

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 Schneide Klinge sind. Beim Auftragen des Klebers besteht derzeit die Herausforderung der Reproduzierbarkeit und das zielgerichtete Auftragen des Klebers, woraus ein nicht

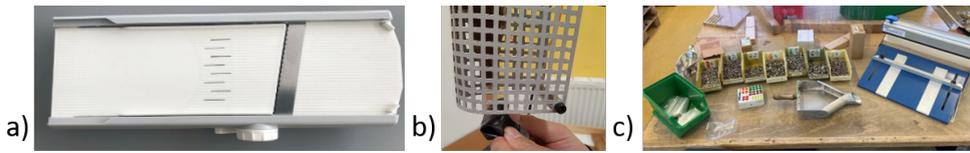


Abbildung 8.1: Applikationen/Use Cases der assoziierten WfbM. *a)* Gemüsehobel. *b)* Outdoortasche. *c)* Schraubenbeutel.

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

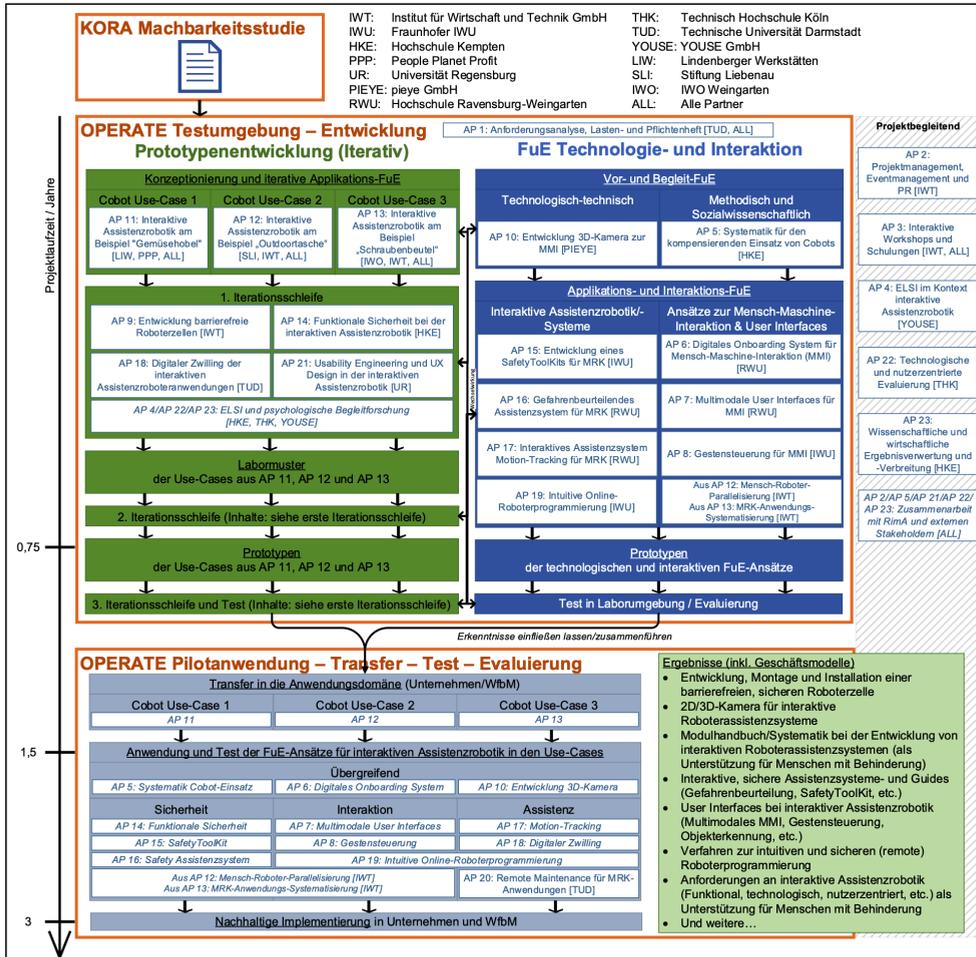


Abbildung 8.2: Konzept des Kompetenzzentrums OPERATE.

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 „Gemüsehebel“, 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 „Outdoortasche“ 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-des-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.