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 985–991. IEEE, 2009.
- Denis Rangulov and Muhammad Fahim. Emotion recognition on large video dataset based on convolutional feature extractor and recurrent neural network. In *2020 IEEE 4th International Conference on Image Processing, Applications and Systems (IPAS)*, pages 14–20. IEEE, 2020.
- David A Robb, Muneeb I Ahmad, Carlo Tiseo, Simona Aracri, Alistair C McConnell, Vincent Page, Christian Dondrup, Francisco J Chiyah Garcia, Hai-Nguyen Nguyen,

- Èric Pairet, et al. Robots in the danger zone: exploring public perception through engagement. In *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 93–102, 2020.
- Astrid M Rosenthal-von der Pütten, Carolin Straßmann, Ramin Yaghoubzadeh, Stefan Kopp, and Nicole C Krämer. Dominant and submissive nonverbal behavior of virtual agents and its effects on evaluation and negotiation outcome in different age groups. *Computers in Human Behavior*, 90:397–409, 2019.
- Astrid Marieke Rosenthal-von der Pütten, Carolin Straßmann, and Nicole C Krämer. Linguistic alignment with artificial entities in the context of second language acquisition. In *Proceedings Of The 38th Annual Conference Of The Cognitive Science Society*. Cognitive Science Society, 2016.
- Simone Roth and Negar Nazemian. Brand citizenship wertebasiert, generationsgemäß und pragmatisch aufbauen. In *Corporate Brand Management*, pages 357–379. Springer, 2019.
- Maha Salem, Katharina Rohlfing, Stefan Kopp, and Frank Joublin. A friendly gesture: Investigating the effect of multimodal robot behavior in human-robot interaction. In *2011 Ro-Man*, pages 247–252. IEEE, 2011.
- Maha Salem, Micheline Ziadee, and Majd Sakr. Marhaba, how may i help you? effects of politeness and culture on robot acceptance and anthropomorphization. In *2014 9th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 74–81. IEEE, 2014.
- Najmeh Samadiani, Guangyan Huang, Borui Cai, Wei Luo, Chi-Hung Chi, Yong Xiang, and Jing He. A review on automatic facial expression recognition systems assisted by multimodal sensor data. *Sensors*, 19(8):1863, 2019.
- S Satake, T Kanda, DF Glas, M Imai, H Ishiguro, and N Hagita. How t o approach humans?-strategies for social robots to initiate interaction, 4th acm. In *IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI2009)*, pages 109–116, 2009.

- Hanno Sauer, Nils-Frederic Wagner, Katrin Paldan, and Aysegül Dogangün. Ein ethischer leitfaden zum gesundheitsmonitoring. *DuEPublico: Duisburg-Essen Publications Online, University of Duisburg-Essen*, 2018.
- M Schophaus, A Gourmelon, and T Winschuh. Verwaltung 2030 — Zukünftige Kompetenzanforderungen an das Personal in Kommunalverwaltungen. *Der Öffentliche Dienst*, pages 208–216, 2019.
- Maximilian Schreieck, Manuel Wiesche, and Helmut Krcmar. Design and governance of platform ecosystems—key concepts and issues for future research. *Twenty-Fourth European Conference on Information Systems (ECIS), İstanbul, Turkey*, 2016.
- Douglas Schuler and Aki Namioka. *Participatory design: Principles and practices*. CRC Press, 1993.
- Nicolas Spatola, Nolwenn Anier, Sandrine Redersdorff, Ludovic Ferrand, Clément Belletier, Alice Normand, and Pascal Huguet. National stereotypes and robots’ perception: the “made in” effect. *Frontiers in Robotics and AI*, 6:21, 2019.
- Carolin Straßmann and Nicole C Krämer. A categorization of virtual agent appearances and a qualitative study on age-related user preferences. In *International Conference on intelligent virtual agents*, pages 413–422. Springer, 2017.
- Carolin Straßmann and Nicole C Krämer. A two-study approach to explore the effect of user characteristics on users’ perception and evaluation of a virtual assistant’s appearance. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(4):66, 2018.
- Carolin Straßmann, Astrid Rosenthal von der Pütten, Ramin Yaghoubzadeh, Raffael Kaminski, and Nicole Krämer. The effect of an intelligent virtual agent’s nonverbal behavior with regard to dominance and cooperativity. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 15–28. Springer, 2016.
- Carolin Straßmann, Sabrina C Eimler, Alexander Arntz, Dustin Keßler, Sarah Zielinski, Gabriel Brandenburg, Vanessa Dümpel, and Uwe Handmann. Relax yourself—using virtual reality to enhance employees’ mental health and work performance. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–6, 2019.

- C Straßmann. *All Eyes On The Agent's Appearance?!: Investigation of Target-group-related Social Effects of a Virtual Agent's Appearance in Longitudinal Human-Agent Interactions*. 2018.
- C Straßmann, S C Eimler, L Kololli, A Arntz, A Keßler, K van de Sand, and A Rietz. *The Influence of Application Scenarios on the Perception of Robots*. 2022.
- Kalaivani Sundararajan and Damon L Woodard. Deep learning for biometrics: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(3):1–34, 2018.
- Sofia Thunberg and Tom Ziemke. Are people ready for social robots in public spaces? In *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 482–484, 2020.
- Leimin Tian, Pamela Carreno-Medrano, Shanti Sumartojo, Michael Mintrom, Enrique Coronado, Gentiane Venture, and Dana Kulić. User expectations of robots in public spaces: A co-design methodology. In *International Conference on Social Robotics*, pages 259–270. Springer, 2020.
- John Vines, Rachel Clarke, Ann Light, and Peter Wright. The beginnings, middles and endings of participatory research in hci. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74(C):77–80, 2015.
- Lin Wang, Pei-Luen Patrick Rau, Vanessa Evers, Benjamin Krisper Robinson, and Pamela Hinds. When in rome: the role of culture & context in adherence to robot recommendations. In *2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 359–366. IEEE, 2010.
- Sarah Myers West, Meredith Whittaker, and Kate Crawford. Discriminating systems. *AI Now*, 2019.
- Shangyu Xie, Bingyu Liu, and Yuan Hong. Privacy-preserving cloud-based dnn inference. In *ICASSP 2021-2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pages 2675–2679. IEEE, 2021.
- Mingke Xu, Fan Zhang, Xiaodong Cui, and Wei Zhang. Speech emotion recognition with multiscale area attention and data augmentation. In *ICASSP 2021–2021 IEEE*

International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pages 6319–6323. IEEE, 2021.

Hua Jonathan Ye and Atreyi Kankanhalli. User service innovation on mobile phone platforms: Investigating impacts of lead users, toolkit support, and design autonomy. *MIS quarterly*, 42(1):165–188, 2018.

Amir Zadeh, Paul Pu Liang, Soujanya Poria, Prateek Vij, Erik Cambria, and Louis-Philippe Morency. Multi-attention recurrent network for human communication comprehension. In *Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2018.

Massimiliano Zecca, Yu Mizoguchi, Keita Endo, Fumiya Iida, Yousuke Kawabata, Nobutsuna Endo, Kazuko Itoh, and Atsuo Takanishi. Whole body emotion expressions for kobian humanoid robot—preliminary experiments with different emotional patterns—. In *RO-MAN 2009-The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 381–386. IEEE, 2009.

Georgios Zervas, Davide Proserpio, and John W Byers. The rise of the sharing economy: Estimating the impact of airbnb on the hotel industry. *Journal of marketing research*, 54(5):687–705, 2017.

Feng Zhang, Xiatian Zhu, Hanbin Dai, Mao Ye, and Ce Zhu. Distribution-aware coordinate representation for human pose estimation. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pages 7093–7102, 2020.

Xiaofan Zhang, Junsong Wang, Chao Zhu, Yonghua Lin, Jinjun Xiong, Wen-mei Hwu, and Deming Chen. Dnnbuilder: An automated tool for building high-performance dnn hardware accelerators for fpgas. In *2018 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD)*, pages 1–8. IEEE, 2018.

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

Förderkennzeichen 16SV8929

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



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

^{4 5} Fraunhofer IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

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

⁹ Stadt Ulm
Marktplatz 1
89073 Ulm

15.1 Ziele des Kompetenzzentrums

15.1.1 Motivation und Anwendungsdomäne des Kompetenzzentrums

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

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

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

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

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

Forschungsziele	
<i>Methodenentwicklung:</i>	
1	Ableitung von Evaluationskriterien, -metriken & Benchmarks
2	Entwicklung von Forschungsmethoden & Testszenarien
<i>Individualebene: Passant*innenreaktionen und Optimierung der MRI</i>	
3	Analyse Ist-Zustand & Mindestanforderungen an die MRI
4	Iterative Weiterentwicklung und Evaluation
<i>Systemebene: Einbettung der Roboter in den öffentlichen Raum</i>	
5	Einbindung des Roboters in das bestehende Sozialsystem
6	Adressierung von ELSI Herausforderungen mit Ethics-by-Design
<i>Beforschung von Fokusthemen</i>	
7	Rechtliche Fragen des Robotereinsatzes im öffentlichen Raum
8	Kritischen Situationen mit Passant*innen & Lösungsansätze
9	Erforschung und Adressierung von RoboterEinstellungen, Ängsten und Vertrauen
10	Untersuchung innovativer Zusatzleistungen

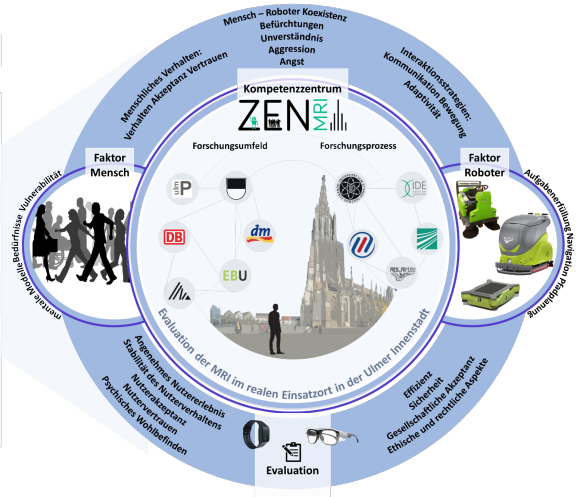


Abbildung 15.1: Forschungsziele und die Zusammenarbeit im Kompetenzzentrum ZEN-MRI.

Vision: *Um die konkrete Umsetzung dieser Anforderungen zu unterstützen, zielt das anvisierte Kompetenzzentrum auf eine integrierte, interdisziplinäre und theoriegeleitete Evaluation von Gestaltungsmöglichkeiten, Strategien und Auslegungen der MRI (Roboterverhalten und -interaktionsstrategie) im öffentlichen Raum ab (Abb. 15.1). Darüber hinaus sollen die ethischen, rechtlichen und sozialen Rahmenbedingungen des Miteinanders von Menschen und Robotern im öffentlichen Raum eruiert und Lösungsvorschläge für etwaige Probleme entwickelt werden. In einer interdisziplinären Arbeitsgruppe, in der Expert*innen aus den Bereichen Informatik, Robotik, Psychologie, Ethik und Rechtswissenschaft zusammenarbeiten, werden **einsatzfähige, technisch ausgereifte Roboter, die mit verschiedenen Aufgaben** betraut sind, in ihrer Wirkung auf ihr Umfeld untersucht. In den anvisierten Use Cases führen die untersuchten Roboter ihre Aufgaben im öffentlichen Raum in ihrem realen, praktischen Nutzungsszenario aus und stimmen diese mit ihrem Umfeld ab. Die Roboter sind intelligent und anpassungsfähig, gehen auf die Menschen in ihrem Umfeld und deren Bedürfnisse ein und passen ihre Interaktion sowie ihr Verhalten entsprechend an.*

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

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

15.1.2 Thema des Verbundprojektes und Problembeschreibung

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

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

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

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

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

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

1. Methodenentwicklung

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

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

2. Individualebene: Passant*innenreaktionen und Optimierung der MRI

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

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

3. Systemebene: Einbettung der Roboter im öffentlichen Raum

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

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

4. **Beforschung von Fokusthemen**

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

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

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

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

15.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums ZEN-MRI

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

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

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




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

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

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



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

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

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

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

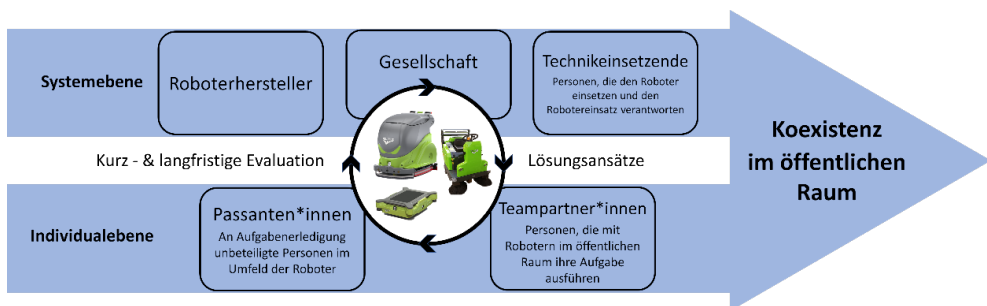


Abbildung 15.3: Integrierte Stakeholdergruppen auf Individual- als auch Systemebene.

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

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

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

15.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

15.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

Stand der Technik des Robotereinsatzes im öffentlichen Raum

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

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

Stand der Forschung zur MRI im öffentlichen Bereich

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

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

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

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

und Verhaltensdaten kombiniert.

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

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

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

Stand der Forschung zur ethischen Einbindung von Robotern im öffentlichen Raum

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

15.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

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

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

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



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

Einsatzfähige Roboter mit entwickelter Funktionalität und hoher Technologiereife

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

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

Regionales Projekt mit einsatzrealistischem, dynamischen Testflächen-Netzwerk

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

Nutzereinbindung und Kombination wissenschaftlich fundierter Methoden

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

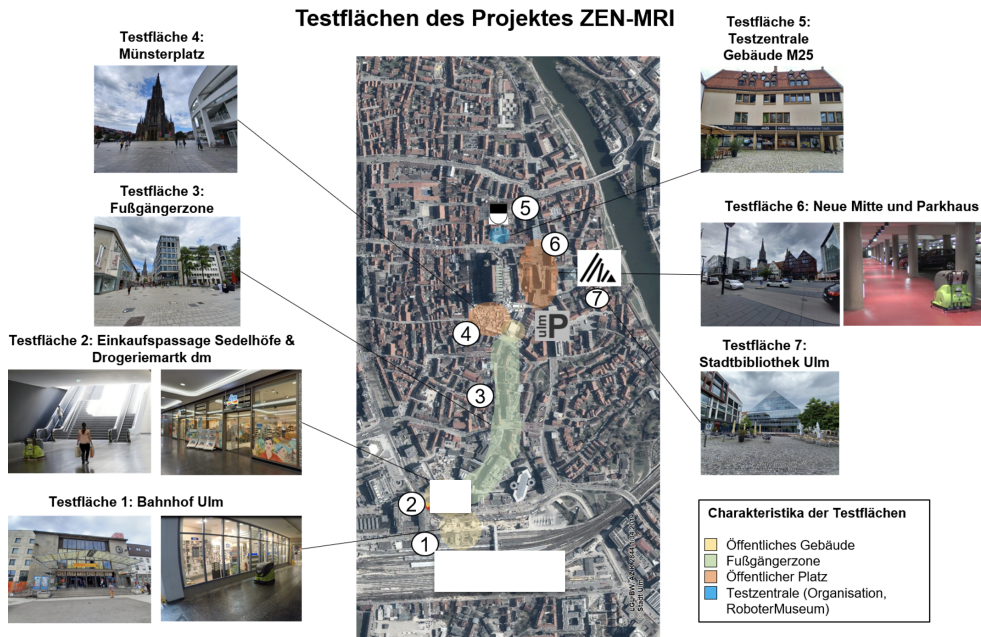


Abbildung 15.6: Testflächen des Projektes ZEN-MRI in der Ulmer Innenstadt.

Iterativer Ansatz zur Optimierung der MRI unter Mitwirkung des Roboterherstellers

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

Adressierung ethischer und rechtlicher Fragestellungen im gesamten Projektverlauf

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

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

15.2.3 Risikodarstellung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

15.3 Wissenschaftliche & technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

15.3.1 Organisatorische und Technische Umsetzung

Zusammenarbeit mit der Stadt Ulm

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

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

Das Testfeld des Kompetenzzentrums ZEN-MRI in der Stadt Ulm

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

genutzt werden. Im Folgenden werden die Testflächen näher erläutert.

Testfläche 1 ist der **Bahnhof Ulm**, ein öffentlicher Ort mit viel Publikumsverkehr (ca. 40.000 Reisende pro Tag). Hier können Studien im überdachten Raum stattfinden.

Testfläche 2 befindet sich in der **unterirdischen Einkaufspassage** der Sedelhöfe, welche den Bahnhof Ulm mit der Innenstadt verbindet. Hier befindet sich auch eine DM-Filiale, die als Ausgangspunkt für den Logistikroboter genutzt werden kann. Die Roboter führen hier ihre Aufgaben in einem relativ engen Durchgang aus, sodass es zu vergleichsweise häufigen Wegkonflikten kommt, die hinsichtlich ihrer Wahrnehmung, Verursachung und Auflösung evaluiert werden. Hier besteht Zugriff auf einen abschließbaren Raum, der für die Lagerung von Technik und für ad-hoc Interviews genutzt werden kann. **Testfläche 3** befindet sich in der engumbauten, schlauchartigen Ulmer **Fußgängerzone** zwischen Bahnhof und Münsterplatz. Hier können durch den linearen Charakter typischer Laufwege mehrere Teststationen miteinander verbunden und von den Proband*innen nacheinander abgelaufen werden. Dies erlaubt die kombinierte Betrachtung unterschiedlicher Roboter, Interaktionsformen und den Einsatz unterschiedlicher Erhebungsmethoden. **Testfläche 4** ist der große, offene **Münsterplatz** am Ende der Fußgängerzone. Dieser erlaubt einen sehr hohen Freiheitsgrad in der Studiengestaltung. So können beispielsweise auch komplexe und großflächige Testszenarien - auch unter Beteiligung mehrerer Roboter - realisiert werden. Auf dem Münsterplatz können zudem flexibel Aufbauten und Abtrennungen umgesetzt werden.

Testfläche 5 besteht aus mehreren flexibel und dynamisch nutzbaren Räumen im **Gebäude M25**. Hier werden die meisten qualitativen Studien mit mehreren Personen stattfinden (z. B. Fokusgruppen, ExperienceLab, Roboter museum, Design-Workshops). **Testfläche 6** besteht aus der sogenannten **„Neue Mitte“**, die links vom Münsterplatz einen kleinen Platz bildet, der für Informationsstände oder Befragungen genutzt werden kann. Hier gelangt man in das beschriebene Parkhaus (siehe 2.2). **Testfläche 7** besteht aus der **Stadtbibliothek Ulm**, in deren Eingangsbereich der humanoide Roboter "Pepper" eingesetzt wird. Hier sollen insbesondere Übergabesituationen mit dem Lieferroboter in Testszenarien abgebildet werden.

15.3.2 Methoden und Ansätze

Multiple Perspektiven: verschiedene Stakeholder, Disziplinen und Entwicklungsebenen

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

Studienplanung und Menschenzentrierter Designprozess (s. auch Arbeitsplan)

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

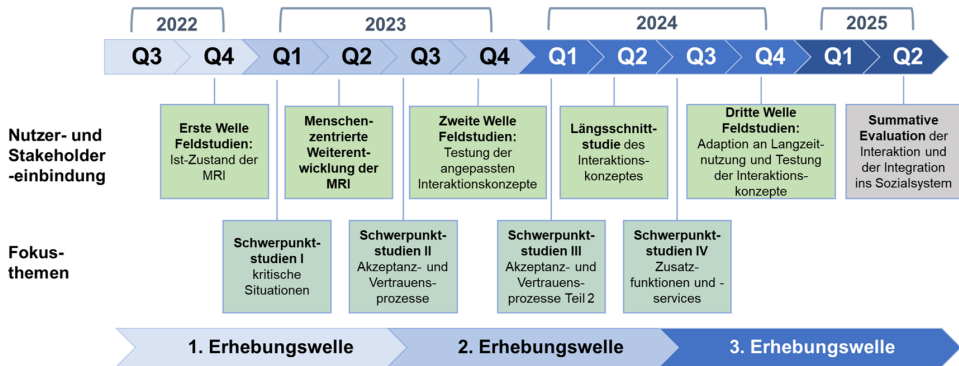


Abbildung 15.7: Zeitlicher Ablauf der Evaluationsstudien.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ethics by Design

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

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

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

15.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

15.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

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

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

deutscher Unternehmen zu erhalten und auszubauen.

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

15.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

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

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

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

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

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

15.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

15.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

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

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

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

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

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

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

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

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

15.5.2 Funktion der Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette

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

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

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

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

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

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

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

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

15.5.3 Einbindung weiterer Akteure (Assoziierte Partner)

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

15.5.4 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt RimA

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

Literaturverzeichnis

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

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

- Peter A Hancock, Deborah R Billings, Kristin E Schaefer, Jessie YC Chen, Ewart J De Visser, and Raja Parasuraman. A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human factors*, 53(5):517–527, 2011.
- M Hartwig, B Martin, and O Schumacher. *Rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von autonomen Robotern in Assistenzfunktionen: Studie im Rahmen des BMBF-Begleitprojekts ARAIG Teilvorhaben „Ethische und rechtliche Aspekte der Service-Robotik“*. IKEM, 2020.
- Kotaro Hayashi, Daisuke Sakamoto, Takayuki Kanda, Masahiro Shiomi, Satoshi Koizumi, Hiroshi Ishiguro, Tsukasa Ogasawara, and Norihiro Hagita. Humanoid robots as a passive-social medium—a field experiment at a train station. In *2007 2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 137–144. IEEE, 2007.
- International Federation of Robotics. Executive summary world robotics 2020 service robots. https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Service_Robots.pdf, 2020. [Letzter Zugriff: 17.08.2021].
- Björn Jensen, Nicola Tomatis, Laetitia Mayor, Andrzej Drygajlo, and Roland Siegart. Robots meet humans—interaction in public spaces. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(6):1530–1546, 2005.
- Michiel Pieter Joosse. *Investigating positioning and gaze behaviors of social robots: people’s preferences, perceptions, and behaviors*. University of Twente, 2017.
- Malte Jung and Pamela Hinds. Robots in the wild: A time for more robust theories of human-robot interaction, 2018.
- T Keber and L Keppeler. Kommentierung Art. 25 DSGVO. In *DSGVO/BDSG*. C.F. Müller, 2020.
- T Keber and J Klink-Straub. Aktuelle Gesetzeslage zum automatisierten Fahren – eine Rechtsvergleichung. *Neue Zeitschrift für Verkehrsrecht (NZV)*, 33, 2020.
- Stefan Klingbeil. Schuldnerhaftung für Roboterversagen: Zum Problem der Substitution von Erfüllungsgehilfen durch Maschinen. *JuristenZeitung*, 74(14):718–725, 2019.

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

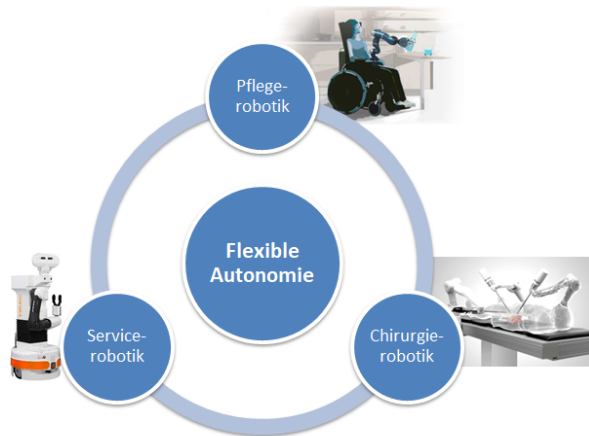
- Linda Miller, Johannes Kraus, Franziska Babel, Matthias Messner, and Martin Baumann. Come closer: Experimental investigation of robots' appearance on proximity, affect and trust in a domestic environment. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, pages 395–399. SAGE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

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

KompetenzZENTrum für flexible AUtonomie in der Tele-Robotik (ZENT-AUR)

Förderkennzeichen 16SV8582

Bernhard Weber¹, Freek Stulp¹, Jörn Vogel¹, Julian Klodmann¹, Linda Onnasch²,
Markus Schneider³, Benjamin Stähle³, Jürgen Graef³, Marc Hassenzahl⁴,
Judith Dörrenbächer⁴, Sabine Maasen⁵, Henning Mayer⁶ und Benjamin Lipp⁶



¹Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e. V.
Linder Höhe
51147 Köln

²Humboldt-Universität
Berlin
Unter den Linden 6
10117 Berlin

³Hochschule
Ravensburg-Weingarten
Doggenriedstraße
88250 Weingarten

⁴Universität
Siegen
Adolf-Reichwein-Straße 2
57076 Siegen

⁵Universität
Hamburg
Mittelweg 177
20148 Hamburg

⁶Technische Universität
München
Arcisstraße 21
80333 München

16.1 Ziele des Kompetenzzentrums

Zielsetzung von **ZENT-AUR** ist es, eine sichere und intuitive **Interaktionsstrategie** für die **Mensch-Autonomie-Interaktion in der Telerobotik** zu entwickeln, die in

Bereichen der **Alltagsassistentz und in der Chirurgie** evaluiert wird.

16.1.1 Motivation des Kompetenzzentrums

Der Einsatz von Robotern in Alltagsumgebungen birgt große Herausforderungen aufgrund der Komplexität dynamischer Umgebungen, hohen Aufgabenanforderungen und der Schwierigkeit, Risiken adäquat abzuschätzen (z. B. Clabaugh und Matarić 2019, Kunze et al. 2018). In vielen Bereichen, vom autonomen Fahren bis zur roboterassistierten Chirurgie, vom Satellitenbau im Orbit bis hin zur Pflegerobotik, sind **hybride Lösungen** nötig, bei denen sich robotische Autonomie und Telerobotik ergänzen. Wenn die menschlichen Fähigkeiten erforderlich sind, können diese mittels **telerobotischer Lösungen** eingebunden werden, bei denen der Mensch den Roboter direkt manuell steuern kann. Telerobotik kombiniert somit die Stärken des Menschen (z. B. Entscheidungsvermögen) mit denen des Roboters (z. B. Präzision), was einen breiten Einsatz in zahlreichen alltagsnahen Anwendungen erschließt, weit über die schon heute etablierten Anwendungen (z. B. Agrarrobotik, Telechirurgie) hinaus. Telerobotische Systeme bieten darüber hinaus den einzigartigen Vorteil, dass der Mensch nicht mit einem autonomen Roboter alleine gelassen wird. So können bspw. Angehörige mit Patient*innen auf einer Quarantänestation durch den Roboter vor Ort direkt interagieren.

Das Kompetenzzentrum wird den **Interaktionsansatz der flexiblen Autonomie** in drei Anwendungen evaluieren, der einen Wechsel zwischen verschiedenen Autonomiegraden von manueller Steuerung, über Teilautonomie bis hin zur völligen Autonomie ermöglicht (s. Abb. 16.1). ZENT-AUR setzt sich zum Ziel, neben der technisch sicheren Umsetzung des Ansatzes, eine **menschzentrierte Interaktionsstrategie** für die Mensch-Autonomie-Interaktion (MAI) zu entwickeln und zu evaluieren, die **domänenübergreifend** Anwendung finden kann. Das Hauptaugenmerk des Kompetenzzentrums richtet sich auf den teleoperierenden Menschen und wie dieser effizient und intuitiv einen Roboter mit unterschiedlichen Autonomiegraden steuern kann. Dabei wird ein **ganzheitlicher Ansatz** verfolgt, der die Perspektiven der Ingenieurwissenschaft, Psychologie, User Experience Forschung sowie verantwortlicher Forschung und Innovation vereint und sicherstellt, dass die technischen Lösungen langfristig auch auf

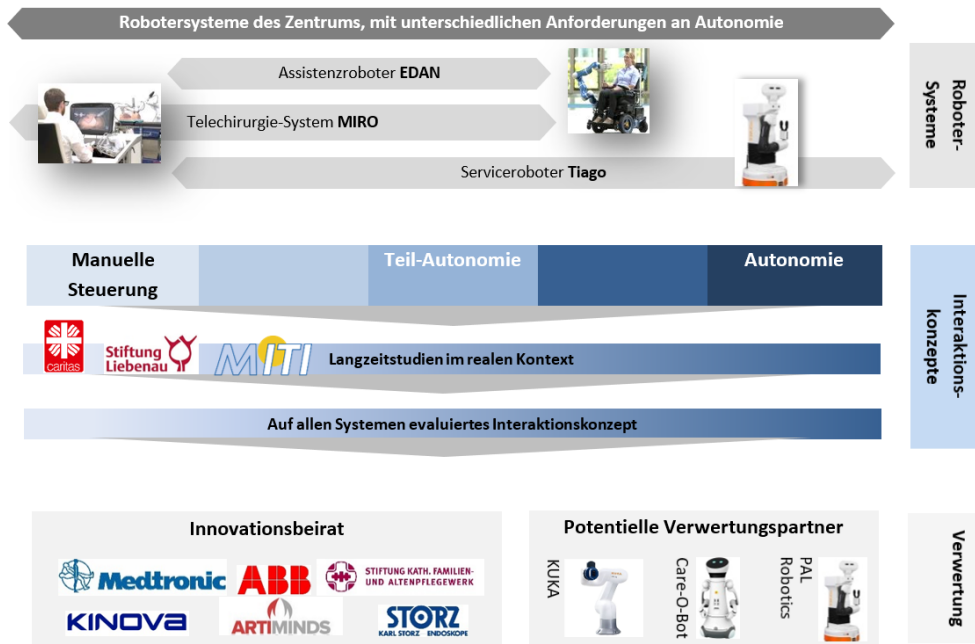


Abbildung 16.1: ZENT-AUR Robotersysteme, die unterschiedliche Autonomieanforderungen abbilden. Interaktionskonzepte der flexiblen Autonomie werden in drei Domänen evaluiert. Verwertungsoptionen werden im Innovationsbeirat vorbereitet.

neue Anwendungsbereiche übertragen werden können. Am Institut für Robotik und Mechatronik (DLR) wurden bereits **Telerobotik-Systeme für Pflege- und Serviceaufgaben, sowie für die Chirurgie** entwickelt und evaluiert, die auch im Zentrum zum Einsatz kommen werden. Die eingesetzten Technologien sind ausgereift, was durch mehrere telerobotische Weltraummissionen eindrucksvoll demonstriert werden konnte. Das telechirurgische System wurde an Medtronic lizenziert und ist bereits als kommerzielles Produkt im Einsatz. Die DLR-Systeme decken ein weites Spektrum an verschiedenen Graden der Roboterautonomie ab, von der manuellen Steuerung durch den Menschen über teilautonome, überwachte Systeme bis hin zur vollständigen Autonomie. Ein Umschalten zwischen den Kontrollmodi ist mit den DLR-Systemen möglich: Ein Roboter kann z. B. manuell bis zu einer Tür gesteuert werden, der Roboter erkennt die menschliche Intention und öffnet diese autonom, wenn Benutzer*innen dies wünschen.

Im Wesentlichen arbeitet das Kompetenzzentrum ZENT-AUR auf zwei übergeordnete

Ziele hin:

- **ZENT-AUR erschließt einen völlig neuen Aktionsradius robotischer Assistenzsysteme:** Die menschenzentrierte Entwicklung eines Ansatzes der flexiblen Autonomie, der den Wechsel zwischen Kontrollmodi – von der manuellen Steuerung bis hin zur völligen robotischen Autonomie – ermöglicht.
- **Ein vielseitiger Ansatz und viele Anwendungsmöglichkeiten:** Es wird ein modularer, generischer Werkzeugkasten der flexiblen Autonomie entwickelt und in drei Anwendungsgebieten mit unterschiedlichen Anforderungen, Robotersystemen und Nutzer*innen umfangreich evaluiert.

16.1.2 Thema des Verbundprojektes

Im Folgenden sollen die drei Anwendungsfelder und Systeme von ZENT-AUR beschrieben werden.

16.1.2.1 Robotische Assistenz für körperlich eingeschränkte Menschen: EDAN

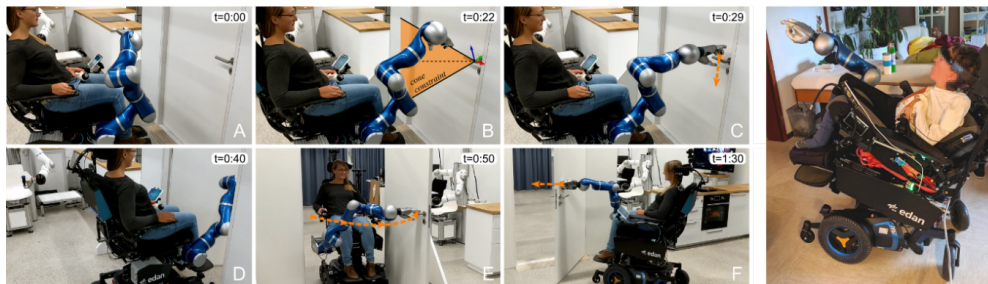


Abbildung 16.2: Robotersystems EDAN: Ein robotischer Arm ist an einem Rollstuhl montiert und kann von Betroffenen z. B. via Tablet oder Mini-Joystick gesteuert werden. Links: Öffnen einer Tür mit anschließendem Hindurchfahren mithilfe geteilter Kontrolle. Rechts: Foto aus einem Pilotexperiment in dem eine Nutzerin mit spinaler Muskelatrophie das EDAN System benutzt.

Das **Robotersystem EDAN** wird in Caritas-Einrichtungen **körperlich eingeschränkte Menschen** unterstützen. Im System EDAN können Nutzer*innen durch einen integrierten robotischen Arm am Rollstuhl Aufgaben erledigen, die ihnen sonst nicht möglich wären. Dabei spielt die Unterstützung durch (teil-)autonome Funktionen eine wesentliche Rolle, da körperlich eingeschränkte Menschen Eingabegeräte nur sehr

limitiert nutzen können. EDAN unterstützt dabei bei alltäglichen Aufgaben wie in Abbildung 16.2 (links) angedeutet. Vision des Assistenzroboters ist es, Menschen mit Bewegungseinschränkungen zu einem erfüllteren und selbständigeren Leben zu verhelfen. Die Robotik ist mit der jetzt erstmalig verfügbaren Technologie der sicheren Mensch-Roboter-Interaktion, Echtzeit-3D-Bildverarbeitung zur Umwelt-/ Personenerkennung in der Lage hier einen wichtigen Beitrag zu leisten. Im EDAN-Roboter sind diese Technologien zu einem Gesamtsystem integriert worden, welches bereits in Feldversuchen getestet wurde (s. Abb. 16.2, rechts).

16.1.2.2 Serviceroboter als Alltagsassistentz im betreuten Wohnen: TIAGo



Abbildung 16.3: Robotersysteme TIAGo und Marvin: Links: TIAGo sortiert Objekte auf Basis eines nutzerspezifischen Weltmodells (RA2), Mitte: Roboter Marvin schenkt Glas Wasser ein; Rechts: Proband teleoperiert Roboter Marvin mittels Mundsteuerung.

In Kooperation mit der Stiftung Liebenau wird die Hochschule Ravensburg-Weingarten (RWU) den kommerziell verfügbaren **Assistenzroboter TIAGo** (PAL Robotics) in Einrichtungen für **betreutes Wohnen** zum Einsatz bringen. Hierbei handelt es sich um eine robotische Plattform, die höhere Autonomiegrade umsetzen kann. Derartige Assistenzroboter werden im Pflegebereich vornehmlich zur Entlastung des Personals (Hol- und Bringdienste) und zur Erledigung von monotonen Tätigkeiten (Bsp. Erinnerung Medikamenteneinnahme, Trinken) eingesetzt. Trotz des hohen Grades an Autonomie sind aber Systeme wie TIAGo bei Einsätzen in der Praxis auf die Möglichkeit einer menschlichen Intervention in komplexen bzw. gefährlichen Situationen angewiesen. Durch die in RA2 (RobotKoop) entwickelten kooperativen Zielverhandlungsmodule inkl. Weltmodell ist TIAGo außerdem in der Lage spezifischer auf Nutzerbedarfe einzugehen. Im Kontext von ZENT-AUR wird TIAGo neben seinen autonomen Funktionen um die Teleoperation erweitert. Pfleger*innen oder auch

medizinisches Fachpersonal können so direkt den Roboter in der Einrichtung steuern und Kontakt mit Bewohner*innen aufnehmen.

16.1.2.3 Roboterassistierte minimal-invasive Chirurgie: MIRO

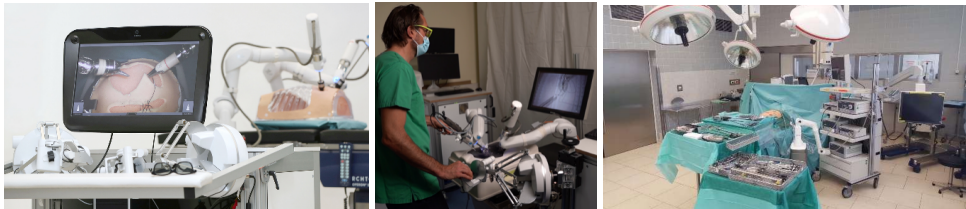


Abbildung 16.4: Telechirurgie-System MiroSurge (links), bestehend aus Chirurgenkonsole und den Roboterarmen am OP-Tisch. Experimental-OP beim Partner MiTi (mitte, rechts), in dem das System mit Chirurgen evaluiert werden kann.

Neben der Roboterassistenz für alltägliche, haushaltsnahe Aufgaben, soll der Ansatz auch im Bereich der **Telechirurgie** in Kooperation mit der **Forschungsgruppe MiTi** (TU München) angewandt werden. Telechirurgische Systeme ermöglichen präzisere und schonendere operative Eingriffe im Vergleich zu traditionellen Operationsverfahren. Der Teleoperator hat dabei ein hohes Maß an Verantwortung, weswegen eine reibungslose und intuitive Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) einen hohen Stellenwert einnimmt. Entsprechend muss die Abstimmung von Assistenzfunktionen bereits bei niedrigem Autonomiegrad individuell auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Chirurg*innen erfolgen, um klinische Relevanz zu schaffen und schließlich Akzeptanz zu finden.

Das DLR bereitet schon jetzt einen Experimental-OP in der Einrichtung des assoziierten Partners MiTi am Klinikum rechts der Isar vor. Das MiroSurge System (s. Abb. 16.4, links) wird dort installiert und es können längsschnittliche Studien mit Chirurg*innen verschiedenen Ausbildungsstandes und fachlicher Ausrichtung realisiert werden (s. Abb. 16.4, mitte und rechts). Als chirurgische Aufgaben werden hierbei standardisierte Modelle (vgl. Laubert et al. 2018) verwendet. Aufgrund des dynamisch-unstrukturierten Aktionsfeldes im Patienten stehen im Bereich der Telechirurgie insbesondere niedrige Autonomiegrade, wie geteilte Steuerung bis zur überwachten Teil-Autonomie im Fokus (z. B. sensorbasierte Gewebescans, Endoskopführung oder haptische Verbotszonen).

16.1.2.4 Interaktionsspezifische Forschungsfragen

Folgende wissenschaftliche Fragen sollen in den drei Anwendungsszenarien beantwortet werden:

- Wie kann Mensch-Autonomie-Interaktion (**MAI**) **intuitiv, sicher und adäquat** umgesetzt werden? Wie können bspw. die menschliche Intention oder auch situative Gefahrenpotentiale erkannt werden und eine entsprechende Funktionsallokation vorgeschlagen werden?
- Wie kann MAI so gestaltet werden, dass der teleoperierende Mensch ein hohes Maß an **Situationsbewusstsein und Systemvertrauen** entwickelt. Was sind valide Metriken und Benchmarks zur Bewertung des soziotechnischen Gesamtsystems?
- Bei der flexiblen Funktionsallokation in der MAI stellt sich grundsätzlich die Frage, **wer Transitionen von einem Kontrollmodus zum anderen vorschlagen bzw. initiieren sollte**: Die Automation (adaptive Steuerung) oder der Mensch (adaptierbare) oder beide (mixed Ansätze)?
- Wie wird **Handlungsträgerschaft, Autonomie und Kontrolle zwischen Mensch und System** ausgehandelt und umverteilt durch (Teil-)Automatisierung von Arbeitsprozessen?
- Welche **sozio-technischen Umweltfaktoren** spielen bei der erfolgreichen Einbettung von MAI eine Rolle (z. B. Arbeitsteilung und -abläufe, professionelles Selbstverständnis der Belegschaft)?
- Welche **sozialen Nutzungsfelder** existieren, in denen Telerobotik bisher keine

oder kaum Anwendung findet? Kann Telerobotik über die praktischen Aufgaben hinaus eine neue, positive Art der Mensch-Mensch-Kommunikation ermöglichen?

16.1.3 Gesamtziel des Kompetenzzentrums

Das Kompetenzzentrum verfügt über jahrzehntelange Erfahrungen in Bereich telerobotischer, teilautonomer sowie autonomer robotischer Systeme in einem breiten Spektrum von Anwendungen (z. B. Chirurgie, Pflege, Assistenz für Menschen mit Behinderung, Industrierobotik). Diese Erfahrung zeigt auch, dass Robotersysteme nur dann praxistaugliche Assistenten werden können, wenn sie auch in weniger strukturierten, dynamischen Situationen zuverlässig und adaptiv reagieren können. Deshalb ist es das zentrale Ziel des Kompetenzzentrums, eine **ganzheitliche Systemlösung der flexiblen Autonomie** zu entwickeln, wodurch sich ein breites Spektrum an Interaktionsmöglichkeiten erschließt. Angesichts wachsenden Fachkräftemangels, dem Kostendruck in Betreuung, Pflege und Medizin bedarf es solcher vielseitigen Lösungen, wodurch ZENT-AUR auch den gesellschaftlichen Anforderungen an interaktiver Assistenzrobotik gerecht wird.

Hierzu wird auch ein beständiger, intensiver Diskurs mit assoziierten Partnern und Nutzer*innengruppen in den jeweiligen Domänen geführt. Um frühzeitig auch Industriepartner einzubinden, wird ein **Innovationsbeirat** gegründet, der das Projekt begleitet, neuartige Lösungs- und Umsetzungsstrategien diskutiert und v.a. das spätere Verwertungspotential im Blick hat.

Das Kompetenzzentrum wird die bereits bestehenden **Interaktionsfähigkeiten der robotischen Systeme sinnvoll kombinieren bzw. erweitern**. Die im Rahmen von RA2 von den technischen Partnern entwickelten robotischen Interaktionsfähigkeiten (insb. im Bereich der Intentionen- und Kontexterkenkung) werden auch in ZENT-AUR zum Einsatz gebracht bzw. angepasst und die Teleoperationstechnologie des DLR wird auf ein kommerzielles System (TIAGo) übertragen. Ein wichtiger technischer Entwicklungsschritt wird die sichere und robuste Implementierung des Wechsels zwischen den Kontrollmodi darstellen. Die vom DLR entwickelten Ansätze der Intentionserkenkung (basierend auf z. B. Jain und Argall 2018, Gopinath und Argall 2020) sowie die Erken-

nung von gefährlichen Situationen, die von der Hochschule Ravensburg-Weingarten (RWU) entwickelt werden, sollen hierbei als eine Entscheidungsgrundlage für Wechsel des Kontrollmodus fungieren.

ZENT-AUR eröffnet eine neue Perspektive auf die Mensch-Roboter-Interaktion, denn neben dem Menschen in direkter Interaktion mit dem Roboter, **spielt nun vor allem der teleoperierende Mensch** eine tragende Rolle und ZENT-AUR wird sich vorrangig dieser Schnittstelle zum Menschen widmen. Umso wichtiger ist es, dass ein wissenschaftlicher Ansatz verfolgt wird, der den Prinzipien der menschenzentrierten Gestaltung (gemäß ISO 9241, „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“) entspricht. Die Forschungsagenda wird stark interdisziplinär geprägt sein und verbindet die Zentrumskompetenzen im Bereich kognitiver Psychologie, UX, Interaktionsdesign und ELSI (s. Abb. 16.5).



Abbildung 16.5: Partner des Kompetenzzentrums ZENT-AUR, vertretene Forschungsdisziplinen und Beiträge

Nutzungskontext und Nutzer*innengruppen in den jeweiligen Domänen werden aus diesen verschiedenen Blickwinkeln analysiert und in der Konzeptions-, Entwicklungs- und Evaluationsphase eingebunden. Basierend auf den identifizierten Anforderungen wird ein Interaktionskonzept der flexiblen Autonomie in einem **stark partizipativen und iterativen Vorgehen** entwickelt, das in Fokusgruppen, VR Simulationen, Labortests entwicklungsbegleitend und zuletzt in mehreren Kampagnen im realen Kontext der Anwendungsdomänen getestet wird. Zusammen mit den assoziierten Partnern werden hierfür Testszenarien entworfen, die für die Praxis relevante Situationen abdecken und zugleich eine valide und systematisch empirische Analyse erlauben. Integrativer Teil des iterativen Gestaltungsprozesses ist die Definition von relevanten Benchmarks und Bewertungsmetriken, die z. B. neben der Aufgabenperformanz das Wohlbefinden

der Nutzer*innen (Hassenzahl 2010, Hassenzahl et al. 2013) und die Sicherheit des Menschen auf der robotischen Seite abbilden. Eine weitere wichtige Bewertungsebene ist die der verantwortlichen Forschung und Innovation, um eine werteorientierte und nachhaltige Gestaltung zu gewährleisten.

Insgesamt trägt ZENT-AUR durch die **multimethodische und multiperspektivische empirische Agenda** in drei Anwendungen substantiell zur Verbesserung der Datenlage in der Assistenzrobotik bei. Dabei wird auf entsprechenden Vorerfahrungen des Zentrums aufgebaut. So wurde z. B. im Rahmen eines HGF Validierungsprojektes das Telechirurgie-System MiroSurge bereits mit Chirurgen evaluiert (Weber 2013). Diese Arbeiten waren entscheidend für die erfolgreiche Lizenzierung des Systems an Medtronic. Eine aktuelle Arbeit in Zusammenarbeit mit dem DLR hat sich darüber hinaus explizit der Frage gewidmet, wie autonome Funktionen in die Telechirurgie eingebettet werden können (Gölz 2020).

Auch das Robotersystem EDAN wurde bereits in Pilotversuchen mit Probanden mit spinaler Muskelatrophie erprobt. Im Rahmen der Pilotstudie wurde das System in der Wohnumgebung der Probanden zum Ausführen von Aktivitäten des täglichen Lebens genutzt. Fokus der bisherigen Untersuchungen lag auf der EMG-basierten Nutzerschnittstelle und den teilautonomen Fähigkeiten des Robotersystems, welche die Ausführung von haushaltsnahen Tätigkeiten unterstützen.

Die RWU verfügt neben den in RA2 durchgeführten Forschungsarbeiten bereits über einschlägige Erfahrungen aus vorigen FuE Projekten (RABE 2017-2021, AsRoBe 2013-2016, ZAFH Servicerobotik 2008-2013, vgl. Weber-Fiori et al. 2017) in der genannten Anwendungsdomäne. In RA2 (Projekt RobotKoop) wurden u.a. Module zur lernfähigen semantischen Umfeldanalyse (insb. Erkennung von Anomalien in Haushaltsumgebungen), ein systemübergreifendes, standortunabhängiges Kommunikationsinterface und verschiedene Möglichkeiten des adaptiven Lernens von Nutzerpräferenzen, sowie das Lernen durch Demonstration entwickelt und im Rahmen von Nutzerstudien getestet.

16.2 Alleinstellungsmerkmale und Abgrenzung zum Stand der Wissenschaft und Technik

16.2.1 Internationaler Stand der Wissenschaft und Technik

16.2.1.1 Ansätze der flexiblen Autonomie in der Robotik

Die meisten Ansätze der flexiblen Autonomie stammen aus den Bereichen Luftfahrt bzw. Fahrzeugtechnik, es existieren jedoch auch einzelne Forschungsarbeiten im Bereich der Robotik. So nutzen z. B. Birk und Pfingsthorn 2006 das Konzept der adaptiven Autonomie, um eine Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Steuerung von mehreren mobilen Roboterplattformen („Search & Rescue“ Szenario) zu modellieren. Schwerpunkt der Forschungsarbeit ist die Verbesserung der direkten, manuellen Steuerung der Roboter und die adaptive Visualisierung der Steuerungsprozesse in der graphischen Nutzeroberfläche. Im Wesentlichen kann hier zwischen einer joystickbasierten, direkten Steuerung und einer navigationspunktbasierten Steuerung gewechselt werden. Die Arbeit beschränkt sich jedoch auf die Beschreibung des Implementierungskonzepts, Evaluationsdaten aus Nutzerstudien fehlen. Auch Schermerhorn und Scheutz (2009) schlagen ein Konzept der flexiblen Autonomie für ein Team aus menschlichen und robotischen Agenten vor. In einer Simulationsstudie mit 10 Teilnehmer*innen sollten Gesteinsproben in einer planetaren Explorationsmission analysiert werden. In der Studie wurde reine Teleoperation mit adaptiver Autonomie verglichen, wobei die Autonomiefunktion sich an übergeordneten Zielpriorisierungen orientierte (Nutzen-Kosten-Analyse). Die Autoren berichten eine bessere Teamleistung in letzterer Bedingung und eine geringere kognitive Beanspruchung des Menschen. Roehr und Shi (2010) schlagen ebenso einen Ansatz für ein Mensch-Roboter-Team vor, in dem sowohl Mensch als auch Roboter den Autonomiegrad graduell anpassen können. In einer reinen Systemsimulation war ein Umschalten zwischen vollständiger Autonomie, beidseitig anpassbarer Autonomie und manueller Steuerung möglich, wobei die Anpassung der Autonomie auf Basis des menschlichen Systemvertrauens bzw. der Erfolgswahrscheinlichkeit des Roboters, die geplante Aktion erfolgreich auszuführen, erfolgt. In der Zusammenschau lässt sich festhalten, dass ein dringender Forschungsbedarf auf dem Feld der flexiblen Autonomie besteht. In einer systemati-

schen Überblicksarbeit konstatieren Mostafa et al. (2019) mehrere Forschungslücken im Bereich der flexiblen Autonomie über die Robotik hinaus: 1) es existiert noch **kein ausgewogenes und vollständiges Konzept der flexiblen Autonomiesteuerung**, 2) es gibt wenige Ansätze, die **Nutzerpräferenzen berücksichtigen**, 3) oftmals beschränken sich die Ergebnisse auf **Simulationsstudien oder sehr deterministische Umgebungen** und 4) zentrale Metriken wie das **Situationsbewusstsein** des Menschen werden zu selten bzw. gar nicht eingebunden.

16.2.1.2 Telechirurgische Robotersysteme

Robotische Assistenzsysteme werden derzeit zunehmend zur Marktreife entwickelt. Die chirurgischen Anwendungsdomänen sind vielfältig und umfassen beispielsweise Systeme für die Orthopädie, die Neuro- und Wirbelsäulenchirurgie sowie die Herz- und Gefäßchirurgie. Hierbei werden unterschiedliche Steuerungsansätze, wie die manuelle Führung teils unterstützt durch Ansätze der geteilten Steuerung, die automatisierte Ausführung geplanter Trajektorien oder die Teleoperation eingesetzt (Klodmann et al. 2020). Teleoperierte Systeme spielen, neben der Herz- und Gefäßchirurgie, insbesondere in den chirurgischen Domänen der Laparoskopie (Viszeralchirurgie, Urologie, Gynäkologie) eine Rolle, auf die in diesem Projekt der Fokus liegt. Die kommerziell verfügbaren Systeme in diesem Anwendungsfeld integrieren allerdings lediglich einen niedrigen Autonomiegrad (Haidegger 2019). Funktionalitäten umfassen die Wiederherstellung der Hand-Auge-Koordination, eine adaptierbare konstante Bewegungsskalierung oder eine Tremorfilterung.

Aktuell werden Ansätzen der geteilten Steuerung erforscht. Hierbei steuert der Chirurg das System, während einzelne Freiheitsgrade aktiv durch das System begrenzt werden (sog. "Virtual Fixtures", z. B. Bowyer et al. 2013). Weitere Forschungsansätze zur Teil-Automatisierung von chirurgischen Kernaufgaben, wie dem chirurgischen Nähen oder der stumpfen Dissektion zeigen zwar gute Ergebnisse unter Laborbedingungen, können aber noch nicht in kommerzielle Systeme transferiert werden (z. B. Attanasio et al. 2021). Nicht zuletzt befinden sich entsprechende Standards zur Berücksichtigung des Autonomiegrads bei der Entwicklung robotischer Assistenzsysteme, die den Zulassungsprozess erleichtern können, derzeit erst in der Entwicklungs- bzw. Etablierungsphase. Zwar gibt es einige vielversprechende Ansätze höhere Autonomie-

grade in der roboterassistierten Chirurgie für entkoppelte chirurgische Kernaufgaben technisch zu implementieren, die **Forschungslücke menschzentrierte Interaktionskonzepte mit flexibler Autonomie herzuleiten, technologisch umzusetzen und in groß angelegten Feldstudien zu evaluieren besteht aber weiterhin.**

16.2.1.3 Robotische Assistenzsysteme für körperlich eingeschränkte Menschen

Im Bereich der **Pflegerobotik bzw. Assistenz für Menschen mit Behinderung** basieren die auf dem Markt verfügbaren Systeme auf rein manueller Steuerung. In der Regel handelt es sich dabei um Roboterarme, die am Elektrorollstuhl der Nutzer*in montiert werden, und dann über dieselbe Schnittstelle gesteuert werden, welche auch zur Steuerung des Rollstuhls genutzt wird. Die am Markt befindlichen Systeme verfügen über **keine nennenswerten Autonomiefunktionen**. Es lassen sich lediglich einzelne Bewegungen aufzeichnen und wieder abspielen, dabei geschieht aber keine Anpassung an die aktuelle Umgebung des Roboters. Da ein solcher Roboterarm für die Nutzer*in oftmals die einzige Möglichkeit zur physischen Interaktion mit der Umgebung darstellt, kommt der Autonomie der Nutzer*innen hier eine besonders wichtige Rolle zu. Um die Steuerung der Systeme zu erleichtern, werden Methoden der geteilten Kontrolle vielfältig erforscht, es sind aber keine Systeme bekannt, die diese Methoden im Bereich Assistenzrobotik für Menschen mit Behinderung in einem Gesamtsystem außerhalb des Labors einsetzen. Das DLR System EDAN verfügt über ein breites Spektrum an Autonomiefunktionen, von manueller Steuerung, über geteilte Kontrolle bis hin zur überwachten Ausführung. Dabei erlauben die Drehmoment- und Ganzkörperregelung die sichere Durchführung von koordinierten Aufgaben. Hinsichtlich der Mensch-Technik-Interaktion kann am System EDAN auch die Mensch-Technik-Mensch Interaktion analysiert werden, da der primäre Nutzer des Roboters das System direkt steuert und durch den Roboter mit sekundären Nutzer*innen in Interaktion treten kann.

Im Bereich der **Pflegerobotik sind autonome Systeme noch nicht marktreif** und es besteht ein großer Forschungsbedarf hinsichtlich komplexerer Interaktionsfähigkeiten (Graf 2020). Zusammen mit dem Fraunhofer Institut Stuttgart konnte das DLR die Einbindung der Teleoperation z. B. auf dem Care-o-Bot System schon erfolgreich demonstrieren.

16.2.1.4 Intentions- und Gefahrenerkennung

Mit der Verfügbarkeit von (teil-)autonomen Roboterfähigkeiten, bedarf es auch einer Methode, um diese Roboterfähigkeiten adäquat einzusetzen bzw. sie dem Nutzenden zum richtigen Zeitpunkt anzubieten. Um dies zu ermöglichen, muss zum einen ermittelt werden, welche Tätigkeiten in der akuten Situation ausgeführt werden können. Anschließend müssen diese Optionen hinsichtlich der Intention des Nutzers bewertet werden. Hierbei spielen semantische Informationen über die Umgebung und vorhandene Objekte eine große Rolle. Mittels dieser semantischen Planung lassen sich auch komplizierte Aufgaben in logische Einzelschritte zerlegen und anschließend mit autonomen Robotern ausführen (Bartels et al. 2013, Leidner 2019, Garrett et al. 2020). Basierend auf diesen Methoden kann neben der Planung einer Aktionsfolge auch ermittelt werden, welche Tätigkeiten in dem gegebenen Weltzustand gerade ausführbar sind. Für Roboter die geteilte Kontrolle anbieten, kann dann eine **Intentionserkennung** realisiert werden. 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 (Gopinath und Argall 2020).

Verschiedene Methoden der künstlichen Intelligenz wurden in unterschiedlichen Bereichen für die **Risikobewertung und die Gewährleistung der Sicherheit** eingesetzt (Ertle et al. 2012). Zum Beispiel schlagen Jang et al. (2020) einen Ansatz zur Bildklassifizierung und Objekterkennung vor, um gefährliche Situationen zu identifizieren. Viele ähnliche Methoden, die die Bildanalyse nutzen, wurden kürzlich untersucht, um die Erkennung von Gefahren zu verbessern (Chang et al. 2019). Das Hauptproblem bei der Bildanalyse ist jedoch, dass es sich um Low-Level-Daten handelt, die keine Semantik haben. Kürzlich wurden auch logikbasierte Systeme untersucht, die mit semantischen High-Level-Daten arbeiten (Hata et al. 2019). Diese Methoden sind zwar sehr leistungsfähig, haben aber den Nachteil, dass sie nicht generalisieren und mit Veränderungen umgehen können. Aufgrund der zunehmenden Verwendung von semantischen Informationen in der KI gehen viele Domänen dazu über, Knowledge Graphs als Datenrepräsentationssystem zu verwenden (Hogan et al. 2021). Daher ist es wichtig, über neuronale Netzwerkmodelle zu verfügen, die diese Wissensgraphen lernen können (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 Risikobewertung untersuchen (Yoon et al. 2019, Jiang 2020).

16.2.2 Vorteile gegenüber konkurrierenden Lösungsansätzen

Klares Alleinstellungsmerkmal von ZENT-AUR ist die Einbindung menschlicher Kompetenz in Ergänzung zur robotischen Autonomie. Der Schwerpunkt der bisherigen Forschung und Entwicklungsbemühungen in der Assistenzrobotik liegen zweifelsohne darin, vollautonome Agenten in den Lebensalltag des Menschen zu integrieren. Telerobotische Ansätze hingegen waren bislang eher spezialisierten Expertensystemen vorbehalten. Durch die teleoperative Zuschaltung des Menschen und gleichzeitiger Nutzung der lokalen robotischen Autonomiefunktionen lassen sich die bisherigen Grenzen der Assistenzrobotik überwinden.

Dies stellt in der Robotik einen einzigartigen Versuch dar und durch ZENT-AUR wird der Nachweis erbracht, dass der Ansatz der flexiblen Autonomie über Systeme, Nutzer*innengruppen und Domänen hinweg erfolgreich eingesetzt werden kann. ZENT-AUR löst sich somit von der isolierten Betrachtung einzelner Anwendungsausschnitte und bietet ein vielseitiges, modulares und individualisierbares Konzept. ZENT-AUR entwickelt einen eigenständigen, neuartigen Ansatz der sich auf den Bereich der teleoperativen Steuerung eines Robotersystems mit unterschiedlichen Assistenzmöglichkeiten konzentriert. Das gesamte Spektrum von adaptierbarer bis adaptiver Automationsmanagements sowie Aufgaben- und Nutzer*innenanforderungen aus drei Anwendungsdomänen sollen hierbei abgedeckt werden. Ein umfassender Ansatz der flexiblen Autonomie wurde bislang noch nicht entwickelt und es liegen auch nur einzelne empirische Daten aus empirischen Nutzerstudien zu diesem Thema in realistischen Umgebungen vor. Die Playbook-Metapher (z. B. Miller und Parasuraman 2007) bietet zwar einen allgemeinen Ansatz der flexiblen Autonomie, fokussiert allerdings eher die Überwachung von mehreren hochautomatisierten Systemen (z. B. UAVs oder Flugzeuge).

Nach unserem jetzigen Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass keine Patent- und Schutzrechte einer Verwertung des geplanten Vorhabens entgegenstehen. Die Entwicklungsarbeiten zum telechirurgischen MiroSurge System des DLR sind in das telechirurgische Systems HUGO™ RAS von Medtronic eingeflossen. Der nunmehr erfolgreiche Einsatz dieses Systems im klinischen Kontext verdeutlicht, dass die sehr anspruchsvollen klinischen Normen und Standards durch den Systemansatz erfüllt werden können. Auch für das System EDAN gilt, dass nicht der DLR LBR Teil der Verwertung sein wird, sondern andere kommerzielle Systeme letztlich zum Einsatz kommen sollen. Generell steht hier die Entwicklung von Interaktionskonzepten im Vordergrund, die eher in Form von Standards/ Normen der Wirtschaft zur Entwicklung von Produkten dienen. Ein Beispiel hierfür sind z. B. die Arbeiten zur Sicherheit der physikalischen Mensch-Roboter-Interaktion die am Institut für Robotik und Mechatronik durchgeführt wurden (Haddadin 2013), die in die geltenden DIN Sicherheitsnormen eingeflossen sind (DIN EN ISO 10218-2 Kapitel 5.10.5, Technische Spezifikation ISO/TS 15066 zu Kraft- und Leistungsbegrenzungen). Neben dem Interaktionskonzept ist ein zentrales Resultat eine Software-Anwendung (Toolbox), die die Implementierung des Ansatzes der flexiblen Autonomie auf verschiedenen Zielsystemen ermöglichen soll. Eine derartige Anwendung existiert bislang nicht und stellt eine wegweisende Entwicklung für den breiten Einsatz des Konzepts in unterschiedlichsten Domänen dar.

Auch wenn derzeit allgemeine Prozesse und Maßnahmen zum Design sicherheitskritischer Systeme existieren, so gibt es doch spezielle Anforderungen an (teil-) autonome bzw. intelligente Systeme, welche Sicherheitskonzepte voraussetzen, die weit über die derzeit existierenden Ansätze hinausgehen. Speziell in dynamischen Umgebungen treten schnell Situationen ein, die weder vorhersagbar noch modellierbar sind. Die wenigen Arbeiten, die sich mit solchen Systemen beschäftigen bieten entweder nur Teillösungen oder beschreiben lediglich die Problematik ohne einen zufriedenstellenden Lösungsansatz anzubieten. Der hier geplante, auf Graphen basierende Ansatz ermöglicht es eine Vielzahl heterogener Informationen zu speichern und diese mittels Graph-Neuronale-Netzwerke zu verarbeiten. Diese Technik ist relativ neu und wurde noch nicht in dieser Form für den Einsatz der Sicherheitskonzeption in der Robotik untersucht.

16.2.3 Risikodarstellung

Das größte technische und somit auch wirtschaftliche Risiko stellt sicherlich der **Dauereinsatz der komplexen robotischen Systeme** im Anwendungsfeld dar. Die beiden DLR Demonstratoren sind prototypische Eigenentwicklungen. Obgleich schon mehrere und umfangreiche Experimente mit diesen Systemen durchgeführt wurden, bleibt das Restrisiko eines Ausfalls während der geplanten Studien. Das DLR verfügt jedoch über Ersatzsysteme und institutseigene Elektronik- und Mechatronik-werkstätten.

Aus wissenschaftlich-technischer Sicht stellt sich ZENT-AUR der Herausforderung, einen **Ansatz der flexiblen Autonomie** zu entwickeln, der für **unterschiedlichste Anwendungsszenarien einsetzbar** sein soll. Damit verbunden sind diverse Anforderungsprofile durch die jeweiligen Aufgabencharakteristika sowie der Nutzer*innen-gruppen. Ein Risiko ist demnach, dass diese Diversität nicht adäquat in einem Gesamtmodell abzubilden ist. Als Lösungsstrategie soll ein möglichst generisches Framework geschaffen werden, dass je nach spezifischem Anforderungsprofil modifizierbar/ parametrisierbar ist. Welche Parameter hier von Bedeutung sind (z. B. adaptierbare vs. adaptive Autonomie), muss im Verlauf des Projekts als Teil der Evaluation entschieden werden. In diesem Kontext wird auch die Akzeptanz der Interaktionskonzepte und der eingebundenen Autonomiefunktionen durch den Nutzenden darüber entscheiden, ob das Konzept erfolgreich sein kann. Auch hier stellt die Diversität der Nutzer*innengruppen eine potentielle Herausforderung dar. Gegebenenfalls werden hier unterschiedliche Bedienmodi (Experten- vs. Novizenmodus) implementiert.

Durch die Anwendung und Evaluation des Gesamtkonzepts in **drei unterschiedlichen Anwendungsszenarien mit drei assoziierten Partnern und mit drei unterschiedlichen Robotersystemen** wird der besondere Förderungsbedarf von ZENT-AUR deutlich. Hieraus resultieren diverse technische Anpassungs- bzw. Wartungsarbeiten an den Systemen; zudem werden drei parallele Evaluationskampagnen vorangetrieben mit entsprechend hohen Aufwendungen für Personal, Sachmittel bzw. Unteraufträge. Das wirtschaftliche Risiko erscheint hierbei jedoch insofern kalkulierbar, als dass in allen drei Szenarien bereits ähnliche Evaluationsstudien mit den assoziierten Partnern mit sehr gutem Erfolg durchgeführt wurden. Das MiroSurge System besteht schon fast zehn Jahren und das DLR hat umfangreiche Erfahrungen mit Nutzerstudien (z. B. Weber

et al. 2013). Das kommerzielle Pendant des Systems ist bereits im klinischen Einsatz. Ähnliches gilt für EDAN, auch hier wurden zahlreiche Studien mit der Zielgruppe im Labor aber auch im realen Nutzungskontext erfolgreich durchgeführt. Das Zielsystem TIAGo ist ein kommerzielles System mit dem ebenfalls Nutzer*innen-studien in Rahmen von RA2 (RobotKoop) durchgeführt wurden.

Weiterhin ergibt sich der Förderungsbedarf dadurch, dass die Projektziele nur durch einen dezidiert **multidisziplinären Ansatz** zu erreichen sind: neben der technischen Entwicklung, sind Expertise in der Mensch-Autonomie-Interaktion (Psychologie, Interaktionsdesign, Interfacegestaltung) und ethische Gesichtspunkte von größter Bedeutung.

16.3 Wissenschaftliche und technische Methoden sowie Arbeitsziele des Kompetenzzentrums

Im Folgenden wird ein Überblick über das wissenschaftliche Prozedere (16.3.1) und die zentralen Arbeitsziele (16.3.2 und 16.3.3) gegeben.

16.3.1 Das wissenschaftliche Prozedere



Abbildung 16.6: Projektphasen und wissenschaftliche Aktivitäten

Der **wissenschaftliche Prozess** gliedert sich in folgende vier Phasen (s. Abb. 16.6): 1)

Analysephase: mittels qualitativer Methoden (Interviews, Beobachtungen, Fokusgruppen) werden Nutzer*innengruppen, relevante Aufgaben und mögliche Autonomiefunktionen in den drei Anwendungsdomänen Chirurgie, Behinderten- und Alltagsassistenz bestimmt. 2) *Konzeptphase:* Das Interaktionskonzept und das Interface wird konzipiert. Existierender Ansätze und Metriken der MAI werden geprüft und evaluiert. Erste kleinformatige Studien (Fokusgruppen etc.) zur Konzeptvalidierung werden durchgeführt. 3) *Evaluationsphase:* Nach Implementierung der technischen Anforderungen, Interaktionsstrategien und Interfaces auf allen Robotersystemen werden mehrere formative Studien im Labor und VR mit Nutzer*innen in allen Domänen durchgeführt und der Ansatz weiter optimiert. Hierbei kann der in GINA (RA2) entwickelte VR Simulator des DLR genutzt werden. In zwei abschließenden Feldkampagnen soll der längerfristige Einsatz mit größeren Stichproben diskutiert und validiert werden. 4) *Aufbau einer Datenbasis:* Alle empirischen Daten werden systematisch in einer Datenbank dokumentiert.

Dabei werden Methoden der integrierten Forschung in allen relevanten Phasen einen zentralen Stellenwert einnehmen. Bei der MRI ist gerade in sensiblen Bereichen mit vulnerablen Nutzern*innen (Pflege, Menschen mit Behinderung) **ELSI und “Responsible Research and Innovation” (RRI)** von größter Bedeutung. Es geht hier insbesondere darum, die Technikentwicklung responsiv (bzgl. Nutzer*innenbedürfnissen) und inklusiv (bzgl. heterogener Nutzerprofile) zu gestalten. Von Beginn an sollen deswegen Nutzer*innenbefragungen, qualitative Interviews und auch Fokusgruppen mit Nutzer*innen und Domänenexpert*innen durchgeführt werden, um etwaige Risiken und Vorbehalte in der Nutzung vorzubeugen. ELSI und RRI Aspekte sollen identifiziert und hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilt werden. Gerade in punkto Systemakzeptanz, Aufgabenteilung zwischen Mensch und Technik, Umgang mit Personendaten, Sicherheit, Privatsphäre, Stigmatisierung durch robotische Assistenz, Umgang mit sozialen Rollen müssen die Konzepte frühzeitig und systematisch bewertet werden.

Es wird eine **sozio-technische, systemische Perspektive auf MAI** entwickelt: Gelingende MAI ist wesentlich von deren Einbettung in Anwendungskontexte abhängig. Akzeptanz ist die abhängige Variable eines gelungenen Aushandlungsprozesses zwischen Entwickler*innen, Forschenden und Nutzer*innen bezüglich der Umverteilung von Kompetenzen, Kontrolle und Autonomie. Anstatt in technologieinduzierten Risiken

zu denken, ermöglicht ein „Responsible Research and Innovation“ (RRI) Ansatz, die **MAI als reflexiven Forschungs- und Innovationsprozess** zu untersuchen, der durch eine frühzeitige Einbindung von Stakeholdergruppen, Nutzer*innen und Bürger*innen auf eine breitere Basis gestellt wird (Schomberg 2013, Felt 2018). **Partizipative und deliberative Workshops und Dialogformate** sollen die spezifischen gesellschaftlichen Werte und Bedarfe entlang von Use Cases sichtbar machen und in eine **für die Entwicklung verfügbare Form** übersetzen. Darüber hinaus kommen anwendungsorientierte, ko-kreative Formate der partizipativen Technikgestaltung wie bspw. Rapid Prototyping oder Design Thinking zum Einsatz.

16.3.2 Gesamtmodell und Toolbox der flexiblen Autonomie

Ausgehend vom aktuellen Stand der Forschung soll ein Gesamtmodell der flexiblen Autonomie unter Einbindung der Expertise in den Bereichen UX, Interaktionsforschung, kognitive Psychologie und Responsible and Research Innovation im intensiven Dialog mit den jeweiligen Nutzer*innengruppen entwickelt werden. Dabei soll zwischen verschiedenen Kontrollmodi gewählt werden können, die unterschiedliche Autonomiegrade („Degree of Automation“, DoA) zwischen direkter, manueller Steuerung, geteilter Kontrolle und überwachter Autonomie abbilden (vgl. Draper 1995). Das Modell soll ein möglichst großes Spektrum hinsichtlich des Autonomiemanagements abbilden, d.h. sowohl der teleoperierende Mensch als auch das System sollen – je nach individueller Präferenz und Aufgabenanforderung – generell in der Lage sein, den Autonomiegrad anzupassen. So ist es vorstellbar, dass bei Aufgaben, bei denen menschliche Fertigkeiten und Fähigkeiten aufgrund der Aufgabenkomplexität unverzichtbar sind (z. B. in der Telechirurgie) der Autonomiegrad durch den Menschen adaptierbar ist, wohingegen bei vergleichsweise einfachen und repetitiven Aufgaben (z. B. Hol- und Bringdienste in Alltagsumgebung) das System selbst den Autonomiegrad adaptiv anpasst. Aus diesem Grunde werden in ZENT-AUR Applikationsfelder untersucht, die sich hinsichtlich der Aufgabenanforderungen und adäquatem Autonomiemanagement deutlich unterscheiden (s. Abb. 16.7).

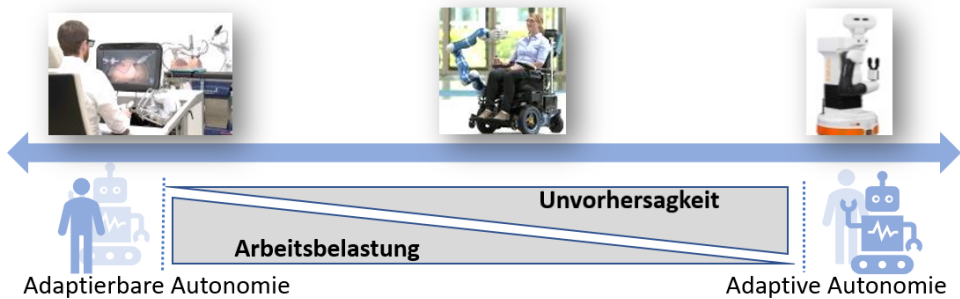


Abbildung 16.7: Spektrum zwischen adaptierbarer und adaptiver Autonomie und die Effekte auf die menschliche Arbeitsbelastung bzw. Vorhersagbarkeit des Systems (adaptiert aus Miller et al. 2000); Einordnung der ZENT-AUR Anwendungsfelder.

Sowohl adaptierbare als auch adaptive Autonomie bringen nicht nur Vorteile, sondern bergen auch substantielle Risiken für Nutzer*innen. Obgleich ein System, das den Wechsel zwischen den DoA selbständig adaptiert, die Arbeitsbelastung des Menschen naturgemäß reduziert, kann sie jedoch auch dazu führen, dass der Mensch sich nicht mehr im ausreichenden Maße des aktuellen Systemstatus bewusst ist und das Systemverhalten unvorhersagbar wird (z. B. Miller und Parasuraman 2007, Billings und Woods 1994; siehe auch Abb. 16.7).

Im Projekt stellt die Vermeidung zu hoher Arbeitsbelastung und von Konflikten zwischen robotischer Steuerung und menschlicher Kontrolle (Mostafa et al. 2019) durch angemessene Konzepte der Mensch-System-Interaktion und der Schnittstellengestaltung ein wichtiges wissenschaftliches Ziel dar. Als **konzeptionelles Rahmenmodell** kann hierbei z. B. die „**Playbook**“-**Metapher** (Miller und Parasuraman 2007) dienen, in dem die Gefahr hoher Arbeitsbelastung bei adaptierbarer Autonomie durch vorab definierte Pläne der Autonomiezuweisung reduziert wird. In diesem Ansatz kann der DoA auf verschiedenen Abstraktionsebenen für einen bestimmten Aufgabenkomplex angepasst werden (Simmons et al. 2000). Der Mensch kann bei der Ausführung der Aktionen intervenieren und nötige Anpassungen vornehmen. In ZENT-AUR soll ein Ansatz gewählt werden, der zusätzlich zum Autonomiemanagement (adaptierbar bis adaptiv) im Vorfeld individuelle Präferenzen, Erfordernisse der Performance und des Wohlbefindens in den Ansatz der Autonomiesteuerung integriert.

Die **Software-Architektur bzw. Toolbox**, die in ZENT-AUR entwickelt werden soll, greift die Idee des Playbooks auf (s. Abb. 16.8). Basis des Systems ist ein Aufgabenmodell, das von Mensch und System geteilt wird und in dem alle relevanten Teilschritte einer Aufgabe und deren Semantik hinterlegt sind. Der Mensch kommandiert über eine grafische Nutzerschnittstelle (GUI), die Instruktionen werden von einem Analyse- und Planungsmodul (APM) verarbeitet und der Mensch erhält Rückmeldungen über die geplanten Abläufe und aktuellen Systemzustände. Das APM hat Zugriff auf aufgabenspezifische Planer und entsprechende ausführbare Kommandos und schickt Zustandsdaten an das Event Handling, die durch die systemspezifischen Regelungsalgorithmen interpretiert werden. Über das Event Handling sind auch Interventionen/Modifikationen während der Aufgabenausführung möglich.

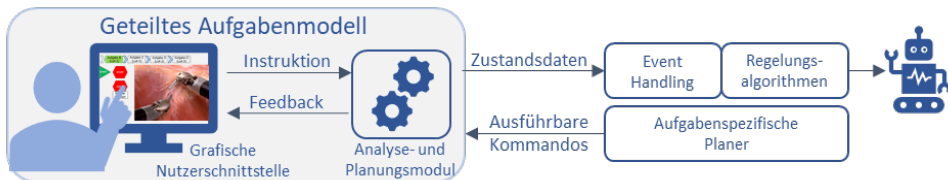


Abbildung 16.8: Software-Architektur für ein Konzept der flexiblen Autonomie (nach Miller et al. 2000)

Um den Anforderungen aus diversen Anwendungsszenarien gerecht zu werden, sollte es die Toolbox ermöglichen, einzelne Aufgabenmodule zu definieren, wobei der Automatisierungsgrad (DoA) entweder von Nutzer*innen vorgegeben wird (adaptierbare Autonomie) oder durch das System (adaptiv). Abbildung 16.9 (links) veranschaulicht skizzenhaft, welche Dimensionen im Ansatz der flexiblen Autonomie Berücksichtigung finden sollten. Dabei soll der gewählte Automatisierungsgrad entlang zentraler Evaluationskriterien bewertet werden und der Automatisierungsgrad ggf. angepasst werden (s. Abb. 16.9, rechts).

Die menschenzentrierte Gestaltung des Gesamtsystems folgt den einschlägigen Standards (Normenreihe **ISO 9241**: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion; insbesondere die **Teile 9241-110** und **-210** zu Interaktionsprinzipien, **-810** zu robotischen, intelligenten und autonomen Systemen und **-940** zur Evaluation taktile und haptischer Interaktionen). Neben der **Gebrauchstauglichkeit, Zuverlässigkeit und Flexibilität** des Gesamtsystems und **Systemvertrauen** (z. B. de Visser und Parasuraman 2011,

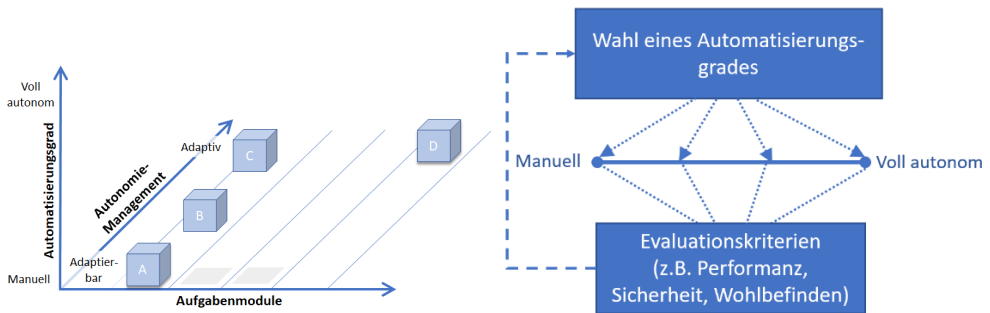


Abbildung 16.9: Links: Dimensionen des Ansatzes: Aufgabenmodule, Automatisierungsgrade und Autonomiemanagement; Rechts: Flowchart zur Anpassung des Automatisierungsgrades mithilfe von Evaluationskriterien (nach Parasuraman et al. 2000)

Lee und See 2004, Mostafa et al. 2015, Parasuraman et al. 2008) sollen zusätzlich einschlägige Metriken aus dem Bereich der Telerobotik und der Mensch-Autonomie-Interaktion ausschlaggebend für die empirische Evaluation des Ansatzes und seiner iterativen Optimierung sein.

Das Interaktionskonzept sowie das Interface werden so gestaltet, dass möglichst große Systemtransparenz und somit ausreichendes **Situationsbewusstsein** des teleoperierenden Menschen erzielt werden, d.h. der Mensch hat alle relevanten Aspekte der Situation im Blick, versteht deren Bedeutung und ist in der Lage die weitere Entwicklung der Situation vorwegzunehmen (z. B. Endsley et al. 1996, Endsley und Garland 2000). Zudem wird ein besonderes Augenmerk auf die **mentale Arbeitsbelastung** gelegt, die durch die Verarbeitung aller Informationen verursacht wird.

Neben dem primär kognitiv-orientierten Vermeiden von Arbeitsbelastung und Problemen der Gebrauchstauglichkeit muss auch das **Wohlbefinden der Nutzer*innen** in den Blick genommen werden. Nicht jede machbare und aus Sicht der Performanzoptimierung mögliche Verteilung von Aufgaben zwischen Mensch und Maschine ist aus Sicht des Menschen wünschenswert. Aus dieser Perspektive bestehen Aufgaben nicht nur aus für den Menschen oder die Maschine mehr oder weniger geeigneten Operationen, sondern aus für den Menschen mehr oder weniger **bedeutungsvollen** Operationen (Klapperich et al. 2020). Die Autonomie des Menschen ist per se ein zentrales Element von Wohlbefinden (z. B. Ryan und Deci 2000). Ein hohes Maß an

Autonomie erzeugt ein Gefühl der Kontrolle und Verursachung. Diese Ursachenzuschreibung, das Verantwortlich-Sein, ist wiederum wichtig für subjektive Zufriedenheit. Ziel im vorliegenden Ansatz ist es, gerade bei hohen Anteilen adaptiver Autonomie der technischen Unterstützung, diese so zu gestalten, dass sie die Bedeutung der Aktivität aus Sicht des Menschen möglichst wenig mindert oder im besten Fall noch erhöht. Eine Strategie ist es, die Operationen zu automatisieren, die *nicht* als unmittelbar sinnstiftend erlebt werden (Lenz et al. 2019). Beispielsweise, könnte das Nähen am Ende eines medizinischen Eingriffs von Chirurg*innen als kaum bedeutungsvoll erlebt und damit vom Roboter übernommen werden. Es wäre aber auch denkbar, dass dieser Operation als Abschluss des medizinischen Eingriffs eine besondere Bedeutung zukommt und somit durch den Roboter hervorgehoben und nur unterstützt werden sollte. Diese Perspektive des Wohlbefindens erfordert erweiterte Analyseansätze, wie beispielsweise Aufgabenanalysen, die sinnstiftende Operationen identifizieren, deren Ergebnisse wiederum in die Ausgestaltung des Modells fließen werden. ZENT-AUR erweitert also eine grundlegend performanz- und kognitiv-orientierte Perspektive auf die Allokation von Autonomie zwischen Mensch und Maschine explizit um eine bedeutungs- und emotional-orientierte Perspektive.

Die wesentlichen **Parameter und Konfigurationen des Gesamtmodells** sollen vorrangig in Laborstudien mit simulierten, generischen Robotersystemen untersucht und evaluiert werden. Zentrale Ergebnisse der Arbeiten sind ein elaboriertes und evaluiertes wissenschaftliches Modell und eine vielseitige, generische Toolbox der flexiblen Autonomie. Zielsetzung ist ein übertragbarer Ansatz der sich auf andere Anwendungen übertragen lässt, die sich Telerobotik bisher kaum oder gar nicht zunutze machen (Pflege, Erziehung, Bildung).

16.3.3 Umsetzung und Evaluation in den Domänen

Neben der Entwicklung des theoretischen Modells und der Toolbox, stellen die Umsetzung in den jeweiligen Domänen und die Durchführung von **Nutzer*innenstudien in praxisnahen Umgebungen** mit den DLR-Prototypen sowie dem kommerziellen Roboter TIAGo zentrale Arbeitsschritte dar.

1) Das telechirurgische System MiroSurge soll im Teleoperationsmodus, mit geteilter Kontrolle und einzelnen teilautonomen Schritten betrieben werden (z. B. sensorbasierte Gewebescans, Endoskopführung oder haptische Augmentierung von Trajektorien oder Verbotszonen). Welche Arbeitsschritte konkret assistiert werden, hängt hierbei von den Ergebnissen der Analysephase ab.

Die Studien können in Fortführung jahrelanger Kooperation mit klinischen Partnern unter realistischen Bedingungen an Modellen durchgeführt werden. Das MiTi kann hierbei Chirurgen aus diversen Fachdisziplinen (Viszeralchirurgie, Urologie und Gynäkologie) und unterschiedlichen Erfahrungen mit telechirurgischen Systemen rekrutieren. Für den gesamten Projektzeitraum werden 5-6 Chirurgen von Klinikum rechts der Isar für Interviews, Fokusgruppen, kleinere qualitative Studien zur Verfügung stehen. Für die Feldstudien im Experimental-OP des MiTi wird von einer Zahl von mindestens 20 bis zu 50 Chirurgen ausgegangen.

Zur technischen Umsetzung stehen grundlegende Technologiebausteine zur Verfügung. Das telechirurgische System MiroSurge mit diversem Instrumentarium bildet die Basis. Darauf aufbauend können verschiedene Ansätze zur Bewegungsskalierung, haptischer Augmentierung von statischen und dynamischen Systemgrenzen (z. B. Arbeitsraumgrenzen, Kollisionsvermeidung), anwendungsbezogene räumliche Virtual Fixtures (geometrische Primitive, beliebige Trajektorien und Oberflächen) und kraftbezogene Virtual Fixtures (z. B. Limitierung von Interaktionskräften beim Fadenzug) kombiniert werden, um kontextbezogen Arbeitsschritte mit verschiedenen Autonomiegraden zu gestalten. Zur Verdeutlichung der Interaktion mit räumlichen Virtual Fixtures von Verbotszonen dient Abbildung 16.10.

Der Autonomiegrad könnte in diesem Szenario verändert werden, indem das System die sensible anatomische Struktur selbst erkennt und daraufhin anbietet diese manuell oder selbstständig als Verbotszone zu aktivieren (A, B). Bei der weiteren Exposition der Struktur könnte autonom eine Erweiterung des Virtual Fixtures erfolgen. Übersteuert der Chirurg die haptische Verbotszone (C), wählt das System nach persönlichen Präferenzen oder anderen Kriterien die weitere Art der Augmentierung (D oder E). In ähnlicher Form könnte die Interaktion zur Durchführung sensor-basierter Gewebescans oder haptischen Führungen erfolgen.

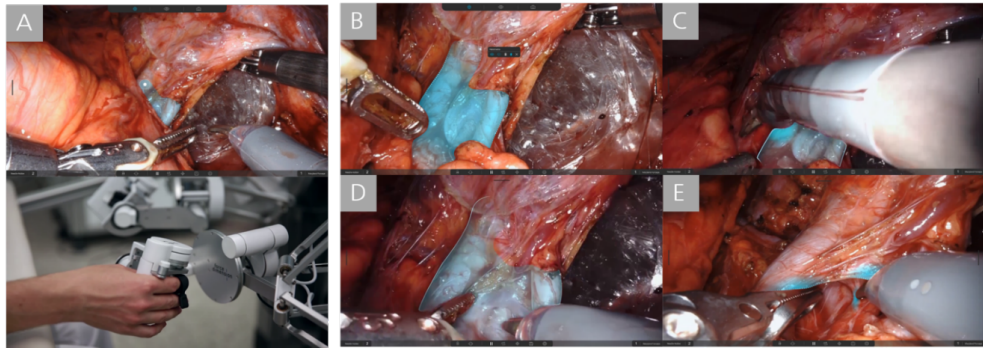


Abbildung 16.10: Interaktion zur Konfiguration einer haptisch augmentierten Verbotszone. A) Manuelle Markierung der anatomischen Struktur durch das Eingabegerät (DoA0); B) Manuelle Aktivierung der Verbotszone; C) Haptische und visuelle Augmentierung (DoA2); D) Visuelle Augmentierung (DoA1); E) Visuelle Augmentierung nur in Kontaktbereichen (DoA1).

2) Teleoperationssysteme für körperlich eingeschränkte Menschen (EDAN): Der Rollstuhlassistent EDAN kann vom Nutzenden sowohl im manuellen Modus, sowie mittels teilautonomer Unterstützung gesteuert werden. Die Teilautonomie hilft dem Nutzenden bei der Ausführung von Aktivitäten des täglichen Lebens. Derzeit existieren Unterstützungsfunktionen für das Öffnen von Türen und Schubladen, das Öffnen eines Kühlschranks, sowie das Einschenken eines Getränks aus einer Flasche in einen Becher mit anschließendem Trinken. Weitere teilautonome Fähigkeiten, wie z. B. das Bedienen einer Mikrowelle, sind derzeit in Entwicklung und können basierend auf den Ergebnissen der ersten Analysephase realisiert werden. Tätigkeiten, für die keine teilautonomen Fähigkeiten verfügbar sind, können im manuellen Steuerungsmodus ausgeführt werden. Um die MRI zu analysieren und zu verbessern, können im Rahmen

der Studien Steuerungsparameter des Systems an die Vorlieben der Nutzer*innen angepasst werden. Diese umfassen u.a. die Geschwindigkeit mit der der Roboter oder der Rollstuhl bewegt werden können und die automatische Aktivierung von Fähigkeiten auf Basis der Intentionserkennung.

In Kooperation mit der Caritas soll das System EDAN mit körperlich eingeschränkten Menschen erprobt und evaluiert werden. Hierbei bauen wir auf unseren Erfahrungen aus Studien mit unseren Pilotnutzer*innen auf. Da es sich bei den Proband*innen um Menschen mit starken körperlichen Einschränkungen handelt, muss das EDAN System für eine Studie an die Bedürfnisse der Nutzer*innen angepasst werden. Es bedarf hier unter anderem einer individuellen Anpassung des Rollstuhls, z. B. Anpassung und Auspolsterung des Sitzes, sowie der Anpassung der zu verwendenden Steuerungsschnittstelle (Joystick, Head-Array, Kinn-Joystick). Im Hinblick auf diesen Konfigurationsaufwand, und da die Nutzer das System und seine Steuerungsmodi zunächst kennenlernen müssen, ist es geplant die Studienteilnehmenden das System in mehreren sich wiederholenden Sessions benutzen zu lassen. Angedacht ist eine Gesamtzahl von mindestens 10 Probanden, signifikant größere Fallzahlen sind in diesem Kontext aufgrund des Anpassungsaufwands realistischweise nicht umsetzbar.

3) Autonomer Serviceroboter (TIAGo) mit Teleoperation: Der Serviceroboter TIA-Go kann flexibel zwischen Teleoperation bis hin zur überwachten Autonomie eingesetzt werden. Mit Fokus auf ein betreutes Wohnumfeld soll ein Szenario implementiert werden, in dem ein Mensch telerobotisch Bewohner und Pflegepersonal der Einrichtung bei alltäglichen Aufgaben unterstützt. Generell ist das System dafür ausgelegt viele Aufgabenschritte autonom zu lösen, der Teleoperator unterstützt zusätzlich bei komplexen Interaktionen mit der Umgebung oder sozial bzw. ethisch bedeutsamen Interaktionen mit dem Bewohner. Ein Beispiel hierfür wäre die Gabe von Medikamenten, für die das Fachpersonal verantwortlich zeichnet und die teleoperativ erfolgen sollte. Auch das regelmäßige Angebot, Getränke zu sich zu nehmen, spielt bei älteren Menschen eine wichtige Rolle und könnte in Form von Teleoperation mit einer sozialen Interaktion verbunden werden. Für die Durchführung der Feldstudien stehen nach aktuellem Stand von Seiten der Stiftung Liebenau bis zu 25 Einwohner*innen mit unterschiedlichem Pflegebedarf, eine Pflegefachkraft und 2-3 unterstützende Mitarbeiter*innen je Schicht zur Verfügung. Die qualitativen Vorstudien werden von 5 Pflegefachkräften

begleitet. Die quantitativen Feldstudien werden mit bis zu 20 Teleoperator*innen mit verschiedenen fachlichen Hintergründen durchgeführt.

4) Demonstration einer Teleoperations-Infrastruktur. Zukünftige Implementierungen von teleoperativen Systemen legen die Einrichtung von **Leitständen** nahe, von denen aus technisches oder medizinisches Fachpersonal die robotischen Systeme mit flexibler Autonomie steuern könnten. Das DLR verfügt bereits über eine solche Infrastruktur und im Rahmen von ZENT-AUR soll dieses Gesamtsystem exemplarisch demonstriert werden. Dies erlaubt auch die Durchführung eines Versuchs ohne Präsenz der Wissenschaftler*innen vor Ort.

16.4 Nachhaltigkeit und Verwertungsplan

- Das Kompetenzzentrum initiiert einen Innovationsberat und intensiviert die langjährige Kooperation mit Partnern aus Forschung und Industrie um Verwertungsstrategien vorzubereiten.
- Das DLR hat in der Vergangenheit zahlreiche Ausgründungen hervorgebracht.
- ZENT-AUR wird in Form eines Innovationshubs über die Projektlaufzeit hinweg verstetigt.
- DLR, RWU und Universität Siegen bringen ihre Erfahrungen aus RA2 (GINA, RobotKoop) zu Vernetzung und projektübergreifender Verwertung mit ein.

16.4.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Robotische Autonomie und Telerobotik sind breite Forschungsfelder. Die Fragen die entstehen, wenn reibungslos und intuitiv zwischen verschiedene Autonomiegraden gewechselt werden sollte, wurden bisher aber kaum erforscht – weder aus Sicht der robotischen Technologie noch der Mensch-Roboter Interaktion. Die skizzierten ZENT-AUR Konzepte werden mit **prototypischen sowie kommerziellen Robotersystemen** über **diverse Anwendungsdomänen** und **Nutzer*innengruppen** hinweg erprobt und evaluiert. Zentrale wissenschaftliche Errungenschaft wäre das Gesamtkonzept zum sicheren und reibungslosen Umschalten zwischen verschiedenen Kontrollmodi, welches in einer Vielzahl von Anwendungen einsetzbar wäre. Durch die geplanten qualitativen und quantitativen Studien können substantielle Forschungsbeiträge der

involvierten Disziplinen vorgelegt werden. Daraus können auch allgemeine Richtlinien bzw. Standards zur menschenzentrierten Gestaltung von Teleoperationssystemen und entsprechender Interaktionskonzepte abgeleitet werden.

Alle Zentrumspartner werden durch **umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit** zur Verbreitung der Forschungsergebnisse beitragen. Vorbild kann hier das “SMiLE” Projekt (Link; siehe Rubrik “Presse”) des DLR sein bei dem auch das System EDAN zum Einsatz kam oder auch das Weltraum-Projekt “Kontur-2” des DLR bei dem Roboter aus dem All teleoperiert wurden (Weber et al. 2019) und über das sogar in der Tagesschau berichtet wurde. Hierzu zählt auch der **Wissenstransfer** auf Fachkonferenzen, durch Fachpublikationen, aber auch durch Wissenstransfer mit Industriepartnern durch den Innovationsbeirat und andere bestehende Netzwerke (z. B. DIH-Hero) als Basis für zahlreiche zukünftige Forschungsprojekte im Zentrum. Durch die akademischen Partner des Zentrums kann eine **Integration des Forschungsprojekts in die Hochschullehre** (z. B. in “Human Factors”-Vorlesungen, Seminararbeiten, Abschlussarbeiten) und ggfs. gemeinsame Betreuung von **Promotionsarbeiten** durch Projektpartner*innen erfolgen.

Durch die Ergebnisse der mehrstufigen Versuchskampagnen (VR, Labor, Feldstudien) in drei Anwendungsszenarien entsteht eine umfangreiche, **systematisch aufbereitete Datenbasis**, die sowohl qualitative (Nutzerbefragungen, Fokusgruppen etc.) als auch quantitative empirische Ergebnisse (Experimente, Feldversuche) mit allen erhobenen Metriken umfasst. Zudem können auf Basis der Ergebnisse, **allgemeine Richtlinien** zur menschenzentrierten Gestaltung von Robotersystemen mit flexibler Autonomie und entsprechenden Interaktionskonzepten abgeleitet werden.

Der Ansatz ist für eine **Vielzahl von Entwicklungen im Bereich der Roboterassistenz** von Bedeutung, da viele autonom ausgelegte Systeme durch eine **teleoperative Rückfallebene** ihren Einsatzradius deutlich erweitern können und Autonomiefehler kompensieren können. Idealerweise ersetzt der Ansatz der flexiblen Autonomie den Techniker bzw. Wartungsingenieur vor Ort, wodurch überhaupt erst ein umfassender Einsatz in der Praxis denkbar ist. Zudem eröffnet sich in pflegerisch/ häuslichen Einsatzfeld (z. B. Quarantäne) die Option einer über den Roboter vermittelten Kontaktaufnahme durch Angehörige, Pfleger*innen und medizinisches Fachpersonal. Diese

Ergebnisse von ZENT-AUR sind sicherlich nicht nur für die Assistenzrobotik sondern ggf. auch für **andere Domänen** wie der Luftfahrt oder Automobilbereich **von Interesse**, die sich mit der MAI befassen. Hier arbeitet das DLR Institut für Robotik und Mechatronik bereits seit Jahren mit anderen DLR Instituten (Institut für Flugführung, Institut für Verkehrssystemtechnik, DLR Braunschweig) eng zusammen.

ZENT-AUR bietet darüber hinaus eine generische Plattform, die auch die **Steuerung multipler robotischer Systeme** (z. B. häusliche Pflege, Katastrophenschutz, etc.) von einem Leitstand als eine Erweiterung ermöglicht. Direkt verwertbar werden die Ansätze des Kompetenzzentrums auch in weiteren wissenschaftlichen Projekten wie der anstehenden **Weltraummission MARC-II** der Europäischen Raumfahrtagentur ESA, bei der auch das DLR Institut für Robotik und Mechatronik beteiligt ist. Hier sollen mehrere robotische Systeme in einem Szenario der planetaren Exploration in unterschiedlichen Kontrollmodi von Astronauten, die sich auf der ISS befinden, gesteuert werden.

Zentrale Plattform zur Verstetigung von ZENT-AUR wird ein “Innovationhub” für die kooperative Forschung mit anderen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern, basierend auf dem ZENT-AUR-Innovationsbeirats. Dieses Innovationshub bietet: 1) FE-Arbeiten im Bereich der Telerobotik, der flexiblen Autonomie und 2) empirische Evaluation von MRI-Konzepten mit der für ZENT-AUR entwickelten VR Testplattform, im Labor und in praxisnahen Umgebungen. Durch das große Netzwerk zu nationalen und internationalen Partnern und die Anwendungsnähe des Projekts, ist eine zukünftige Verwertung des in diesem Projekt entstehenden geistigen Eigentums realistisch. So hat das DLR **in der Vergangenheit bereits mehrfach erfolgreich Roboter-Technologien an weltweit renommierte Firmen aus diversen Domänen lizenziert**. Je nach Domäne und Marktreife der Systeme sind dabei unterschiedliche Verwertungspläne und Kunden denkbar. Das MIRO Innovation Lab des DLR stellt hierbei eine ideale Verwertungsplattform im Bereich der Chirurgie und DIH-HERO für gesamten Healthcare Bereich dar. Im Bereich Pflege und Assistenz bauen wir zudem auf die langjährige Kooperation mit Caritas und Franka Emika (einer DLR Ausgründung). Die Einbindung renommierter Firmen, die das Projekt ZENT-AUR während der gesamten Laufzeit in Form des **Innovationsbeirats** begleiten werden, werden hier einen großen Vorteil für die spätere Verwertung darstellen und diverse Spin-off Projekte könnten daraus entstehen.

Eine weitere mögliche Verwertungsstrategie eröffnet sich über **Ausgründungen**. Das DLR fördert solche Initiativen, so dass allein im Zeitraum seit 2003 zwölf Ausgründungen aus dem Institut für Robotik und Mechatronik zu verzeichnen sind.

16.4.2 Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit mit Zeithorizont

Kurzfristig (2-3 Jahre): ZENT-AUR ist ein führendes Zentrum als MRI Innovationhub geworden (basierend auf dem MIRO Innovation Lab des DLR) mithilfe des Innovationsbeirats und weiteren assoziierten Partnern aus den Anwendungsdomänen. Neue Systemlösungen im Bereich der flexiblen Autonomie werden generiert und an neue Einsatzfelder angepasst. Eine Infrastruktur bzw. ein Testzentrum für systematische Evaluationskampagnen (Human Factors und UX Bewertung) mit der entwickelten VR Umgebung, Labor und praxisnahen Testumgebungen (Chirurgie zusammen mit MiTi, Pflege zusammen mit Caritas) wurde aufgebaut. Der Innovationshub bietet Beratung/ Expertise zur Durchführung von Evaluationskampagnen im Feld.

Längerfristig (3-5 Jahre): Aus heutiger Sicht erscheint es sehr wahrscheinlich, dass sich schon mittelfristig Lizenzeinnahmen durch das entwickelte Gesamtkonzept erzielen lassen. Die kontaktierten und involvierten Industriepartner haben deutlich gemacht, dass eine Verwertung auch im industriellen Kontext sehr viel versprechend ist. Eine weitere wichtige Möglichkeit stellt hierbei die Ausgründung von Start-Up-Firmen aus dem Kompetenzzentrum, die Teilergebnisse vom DLR lizenzieren und zur Marktreife bringen, dar. Damit könnte ein größeres Ökosystem geschaffen werden, das letztendlich zum langfristigen marktwirtschaftlichen Erfolg der Assistenzrobotik in der Zukunft beiträgt.

Langfristig (>5 Jahre): Durch den demografischen Wandel und wachsenden Mangel an Fachpersonal in Pflege, Medizin und Betreuung ist mit einer zunehmenden Nachfrage an Roboterlösungen zu rechnen und dem Thema des Kompetenzzentrums kommt auch langfristig eine große Bedeutung zukommen.

16.5 Struktureller Aufbau des Verbundes

16.5.1 Bisherige Arbeiten und Vorerfahrungen der Verbundpartner

Das **Institut für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)** ist seit Jahrzehnten die **international anerkannte deutsche Adresse für angewandte Roboterforschung**. Durch nationale und internationale Kooperationen ist das RMC in ein weites Robotik-Netzwerk eingebunden. Das Institut für Robotik und Mechatronik kann auf die Erfahrung **mehrerer erfolgreicher Weltraummissionen** zurückgreifen. So wurde bereits 1993 im Rahmen des ROTEX Experiments, zum ersten Mal ein Roboter im Space Shuttle von der Erde aus teleoperiert und der Roboter war zudem in der Lage autonome Greifoperationen durchzuführen (Hirzinger et al. 1994). Im Projekt Kontur-1 wurde 2005 ein zweiachsiger Roboterarm ROKVISS an der Außenhülle der ISS montiert und mit Krafrückkopplung teleoperiert (Hirzinger et al. 2005). Ähnliche Experimente wurden 2015 im Kontur-2 Experiment durchgeführt, in dem verschiedene Roboter auf der Erde von der ISS aus gesteuert wurden (Artigas et al. 2016, Weber et al. 2019). In der Mission METERON SUPVIS wurde die Teleoperation von Robotern auf eine neue Ebene gebracht, indem die Autonomie des Roboters in den Vordergrund gestellt wurde. Mittels eines Tabletcomputers gelang es z. B. Alexander Gerst auf der ISS den humanoiden Roboter Rollin' Justin in den Laboren des Instituts für Robotik und Mechatronik fernzusteuern (Schmaus et al. 2018). Diese Entwicklungen finden auch terrestrischen Einsatz, zum Beispiel in der industriellen Produktion, Arbeiten in schwer zugänglicher Umgebung, sowie im Service-, Gesundheits- und Assistenzbereich. Zentrales Element der Robotikforschung ist der im Institut entwickelte **nachgiebige Leichtbauroboter**. Diese Technologie ermöglicht eine sichere physische MRI. Das Institut verfügt über vielfältige, teils anthropomorphe Systeme, die diverse Autonomiefunktionen haben, aber auch teleoperativ gesteuert werden können. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf **Robustheit und Intuitivität der teleoperativen Systeme** gelegt. Diese Steuerungsmodalitäten wurden z. B. im **Projekt „SMiLE“** im Bereich Assistenzrobotik eingesetzt. In diesem Projekt wurden praxisnahe Evaluationen der DLR Robotersysteme im Kontext der Pflege durchgeführt. **Erste Versuche zu den Teilautonomiefunktionen** des Systems EDAN wurden bislang mit Versuchspersonen mit spinaler Muskelatrophie durchgeführt. Weiterführende

Studien im Pflegeheim sind in Planung, bei denen auch das DLR-Robotersystem JUSTIN zum Einsatz kommen soll (s. Abb. 16.11, Bsp. des Projekts „SMiLE“).



Abbildung 16.11: Injektion (l.), Bettenaufbereitung (r.) in Teleoperation bzw. mit geteilter Kontrolle durchgeführt.

Ähnliche Studien wurden in der Vergangenheit auch mit dem **Telechirurgie-System MIRO** durchgeführt. Das RMC kann neben den Erfahrungen mit Teleoperationssystemen für diverse Anwendungsdomänen auch die für das geplante Projekt zentralen Technologien vorweisen. Hierzu zählt vorwiegend die semantische Zustandsschätzung, d.h. das generelle Verständnis was die Aktionen, die vom Roboter ausgeführt werden, bedeuten. Diese bildet die Grundlage für das nahtlose Umschalten zwischen den Autonomieebenen. Weiterhin können die durch Teleoperation durchgeführten Aktionen durch Methoden des maschinellen Lernens (z. B. Lernen durch Demonstration) generalisiert werden und somit in ähnlichen Situationen auch durch andere Robotersysteme (z. B. Tiago) ausgeführt werden.

Das Institut für KI (IKI) der Hochschule Ravensburg-Weingarten (Prof. Schneider) kann auf über zwanzig Jahre Erfahrung mit Anwendungen des maschinellen Lernens in den verschiedensten Gebieten wie etwa Medizin, Maschinenbau, Robotik, etc. zurückgreifen. Im ZAFH Servicerobotik zur Entwicklung und Erprobung von intelligenten mobilen Servicerobotern wurde das Innovationsthema Alltagstauglichkeit von Servicerobotern erschlossen und stark weiterentwickelt. Der Einsatz von künstlicher Intelligenz ermöglichte es das Verhalten von Servicerobotern zu lernen, wodurch sich diese adaptiv an ihre Umgebung anpassen können. Weiter beschäftigte sich das Projekt mit der Verifikation von Sicherheitseigenschaften bei autonomen Systemen. Der ZAFH Servicerobotik wird über die Förderphase hinaus als Exzellenzcluster weitergeführt und dient weiterhin als Anlaufstelle und Ansprechpartner für das Innovationsthema alltagstaugliche Serviceroboter. Im Projekt RABE wurde, speziell für die stationäre Langzeitpflege, ein intelligenter Rollator entwickelt, welcher sowohl die Pflegekräfte entlasten, als auch den Bewohnern der Pflegeheime ein autonomeres Leben ermöglicht.

Durch einen eingebauten Elektromotor unterstützt der RABE-Rollator das Bewältigen längerer Strecken, Überwinden von Gefällen und erleichtert den Transport von Zuladung. Mittels entsprechender Sensorik und der Fähigkeit zur Navigation soll der Rollator darüber hinaus auch autonom kurze Strecken zurücklegen können. Zum Beispiel kann der Rollator nachts, oder wenn die Benutzer*in beim Essen ist, eine Parkposition aufsuchen. Auch kann er die Benutzer*in an bestimmte vordefinierte Orte führen. Im AsRoBe Projekt (Assistenzroboter für Menschen mit körperlicher Behinderung) wurde vor dem Hintergrund des demographischen Wandels untersucht, ob mobile Serviceroboter für Menschen mit körperlicher Behinderung eine Hilfe sein können.

Prof. Dr. Sabine Maasen ist Inhaberin der Professur für Wissenschafts- und Innovationsforschung, die im Rahmen der Exzellenzstrategie zur Stärkung des Transferbereichs an der **Universität Hamburg** geschaffen wurde. Ihre Forschungsarbeiten richten sich erstens auf neue Formen der gesellschaftlich verantwortlichen Wissensproduktion (Inter-, Transdisziplinarität, Partizipation), zweitens auf den Zusammenhang von forcierter Innovationstätigkeit und gesellschaftlicher Legitimation von Forschung (neuer Gesellschaftsvertrag mit der Wissenschaft) und drittens auf wissenschafts- und technologiebezogene Aspekte der Selbst- und Fremdregulierung des Körpers (Neurogouvernementalität, Soziale Robotik). Gleichzeitig ist sie wissenschaftliche Direktorin der TransferAgentur (<https://www.uni-hamburg.de/transfer.html>), die das Ziel verfolgt, den Austausch zwischen wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Akteurinnen und Akteuren zu beleben. Kernbereiche der TransferAgentur sind Themen der Innovation und Gründung, der Bildung und Qualifizierung aber auch der ko-kreativen Forschung und des gesellschaftlichen Engagements. Die übergreifende Vision besteht darin, die vielfältigen Wechselwirkungen von Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft sowohl zu beforschen als auch zu gestalten.

Prof. Dr. Marc Hassenzahl ist Professor für „Ubiquitous Design“ in der Wirtschaftsinformatik an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Siegen. Die Arbeitsgruppe (10 Designer*innen, 2 Psycholog*innen, eine Informatikerin, ein Techniker) beschäftigt sich sowohl wissenschaftlich als auch praktisch mit der Gestaltung interaktiver Produkte. Dies umfasst den vollständigen Prozess, also sowohl methodische Aspekte der benutzerzentrierten Analyse und Evaluation (sozialwissenschaftlich fundierte Durchführung und Analyse von Befragungen, Beobachtungen) als auch konkretes Erlebnis- und Interaktionsdesign. Teilbereiche des von Prof. Hassenzahl mitentwickelten „Experience Designs“ und des wohlbefindensorientierten Gestaltungsansatzes werden in mehreren aktuellen und vergangenen Projekten des BMBF gefördert, z. B. GINA (das Begleitforschungsprojekt der Förderlinie RA2), Sympartner (Entwicklung eines Social-Companion-Roboters), NoStress (Entspannung durch VR), HIVE (Begleitforschung zu NoStress), Nähe auf Distanz (Partizipative Entwicklung von Verbundenheitstechnologien) und e-VITA (Wohlbefinden im Alter). Außerdem finden seine Arbeiten Einsatz in Wirtschaftskooperationen mit z. B. Honda (Telerobotik in der Pflege) oder Siemens Healthcare (Arbeitszufriedenheit im Gesundheitswesen). Die Arbeitsgruppe veröffentlicht kontinuierlich auf hochwertigen, internationalen Konferenzen in der HCI und im Design, sowie in ausgezeichneten Journals.

Prof. Dr. Linda Onnasch leitet das Fachgebiet Ingenieurpsychologie an der Humboldt-Universität zu Berlin mit aktuell sechs Mitarbeitenden und weiteren assoziierten Wissenschaftler*innen. Die Forschung von Frau Onnasch umfasst die Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) und die Mensch-Automation-Interaktion (MAI). Im Bereich der MRI forscht das Fachgebiet an der Wirksamkeit von Anthropomorphismus als Gestaltungselement der MRI. Im Bereich der MAI geht es vor allem um Fragen der flexiblen Automationsgestaltung und den Einfluss adaptiver und adaptierbarer Assistenzsysteme auf Leistung, Vertrauen und Aufmerksamkeit. Frau Prof. Onnasch hat bereits in diversen nationalen und internationalen Forschungsprojekten mitgewirkt. Unter anderem hat sie die Forschungsprojekte „Ethische und soziologische Aspekte der Mensch-Roboter-Interaktion“ sowie „Team-Mental-Models in Mensch-Roboter-Teams: Einsatzszenarien und Stand der Technik“ für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsgesundheit (BAuA) geleitet, im EU-Projekt „HoliDes – Holistic Human

Factors and System Design of Adaptive Cooperative Human-Machine Systems“ (Artemis) sich mit der Gestaltung und Evaluation technischer Systeme im Automobil-, Luftfahrt-, Leitwarten- und Medizintechniksektor beschäftigt. Aktuell ist Sie PI in den BMBF-geförderten Projekten „CUBES Circle“, in dem es um eine technische Lösung der Nahrungsmittelproduktion der Zukunft geht (Fokus menschenzentrierte Gestaltung) und im Projekt „RoMi - Roboterunterstützung bei Routineaufgaben zur Stärkung des Miteinanders in Pflegeeinrichtungen“. Die Arbeitsgruppe veröffentlicht kontinuierlich auf internationalen Konferenzen (z. B. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting), sowie in ausgezeichneten wissenschaftlichen Zeitschriften (z. B. International Journal of Social Robotics, Human Factors, ACM Transactions on Human-Robot Interaction).

16.5.2 Funktion der einzelnen Partner im Zentrum und Beschreibung der geplanten Umsetzungskette im Projekt

Das DLR (Institut für Robotik und Mechatronik) fungiert als Zentrums-koordinator, ist zuständig für Vernetzung und die Etablierung eines Innovationsbeirats (AP1). In AP2 werden der Anwendungskontext und Anforderungen psychologisch (Humboldt-Univ. Berlin, HU und Univ. Siegen, US) und aus Perspektive verantwortlicher Forschung und Innovation (Univ. Hamburg, UH) analysiert und bewertet. DLR und die Hochschule Ravensburg-Weingarten (RWU) sind die beiden technischen Partner des Zentrums, die vorrangig die Robotersysteme für die geplanten Studien anpassen und geeignete Autonomiefunktionen implementieren. Diese Partner werden technische Anforderungen in AP 2 identifizieren. Zudem passen DLR und RWU die Robotersystem in AP3 entsprechend an. HU, US und UH sind federführend bei der Entwicklung des theoretischen Gesamtmodells der flexiblen Autonomie, wobei RWU (Prof. Graef) sich vor allem der Konzeption der Nutzerschnittstelle widmet. Auf Basis der Ergebnisse aus AP 2 und 4 wird das DLR eine generische Toolbox vom DLR in AP5 entwickelt und implementiert. Die beiden technischen Partner sind in AP6 dafür zuständig, die Testszenarien in Labor und Feld umzusetzen und alle Partner sind bei der Durchführung der Studien und der Dokumentation der Ergebnisse involviert.

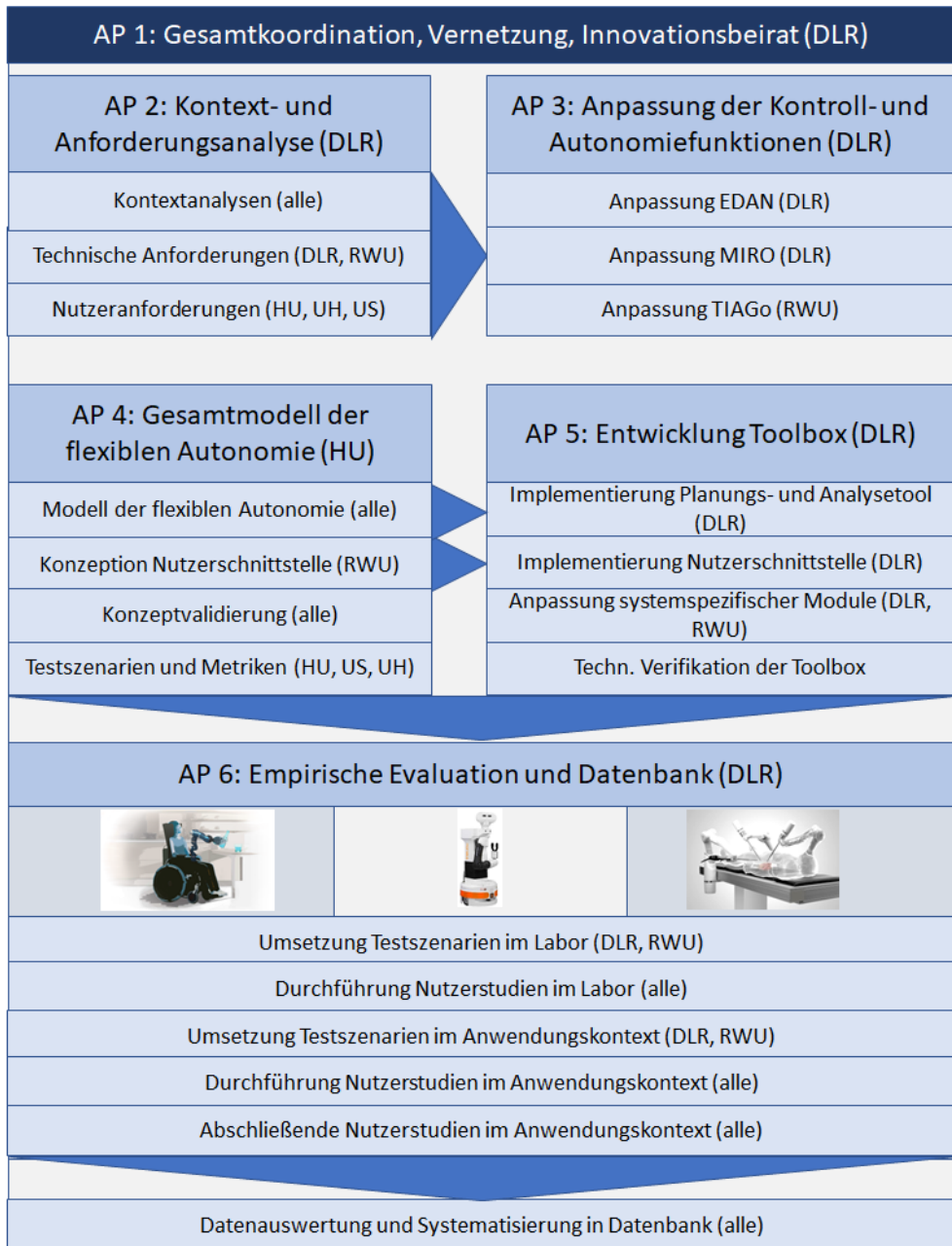


Abbildung 16.12: Umsetzungskette im Projekt.

16.5.3 Einbindung weiterer Akteure

Caritas-Verband der Erzdiözese München und Freising. Im Bereich der Assistenz für Menschen mit Behinderung führt das DLR die erfolgreiche Kooperation mit der Caritas fort (s. LoI). Die Caritas bietet für Menschen mit Behinderung unterschiedliche Wohnformen an. Das ambulant betreute Wohnen wurde für Menschen mit geistiger und/oder körperlicher Behinderung eingerichtet, die alleine oder mit einem Partner in einer Wohnung leben und dabei Unterstützung benötigen. Die Häuser sind Wohnangebote mit Begleitung, Betreuung, Förderung und Pflege für Menschen mit körperlichen und mehrfachen Behinderungen unterschiedlichen Alters. In den Betreuungseinrichtungen sollen die geplanten Feldstudien durchgeführt werden und ausgewählte Angestellte der Einrichtungen bzw. körperlich eingeschränkte Patienten werden während der gesamten Projektlaufzeit die Entwicklungen z. B. in Form von Fokusgruppen, Interviews etc. begleiten.

Forschungsgruppe für minimal-invasive interdisziplinäre therapeutische Intervention (MITI). Eine enge und jahrelange Kooperation besteht auch zwischen dem Institut für Robotik und Mechatronik (DLR) und dem MiTi (s. LoI). Das MiTi ist eine interdisziplinäre Forschungsgruppe am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München, die innovative diagnostische Verfahren und therapeutische Lösungen für die minimal-invasive Chirurgie entwickelt. Seit der Gründung durch Prof. Dr. med. Hubertus Feussner im Jahre 1999 legt MITI großen Wert auf Interdisziplinarität. Kompetenzen aus Ingenieurwissenschaften, Industrie und Klinik treffen im MITI aufeinander, so dass ein Know-How-Zentrum für Medizintechnik entstanden ist. Bei der Forschungsarbeit legt MITI besonderen Wert auf die Tauglichkeit und Anwendbarkeit der Entwicklungen im klinischen Alltag. Dies wird bei jedem Projekt durch die enge Zusammenarbeit von Ingenieuren und klinisch tätigen Ärzten erreicht. Das DLR richtet zusammen mit dem MiTi einen Experimental-OP am Klinikum rechts der Isar ein, stellt Chirurgen als projektleitende Berater für ZENT-AUR ab und organisiert die Chirurg*innenrekrutierung für die Feldstudien und deren Durchführung.

Stiftung Liebenau. Die Stiftung Liebenau ist eine kirchliche Stiftung privaten Rechts mit rund 40 Tochtergesellschaften, Beteiligungen verschiedener Art und mehreren selbstständigen Stiftungen. Im Verbund mit der Stiftung Hospital zum Heiligen

Geist (Kisslegg) ist sie in Deutschland, Österreich, Italien, Bulgarien, der Schweiz und der Slowakei tätig. Die Stiftung Liebenau setzt sich für die größtmögliche Selbstbestimmung und Teilhabe aller Menschen am gesellschaftlichen Leben ein. Entsprechend ist die Stiftung in fünf Aufgabenfeldern tätig: Bildung, Gesundheit, Pflege und Lebensräume, Teilhabe und Familie und Service und Produkte. Bis zu 30 000 Menschen nehmen jährlich deren Leistungen in Anspruch oder engagieren sich in der Stiftung. Gemeinsam mit vielen Partnern im In- und Ausland sollen die Rahmenbedingungen sozialer Arbeit weiterentwickeln und die Lebenssituation der begleiteten Menschen verbessert werden. Die geplanten Feldstudien mit dem TIAGO System sollen im Haus Magdalena (Ehningen, Kreis Böblingen) durchgeführt werden.

Für den **Innovationsbeirat**, der die Arbeiten des Kompetenzzentrums kontinuierlich begleiten und darüber hinaus verstetigen soll, konnten bereits ArtiMinds, ABB Automation, Kinova, Medtronic, Storz und die Stiftung Kath. Familien- und Altenpfliegewerk gewonnen werden. Die gewonnen Partner haben die große Relevanz des Themas des Kompetenzzentrums für ihre industriellen Anwendungen bzw. Systeme hervorgehoben (siehe LoIs). Darüber hinaus soll während der Projektlaufzeit weitere Partner eingebunden werden, die hier kurz aufgelistet sind (bestehende Kooperationen mit * markiert):

Medizin. *Klinisch-wissenschaftliche Partner:* Klinikum rechts der Isar*, TUM-CAMP*, Universitätsklinikum Freiburg*. *Medizinisch-technische Netzwerke:* MedTechPharma e.V.*; MedicalValley (Multiplikatoren). *Dt. Roboterhersteller für Medizinanwendungen:* KUKA Medical Robotics*, Siemens-Healthineers, avateramedical, Wälischmiller, AKTORmed, etc. *Internationale Unternehmen für Assistenzrobotik in der teleoperierten Laparoskopie:* Intuitive Surgical, Cambridge Medical Robotics, Distal Motion, Senhance Transenterix, etc. Weitere zahlreiche Kontakte können über das vom DLR gegründeten MIRO Innovation Lab und durch die Kernpartnerschaft im europäischen Digital Innovation Hub – Healthcare Robotics (DIH-HERO) aufgebaut werden.

Pflege/Assistenz: Orthopädieforum Erlangen*, KBZO*, ottobock*

Kontakte/ Kooperationen mit Herstellern von Robotersystemen wie z. B.:

PAL Robotics S.L.

Shadow Robot Company

KUKA AG

ABB Ltd

FRANKA EMIKA GmbH

KARL STORZ SE & Co. KG

Kinova Robotics

ArtiMinds Robotics GmbH

Robert Bosch GmbH

Softbank K.K.

Mojin Robotics GmbH

Syntegon Technology GmbH

Agile Robots AG

16.5.4 Zusammenarbeit mit dem Transferprojekt

Das Transferprojekt soll aktiv beim Wissenstransfer bzgl. Evaluationsmethoden und Metriken unterstützt werden. Durch die drei Anwendungsdomänen kann ZENT-AUR wichtige Beiträge zur Generalisierbarkeit von Metriken, ELSI Aspekten und Benchmarks beisteuern.

Auch bei den avisierten jährlichen Wettbewerben kann ZENT-AUR durch die Vielseitigkeit des Lösungsansatzes und die Einbindung des Menschen via Teleoperation sicherlich eine Schlüsselrolle spielen. Generell könnte der Fokus von ZENT-AUR sich als äußerst interessante und komplementäre Perspektive zu den anderen Projekten erweisen, die vorrangig die Interaktion zwischen autonomem Roboter und Mensch in der direkten Umgebung betrachten. Hier könnten sich schon innerhalb der RA3 Laufzeit starke Synergien ergeben. Das DLR hat z. B. schon in der Vergangenheit die Teleoperationstechnologie zusammen mit dem Fraunhofer Institut in Stuttgart auf dem Care-o-Bot System demonstriert.

Eine Datenbasis soll erstellt werden, in der die Ergebnisse aus allen drei Domänen integriert werden sollen. Diese Datenbasis könnte im engen Austausch mit dem Transferprojekt gestaltet und generisch aufgesetzt werden, so dass auch die anderen Projekte diese nutzen könnten. Das DLR hat zudem verschiedenen OS-Entwicklungen vorzuweisen (z. B. LN Manager, RAFCON) die voraussichtlich auch in ZENT-AUR Verwendung finden werden und zur Verfügung gestellt werden können.

ZENT-AUR kann eine Schlüsselfunktion bei der Unterstützung des projektübergreifenden Wissenstransfers einnehmen, da innerhalb des Projekts eine Synthese dreier Anwendungsszenarien erfolgt. Darüber hinaus bringt das DLR Vorerfahrung durch technische Begleitung in RA2 (GINA-Technik), die Hochschule Ravensburg-Weingarten als technischer Partner in RA2 RobotKoop und die Universität Siegen als Verbundkoordinator von GINA mit ein. Generell, kann das DLR zahlreiche Kontakte im Bereich Robotik einbringen und verfügt über jahrzehntelange Kompetenzen im Bereich Lizenzierung/ Technologie-Transfer.

Literaturverzeichnis

- Jordi Artigas, Ribin Balachandran, Cornelia Riecke, Martin Stelzer, Bernhard Weber, Jee-Hwan Ryu, und Alin Albu-Schaeffer. Kontur-2: force-feedback teleoperation from the international space station. In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1166–1173. IEEE, 2016.
- Aleks Attanasio, Bruno Scaglioni, Elena De Momi, Paolo Fiorini, und Pietro Valdastri. Autonomy in surgical robotics. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 4:651–679, 2021.
- Georg Bartels, Ingo Kresse, und Michael Beetz. Constraint-based movement representation grounded in geometric features. In *2013 13th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, pages 547–554. IEEE, 2013.
- Charles E Billings und D D Woods. Concerns about adaptive automation in aviation domains. In *Human performance in automated systems: Current research and trends*, pages 24—29. Erlbaum, 1994.
- Andreas Birk und Max Pfungsthorn. A HMI supporting adjustable autonomy of rescue robots. In *Robot Soccer World Cup*, pages 255–266. Springer, 2006.
- Stuart A Bowyer, Brian L Davies, und Ferdinando Rodriguez y Baena. Active constraints/virtual fixtures: A survey. *IEEE Transactions on Robotics*, 30(1): 138–157, 2013.
- Yue Chang, Zecheng Du, und Jie Sun. Dangerous behaviors detection based on deep learning. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition*, pages 24–27, 2019.
- Caitlyn Clabaugh und Maja Matarić. Escaping oz: Autonomy in socially assistive robotics. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 2:33–61, 2019.
- Ewart de Visser und Raja Parasuraman. Adaptive aiding of human-robot teaming: Effects of imperfect automation on performance, trust, and workload. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 5(2):209–231, 2011.

- John V Draper. Teleoperators for advanced manufacturing: Applications and human factors challenges. *International Journal of Human Factors in Manufacturing*, 5(1): 53–85, 1995.
- Mica R Endsley und Daniel J Garland. *Situation awareness analysis and measurement*. CRC Press, 2000.
- Mica R Endsley, Raja Parasuraman, und M Mouloua. Automation and situation awareness in automation and human performance: Theories and applications, pages 163 – 181, 1996.
- Philipp Ertle, Holger Voos, und Dirk Söffker. Utilizing dynamic hazard knowledge for risk sensitive action planning of autonomous robots. In *2012 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments Proceedings*, pages 162–167. IEEE, 2012.
- Ulrike Felt. Responsible research and innovation. *Handbook of genomics, health and society*, 2018.
- Caelan Reed Garrett, Chris Paxton, Tomás Lozano-Pérez, Leslie Pack Kaelbling, und Dieter Fox. Online replanning in belief space for partially observable task and motion problems. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 5678–5684. IEEE, 2020.
- Anna-Lena Gölz. *Robotik in der Chirurgie-Ein reziproker Systemansatz*. PhD thesis, Hochschule für Gestaltung Schwäbisch Gmünd, 2020.
- Deepak E Gopinath und Brenna D Argall. Active intent disambiguation for shared control robots. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(6):1497–1506, 2020.
- Birgit Graf. Assistenzroboter für die Pflege. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 53(7):608–614, 2020.
- Sami Haddadin. *Towards safe robots: approaching Asimov’s 1st law*, volume 90. Springer, 2013.

- Tamás Haidegger. Autonomy for surgical robots: Concepts and paradigms. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 1(2):65–76, 2019.
- Marc Hassenzahl. Experience design: Technology for all the right reasons. *Synthesis lectures on human-centered informatics*, 3(1):1–95, 2010.
- Marc Hassenzahl, Kai Eckoldt, Sarah Diefenbach, Matthias Laschke, Eva Len, und Joonhwan Kim. Designing moments of meaning and pleasure. experience design and happiness. *International journal of design*, 7(3), 2013.
- Alberto Hata, Rafia Inam, Klaus Raizer, Shaolei Wang, und Enyu Cao. AI-based safety analysis for collaborative mobile robots. In *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pages 1722–1729. IEEE, 2019.
- Gerd Hirzinger, Bernhard Brunner, Johannes Dietrich, und Johann Heindl. Rotex—the first remotely controlled robot in space. In *Proceedings of the 1994 IEEE international conference on robotics and automation*, pages 2604–2611. IEEE, 1994.
- Gerd Hirzinger, Klaus Landzettel, Detlef Reintsema, Carsten Preusche, Alin Albu-Schäffer, Bernd Rebele, und Matthias Turk. Rokviss-robotics component verification on ISS. In *Proc. 8th Int. Symp. Artif. Intell. Robot. Autom. Space (iSAIRAS)(Munich 2005) p. Session2B*, 2005.
- Aidan Hogan, Eva Blomqvist, Michael Cochez, Claudia D’amato, Gerard De Melo, Claudio Gutierrez, Sabrina Kirrane, José Emilio Labra Gayo, Roberto Navigli, Sebastian Neumaier, et al. Knowledge graphs. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(4):1–37, 2021.
- Siddarth Jain und Brenna Argall. Recursive bayesian human intent recognition in shared-control robotics. In *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 3905–3912. IEEE, 2018.
- Sein Jang, Lkhagvadorj Battulga, und Aziz Nasridinov. Detection of dangerous situations using deep learning model with relational inference. *Journal of Multimedia Information System*, 7(3):205–214, 2020.

- Meng Jiang. Improving situational awareness with collective artificial intelligence over knowledge graphs. In *Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Domain Operations Applications II*, volume 11413, page 114130J. International Society for Optics and Photonics, 2020.
- Holger Klapperich, Alarith Uhde, und Marc Hassenzahl. Designing everyday automation with well-being in mind. *Personal and Ubiquitous Computing*, 24(6):763–779, 2020.
- Julian Klodmann, Christopher Schlenk, Szilvia Borsdorf, Roland Unterhinninghofen, Alin Albu-Schäffer, und Gerd Hirzinger. Robotische Assistenzsysteme für die Chirurgie. *Der Chirurg*, 91(7):533–543, 2020.
- Lars Kunze, Nick Hawes, Tom Duckett, Marc Hanheide, und Tomáš Krajník. Artificial intelligence for long-term robot autonomy: A survey. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4):4023–4030, 2018.
- Tilman Laubert, Hamed Esnaashari, Paul Auerswald, Anna Höfer, Michael Thomaschewski, Hans-Peter Bruch, Tobias Keck, und Claudia Benecke. Conception of the Lübeck Toolbox curriculum for basic minimally invasive surgery skills. *Langenbeck's Archives of Surgery*, 403(2):271–278, 2018.
- John D Lee und Katrina A See. Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1):50–80, 2004.
- Daniel Sebastian Leidner. *Cognitive reasoning for compliant robot manipulation*. Springer, 2019.
- Eva Lenz, Marc Hassenzahl, und Sarah Diefenbach. How performing an activity makes meaning. In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–6, 2019.
- C Miller, Michael Pelican, und Robert Goldman. ‘Tasking’ interfaces for flexible interaction with automation: Keeping the operator in control. In *Proceedings of the Conference on Human Interaction with Complex Systems*, pages 123–128. HICS Urbana-Champaign, IL, 2000.

- Christopher A Miller und Raja Parasuraman. Designing for flexible interaction between humans and automation: Delegation interfaces for supervisory control. *Human factors*, 49(1):57–75, 2007.
- Salama A Mostafa, Mohd Sharifuddin Ahmad, Azhana Ahmad, Muthukkaruppan Anamalai, und Saraswathy Shamini Gunasekaran. An autonomy viability assessment matrix for agent-based autonomous systems. In *2015 International Symposium on Agents, Multi-Agent Systems and Robotics (ISAMSR)*, pages 53–58. IEEE, 2015.
- Salama A Mostafa, Mohd Sharifuddin Ahmad, und Aida Mustapha. Adjustable autonomy: a systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*, 51(2): 149–186, 2019.
- Raja Parasuraman, Thomas B Sheridan, und Christopher D Wickens. A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30(3):286–297, 2000.
- Raja Parasuraman, Thomas B Sheridan, und Christopher D Wickens. Situation awareness, mental workload, and trust in automation: Viable, empirically supported cognitive engineering constructs. *Journal of cognitive engineering and decision making*, 2(2):140–160, 2008.
- Thomas M Roehr und Yuping Shi. Using a self-confidence measure for a system-initiated switch between autonomy modes. In *Proceedings of the 10th international symposium on artificial intelligence, robotics and automation in space, Sapporo, Japan*, pages 507–514, 2010.
- Richard M Ryan und Edward L Deci. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1):68, 2000.
- Paul Schermerhorn und Matthias Scheutz. Dynamic robot autonomy: Investigating the effects of robot decision-making in a human-robot team task. In *Proceedings of the 2009 international conference on multimodal interfaces*, pages 63–70, 2009.
- Peter Schmaus, Daniel Leidner, Thomas Krüger, Andre Schiele, Benedikt Pleintinger, Ralph Bayer, und Neal Y Lii. Preliminary insights from the meteron supvis justin

- space-robotics experiment. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4):3836–3843, 2018.
- Rene Schomberg. A vision of responsible research and innovation. *Responsible Innovation: Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society*, pages 51–74, 2013.
- Reid Simmons, David Apfelbaum, Dieter Fox, Robert P Goldman, Karen Zita Haigh, David J Musliner, Michael Pelican, und Sebastian Thrun. Coordinated deployment of multiple, heterogeneous robots. In *Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000)(Cat. No. 00CH37113)*, volume 3, pages 2254–2260. IEEE, 2000.
- Bernhard Weber. *Context inquiry on robot-assisted minimally-invasive surgery*. Interner DLR Bericht, 2013.
- Bernhard Weber, Anja Hellings, Andreas Tobergte, und Martin Lohmann. *Human performance and workload evaluation of input modalities for telesurgery*. GfA Press, 2013.
- Bernhard Weber, Ribin Balachandran, Cornelia Riecke, Freek Stulp, und Martin Stelzer. Teleoperating robots from the international space station: Microgravity effects on performance with force feedback. In *2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 8144–8150. IEEE, 2019.
- Barbara Weber-Fiori, Benjamin Stähle, Steffen Pfiffner, Benjamin Reiner, Wolfgang Ertel, und 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.
- Minji Yoon, Bryan Hooi, Kijung Shin, und Christos Faloutsos. Fast and accurate anomaly detection in dynamic graphs with a two-pronged approach. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, page 647–657, 2019.

Die Leistungsfähigkeit und Flexibilität von aktuellen Robotertechnologien machen deren Einsatz auch zunehmend im Alltag möglich. Allerdings ergeben sich dabei einige Herausforderungen: Sicherheit, rechtliche Rahmenbedingungen, Zuverlässigkeit, aber auch Geschäftsmodelle müssen im Alltag unter speziellen, erschwerten Bedingungen betrachtet werden. Darüber hinaus sind die Akzeptanz sowie die Interaktion zwischen Mensch und Roboter von zentraler Bedeutung für den Erfolg. In diesem Sammelband werden 15 Studien aus der BMBF Förderlinie "Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktion in der Praxis" zusammengefasst. Die Studien geben wertvolle Einblicke in die Herausforderungen, Potentiale und Lösungsansätze für die erfolgreiche Interaktion von Mensch und Roboter in alltäglichen Umgebungen.

