

Ermittlung von Anforderungen an einen Baukasten für die Mensch-Roboter Kommunikation

Determination of requirements for a modular approach to human-robot communication

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades
M.Sc.
an der TUM School of Engineering and Design der
Technischen Universität München

Themenstellender Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Betreuer/Betreuerin M.Sc. Rücker Andreas

Eingereicht von B.Sc. Duml Hannes

Eingereicht am: 30.10.2022 in Garching

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand unter der wissenschaftlichen und inhaltlichen Anleitung von **M.Sc. Rücker Andreas**, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München.

Vereinbarung zum Urheberrecht

Hiermit gestatte ich dem Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik diese Studienarbeit bzw. Teile davon nach eigenem Ermessen an Dritte weiterzugeben, zu veröffentlichen oder anderweitig zu nutzen. Mein persönliches Urheberrecht ist über diese Regelung hinaus nicht beeinträchtigt.

Eventuelle Geheimhaltungsvereinbarungen über den Inhalt der Arbeit zwischen mir bzw. dem Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik und Dritten bleiben von dieser Vereinbarung unberührt.

Ort, Datum

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	IX
Formelzeichenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Ziel der Arbeit	1
1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 Projektbeschreibung zu RoboLingo	3
2.1 Projektablauf	4
2.2 Ziele von RoboLingo	4
3 Roboter in der Industrie und Logistik	5
3.1 Entstehung der Robotik und Definition	5
3.2 Bisherigen Anwendungen von Robotern	6
3.2.1 Roboter in der Industrie	6
3.2.2 Roboter in der Intralogistik	7
3.2.3 Roboteranwendungen in der Logistik - Roboter aus den Unternehmen der Experteninterviews	9
3.3 Einsatzpotenziale, Herausforderungen und Trends	12
4 System aus Mensch und Roboter	15
4.1 Mensch und Roboter im gemeinsamen Arbeitsraum	15
4.1.1 Nähe zwischen Mensch und Roboter	16
4.1.2 Raum und Umgebungsbedingungen	17

4.2	Sozitechnisches System	18
4.2.1	Zusammenarbeit – Gemeinsame Arbeit von Mensch und Roboter	18
4.2.2	Was zeichnet eine Zusammenarbeit von Mensch und Roboter aus?	19
4.2.3	Vor und Nachteile der Kombination von Mensch und Roboter	22
4.3	Verantwortung und Haftung	23
4.4	Akzeptanz der Mitarbeiter – Verlust und Veränderung der Arbeit	24
4.5	Sicherheit in der MRK	26
4.5.1	Richtlinien und Normen für eine sichere MRK	27
4.5.2	EG-Maschinenrichtlinie und Sicherheitskonzepte	28
4.6	Technologien für die Erfüllung der Sicherheitskonzepte	30
4.6.1	AGILOX	32
4.6.2	magazino	33
4.6.3	robominds	33
4.6.4	Jungheinrich	34
5	Mensch Roboter Interaktion (MRI) und Kommunikation	37
5.1	Mensch-Roboter-Interaktion	37
5.1.1	Arten der Mensch-Roboter-Interaktion	38
5.1.2	Interaktionen der Roboter aus den Unternehmen der interviewten Experten	39
5.2	Optimale Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter	40
5.3	Kommunikation zwischen Mensch und Roboter	43
5.3.1	Sinneswege für die Kommunikation des Menschen	44
5.3.2	Schnittstellen-Arten des Roboters	46
5.3.3	Kommunikationsschnittstelle zwischen Mensch und Roboter	47

5.3.4 Kommunikation der Roboter aus den Unternehmen der interviewten Experten	52
6 Anforderungen an einen Baukasten mit Interaktionsbausteinen im MRI	57
6.1 Interviewte Experten	57
6.2 Anforderungsermittlung für den RoboLingo-Baukasten	57
6.3 Anforderungsanalyse durch den Paarweiser Vergleich	59
6.4 Paarweise Vergleiche aus den Experteninterviews	61
6.4.1 robominds GmbH - Andre Bronold	61
6.4.2 magazino GmbH – Daniel Schauer	63
6.4.3 Schiller Automatisierungstechnik GmbH – Sebastian Asbeck	65
6.4.4 Jungheinrich AG – Dr. Sebastian Rockel	67
6.4.5 AGILOX Services GmbH – Wolfgang Pointner	69
6.5 Einschätzung der Anforderungen für die Umsetzung von RoboLingo	71
7 Fazit	77
7.1 Diskussion	77
7.2 Zusammenfassung	78
7.3 Ausblick	78
Literaturverzeichnis	XIII
Abbildungsverzeichnis	XVII
Tabellenverzeichnis	XVIII

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
DIN	Deutsches Institut für Normung
TUM	Technische Universität München
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
MRI	Mensch-Roboter-Interaktion
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
DGUV	Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
IFA	Institut für Arbeitsschutz
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau

Formelzeichenverzeichnis

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
G	[%]	Gewichtung der Anforderung
p	[-]	erreichte Punktesumme
n	[-]	Anzahl aller Anforderungen

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Diese Arbeit ist ein Bestandteil des Forschungsprojekts RoboLingo des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss und Logistik der Technischen Universität München. Im Projekt wird die Intralogistik in Lager- und Fabrikhallen der Gegenwart und insbesondere der Zukunft betrachtet. Dabei werden verschiedene Situationen der Logistik, wie beispielsweise das Ein- und Ausladen oder das Rangieren untersucht, in welchen Mensch und Roboter aufeinandertreffen. Im Fokus des Projekts steht die Findung von effizienten und reibungsarmen Wegen, um eine harmonische Zusammenarbeit aller Beteiligten zu ermöglichen. Eine wichtige Rolle spielt in diesem Zusammenhang vor allem die Kommunikation der Logistik-Roboter mit den Menschen in ihrer Umgebung. Aktuell gibt es nur vereinzelte Kommunikationsmöglichkeiten für spezifische Situationen, jedoch noch keine umfassende Übersicht zu geeigneten, modularen Ansätzen für verschiedenste Logistik-Situationen und Kommunikationsabsichten von Robotern. [fml-2022]

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel von RoboLingo ist es, einen Baukasten zur Auswahl robuster, kontextbezogener und intuitiv verständlicher Sprachbausteine für Roboter zu entwerfen, welcher die verschiedenen Situationen der Mensch-Roboter-Interaktion aufzeigt und als Empfehlung für die Modalität der Kommunikation verwendet werden kann. Es soll sichergestellt werden, dass die Botschaften von Robotern in ihrem Umfeld und zu jedem Zeitpunkt korrekt verstanden werden. Als Resultat können Prozesse von Betreibern effizienter gestaltet werden und die Akzeptanz von Robotern im Betrieb kann grundsätzlich erhöht werden. [fml-2022]

Als Bestandteil von RoboLingo ist das Ziel dieser Arbeit, die Ermittlung von Anforderungen an diesen Baukasten. Dies dient zur Definition und Klarstellung der Rahmenbedingung der einzelnen Sprachbausteine im Baukasten und bildet somit eine Basis für das fortlaufende Projekt. Die gefundenen Anforderungen können anschließend mit erforderlichen Merkmalen evaluiert werden und sogenannte Entwicklungsschwerpunkte für RoboLingo abgeleitet werden. Es wird ersichtlich was bei der Mensch-Roboter-Interaktion zu beachten ist und wie die einzelnen Sprachbausteine grundlegend aufgebaut werden müssen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und in einen praktischen Teil. Zuerst werden bereits bestehende Möglichkeiten der Kommunikation und derzeit verwendete Systeme betrachtet. Der aktuelle Stand der Technik wird analysiert und in den ersten Kapiteln zusammengefasst wiedergegeben. Grundlegende Umgebungsbedingungen während der Mensch-Roboter-Interaktion und nötige Bestandteile einer zukünftigen Kommunikation werden recherchiert und in Vorbereitung auf die spätere Definition der Anforderungen erläutert. Im zweiten, praktischen Teil werden mehrere Experten aus verschiedenen Unternehmen zum Thema befragt, die in Form eines Interviews einen Fragenkatalog abarbeiten und dessen Erkenntnisse anschließend bewertet und evaluiert werden. Im ersten Schritt werden dafür ausschlaggebende Anforderungen für den Baukasten gesucht. Hierfür wird der genannte Fragenkatalog herangezogen. Die Evaluation und Bewertung der Anforderungen erfolgen über einen Paarweise Vergleich, in dem jeder Anforderung eine Gewichtung zugeordnet wird. Durch einfache Gegenüberstellungen ermöglicht dieser Vorgang ein Herausfiltern der wesentlichsten Anforderungen, die anschließend hierarchisch nach ihrer Bedeutung geordnet werden können. Da im Laufe der Arbeit mehrere Experten befragt werden, ist es am Ende möglich aussagekräftige Argumente für die wichtigsten Anforderungen zu finden und es wird deutlich welche Anforderungen der Baukasten für die Sprachbausteine erfüllen muss. Des Weiteren können im Nachgang Entwicklungsschwerpunkte für RoboLingo abgeleitet werden.

2 Projektbeschreibung zu RoboLingo

Die gegenwärtige und zukünftige Intralogistik beschäftigt sich mit einem System in dem sowohl menschliche als auch robotische Arbeitskräfte in verschiedenen Situationen aufeinandertreffen. Diese Situationen entstehen durch die Zusammenarbeit auf einem gemeinsamen Arbeitsraum. So können sich Mensch und Roboter beispielsweise auf Fahrwegen treffen und beim Rangieren oder Verladen von Gütern in die Quere kommen oder bestenfalls zusammenarbeiten. Ausschlaggebend für eine harmonische und reibungslose Zusammenarbeit ist dabei die Kommunikation zwischen Logistik-Robotern und den Menschen in ihrer Umgebung. Im Fokus von RoboLingo stehen im Zuge dessen nicht nur autonome mobile Roboter, sondern auch andere Robotertypen, wie beispielsweise stationäre Roboter der Logistik. Derzeitige Kommunikationswege sind zum Beispiel der sogenannte „floor spot“ oder Bildschirme. Beim „floor spot“ handelt es sich um einen Lichtpunkt, der vor das Fahrzeug projiziert wird, sodass sich das Fahrzeug bemerkbar machen kann, wenn es beispielsweise um eine Kurve fährt. Die Vermittlung des zukünftigen Fahrwegs beziehungsweise die Intention in welche Richtung das Fahrzeug fährt, kann hierbei so kommuniziert werden. Auf Bildschirmen können die Absichten des Fahrzeugs hingegen über stilisierte Gesichtszüge in Kombination mit Symbolen und Texten vermittelt werden. Mit dem Sprachbaukasten von RoboLingo soll eine Übersicht über die wesentlichsten Intentionen entstehen, welche gleichzeitig Möglichkeiten aufzeigt, diese zu vermitteln. Die Ziele des Projekts werden im Kapitel 2.2 noch genauer beschrieben. [Nie-2022]



Abbildung 2-1: Linde "blue spot" [Lin-2022]

2.1 Projektablauf

Das Projekt wird in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss und Logistik der Technischen Universität München bearbeitet. Zu Beginn des Projekts werden gegenwärtige und zukünftige Situationen, in welchen Mensch und Roboter in der Logistik aufeinandertreffen durch die Aussprache mit Experten sowie Beobachtungen analysiert. Gleichzeitig werden Durchführungsweisen (Modalitäten) recherchiert und auf ihre Eignung für den Einsatz in Logistikanwendungen geprüft. Die gewonnen Erkenntnisse aus Modalitäten und Situationen können anschließend sinnvoll kombiniert werden, wobei unter anderem auf die Dringlichkeit und Relevanz der Intentionen geachtet wird. Die Zuordnung von passenden Modalitäten zu den vorliegenden Aufgaben erfolgt über die Verständlichkeit, Sicherheit, Vorhersehbarkeit und Effizienz der Art der Kommunikation. Die Herausforderungen liegen diesbezüglich in der Vielfältigkeit der Roboter, sowie der möglichen Situationen und Intentionen, weshalb der Fokus auf den häufigsten und somit wichtigsten Interaktionen liegt. Die Evaluation der Interaktionsvorgehensweise erfolgt anschließend in einer Reihe von Studien mit Probanden, auf deren Basis Handlungsempfehlungen abgeleitet werden und der RoboLingo Interaktionsbaukasten entsteht. [Nie-2022]

2.2 Ziele von RoboLingo

Das Ziel von RoboLingo ist es eine Übersicht über geeignete Vorgehensweisen für die verschiedenen Kommunikationsabsichten und Logistik-Situationen zu schaffen. Dafür soll ein Interaktionsbaukasten aufgebaut und evaluiert werden, in dem verschiedene Situationen der Mensch-Roboter-Interaktion aufgezeigt werden. Zudem soll der Baukasten für die verschiedenen Intentionen der Roboter unterschiedliche Empfehlungen für jeweils geeignete Modalität der Kommunikation liefern. [Nie-2022]

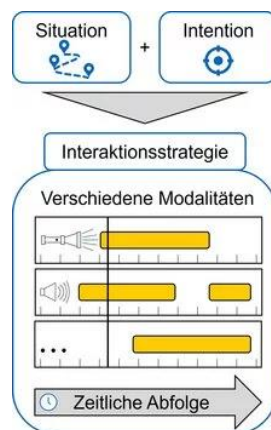


Abbildung 2-2: Aussicht für RoboLingo [fml-2022]

3 Roboter in der Industrie und Logistik

Industrieroboter haben sich bereits in vielen anderen Bereichen, wie beispielsweise in der Produktion und Fertigung bewährt. Neben der ständigen Verbesserung ihrer Leistungsdaten wie Geschwindigkeit, Handhabungsgewicht und Arbeitsraum können sie auch immer häufiger durch ein günstigeres Preis-Leistungsverhältnis in Standardprozessen der Fertigung eingesetzt werden. Eine Vielzahl von Anwendungen bietet mittlerweile auch die Intralogistik. Hauptanwendungen liegen dabei vor allem in der Kommissionierung, also im Palettieren, Depalettieren und Sortieren. In diesen Bereichen dienen Roboter hauptsächlich als kostengünstige und flexible Alternative im innerbetrieblichen Materialfluss, wodurch bisher rein manuell ausgeführte Prozesse zunehmend automatisiert werden. Daraus ergeben sich schnellere, kostengünstigere und effektivere Logistikprozesse. [Wöl-2006, S. 1ff.]

3.1 Entstehung der Robotik und Definition

Die Bezeichnung Roboter wurde 1921 erstmals vom tschechischen Schriftsteller Capek verwendet. Eines seiner Theaterstücke handelt von der Vision einer Zukunftsgesellschaft, in der menschenähnliche Maschinen bereits in der Lage sind Arbeitsprozesse von Menschen zu übernehmen. In seinem Werk nannte er diese Maschinen Roboter. Später im Jahr 1942 beschreibt der Sachbuchautor Asimov in den sogenannten „Three Laws of Robotics“ in seiner Kurzgeschichte „Runaround“ drei grundlegende Vorschriften, um das hinreichende Dasein von Robotern zu beschreiben. In diesen drei Grundlagen geht es zum einen darum, dass ein Roboter einem menschlichen Wesen keinen Schaden zufügen darf und zum anderen darf er durch Untätigkeit nicht zulassen, dass einem Menschen Schaden zugeführt wird. Des Weiteren beschreibt er, dass ein Roboter Befehlen gehorchen muss, die ihm vom Menschen erteilt werden, es sei denn einem menschlichen Wesen wird dadurch Schaden zugefügt. Als letzten Gesichtspunkt erwähnt er, dass ein Roboter seine eigene Existenz schützen muss, insofern dadurch nicht gegen die ersten beiden Gebote verstoßen wird. Den ersten nennenswerten Einsatz von Robotern in den heute bekannten Anwendungen der Industrie gab es allerdings erst einige Jahrzehnte später. So wurde das erste Patent für einen programmierbaren Manipulator erst im Jahr 1954 in den USA angemeldet und der weltweit erste Roboter von der Firma Unimation erst in den darauffolgenden Jahren gebaut. Der dabei entstandene Roboter UNIMATE kam bei General Motors als erster Industrieroboter zum Einsatz. [Bux-2020, S. 16f.]

Laut VDI 2860 sind Industrieroboter universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen frei programmierbar und/oder gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie können mit verschiedensten Werkzeugen oder Greifern ausgerüstet werden und können Fertigungs- sowie Handhabungsaufgaben ausführen. In den 1960er Jahren wurde der Einsatz von Robotern für die Verrichtung in der Massen- und Großserienproduktion der Automobilindustrie zunehmend bestärkt. Der Leitgedanke in diesen Anwendungen war es, den Menschen von gefährlichen oder schweren Aufgaben zu entlasten. Dies führte umgehend auch zu attraktiven wirtschaftlichen Aspekten. Mit steigender Tendenz automatisierten Automobilhersteller durch den Einsatz von Robotern ihre Prozessabschnitte und profitierten von den Vorteilen der neuen Technologien. Allerdings erwiesen sich gewisse Arbeitsschritte und Prozesse bei komplexeren Aufgaben, wie beispielsweise in der Montage, als sehr schwierig zu automatisieren. Daher wurde den Herstellern schnell klar, dass menschliche Arbeitsprozesse nicht durch die Hilfe von neuer Sensorik und neuen Analysen ersetzbar sind. Es wurde deutlich, dass Roboter nur sicher und zuverlässig funktionieren, wenn ihr Umfeld auf Bruchteile von Millimetern genau bestimmt ist. Dieser Zustand ist zum Beispiel auf einer Transferstrecke für Automobile mit der Zulieferung von unterschiedlichen Lieferanten jedoch nur schwer zu erreichen und führte dementsprechend zu Fehlern. Roboter können Fehler zwar erkennen, allerdings können sie diese nicht selbst beheben, weshalb der Mensch in solchen Situationen eingreifen muss. Unvorhersehbare Situationen im Produktionsprozess macht menschliches Handeln unverzichtbar. Demzufolge wird der Einsatz der Menschen mit zunehmendem Automatisierungsgrad immer wichtiger und dessen Rolle in einem automatisierten Prozess muss in die Entwicklung aufgenommen werden. Roboteranwendungen sind ein wichtiger Bestandteil heutiger Unternehmen und können nur voll ausgeschöpft werden, sofern das System aus Mensch und Roboter hinreichend funktioniert. Deshalb liegt zukünftig ein großes Augenmerk auf die Schlüsseltechnologie der Mensch-Roboter-Kollaboration. [Bux-2020, S. 17ff.]

3.2 Bisherigen Anwendungen von Robotern

3.2.1 Roboter in der Industrie

Seit den 1960er Jahren wurden Roboter vermehrt in der Automobilproduktion eingesetzt. Durch die hohen Anforderungen an Präzision und Wiederholgenauigkeit übernehmen Roboter in diesem Sektor wichtige Produktionsschritte wie beispielsweise Fügen, Schweißen Positionieren und Montieren. Nicht zuletzt sind die Ausfallsicherheit und die Übernahme, der für den Menschen gefährlichen und schädigenden Aufgaben, ein großer Vorteil der Robotik. Diese Vorzüge werden zusätzlich mit einer hohen Positioniergenauigkeit, attraktiver Nutzlast und hohen Geschwindigkeiten kombiniert.

Ursprünglich war das Einsatzgebiet stark auf einfache Aufgabenstellungen beschränkt, da die begrenzte Sensorik und Intelligenz der Systeme nicht ausreichend waren. Gleichbleibende Güter und wiederkehrende Aufgaben konnten mit dem damaligen Stand der Technik bewältigt werden und sind bis heute ideale Rahmenbedingungen für jegliche Art von Robotern. Allerdings führte die fortlaufende Integration neuer Technologien neben der Weiterentwicklung bestehender Systeme zu einer stetigen Ausweitung des Einsatzgebiets von Robotern. Neben dem Einsatz von neuen Sensortechnologien führten auch Bildverarbeitungsalgorithmen in Robotersystemen zu vielen neuen Anwendungen. Die neuen Technologien ermöglichen den Systemen die Arbeitsumgebung zu erfassen und diese Informationen in die Programmabläufe aufzunehmen. Daraus folgt eine deutliche Flexibilisierung der Arbeitsweise, durch welche beispielsweise auf Situationen reagiert werden kann, oder beim sogenannten „Griff in die Kiste“ gezielt Handhabungsobjekte aus einem Verbund gelöst werden können. Obwohl diese Systeme in der Lage sind hochkomplexe Situationen zu bewältigen und sich Roboter heutzutage trotz chaotischer Umgebungsbedingungen zurechtfinden können, werden sie den zeitlichen Anforderungen der Wirtschaft oft nicht gerecht. Aus diesem Grund werden diese Systeme noch von den zukünftigen Weiterentwicklungen und Fortschritten der Forschung und Entwicklung stark profitieren. [Mol-2015, S. 24]

3.2.2 Roboter in der Intralogistik

Laut der offiziellen Definition des Fachverbands Fördertechnik und Logistiksysteme und des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau umfasst die Intralogistik die Organisation, Steuerung, Optimierung und Durchführung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen. Dieser Teil der Logistik befasst sich somit mit allen Prozessen zwischen Wareneingang und Warenausgang. Dazu zählen Lagerung, Sortierung, Kommissionierung und Verpackung, bis hin zur Verladung und dem Warenumschlag. Außerdem beinhaltet die Intralogistik die organisatorische, steuerungs- und softwaretechnische Vernetzung sämtlicher Prozesse. Im Vergleich zu herkömmlichen Industrierobotern müssen sich Robotersysteme in diesem Bereich weiteren speziellen Herausforderungen stellen, um deren Relevanz und Potenzial unter Beweis zu stellen. Bezogen auf die Robotik steht vor allem die Intralogistik im Mittelpunkt, da die Anwendungsfelder für Roboter in der Logistik vornehmlich in diesem Bereich zu finden sind. [Mol-2015, S. 26f.]

Neben den immer steigenden Umsätzen der Hersteller von intralogistischen Systemen, zeigen auch die Beschäftigungszahlen in der Intralogistik der vergangenen Jahre einen deutlichen Zuwachs. Darüber hinaus verdeutlicht ein Rückblick die Steigerung des Grades an qualifizierten Mitarbeitern, was auf die Wertigkeit der Intralogistik

zurückzuführen ist. Die Globalisierung als Treiber von Innovationen und Optimierungen der Branche führt dabei zusätzlich zu einer Internationalisierung der Märkte. [Mol-2015, S. 28ff.]

Im Vergleich ist die Intralogistik eine der größten Teilbranchen des Maschinenbaus in Deutschland und liegt auf Platz drei der umsatzstärksten Branchen innerhalb der Maschinenbauindustrie. In den letzten 12 Jahren sind die Branchenumsätze kräftig angestiegen, wodurch beispielsweise im Jahr 2019 ein Umsatz von rund 20,5 Milliarden Euro erwirtschaftet wurde. Das entspricht einer Steigerung von ungefähr einem Drittel im Vergleich zum Jahr 2008. Zusammen mit den steigenden Umsätzen sind auch die Beschäftigungszahlen gestiegen. Laut dem Statistischem Bundesamt waren 2019 rund 78.000 Beschäftigte in der Branche tätig, somit folgte ein Zuwachs von etwa 18 Prozent bezogen auf 2008. Die folgende Abbildung 3-1 zeigt diesen Zuwachs. [Böc-2022, S. 18ff.]

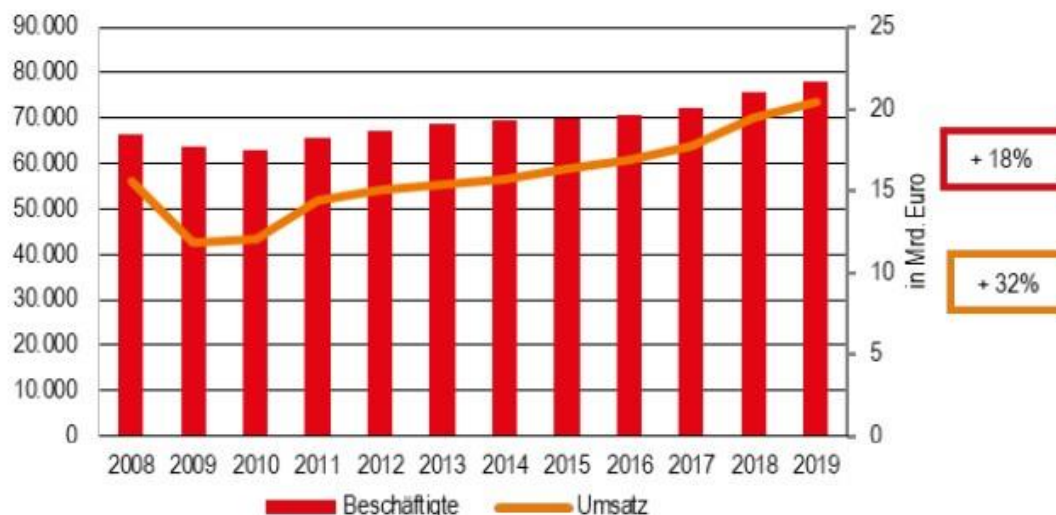


Abbildung 3-1: Anzahl der Beschäftigten und Umsätze in der Fördertechnik und Intralogistik (2008–2019; in Milliarden Euro) [Böc-2022, S. 19]

Neben dem deutlichen Zuwachs der Beschäftigten hat sich auch die Anzahl der industriell eingesetzten Roboter deutlich erhöht. Die International Federation of Robotics (IFR) nennt dabei insbesondere die Bildverarbeitung, Machine Learning, künstliche Intelligenz und die vereinfachte Programmierung als wesentliche Technologietreiber und die Mensch-Roboter-Kollaboration als Schlüsseltechnologie dafür. In den vergangenen Jahren hat sich der Absatz von Robotern verdoppelt, wodurch aktuell in Deutschland eine Roboterdichte von 300 Robotern pro 10.000 Beschäftigten vorliegt. Mit dieser Dichte liegt Deutschland gleichauf mit der Industrienation Japan. [Bux-2020, S. 19] Der Großteil dieser Roboter wird nach wie vor in der Produktion eingesetzt, allerdings wächst der Anteil an Robotern für die Logistik kontinuierlich. Auch wenn der Einsatz in der Logistik einfacher erscheint, profitieren mobile autonome Roboter von den Entwicklungen und übernehmen dadurch immer umfangreichere Aufgaben, die ein

gewisses Maß an Flexibilität und Intelligenz erfordern. Zunehmende Rechenleistung und Vernetzung sowie Fortschritte bei der Entwicklung von Sensoren und künstlicher Intelligenz tragen dazu maßgeblich bei, wodurch Logistikroboter teilweise den Bewegungsapparat des Menschen imitieren können und auf unerwartete Situationen angemessen reagieren. Nach den Angaben des IFR ist der Absatz mobiler autonomer Roboter für die Logistik in der Industrie im Jahr 2019 um 42 Prozent im Vergleich zum Vorjahr auf rund 75.000 verkaufte Einheiten gestiegen und prognostiziert bis 2023 einen Absatz von 259.000 Stück pro Jahr. [wlw-2022]

3.2.3 Roboteranwendungen in der Logistik - Roboter aus den Unternehmen der Experteninterviews

Bereits seit einigen Jahren übernehmen Roboter zunehmend Logistikaufgaben, wie beispielsweise das Befüllen und Abbauen von Paletten, sie sind unter anderem in Sortieranlagen integriert oder transportieren Waren durch verschiedene Lager. Die Arbeitsfelder in der Logistik werden kontinuierlich vielfältiger und in der Lagerverwaltung sind Roboter bereits vollständig etabliert. Sie übernehmen dabei verschiedene Arbeiten, die bisher entweder von Menschen ausgeführt oder zumindest angeleitet wurden. Selbst die intelligentesten Roboter sind nach wie vor auf Menschen angewiesen, allerdings sind Mensch-Roboter-Kollaborationen weit verbreitet. [wlw-2022]

Die gängigsten Einsatzgebiete sind in den folgenden Punkten angegeben:

1. Fahrerlose Transportfahrzeuge:

Diese Fahrzeuge steuern nicht nur autonom, sie können auch Lasten oder gesamte Regale mit Nutzlasten von mehreren Tonnen zu den Mitarbeitern transportieren. Die Mitarbeiter können anschließend benötigte Teilgüter entnehmen und das Fahrzeug bringt die Einheit zum nächsten gewünschten Standort. Die gefahrene Route können einige Fahrzeuge bereits selbstständig berechnen und navigieren, häufig frei im Raum. Durch diesen Fortschritt finden diese Fahrzeuge ideale Routen für den Versorgungsprozess. [wlw-2022]

2. Kommissionier-Roboter mit Ladefläche:

Diese Art von Fahrzeug erleichtert die Arbeit des Kommissionier-Mitarbeiters, indem das Mitziehen des Kommissionier-Wagens entfällt. Der Roboter folgt dem Kommissionierer mit Hilfe von Kameras und Sensoren selbstständig. Ist der Roboter befüllt, macht er sich selbstständig auf dem Weg zum Ablageort und schickt ein leeres Fahrzeug zum Kommissionierer, der seine Arbeit weiterführen kann. [wlw-2022]

3. Roboter im Versand:

In diesem Bereich übernehmen Roboter beispielsweise die effiziente Plattierung der Aufträge. Durch eine intelligente Software wird ein ideales Pack-Bild für jede Palette erstellt, nach welchem der Roboter stapelt. Anschließend werden die Paletten selbstständig mit Folie gesichert und an die Auslieferung übergeben. [wlw-2022]

Der Einsatz solcher Roboter trägt durch ihre Schnelligkeit, Robustheit und Widerstandsfähigkeit zu erhöhten Lagerkapazitäten und Lagerproduktivität bei. Durch die fortlaufende Digitalisierung der Produktion werden sie zukünftig in zunehmendem Maß zu einem beständigen Teil der Fabrik. Neben Lagerrobotern sind auch immer häufiger Service- und Interaktionsroboter im B2B-Bereich im Einsatz. [wlw-2022]

Welche Aufgaben in den Unternehmen von Robotern erfüllt werden, ist abhängig von den Anforderungen der Logistikkunden an die Roboter-Hersteller. Dadurch gibt es viele weitere spezifische Anwendungen, die in dieser Arbeit nicht alle genannt werden können, jedoch den klassischen Bereichen der Logistik, wie Palettieren, Transport oder Kommissionierung zugeordnet werden können. Im Rahmen dieser Studienarbeit wurden fünf Experten aus verschiedenen Unternehmen interviewt. In der folgenden Tabelle 3-1 wird die Fahrzeugpalette der unterschiedlichen Unternehmen mit deren Anwendungszwecken dargestellt.

Hersteller	Fahrzeugtypen	Einsatzgebiet	Aufgaben
Magazino GmbH	TORU	Transport	Schuhboxen transportieren
	SOTU	Transport	Industriebehälter transportieren
robominds GmbH	6-Achs-Roboter	Handling/Platzieren	Smart Picking, Schüttgut Teile einzeln entnehmen - Pick and Place, Informationen für Folgeprozess sammeln, Fügeprozesse
	mobile Transportplattform	Transport	transportiert Güter
	6-Achs-Roboter auf mobiler Plattform	Transport + Handling	kombiniert 6-Achs-Roboter mit 6-Achs-Roboter auf mobiler Plattform
	Portalachsen	Transport + Handling	Handling von Teilen über großen Raum
Jungheinrich AG	Automated Guided Vehicles	Transport + Handling	Warentransport, Kommissionierung, Verpackung auf Palette
	Portalachsen	Handling (Produktion)	Teil eines Produktionsprozesses

3 Roboter in der Industrie und Logistik

Hersteller	Fahrzeugtypen	Einsatzgebiet	Aufgaben
Schiller Automatisierungs- technik GmbH	autonome Routen- züge	Transport	Versorgungslogistik Montage
	autonome Stapler	Transport	Befüllung von Anlagen, Umlagern von Behältern, Füllen und Entladen des Routenzugs
	Roboterarm/Förder- band auf mobiler Plattform	Handling + Kleinteiletransport	Entladung von Routenzüge, Güter aus Regale nehmen oder an Monta- gebändern zur Verfügung stellen, Proben in Laboren von einer Station an die nächste bringen
AGILOX Services GmbH	AGILOX ONE	Transport	Kleinladungsträger transportieren, Transport+ Materialhandling + Übergabe von Gütern
	AGILOX ODM	Transport	Transport Kleinladungsträger
	AGILOX OCF	Transport	schwere Lasten Transportieren, Transport+ Materialhandling + Übergabe von Gütern

Tabelle 3-1: Roboter aus Unternehmen der Experteninterviews [Poi-2022a; Asb-2022a; Roc-2022a; Sch-2022a; Bro-2022a]

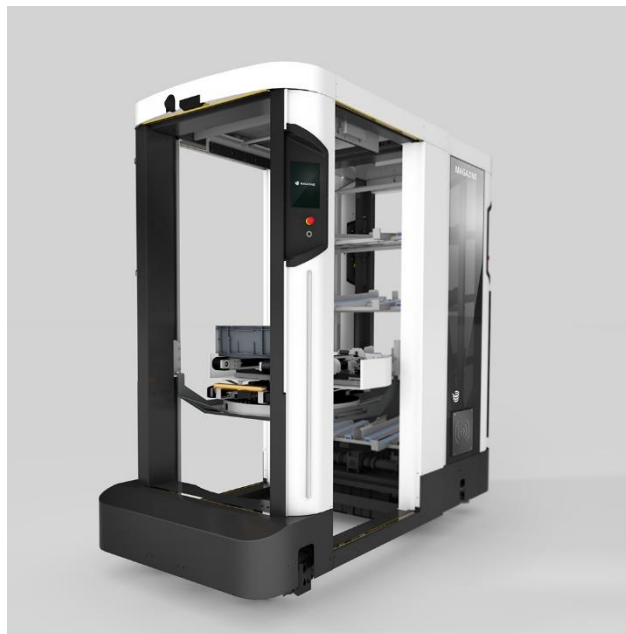


Abbildung 3-2: Roboter SOTO des Unternehmens magazzino GmbH [Mag-2022]

3.3 Einsatzpotenziale, Herausforderungen und Trends

Industriell eingesetzte Robotersysteme wurden durch den technischen Fortschritt in den vergangenen Jahren fortlaufend optimiert. Anhand von neuen Materialien gelang eine Reduzierung des Eigengewichts der Roboter, wodurch die Dynamik erhöht werden konnte. Antriebskomponenten wurden bei gleichbleibender Leistung zunehmend kompakter gestaltet und der Arbeitsraum der Roboter wurde vergrößert. Als Folge dieser Fortschritte und der Verbesserung der Bedienbarkeit im Bereich der Steuerungstechnik gelang es die Gesamtperformance zu steigern und Roboteraktionen effizienter zu gestalten. Diese Entwicklungen führten zu einer enormen Steigerung der Produktivität, wodurch auch die Anzahl der Einsatzmöglichkeiten erhöht werden konnte. Der Einsatz von industriellen Robotern in der Logistik begann bereits in den 1980er Jahren und beschränkt sich auch gegenwärtig noch vorzugsweise auf die Intralogistik. Die Aufgaben beziehen sich neben klassischen Aktivitäten wie Transport-, Handhabungs-, Lagerungs- und Handhabungstätigkeiten, auch auf die Kommissionierung, Pick-and-Place-Aufgaben, Palettierung, Verpackung und Sortierung von Stückgütern. Standardlösungen für diese Aufgabenfelder zielen meist auf hohe Standardisierung der Aufgabenstellung ab und werden in diesem Rahmen erfolgreich eingesetzt. Um auch auf unvorhergesehene Situationen reagieren zu können und eine durchgängige Automatisierung zu gewährleisten, kam es in der Vergangenheit zu einem Entwicklungsschub auf vielen Gebieten. Dabei stand vorwiegend die Sensorik, die Identifikation und die software- und steuerungstechnische Verkettung von Komponenten im Vordergrund. Viele Roboterkomponenten wurden optimiert und eingesetzte Technologien verbessert. Aufgrund von vermehrtem Einsatz von industrieller Robotertechnologie wird das Optimierungspotenzial für Handhabungs- und Transportfrequenzen besser genutzt, welches sich durch eine durchgängig automatisierte Prozesskette ergibt. Experten bezeichnen diese Technologien als Schlüsselkompetenz für die Automatisierung, da sie mit erhöhter Planungsgenauigkeit und Qualitätsverbesserung einhergehen. Dennoch ist die Maximalleistung, veranlasst durch die optimale Abstimmung entsprechender Arbeitsprozesse, beschränkt. [Mol-2015, S. 32ff.]

Zu den bereits genannten Schwierigkeiten bei der Anwendung in der Logistik, gibt es noch weitere Herausforderungen, die zu bewältigen sind. Die häufig anzutreffende hohe Varianz der Stückgüter und der Einsatzbedingungen beispielsweise, erschweren den flächendeckenden Einsatz von Robotern in der Intralogistik. Um dennoch eine Flexibilität der Systeme unter steigender Komplexität zu gewährleisten, fokussiert sich die Entwicklung weitläufig auf den Einsatz modularer Robotersysteme. Darunter versteht man die Entwicklung und Konfiguration von Robotersystemen, die prozessübergreifend verschiedene Teilsysteme nach einer Modularität-Systematik verketteten. Das Ziel der Modularität ist es demzufolge eine Architektur zu konfigurieren, welche die

prozessualen Anforderungen in Hinsicht auf Individualität, Flexibilität und Erweiterbarkeit erfüllt. Obendrein können dafür vielfach kombinierbare und standardisierte Komponenten und Module verwendet werden. [Mol-2015, S. 34]

Vielversprechend für den Einsatz von moderner Robotik in der Logistik sind die zahlreichen Potenziale, welche sich sowohl Hersteller als auch Anwender von diesen Technologien erwarten. Die wesentlichen Potenziale liegen explizit in der Neugestaltung von Logistikkonzepten und in der Steigerung und Mehrauslastung der Wettbewerbsfähigkeit. Werden Prozesse neugestaltet, kann eine erhöhte Effizienzsteigerung erreicht werden, indem Prozesse angepasst und synchronisiert werden. Die dadurch gewonnene Planungssicherheit wird dabei durch konkret vorplanbare Bearbeitungskennzahlen deutlich erhöht. Hinzu kommt die erwähnte Mehrauslastung, die durch eine optimale Auslegung der Prozesse erzielt werden kann und infolgedessen die Anlagen im Stande sind die Bearbeitungen rund um die Uhr durchzuführen. Werden die Prozesse zusätzlich an die Bedarfe angepasst, kommt es zu einem bemerkenswerten Wettbewerbsvorteil. Weitere vielversprechende Vorteile liegen aufgrund von einer ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen in der Qualitätsverbesserung und -sicherung, der Prozesssicherheit und in der Entlastung der Beschäftigten. Die Ergonomie rückt diesbezüglich vorwiegend bei Aufgabenstellungen mit extremer körperlicher Belastung in den Mittelpunkt. Arbeitsschritte, wie beispielsweise das Heben von schweren Lasten, aber auch das Verrichten von Arbeiten unter schwierigen Umgebungsbedingungen, wie in gekühlten oder gefährlichen Arbeitsbereichen, können von Robotern durchgeführt werden. Neben der Gestaltung humaner Arbeitsplätze kommt die Möglichkeit einer Ressourcenumverteilung hinzu. Dem durch den demographischen Wandel auftretenden Mangel an Fachkräften kann dadurch entgegengewirkt werden. Werden diese Potenziale umgesetzt, kommt es folglich zu einer höheren Effizienz, größerer Flexibilität und einer Minimierung von Lohn- und Betriebskosten bei gleichzeitiger ergonomischer Verbesserung von Arbeitsplätzen. Zudem kann die Verwendung moderner Robotersysteme zu einem innovativen Image führen, was langfristig als Wettbewerbsvorteil dienen kann. [Mol-2015, S. 34]

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Entwicklung und Verbesserung der Robotersysteme in der Intralogistik mit deren Technologien und Systemen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Wie bereits in den vergangenen Jahren zu beobachten ist, wird neben der Ausweitung der Anwendungsmöglichkeiten auch die Art des Einsatzgebietes fortlaufend weiterentwickelt. Demzufolge müssen Roboter nicht mehr in abgegrenzten Bereichen arbeiten, sondern rücken immer häufiger an den Arbeitsraum des Menschen heran. Der demografische Wandel mit einhergehenden Fachkräftemangel bestärkt diesen Vorgang noch zusätzlich und richtet den Fokus der Entwickler verstärkt auf den kooperativen Einsatz von Mensch und Roboter. Die Kombination aus

Wissen und Erfahrung des Menschen mit den Kräften und der Übernahme nicht ergonomischer Arbeitspositionen des Roboters, bildet einen optimalen Kompromiss aus den Vorteilen beider Kooperationspartner.[Mol-2015, S. 39f.] Ein wichtiger Teil dieses Fortschritts ist dabei die Entwicklung von Sicherheitskonzepten und Sensortechnologien, um den Anforderungen der Arbeitssicherheit gerecht zu werden. Für die Hersteller gilt es dabei neue Lösungen zu finden, die das System sicherer machen und zusätzlich rentabel einsetzbar werden lassen. Darüber hinaus ist es die Aufgabe der Hersteller, sich Gedanken zur Anpassung und Weiterverwendung bestehender Anlagen zu machen, um diese langfristig effizient gestalten zu können. Hierfür ist der Einsatz von intuitiv zu bedienenden, roboterherstellerunabhängigen Programmhilfen sehr aussichtsreich. Es kommen bereits viele Robotersysteme in der Intralogistik zum Einsatz, allerdings ist eine durchgängige Automatisierung meist noch nicht erreicht, wodurch noch großes Potenzial besteht. Die Effizienz wird dabei durch die Varianz der Rahmenbedingungen und die prozessuale Einbindung des Systems bestimmt. Die Zusammenführung der Arbeit von Menschen und Maschine und die Entwicklung von robusten Systemen, welche hochkomplexe Aufgaben lösen, sind zwei konkrete Entwicklungsfelder, die für die Vermehrung der Anwendungsfälle für Roboter in der Logistik vielversprechend sind.[Mol-2015, S. 40]

4 System aus Mensch und Roboter

Die Robotik entwickelte sich in den vergangenen Jahren von einfachen Bewegungsautomaten im repetitiven Betrieb zu autark agierenden Mitwirkenden in der Produktion und Logistik. Dieser Wandel wurde aufgrund von fortlaufender Entwicklung in der Informatik ermöglicht. Leistungsfähige Sensorik ermöglicht die Umwelt eines Roboters verlässlich zu erkennen und bildet daher die Grundlage zukünftiger autonomer Systeme. In Folge dieser Entwicklungen agieren neue Robotersysteme gemeinsam mit Menschen oder zumindest im gleichen Arbeitsraum und bilden somit ein soziotechnisches System. Die sogenannten Kollaborations- beziehungsweise Kooperationsroboter, welche neben dem Mensch Teil dieses Systems sind, agieren nicht mehr isoliert hinter Zäunen, sondern arbeiten Hand in Hand mit den Menschen zusammen. Für eine solche Kombination dieser zwei Welten sprechen verschiedenste Argumente, zu denen neben der Überwindung des demographischen Wandels auch die ergonomischere Gestaltung von Prozessschritten zählt. Unabhängig davon können durch Mensch-Roboter-Kollaborations-Systemen (MRK-Systeme) Arbeitsinhalte vielfältiger gestaltet und die Arbeitszufriedenheit erhöht werden. [Bux-2020, S. 16]

4.1 Mensch und Roboter im gemeinsamen Arbeitsraum

Bereits seit vier Jahrzehnten werden Industrieroboter in der Produktion eingesetzt, weshalb sie in den heutigen Produktionssystemen zunehmend auf positive Resonanz stoßen. Es handelt sich dabei meist um mechanische Konstruktionen, die sich durch ihre hohen Geschwindigkeiten, enormen Kräften und bemerkenswerte Genauigkeiten auszeichnen. Durch diese Kombination aus Fähigkeiten werden sie häufig für Arbeitsschritte eingesetzt, die aus ergonomischen Gründen oder aus mangelnder Präzision des Menschen nicht mehr von den Mitarbeitern im Unternehmen ausgeführt werden können. Da sich solche Robotersysteme meist hinter Zäunen oder an Orten ohne Zugang für Menschen befinden, hat sich in den vergangenen Jahren eine neue Gruppe von Robotern entwickelt. Die sogenannten Kollaborationsroboter, oder kurz Cobots genannt, sind so konstruiert, dass sie mit den Menschen in ihrer Umgebung zusammenarbeiten können. Dabei kommt es zu einer Überschneidung der Arbeitsbereiche, indem sich Mensch und Roboter ein gemeinsames Arbeitsumfeld in einer Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) teilen. Es bietet die Möglichkeit komplexe Aufgaben in Teilaufgaben zu zerlegen, von denen einige der Roboter und andere der Mensch übernimmt. Es handelt sich in diesem Fall überwiegend um Aufgaben, welche sich wirtschaftlich und technologisch nicht vollständig automatisieren lassen. Diese Annahme

kann anhand eines Beispiels aus der Montage wiedergegeben werden: Der Roboter kann dem Monteur ein Bauteil reichen oder der Roboter fügt ein vom Monteur ausgewähltes Bauteil kraftvoll in eine vorliegende Baugruppe ein. [Bux-2020, S. 1ff.] Allerdings bringt ein solcher Arbeitsplatz auch zahlreiche Probleme mit sich. Ein besonderes Augenmerk muss dabei auf das Sicherheitsproblem gelegt werden. Es muss unter allen Umständen sichergestellt werden, dass sich die Mitarbeiter auf solchen Arbeitsplätzen nicht in Gefahr bringen. Darüber hinaus ergeben die Aufteilung der Aufgaben am Arbeitsplatz zusätzliche Fragen. Zuerst muss daher festgelegt werden, ob der Mensch in einen vorgegebenen Ablauf des Roboters integriert wird, oder ob der Roboter als Werkzeug für den Menschen agiert. In beiden Fällen gibt es Probleme mit der arbeitspsychologischen oder ergonomischen Tauglichkeit. Teil der Forschungsarbeit in der MRK ist es daher, Arbeitsinhalte vielfältiger zu gestalten und die Arbeitszufriedenheit bei gleichzeitiger Senkung der ergonomischen Belastung zu steigern. [Bux-2020, S. 2]

Die Mensch-Roboter-Kollaboration zeichnet sich vor allem durch die Nähe und die Form der Zusammenarbeit zwischen Roboter und Menschen aus. Neben den physischen Merkmalen, die Roboter mit Menschen teilen, wie zum Beispiel ein Arm, haben sie oft auch ähnliche Eigenschaften bezogen auf Interaktion und Kommunikation. Anhand von diesen Gemeinsamkeiten kann übergreifend gesagt werden, dass Mensch und Roboter zu einem soziotechnischen System zusammenwachsen können. Dabei spielen das Sein des Menschen und des Roboters, deren Körper und deren Präsenz im Raum neben deren Beziehungen und Ähnlichkeiten eine wichtige Rolle. [Bux-2020, S. 2]

Eine Kollaboration begrenzt sich dabei nicht nur auf ein gemeinsames Ziel, wie bei einer Kooperation, sondern es wird Hand in Hand an einer gemeinsamen Aufgabe gearbeitet. Es besteht die Möglichkeit verschiedenste Roboter und mehrere Menschen in Teams zu organisieren und deren individuelle Fähigkeiten optimal auszunutzen. Ähnlich wie der Mensch, können Roboter mit Werkzeugen ausgestattet werden, wodurch sie kompatibel für eine Vielzahl von Bereichen werden. Die Fähigkeit die neuen Aufgaben zu bewältigen, kommt diesbezüglich von implementierbarer Software kombiniert mit modernster Kamera- und Sensortechnologie. Alle Teile des Systems können optimal aufeinander abgestimmt werden und ergänzen sich hinsichtlich vielseitiger Aufgaben. [Bux-2020, S. 2ff.]

4.1.1 Nähe zwischen Mensch und Roboter

In der Kollaboration zwischen Mensch und Roboter spricht man von nahen bis sehr nahen Begegnungen. Im Extremfall kann es sogar zu Berührungen kommen, was für einige Aufgaben jedoch vorausgesetzt wird. Dabei soll weder der Mensch verletzt noch

der Roboter beschädigt werden. Einschlägige Normen und Erkenntnisse aus der sozialen Robotik und Maschinenethik sollen genau das verhindern, indem sich Maschinen rücksichtsvoll und vorsichtig verhalten. Dazu zählt unter anderem das Befolgen moralischer Regeln, die der Maschine beigebracht werden. [Bux-2020, S. 3] Prinzipiell scheut der Mensch Nähe, welche mit potenzieller Schadeinwirkung oder Gefahr verbunden ist. Trotz der jahrtausendealten Fähigkeit Feinde und Gefahr einzuschätzen, ist der Mensch dennoch nicht in der Lage jeden Roboter gut zu beurteilen. Das ist vorwiegend auf das ähnliche Erscheinungsbild zum Menschen bei unterschiedlichen Fähigkeiten zurückzuführen. Hinzu kommt die recht schnelle Gewöhnung an den Co-Robot durch die meist enge und intensive Zusammenarbeit, was zu Unachtsamkeiten führen kann. Nichtsdestotrotz ist die Nähe unabdinglich für die moderne Mensch-Roboter-Kollaboration, bei der jedoch die Unversehrtheit des Menschen an erster Stelle steht. [Bux-2020, S. 3]

4.1.2 Raum und Umgebungsbedingungen

Arbeiten Mensch und Roboter auf einer gemeinsamen Arbeitsfläche, nehmen beide einen gewissen Raum ein. Dabei wird der benötigte Raum durch die zusätzliche Bewegung weiterhin vergrößert. Diese Platzbeanspruchung kann bereits ein Ausschlusskriterium für einen Cobot sein, weshalb die meisten Entwickler diesen gering halten wollen. Herkömmliche Industrieroboter sind üblicherweise fest installiert, weshalb ihr benötigter Arbeitsraum beispielsweise von den Freiheitsgraden ihres Arms abhängig ist. Sowohl der Mensch als auch der Roboter können den Raum erfassen, wobei frei herumfahrende Cobots eine größere Herausforderung zu bewältigen haben. Sie müssen sich grundsätzlich im freien Raum zurechtfinden, indem sie mit Hilfe von Kameras, anderen Sensoren, Karten und Plänen oder mit Lidarsystemen, die in Echtzeit dreidimensionale Modelle erstellen können, navigieren. Dabei müssen Hindernisse und Stolperfallen erkannt und umgangen oder besser noch vermieden werden. Beim Einsatz von Service- und Transportrobotern wird die Dimension des Raums oft nicht ausreichend bedacht. Der Raum kann auf eine industrielle und eine menschliche Art wahrgenommen werden. Während in der industriellen Anschauung meist mehr als genug Platz für eine Vielzahl an Robotern vorhanden ist, schaut die menschliche Wahrnehmung oft anders aus. Zehn Roboter in einer Halle können als zahlreich und belastend empfunden werden und als Folge dessen die Menschen in der Umgebung beeinträchtigen. Der Raum als wichtige Dimension im System aus Mensch und Roboter ist daher stets kritisch zu betrachten und auf keinen Fall zu vernachlässigen. [Bux-2020, S. 6] Des Weiteren bilden die Umgebungsbedingungen im Raum einen wichtigen Faktor für die gemeinsame Nutzung eines Bereichs von Mensch und Roboter. Schmutz, Lärm und ungünstige Lichteinstrahlung aus der Umgebung beeinträchtigen die Wahrnehmung von akustischen bzw. visuellen Signalen des Menschen. Daher ist es essentiell

bei der Einführung eines neuen Systems geeignete Anpassungen zu treffen, um Probleme dieser Art zu umgehen und den Raum diesbezüglich zu Beginn einzuschätzen. [Poi-2022a]

4.2 Sozitechnisches System

Roboter und Mensch werden durch enge Zusammenarbeit in einer Mensch-Roboter-Kollaboration zu einem Gesamtsystem. Diese Art der Verschmelzung ist bereits aus verschiedensten Disziplinen und Kontexten bekannt. Informationssysteme zum Beispiel, werden in der Wirtschaftsinformatik als soziotechnisches System verstanden. Es braucht den Menschen im System, um beispielsweise einen Input zu geben, zum Verständnis oder für die Nutzung des Outputs. Das entstehende System aus Mensch und Roboter in der MRK kann auf verschiedenster Art und Weise interpretiert werden. Allerdings haben alle Interpretationen die Gemeinsamkeit, dass Mensch und Cobot ihre jeweiligen Stärken ausspielen und ihre Schwächen vermeiden. Außerdem kann festgehalten werden, dass sich beide mit Hinblick auf Aufgabe und Ziel ergänzen bzw. ergänzen sollen. Bei dieser Verschmelzung handelt es sich um ein soziotechnisches System, welches lediglich im Gemeinsamen und Gleichzeitigen funktioniert. Sowohl durch Nähe als auch durch die gemeinsamen Aufgaben und Ziele ist die Technologie eng mit dem Menschen verbunden. Erweitert man seinen Fokus, kann festgestellt werden, dass für die Funktion dieses Zusammenspiels noch weitere Parteien beteiligt sind. Sowohl der Mensch als auch der Roboter kann während des Prozesses und auch vor dem Projektbeginn Daten und Anweisungen von einer Instanz bekommen. Bei der Kollaboration geht es also nicht nur um das direkte Aufeinandertreffen, sondern auch um die Vernetzung mit Suchmaschinen, Nachschlagewerken, Klassifikationen und Ontologien sowie die Anbindung an Cloud Computing. Im Wesentlichen handelt es sich demzufolge um ein komplexes System aus mehreren Teilnehmern. In diesem MRK-Gesamtsystem können soziale Erwartungen und Vorschriften gelten, wobei soziale Normen den Aktionen des Roboters Grenzen setzen, indem er in gewissen Situationen den Erwartungen der Menschen entsprechen muss. Zusammenhänge aus der Maschinenethik stammen dabei aus der Motivation Roboter so zu programmieren, dass sie diesen sozialen Normen gerecht werden. [Bux-2020, S. 7f.]

4.2.1 Zusammenarbeit – Gemeinsame Arbeit von Mensch und Roboter

Eine Zusammenarbeit ergibt sich aus der gemeinsamen Arbeit in einem System bzw. an einem Objekt. Auch wenn auf die Logistik bezogen häufig nicht direkt an einem Objekt zusammengearbeitet wird, gilt trotzdem das Ziel in einem System zusammen zu agieren. Betrachtet man Übergabestationen oder ähnliche Situationen in einem Prozess, ist die Zusammenarbeit über die vorhandene Nähe schon eher gegeben.

Bereits seit vielen Jahrhunderten ist die Arbeit eine wesentliche Dimension des menschlichen Daseins. Der Mensch setzt Werkzeuge ein, um seine eigene Arbeit zu erleichtern und im Laufe der Zeit wurden immer häufiger Automaten gebaut, die selbstständig einen Teil der Arbeit verrichten konnten. Durch die MRK kehrt der Mensch jedoch wieder zu seiner ursprünglichen Position zurück. Als unverzichtbares Element der Tätigkeit versucht der Mensch seine Stärken mit den Vorteilen des Roboters zu kombinieren und macht den Prozess von sich und auch vom Roboter abhängig. Daher scheint die MRK die geeignete Antwort auf viele Produktions- und Logistikprozesse zu sein. Dennoch ist zu bedenken, dass womöglich Prozesse sukzessiv nur mehr zwischen verschiedenen Maschinen abgewickelt werden. Auch in diesen Anwendungen kollaborierender Maschinen ist eine ausgeklügelte Interaktionsform von großer Bedeutung. Viele Roboter sind nicht singuläre Maschinen, wie oft dargestellt, sondern vernetzt und abhängig. Cobots arbeiten Hand in Hand mit Menschen und es ist nicht einfach den jeweiligen Anteil an Arbeit zu bestimmen. Eine einfache Methode zur Quantifizierung über die Arbeitszeitanteile liefert keine brauchbaren Werte, denn diese sagen nichts über die qualitative Seite aus. Daher kann beispielsweise eine kurze Aktion große Komplexität bzw. eine lange Aktion eine niedrige Komplexität mit sich bringen. Dies ist unter anderem auch eine große Herausforderung für die Berechnung der Robotersteuer, die in manchen Ländern angedacht wird. Dabei wird ein fiktiver Stundenlohn eines Roboters angesetzt, der als Grundlage für die Besteuerung dient. Welcher Anteil der Arbeit wem zuzuordnen wird, ist demzufolge schwer zu bestimmen und dennoch ein wichtiger Aspekt für zukünftige Anwendungen. [Bux-2020, S. 8f.]

4.2.2 Was zeichnet eine Zusammenarbeit von Mensch und Roboter aus?

Kombiniert man Mensch und Roboter in einem System, kann man die Vorteile beider nutzen. Da sich das Arbeitsbild von Mensch und Roboter doch deutlich unterscheidet, können die jeweiligen Nachteile optimal durch den anderen Kooperationspartner ausgeglichen werden. Menschen können beispielsweise gut mit Bauteilen umgehen, auch wenn sie flexibel und biegsam sind. Sie können sich schnell an Aufgaben jenseits der Routine anpassen und sind in diesen Bereichen den Robotern einiges voraus. Außerdem können Roboter bei Aufgaben, bei denen vielfältige Erfahrungen vorausgesetzt sind, nicht mithalten. Menschen können darüber hinaus erkennen, dass ein Arbeitsgang nicht so funktioniert, wie er geplant wurde und können selbstständig korrigierend eingreifen. Nichtsdestotrotz haben Roboter einige Vorteile gegenüber dem Menschen. Sie erledigen Routinearbeiten und vorhersehbare Arbeiten besser, da sie auch bei eintöniger Arbeit nicht ermüden und sehr präzise arbeiten. Um die Vorzüge beider zu nutzen, übernehmen Menschen grundsätzlich Arbeiten, bei denen sie dem Roboter überlegen sind und es entsteht folglich ein menschengerechtes Arbeitssystem. Noch besser wird dieses System, wenn der Mensch dem Roboter Aufgaben zuweist, ihn

trainiert und in den Arbeitsabläufen des Roboters korrigierend eingreifen kann. Aus Sicht der Beschäftigten entsteht somit ein human und ganzheitliches Arbeitsbild und das Denken und Lernen wird gefördert. Die Anforderung an diese Zusammenarbeit ist es eine gelingende Interaktion von Mensch und Roboter als Team zu schaffen, durch welche die Produktion effizienter gestaltet werden kann. Die Arbeitsgestaltung wird hierbei an dem Ziel der Komplementarität ausgerichtet. Das bedeutet, dass die Funktionen nicht aufgrund vermuteter Leistungsvorteile jeweils dem Menschen oder dem Roboter zugeteilt werden, sondern die Interaktion zwischen Mensch und Roboter bei der Erfüllung der Aufgabe des Gesamtsystems unter explizitem Bezug auf ihre sich ergänzende Unterschiedlichkeit optimiert werden. [Bux-2020, S. 151f.]

Die Zusammenarbeit von Mensch und Robotern zeichnet sich meist nicht nur durch einen gemeinsamen Arbeitsraum aus, sondern häufig auch durch den direkten physischen Kontakt mit den Robotern. Um zu klären, was eine Mensch-Roboter Zusammenarbeit im Kontext einer Interaktion bedeutet, benötigt es klare Kriterien für die Einteilung und den Vergleich unterschiedlicher MRI-Szenarien. Die Taxonomie von Onnasch und Roesler bietet diesbezüglich einen Klassifikationsansatz, welcher es ermöglicht, eine multidimensionale Einordnung des MRI-Kontextes, des Roboters und der Teamkomponenten mit vordefinierten Kategorien unterschiedlicher Interaktionen zwischen Mensch und Roboter zu realisieren. Die Einteilung bestehender MRI-Szenarien erfolgt dabei top-down vom Interaktionskontext über Eigenschaften des Roboters zu der spezifischen Teamgestaltung. Außerdem wird das Szenario durch eine kurze Illustration und Beschreibung des Roboters verdeutlicht. Um festzustellen, was die vorliegende Zusammenarbeit von Mensch und Roboter auszeichnet sind vor allem die Bereiche „Einsatzgebiet“ und „Rolle des Menschen“ zu beachten. Eine beispielhafte Beschreibung eines Roboters durch die Taxonomie von Onnasch und Roesler wird in der folgenden Abbildung 4-1 gezeigt. [Bux-2020, S. 164ff.]

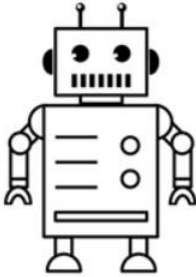
<p>Beschreibung & Illustration des Roboters</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p>Einsatzgebiet</p> <p>Industrie Service Militär & Polizei Raumfahrt Therapie Bildung Unterhaltung keines</p>		<p>Exposition</p> <p>physischer Roboter Feldstudie Laborexperiment</p> <p>nicht-physischer Roboter Feldstudie Laborexperiment</p>
		<p>Aufgabe des Roboters</p> <p>Informationsaustausch Präzision Entlastung Transport Manipulation kognitive Stimulation emotionale Stimulation physische Stimulation</p>	<p>Morphologie des Roboters <i>anthropomorph (1), zoomorph (2) technisch (3)</i></p> <p>bezüglich: Aussehen Kommunikation Bewegung Kontext</p>
<p>Rolle des Menschen</p> <p>Supervisor*in Operateur*in Kollaborateur*in Kooperateur*in Unbeteiligte*r</p>	<p>Kommunikationskanal</p> <p>Input elektronisch mechanisch akustisch optisch</p> <p>Output mechanisch akustisch optisch</p>	<p>Nähe</p> <p>zeitlich synchron asynchron</p> <p>räumlich führend berührend annähernd vorbeigehend vermeidend keine</p>	<p>Teamzusammensetzung</p> <p>$N_H = N_R$ $N_H > N_R$ $N_H < N_R$</p>

Abbildung 4-1: Beispielhafte Beschreibung eines Roboters nach der Taxonomie von Onnasch und Roesler [Bux-2020, S. 166]

In den verschiedenen Kacheln der Abbildung 4-1 wird der Roboter als Partner in einem Team beschrieben, wobei die tatsächliche Zusammenarbeit von Mensch und Roboter über die Begriffe Kooperation und Kollaboration unter der Kategorie „Rolle des Menschen“ unterteilt wird. In der kooperierenden Rolle arbeitet der Mensch mit dem Roboter zusammen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen, indem beide Parteien nicht direkt voneinander abhängige Aufgaben bewältigen. Bei der kollaborierenden Rolle hingegen, arbeitet der Mensch mit dem Roboter mittels voneinander abhängiger Aufgaben auf ein gemeinsames Ziel hin, wobei die Schaffung und Nutzung von Synergien, um die gemeinsame Zielstellung zu erreichen, im Fokus stehen. Neben diesen Formen der Zusammenarbeit kann der Mensch auch als Supervisor (Überwachung), als Operateur (Steuerung des Roboters) oder als Unbeteiligter (Vermeidung des Roboters) mit dem Roboter interagieren. Diese möglichen Ausprägungen der menschlichen Rolle in der MRI zeigen, dass Mensch und Roboter in allen Einsatzbereichen zusammenarbeiten können. Wobei die Kollaboration und Kooperation die tatsächliche Zusammenarbeit mit einer gemeinsamen Zielsetzung und Arbeit ohne Trennung durch Schutzzäune beschreibt. Die Kollaboration umfasst darüber hinaus eine ergänzende Nutzung der Fähigkeiten von Mensch und Roboter, während sie gemeinsam Teilaufgaben bewältigen. [Bux-2020, S. 167]

4.2.3 Vor und Nachteile der Kombination von Mensch und Roboter

Nahezu bei fast allen Produktions- und Logistikprozessen gibt es Arbeitsschritte, die besonders anstrengend, eintönig oder unsauber sind. Nur wenige Mitarbeiter sind bereitwillig diese Tätigkeiten freiwillig zu übernehmen, deswegen könnte die Mensch-Roboter-Kollaboration eine passende Lösung sein, um dem Problem entgegenzuwirken. Außerdem haben die Mitarbeiter die Möglichkeit ihren Fokus gleichzeitig auf hochwertigere Tätigkeiten zu richten. Ist eine Vollautomatisierung zu teuer oder nur bedingt möglich, bietet die MRK eine Option, Teilprozesse herauszulösen und sie zwischen Mensch und Roboter aufzuteilen. Dadurch entsteht eine gleitende Automatisierung in vielen praktischen Anwendungen, deren Umsetzung bisher unwirtschaftlich beziehungsweise unrealistisch erschien. Mitarbeiter können im Notfall eingreifen und die Verfügbarkeit von Gesamtanlagen verbessern. Monotone Aufgaben, die hohe Präzision erfordern, eignen sich neben konzentrationsintensiven und gefährlichen Tätigkeiten besonders gut für eine Mensch-Roboter-Kollaboration. Durch den Einsatz werden Facharbeiter entlastet und die Fertigungsqualität gesteigert. Bei der Beladung von mehreren Maschinen auf Fertigungslinien beispielsweise, kann die MRK unterstützen und insbesondere zu Nachtschichtzeiten eine kostengünstige und ressourcenschonende Alternative sein. Dabei dürfen weder der Mensch noch die zu beladenden Maschinen zu Schaden kommen. Größtenteils ist die Einführung einer Mensch-Roboter-Kollaboration allerdings aus anderen Gründen von Relevanz. Wenn die Entlastung oder der Ersatz eines Mitarbeiters durch die Nachrüstung eines Roboters erfolgen soll, aber aus Platzeinsparungen kein Umbau der bestehenden Maschinen mit trennenden Schutzeinrichtungen oder Zäunen möglich ist, kann die MRK Abhilfe schaffen. Logistik und Handhabung können somit trotzdem sicher flexibilisiert werden. Ziel der MRK ist nicht nur die Automatisierung von Prozessen, sondern auch eine gesamte Wertschöpfungskette nachhaltig zu vernetzen und möglichst flexibel zu halten. Die dadurch entstehende größtmögliche Synergie von Menschen und Maschine und die Automatisierung bei höchster Einsatzeffizienz wird durch das effiziente gemeinsame Wirken von Mensch und Roboter in gemeinsam genutzten Arbeitsräumen erreicht. [Höc-2018]

Einen Überblick über Vorteile und die tendenziellen Nachteile der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter zeigt die folgende Tabelle 4.1.

4 System aus Mensch und Roboter

Vorteile	Nachteile
Schwierig zu automatisierende Teilprozesse	Sicherheitskonzept
Komplizierte Teilebereitstellung und Zuführung an den automatischen Prozess	Eher komplizierte Arbeitsvorbereitung und -planung
Höhere Ergonomie für den Werker	Auslastungs- und Effizienzprobleme
Höhere Genauigkeit im Prozess	Investition
Keine Kosten, um Bereiche mit Schutzzäunen usw. abzusichern	Lohnkosten
Bestehende Strukturen müssen bei Einführung von Robotern nicht verändert werden	

Tabelle 4-1: Vor- und Nachteile des Einsatzes von MRK nach [Bux-2020, S. 22f.; Roc-2022a]

4.3 Verantwortung und Haftung

Bei der Mensch-Roboter-Kollaboration stellen sich einige Fragen zur Haftung und Verantwortung in Bezug auf Raum, Körper und Nähe. In Folge der ständigen potenziellen Nähe kann es zu Berührungen und schlimmstenfalls auch zu Verletzungen kommen. Wie bei allen autonomen und teilautonomen Themen werden viele Grundlegende Fragen aufgeworfen. Wer sich genau im Falle eines Unfalls verantworten muss, lässt sich pauschal nicht beantworten. Es muss festgelegt werden, ob der Hersteller, der Manager, der Ingenieur oder Programmierer, der Betreiber oder der Arbeiter die Verantwortung trägt. Denkbar ist auch, dass sich bei einigen Unfällen oder Vorkommnissen mehrere Parteien verantworten müssen. Ein solcher Zuspruch der Verantwortung gestaltet sich allerdings schwierig, denn meistens waren hunderte Personen an einer Entwicklung beteiligt und Roboter werden permanent mit Daten gespeist. Eines ist dabei aber klar, unabhängig davon wie intelligent ein Roboter sein mag, er ist von der Verantwortung bis auf Weiteres ausgenommen, da er selbst keine Rechte hat und keine besitzen kann. Bei der Haftung aus rechtlicher Sicht gibt es in diesem Zusammenhang grundsätzlich keinen Unterschied. Zur Lösung dieses Problems wurde unter anderem die elektronische Person als juristische Person vorgeschlagen, trotzdem kann ein Roboter aber nicht mit einem klassischen Unternehmen gleichgesetzt werden. Von einem Roboter gehen konkrete physische Handlungen aus. Er ist mobil, navigiert und analysiert er seine Umwelt und es findet eine gewisse Interaktion zwischen Roboter und Umwelt statt. Nichtsdestotrotz kann es vor allem im zivilrechtlichen Bereich einige Gemeinsamkeiten zwischen Robotern und herkömmlichen juristischen Personen geben. Beispielsweise könnte man einen Roboter mit einem Budget ausstatten oder an einem Fond anknüpfen, um die Möglichkeit zu bieten, einen Schaden sofort begleichen zu können. Im Allgemeinen sind die Haftung bei Unfällen (Rechtsethik), die Verantwortung bei Datenmissbrauch oder bei der Überwachung, die Verletzung der Intim- und Privatsphäre (Informationsethik) und der Roboter als Objekt der Moral (Roboterethik)

erforderlich, um diese Fragen sinnesgemäß zu beantworten. Die Unternehmensethik kann darüber hinaus eine wichtige Rolle spielen. Sie beschäftigt sich mit der Verantwortung von Unternehmen und derer ihrer Mitarbeiter. [Bux-2020, S. 10]

4.4 Akzeptanz der Mitarbeiter – Verlust und Veränderung der Arbeit

Bei der klassischen Automatisierung von Prozessen wird die menschliche Arbeit verdrängt und dementsprechend auch Arbeitsplätze reduziert. Gegen diesen Wandel sprechen sich vor allem die substituierten Arbeitskräfte aus. Im Gegensatz dazu passiert dies bei der Mensch-Roboter-Kollaboration nicht, es ändert sich lediglich die Form der Arbeit und es kann argumentiert werden, ob die Arbeiter vom Funktionieren des Cobots abhängig sind oder nicht. Bisherige Mensch-Roboter-Kollaborationen zeigen, dass menschliche Arbeit zwar anhand von Roboter erledigt werden kann, allerdings nur unter Beibehaltung von menschlichen Fertigkeiten. Dennoch ist es schwer zu begreifen, wie etwas unabdingbar zum Dasein des Menschen gehören soll, das automatisiert werden kann. Es wird außerdem angezweifelt, ob der Arbeitnehmer nur aufgrund von Mitleid und Mitgefühl des Arbeitgebers seinen Restanteil der Arbeit behalten darf. Der Gedanke, dass der Werktätige Tag für Tag an seiner Abschaffung arbeitet, ist nicht sehr unwahrscheinlich, denn der Cobot hat im Prinzip die Gelegenheit jederzeit zu beobachten, zu lernen und zu guter Letzt die Arbeit gleich gut oder in manchen Fällen sogar noch besser zu bewältigen. Menschen würden dabei aus dem System ausscheiden und die Kollaboration würde sich nur noch zwischen verschiedenen Robotern abspielen. Das soziotechnische System würde sich in ein technisches System umwandeln und das Soziale und das Moralische existiere nur mehr in kodierter Form.[Bux-2020, S. 11]

Häufig wird die Akzeptanz der Technik als Anforderung für die Neueinführung einer Technologie vorausgesetzt. Diese Akzeptanz wird dann erreicht, wenn die Beschäftigten dazu bereit sind, mit der Technik zusammen zu arbeiten. Sie ist essenziell, um die produktionstechnischen Ziele zu erreichen, da nur akzeptierte Technik auch hinreichend genutzt wird. Laut einer Studie von Bröhl, in der es um die Entwicklung und Analyse eines Akzeptanzmodells für die Mensch-Roboter-Kooperation in der Industrie geht, haben zwei Faktoren einen hohen Einfluss unter welchen Bedingungen Beschäftigte einen Roboter positiv aufnehmen. Zum einen handelt es sich dabei um die wahrgenommene Nützlichkeit und zum anderen um die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit. Die wahrgenommene Nützlichkeit hatte in der Studie den größten Einfluss auf die Bereitschaft einen Roboter effektiv zu nutzen. Sie spiegelt sich in der arbeitsbezogenen Relevanz und in der Qualität des Ergebnisses wider. Der Faktor, der die

wahrgenommen Benutzerfreundlichkeit maßgebend bestimmt, ist die empfundene Selbstwirksamkeit. Der Arbeitnehmer nimmt sich selbst als selbstwirksam wahr, wenn er in der Lage ist den Roboter erfolgreich zu bedienen. Fühlen sich die Arbeitskräfte in der Umgebung des Roboters unwohl, wirkt sich dies negativ aus. In der Studie wird dieser Zustand als „Roboterangst“ betitelt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die wahrgenommene Sicherheit mit der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit einher geht und kommt es zusätzlich zu einem wahrgenommenen Vergnügen der Mitarbeiter, wirkt sich dies wiederum positiv auf die wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit aus. Die Studie zeigt auf, worauf es bei der Entstehung von Akzeptanz ankommt, und macht sichtbar, dass Akzeptanz von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist. In der Umsetzung neuer System ist es daher wichtig im Vorfeld zu prüfen, ob die Beschäftigten dafür bereit sind mit einem Roboter zu kollaborieren bzw. welche Schritte noch eingeleitet werden müssen, um sie auf eine Zusammenarbeit vorzubereiten. [Bux-2020, S. 150f.]

Die Unternehmensvertreter, die im Rahmen dieser Arbeit interviewt wurden, waren zum Teil bereits mit der Akzeptanz von Mitarbeitern konfrontiert, allerdings konnten Mitarbeiter durch ausgewogener Vorarbeit und Vorbereitung gut auf die Konfrontation vorbereitet werden. Es wurde bereits im Kunden-Feedback erkennbar, dass Roboter als direkte Konkurrenten wahrgenommen werden, aber in den meisten Fällen kommt es trotzdem zu keiner Manipulation von Seiten der Mitarbeiter, um die Leistungsfähigkeit der Roboter absichtlich zu verschlechtern. Mit höherer Wahrscheinlichkeit werden die Roboter von den Arbeitnehmern aus der spielerischen Natur heraus getestet, um festzustellen wie sie in gewissen Situationen reagieren. [Roc-2022a] Mitarbeiterakzeptanz spielt eine sehr große Rolle und ist daher auch wesentlicher Bestandteil der Kundenbetreuung, welche die Aufgabe erfüllt, zu Informieren und die Mitarbeiter aufzuklären. Klare Kommunikation über Veränderungen sind unbedingt notwendig, damit nichts hinter dem Rücken der Mitarbeiter passiert und um den damit verbundenen Unmut zu vermeiden. Bei Schiller Automatisierungstechnik beispielsweise werden den Robotern spielerische Namen gegeben, welche die Mitarbeiter aussuchen können. Das fördert die Akzeptanz und die Mitarbeiter werden langsam an die Roboter herangeführt. Außerdem kann die Einführung einer verständlichen Kommunikation zwischen Mensch und Roboter zu einer erhöhten Zustimmung der Mitarbeiter führen, denn nur wenn Cobots durch ihre Signale verstanden werden, können sie am Arbeitsplatz angenommen werden, Problemsituationen können gelöst werden und führen in der Konsequenz nicht zu genervtem Personal. [Asb-2022a]



Abbildung 4-2: Spiegel Titelblätter zur Akzeptanz für Roboter [Spi-2022]

Die Akzeptanz des Menschen ist stark von der Kommunikation vor und während der Einführung eines Systems bestimmt. Daher ist es wichtig alle Beteiligten auf den Einsatz von Robotern vorzubereiten. Für den funktionierenden Betrieb ist es die Aufgabe von Entwicklern und der Forschung, sinnvolle Wege der Kommunikation zu finden, um eine reibungslose und intuitive Zusammenarbeit zu ermöglichen. [Asb-2022a]

4.5 Sicherheit in der MRK

Zukünftige Produktions- und Logistikkonzepte basieren zunehmend auf Mensch-Roboter-Kooperationsarbeitsplätzen ohne trennende Schutzeinrichtungen. Eine Verletzung des Menschen durch einen Roboter muss dabei in jedem Fall vermieden werden, auch wenn der Arbeitsraum geteilt wird. Sicherheit ist für den erfolgreichen Einsatz von Robotern in diesem Bereich von grundlegender Bedeutung, da sie über die Möglichkeiten und Grenzen der MRK maßgeblich entscheidend ist. Aus technischer Sicht gibt es bereits mehrere Ansätze, um die Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kooperation zu gewährleisten, allerdings ist es zwingend notwendig, für das jeweilige Anwendungsszenario eine Risikoanalyse unter Berücksichtigung der relevanten Normen und Richtlinien durchzuführen. Dafür ist eine spezifische Risikoanalyse erforderlich, welche auch die Peripherie rund um den Roboter umfasst. Je nach Einsatzfall können

Einzelsicherheitsmaßnahmen ausreichen oder auch die Kombination verschiedener Technologien verwendet werden. In den folgenden Unterkapiteln wird darauf genauer eingegangen und die Normenlage erklärt. [Elk-2013, S. 1]

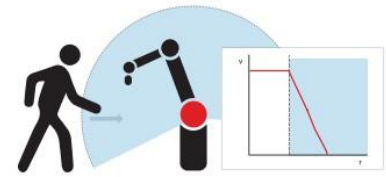
4.5.1 Richtlinien und Normen für eine sichere MRK

Für den zukünftigen Einsatz von Robotern, in einem gemeinsamen Arbeitsraum mit Menschen, müssen die Sicherheitsanforderungen gemäß einiger Normen erfüllt werden. Neben der EG-Maschinenrichtlinie, für die Beurteilung der Sicherheit, gibt es weitere spezifische Normen, die bei der Einführung einer MRK-Anwendung zu beachten sind. Die wichtigsten Normen sind dabei DIN ISO 10218-1 „Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen Teil 1: Roboter“ und DIN EN ISO 10218-2 „Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen Teil 2: Robotersysteme und Integration“. Beide Normen wurden 2011 in überarbeiteter Form veröffentlicht und 2012 durch die ISO/TS 15066 „Robots and Robotic Devices – Safety Requirements for industrial robots – Collaborative operation“ ergänzt. Die ergänzende Norm enthält Vorgaben für die Risikobeurteilung und Gefahrenidentifikation, die Anforderungen an Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sowie biomechanische Grenzwerte für den Kollisionsfall. In der BG/BGIA-Empfehlung von 2011 für die „Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinien – Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern“ wurden diese biomechanischen Grenzwerte erstmals vom Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) veröffentlicht. Die Inhalte dieser Empfehlung sind das Ergebnis umfangreicher Literaturrecherchen und beschreibt die Stoß- und Klemmkraft sowie die Flächenpressung, die bei einer unerwünschten Kollision maximal auftreten dürfen. Aus der Sicht des Arbeitsschutzes dürfen maximale Verletzungen des Menschen durch einen Roboter eine Schwellung oder Hämatom nicht überschreiten und schwerere Verletzungen wie Knochenbrüche oder sogar offene Wunden müssen ohne Frage ausgeschlossen werden. [Elk-2013, S. 2]

Um diesen Anforderungen der Sicherheit gerecht zu werden, gibt es vier grundsätzliche Schutzprinzipien in der MRK. Diese wurden vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) im Positionspapier „Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration“ veröffentlicht und sind Bestandteil der zuvor genannten Normen EN ISO 10218 und ISO/TS 15066. Die vier Prinzipien lauten: [VDM-2016, S. 1]

1. Sicherheits-gerichteter überwachter Stillstand

Nach diesem Prinzip hält der Roboter an, wenn ein Mitarbeiter den gemeinsamen Arbeitsraum betritt und fährt erst dann weiter, wenn der Mitarbeiter den gemeinsamen Arbeitsraum wieder verlässt. Eine konkrete Zusammenarbeit wird demzufolge verhindert, wodurch jegliche Gefahren verhindert werden. [VDM-2016, S. 1]



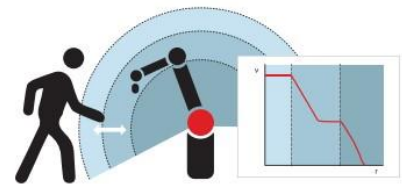
2. Handführung

Der Roboter wird durch eine geeignete Ausrüstung direkt vom Menschen gesteuert. Der Mensch gibt somit die Roboterbewegung vor und hat die Kontrolle über den gesamten Arbeitsinhalt. [VDM-2016, S. 1]



3. Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung

Der Roboter verhindert durch geeignete Ausrüstung, dass ein Kontakt zwischen ihm und Mensch zustande kommen kann. [VDM-2016, S. 1]



4. Leistungs- und Kraftbegrenzung

Kontaktkräfte zwischen Mensch und Roboter werden technisch so begrenzt, dass ein möglicher Kontakt ungefährlich ist. [VDM-2016, S. 1]

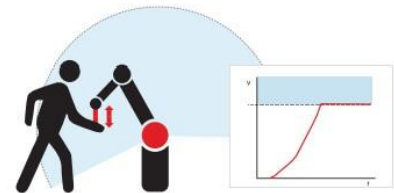


Abbildung 4-3: Sicherheitsprinzipien nach TS 15066
[Mar-2016, S. 11]

4.5.2 EG-Maschinenrichtlinie und Sicherheitskonzepte

Wie bei der Inbetriebnahme von herkömmlichen Maschinen spielt auch bei der Neueinführung von MRK-Anwendungen die Definition von Sicherheitsregeln eine zentrale Rolle. Jeder Arbeitgeber ist dazu verpflichtet, seinen Mitarbeitern sichere Maschinen zur Verfügung zu stellen. Da bei MRK-Anwendungen trennende Schutzvorrichtungen wegfallen, sind die strikte Erfüllung von Sicherheitsauflagen unabdingbar. Laut § 4 Abs. 1 der neuen Betriebssicherheitsverordnung müssen folgende drei Punkte erfüllt sein, sodass der Arbeitgeber die vorliegenden Maschinen zur Verfügung stellen darf: [VDM-2016, S. 4]

1. Eine Gefährdungsbeurteilung wurde durchgeführt.
2. Die aus der Gefährdungsbeurteilung resultierenden Schutzmaßnahmen wurden implementiert.
3. Eine sichere Verwendung der Maschine liegt unter Einsatz von den ersten beiden Punkten vor.

Um den Zustand aus Punkt drei zu erreichen, muss also vor der Inbetriebnahme eine sicherheitstechnische Bewertung vorliegen, die auf der EG-Maschinenrichtlinie basiert. Die Maschinenrichtlinie beinhaltet Anforderungen für die Konstruktion von sicheren Maschinen und dient zur Bewertung des sicherheitstechnischen Zustands von Maschinen. Für die Mitglieder der EU ist es verpflichtend EG-Maschinenrichtlinien in nationales Recht umzusetzen, wodurch jeder Hersteller verpflichtet ist die Auflagen dieser zu erfüllen. In Deutschland wird die umgesetzte Richtlinie unter dem Namen Produktsicherheitsgesetz ProdSG geführt. [Bux-2020, S. 27] Mit einer EG-Konformitätserklärung gibt der Hersteller an, dass das vorliegende Produkt den geltenden Anforderungen entspricht. Wird diese Maßnahme erfüllt kann anschließend das CE-Kennzeichen vergeben werden. Die fundamentale Voraussetzung dafür ist die Risikobeurteilung und die Umsetzung von notwendigen Sicherheitsmaßnahmen der im Kapitel 4.5.1 genannten Normen. [VDM-2016, S. 4]

Laut der EG-Maschinenrichtlinie wird in vollständige und unvollständige Maschinen unterschieden. [Bux-2020, S. 28] Dabei ist eine unvollständige Maschine wie folgt definiert: „Eine unvollständige Maschine ist eine Gesamtheit, die fast eine Maschine bildet, für sich genommen aber keine bestimmte Anwendung erfüllen kann. Ein Antriebssystem stellt eine unvollständige Maschine dar. Eine unvollständige Maschine ist nur dazu bestimmt, in andere Maschinen oder in andere unvollständige Maschinen oder Ausrüstungen eingebaut oder mit ihnen zusammengefügt zu werden, um zusammen mit ihnen eine Maschine im Sinne dieser Richtlinie zu bilden.“ [2006/42/EG] Bei MRK-Anwendungen ist es unklar, ob es sich um eine vollständige oder unvollständige Maschine handelt. Demzufolge können sie sowohl als vollständige als auch als unvollständige Maschinen betrachtet werden. Wichtig dabei ist, dass die folgenden Punkte laut Artikel 5 der EG-Maschinenrichtlinie bei der erstmaligen Inbetriebnahme einer Maschine erfüllt werden: [Bux-2020, S. 28]

- Die Anforderungen des Anhang I der EG-Maschinenrichtlinie müssen erfüllt sein,
- die technischen Unterlagen gemäß Anhang VII der EG-Maschinenrichtlinie müssen beiliegen,
- erforderliche Informationen, z. B. Betriebsanleitung müssen beiliegen,
- die Konformitätsbewertungsverfahren nach Artikel 12 der EG-Maschinenrichtlinie muss durchgeführt werden,
- die EG-Konformitätserklärung gemäß Anhang II der EG-Maschinenrichtlinie ist zu erstellen und beizulegen und
- die CE-Kennzeichnung gemäß Artikel 16 ist an der Maschine anzubringen [Bux-2020, S. 28]

Sollte es trotz der getroffenen Sicherheitsvorkehrungen zu einer Kollision zwischen Menschen und Maschine kommen, muss mithilfe von Schadenbegrenzung die Folgen auf das geringstmögliche Ausmaß reduziert werden. Es gibt dafür verschiedene Strategien. Der erste Ansatz besagt, dass in der Roboterstruktur Elastizität bewusst und konstruktiv vorzusehen ist, damit die Kontaktkräfte bei einer Kollision reduziert werden. Hierfür können beispielsweise Nachgiebigkeiten in den Antrieben berücksichtigt werden. Dieser Ansatz ist sehr effektiv, bringt allerdings häufig Nachteile für präzise Anwendungen wie Positionierungsaufgaben mit sich. Eine alternative Möglichkeit besteht darin, Sollbruchstellen vorzusehen. Dabei wird an bestimmten Teilen des Roboters eine irreversible, plastische Verformung oder ein Bruch in Kauf genommen, um Schäden für den Menschen bei einer ungewollten Kollision zu minimieren. Beim Eintritt dieses Szenarios wird die kinetische Energie des Roboters in Verformungsenergie umgewandelt, wodurch vor dem Wiederanlauf des Roboters eine Instandsetzung notwendig ist. Als drittes Konzept können Dämpfungsmaterialien eingesetzt werden. Hierfür werden zum Beispiel starre Strukturen von Robotern ummantelt, um kollisionsgefährdete Stellen zu entschärfen. Es wird wiederum ein Teil der kinetischen Energie in Verformungsenergie umgewandelt und zusätzlich können spitze Ecken und scharfe Kanten abgedeckt werden. Die vierte Strategie der Schadensbegrenzung ist eine Leistungsbegrenzung. Durch eine permanente Kontrolle der Leistungsaufnahme in den Antrieben kann die Begrenzung der Leistung in der Steuerung des Roboters realisiert werden. Kollidieren Mensch und Roboter wird die Kraft- und Druckwirkung auf den Menschen möglichst geringgehalten. [Bux-2020, S. 28f.]

4.6 Technologien für die Erfüllung der Sicherheitskonzepte

Wie bereits in der Normenlage im Kapitel 4.5.1 erwähnt, gibt es verschiedene Möglichkeiten einen sicherheitsgerechten Zustand eines Roboters zu erzielen. Je nach Einsatzfall können Einzelsicherheitsmaßnahmen ausreichen oder auch Kombinationen verschiedener Technologien dafür genutzt werden. Mittels intelligenter Arbeitsraumüberwachung können Robotergeschwindigkeiten an Situationen angepasst werden und des Weiteren können mit taktilem Sensorik oder mit interner Momenten-Sensorik, Kollisionen zuverlässig erkannt und entschärft werden. Nur mithilfe von ausreichenden Sicherheitsmaßnahmen kann eine hohe Effizienz der Roboter bei gleichzeitiger Sicherheit für den Menschen gewährleistet werden. Zu der Grundausstattung heutiger Systeme zählen neben der sensorischen Arbeitsraumüberwachung mit Kameras, Laserscanner oder ortsauflösende Schaltmatten auch Sensorsysteme zur Kollisionserkennung, welche mit taktilen Sensoren arbeiten oder den gesamten Roboter mit einem Schutzfeld umhüllen. Solche Schutzfelder dienen zur Annäherungsdetektion und ermöglichen einen sicheren Umgang mit den Robotern. Darüber hinaus werden

Roboter inzwischen so konstruiert, dass Roboterkinematiken ohne Klemmstellen zum heutigen Standard gehören. Diese werden obendrein durch eine Leichtbauweise und eine Momenten-Überwachung in den Gelenken unterstützt. Für die Umsetzung eines sicheren Systems gibt es drei Bereiche, die zu beachten sind. Diese werden in der folgenden Abbildung 4-4 angeführt. [Elk-2013, S. 4]

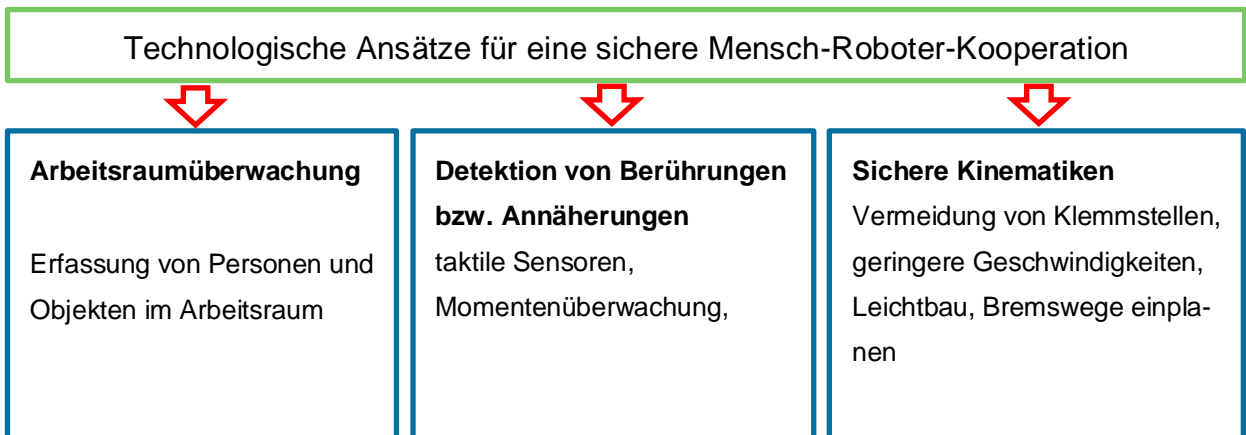


Abbildung 4-4. Technologische Lösungsansätze für eine sichere MRK nach [Elk-2013, S. 4]

Für die verschiedenen Hersteller von Robotern gilt es diese Bereiche abzudecken und sichere Roboter nach den Vorschriften aus der Maschinenrichtlinie und den normativen Vorschriften zu konstruieren. Wie bereits erwähnt gibt es verschiedene Ansätze, die alleinstehend oder in Kombination diese Standards erfüllen müssen. Wie das spezifisch gelöst wird, ist von Hersteller zu Hersteller verschieden. Im folgenden Abschnitt werden einige sicherheitstechnische Lösungen der Unternehmen aus den Experteninterviews, die im Rahmen dieser Studienarbeit durchgeführt wurden, vorgestellt.

4.6.1 AGILOX

Bei den Systemen von AGILOX werden Hindernisse erkannt und automatisch umfahren. Des Weiteren ermöglichen verschiedenen Sensoren, wie Sicherheits-, Laserscanner oder die Obstacle Avoidance, sicher und präzise durch die Umgebung zu navigieren und schaffen ein sicheres Arbeitsumfeld. Vier sicherheitstechnische Maßnahmen werden in der folgenden Abbildung 4-5 dargestellt.[Agi-2022]



OBSTACLE AVOIDANCE

- 3D LIDAR Sensor
- erkennt Hindernisse im Fahrweg
- Möglichkeit Hindernissen aktiv auszuweichen
- Gibt weitere Variante mit ähnlicher Funktion



SIGNAL LIGHT PACKAGE

- Nach vorne gerichtete Lichtquelle am Fahrzeug
- Signalisiert, dass sich Fahrzeug nähert
- Unterschiedliche Signalfarben möglich



IO MODUL

- Zur Interaktion mit peripheren Einrichtungen (Brandmeldeanlagen, Ampelsystemen)



FLOOR SPOT

- Nach vorne gerichtete Lichtquelle
- Kündigt Fahrzeug an

Abbildung 4-5: Sicherheitsmaßnahmen AGILOX [Agi-2022]

4.6.2 magazzino



Bei magazzino werden zertifizierte Laserscanner am Heck und an der Front des Fahrzeugs verwendet, um frei im Raum navigieren zu können und ermöglichen demzufolge einen Einsatz parallel zum Menschen. Außerdem werden teilweise auch 3D-Kameras verwendet, um Hindernisse zu erkennen. Anhand von diesen Hilfsmitteln können die Fahrzeuge selbstständig agieren und erfüllen die notwendigen Sicherheitsanforderungen. Wird ein Hindernis erkannt, reagiert das Fahrzeug, indem es seine Geschwindigkeit reduziert, gegebenenfalls stoppt oder eine alternative Route wählt. [Mag-2022]

Abbildung 4-6: Sicherheitskonzept Magazino GmbH [Mag-2022]

4.6.3 robominds

Bei robominds wird ähnlich wie bei anderen Herstellern mithilfe eines Laserscanners ein Schutzfeld um den Roboter erzeugt. Dieses ist in verschiedenen Zonen eingeteilt, welche nach der Nähe zum Roboter eingeteilt sind. Beim Betreten dieser Zonen werden Geschwindigkeiten zunehmend gesenkt, bis ein Stillstand erreicht wird. Zudem sind Kraft- und Momentbegrenzungen für die Schadenbegrenzung vorgesehen. [Bro-2022a]



Abbildung 4-7: robominds – Sicherheit [rob-2022]

4.6.4 Jungheinrich

Durch die große Produktvielfalt von Jungheinrich gibt es eine Vielzahl an technischen Sicherheitslösungen für einen sicheren Einsatz der Fahrzeuge. In den folgenden Beispielen sind daher nur einige Sicherheitssysteme angeführt, welche unter anderem bei Autonomous Driving Vehicles von Jungheinrich eingesetzt werden können.

Zone Control

- Teilt den Arbeitsraum in Bereiche ein
- Lichtschranken an Gasseneingängen stoppen Fahrzeuge in Gasse
- Automatisches Bremsen in gewissen Zonen bzw. automatische Aktionen [Jung-2021]

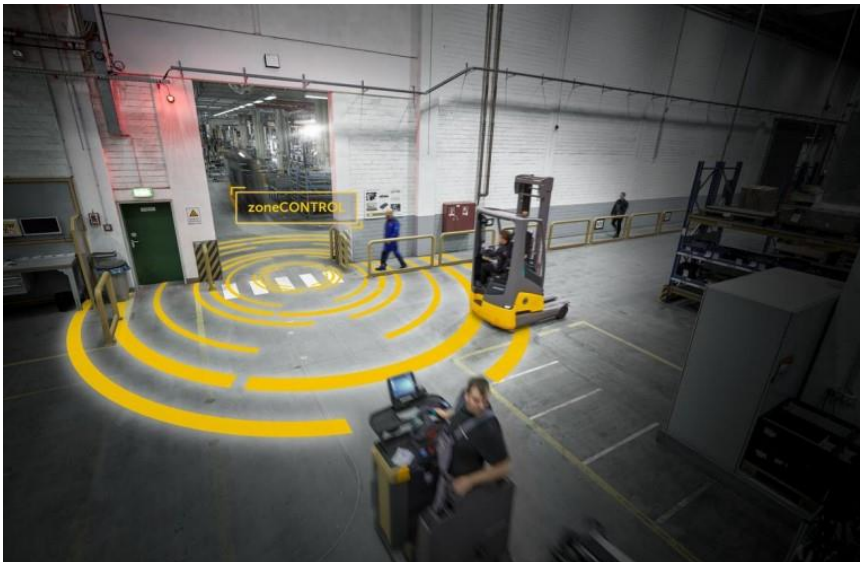


Abbildung 4-8: Jungheinrich Zone Control [Jung-2021]

Kamera Lösungen

- 360° View Kamera für guten Überblick
- Rückfahrkamera [Jung-2021]





Abbildung 4-10: Projiziertes Schutzfeld [Jung-2021]

Visuelle Sicherheitssysteme

- Floor Spot – kündigt Fahrzeug durch Lichtpunkt an
 - Projiziertes Schutzfeld
 - Projizierte Schilder oder Hinweise auf Boden an fixen Orten
- [Jung-2021]

Zusammengefasst gibt es viele verschiedene Technologien, mit denen ein sicheres Arbeitsumfeld gewährleistet wird. Dennoch kann es zu Notfallsituationen kommen, die sich außerhalb der gezeigten Sensorsysteme abspielen. Ein Feueralarm in einer Lagerhalle ist beispielsweise ein unvorhersehbarer Zustand, in dem gezielt reagiert werden kann und die Sicherheit aufrecht erhalten bleiben muss. Solche Notfallsituationen müssen in den Systemen im Vorfeld definiert werden, um genau festzulegen, was bei welchem Notfall passieren muss. Je nach Anwendung, Unternehmen und dessen zuständiger Versicherung gibt es verschiedene Konzepte. Beim Hersteller robominds zum Beispiel, fahren die Fahrzeuge bei einem Feueralarm über definierte Wege in Stehbereiche, wo sie niemandem im Weg sind, und keine Fluchtwege blockieren. [Bro-2022a]

In anderen Anwendungen wie beispielsweise beim Hersteller magazzino, wird der Antrieb definiert entkoppelt und dieser Zustand mit einem roten Signallicht symbolisiert. Durch die Entkopplung können die Fahrzeuge frei verschoben beziehungsweise von den Fluchtwegen entfernt werden. Wie bereits erwähnt, hängt das Vorgehen in solchen Situationen vom Hersteller und der jeweiligen Anwendung ab und ist ein wesentlicher Bestandteil in der Sicherheitsbeurteilung der vorhandenen Systeme. [Sch-2022a]

5 Mensch Roboter Interaktion (MRI) und Kommunikation

In der Intralogistik kommen Roboter mit steigender Tendenz zum Einsatz. Neben den bekannten stationären Robotern gewinnen innovative Lösungen mit mobilen Robotern zunehmend Ansehen. In der Kommissionierung können beispielsweise Roboter in Lagern an für den Menschen unzugänglichen Orten eingesetzt werden. Koordiniert werden diese Systeme meistens über ein Wareneingangssystem und es ist eine Frage der Zeit, bis Mensch und Roboter einen vollkommenen gemeinsamen Arbeitsbereich nutzen. Innerhalb von dynamischen Logistikprozessen ist es daher von höchster Bedeutung, flexibel und anpassungsfähig auf Umgebungsbedingungen reagieren zu können.[Tha-2016]

Cobots vermögen es ihr Umfeld wahrzunehmen, auf Körper, Farben oder Muster zu reagieren und Veränderungen zu bemerken. Sie können eingelernt werden, indem ihnen Bewegungen über ihre Kameras und Sensoren gezeigt werden. Alternativ sind Cobots in der Lage auf Befehle zu reagieren und besitzen natürlichsprachliche Fähigkeiten. Cobots sind imstande Intelligenz zu simulieren und sich in ihren Charakteristika und Aktionen anzupassen. Diese Fähigkeiten sind sehr wertvoll für die Industrie, weshalb Co-Roboter sicherlich fester Bestandteil zukünftiger Logistikanwendungen sind. Das Wort Interaktion beschreibt das Zusammenspiel von maschinellen und menschlichen Armen, Fingern, Händen und so weiter. Dieses Zusammenwirken ist elementar für eine erfolgreiche Zusammenarbeit und kann verschiedene Formen annehmen. Je nachdem wie komplex beziehungsweise wie nahe die Zusammenarbeit wird, erfordern Interaktionen ein gewisses Maß an Kommunikation, um ein sicheres und auch konkurrenzfähiges System bilden zu können. Kommunikation kann dabei sehr vielfältig sein und die damit verbundenen Schnittstellen ebenso. Darauf wird im Kapitel 5.3 noch genauer eingegangen. [Bux-2020, S. 5]

5.1 Mensch-Roboter-Interaktion

Für den Begriff Mensch-Roboter-Kollaboration gibt es keine allgemein gültige Definition. Die Kooperation oder die unmittelbare Kollaboration zwischen Mensch und Roboter steht für die Interaktion zwischen einem Bediener, dem Menschen und einem Roboter, ohne Schutzzäune in einem gemeinsam genutzten Arbeitsraum. Die grundsätzliche Interaktion von Mensch und Roboter kann man in verschiedene Arten unterteilen, die im Kapitel 5.1.1 erklärt werden. [Höc-2018]

5.1.1 Arten der Mensch-Roboter-Interaktion

Die erste Form basiert auf eine dauerhafte physikalische Trennung der Arbeitsräume und ist somit Grundlage der Vollautomatisierung. Unmittelbare Interaktionen sind nicht vorgesehen, da die Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine entkoppelt sind und jeder Kontakt durch Sicherheitseinrichtungen verhindert oder ausgeschlossen wird. Bei der zweiten Form wird mit virtuellen Schutzzäunen eine Auflockerung durch Koexistenz von Werker und Roboter erreicht. Allerdings ist der Kontakt zwischen Roboter und Arbeiter ungewollt und auf die Interaktion bei Stillstand beschränkt. In der dritten Variante teilen sich Mensch und Roboter einen Teilbereich ihres Arbeitsraums. Dieser Bereich wird als gemeinsam nutzbarer Arbeitsraum definiert, in dem ein Kontakt nach wie vor unerwünscht aber durchaus möglich ist. Die Sicherheit der beteiligten Mitarbeiter wird vor allem durch die Beschränkung der Impulskräfte und Bahngeschwindigkeit erreicht oder über eine geeignete aktive Arbeitsraumüberwachung erzielt. Bei der vierten Variante handelt es sich um eine direkte Mensch-Roboter-Kollaboration. Der bewusste Kontakt zwischen Mitarbeiter und Roboter findet statt, weil beide gleichzeitig an einem Projekt arbeiten. Dabei werden Bewegungen gemeinsam koordiniert. Solche Anwendungen findet man zum Beispiel in der Montage oder in der Zusammenarbeit mit einem Fertigungsassistenten. [Höc-2018]

Die ersten drei Einsatzfälle werden der Kooperation zugeteilt. Alle haben gemeinsam, dass zunehmend die schutztechnische Trennung der Arbeitsräume entfernt wird. Dennoch wird ein dauerhaftes und unmittelbares Zusammenwirken von Mensch und Roboter in einem Arbeitsprozess ausgeschlossen oder zumindest vermieden. Die Zusammenarbeit beschränkt sich auf einen zeitlich begrenzten Abschnitt, welcher unter abgesicherten Rahmenbedingungen stattfindet. Klassische Logistikanwendungen fallen in dieses Gebiet. Die vierte Einsatzvariante, die Mensch-Roboter-Kollaboration, grenzt sich durch die vorhandene Nähe von den ersten drei Varianten ab. Kollaboration beschreibt die unmittelbare, dauerhafte und gewünschte Zusammenarbeit in einem gemeinsamen Arbeitsumfeld. Ein Montageprozess in dem Mensch und Roboter zusammen agieren trifft beispielsweise auf dieses Einsatzgebiet zu. Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) hat diese Einteilung der Einsatzgebiete im Positionspapier „Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration“ vorgenommen und verweist auf verschiedene grundsätzliche Schutzprinzipien der MRK. Diese wurden bereits im Kapitel 4.5 genannt und werden für die sicherheitstechnische Erfüllung dieser vier Interaktionsklassen verwendet.[Höc-2018]

5.1.2 Interaktionen der Roboter aus den Unternehmen der interviewten Experten

Die verschiedenen Roboter aus den Unternehmen der interviewten Experten zeichnen sich durch unterschiedliche Interaktionen mit dem Menschen aus. Bei robominds wird für die Interaktion ein optischer Sicherheitsbereich um den Roboter erstellt. Dabei handelt es sich um einen Laserscanner, der ein Sicherheitsfeld bestehend aus drei Stufen am Boden anlegt. Je nachdem wie nahe eine Person oder ein Objekt beim Roboter ist beziehungsweise welche Stufe des Schutzfeldes überschritten wird, passt sich der Roboter entsprechend an. In der ersten beziehungsweise äußersten Stufe arbeitet der Roboter mit voller Leistung, wodurch er schnell und auf vollem Durchsatz agiert. In der zweiten Stufe werden Geschwindigkeiten und Bremswege eingeschränkt und in der dritten Stufe stoppt der Roboter seine Bewegungen und bleibt stehen. Der Vorteil dieser Interaktion ist es, erst im Ernstfall entsprechend zu reagieren und nicht bereits vorzeitig die Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen. Eine sichtbare Projektion eines solchen Feldes auf den Boden ist derzeit nur bei stationären Robotern umgesetzt, dieses System hat allerdings auch das Potenzial auf fahrende Roboter angewandt zu werden. In diesem Fall wäre es jedoch sinnvoller, wenn das Schutzfeld erst dann angezeigt wird, sobald dieses betreten wird, um eine visuelle Störung der Mitarbeiter zu vermeiden.[Bro-2022a]

Bei den beiden Robotern von magazzino, welche für die Arbeit an Regalen konstruiert wurden, werden gewisse Interaktionen beim Aufeinandertreffen auf Fahrwegen oder beim gleichzeitigen Arbeiten an einem Regal benötigt. In den Interviews unterteilt Daniel Schauer, der Vertreter für magazzino, die benötigten Interaktionen in passive und aktive Interaktionen. Zu den passiven Interaktionen zählen alle Signale, die beispielsweise bei einem Aufeinandertreffen mit dem Menschen benötigt werden. Dabei geht es um die Vermittlung von Intentionen, wie beispielsweise die Fahrtrichtung. Hierfür werden bei magazzino LED-Signale oder auch akustische Signale verwendet. Zu den aktiven Interaktionen gehören Displays, für die Anzeige und Eingabe. Außerdem werden bei den Fahrzeugen von magazzino ähnliche Laserscanner wie bei robominds verbaut, durch die Hindernisse ermittelt werden können und dementsprechend die Route angepasst wird. Weitere visuelle Signale sind weiße Lichter vorne und rote Lichter hinten am Fahrzeug, sowie ein Blue Spot am Fahrzeug, der zur Vermittlung von Intentionen dienen soll. [Sch-2022a]

Laut dem Experten von AGILOX Services sollen Fahrzeuge zukünftig auf keinen Fall ein defensives Fahrverhalten an den Tag legen und einfach nur stehen bleiben, sollte es zu einem Engpass oder Ähnlichem kommen. Die Vermittlung von Intentionen ist in solchen Situationen ausschlaggebend. [Poi-2022a]

5.2 Optimale Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter

Damit Menschen ein gemeinsames Ziel erreichen, müssen sie ihre Handlungen koordinieren. Dabei finden perzeptiv, kognitiv und motorisch fein abgestimmte Prozesse statt, die eine reibungslose Durchführung der gemeinsamen Handlungen ermöglichen. Eine der wichtigsten Voraussetzungen, um diese schnellen und fehlerfreien Koordinationen zwischen Menschen zu erreichen, ist die Fähigkeit, die Handlungen der jeweils anderen Person vorauszuahnen. Die Genauigkeit der Vorhersage hängt dabei von drei wesentlichen Aspekten ab: Welche Handlung wird ausgeführt, wann wird diese ausgeführt und wo findet diese Handlung statt. Grundlage für die Feinabstimmung bildet dabei eine verbale und nonverbale Kommunikation. Aktuelle Studien belegen darüber hinaus, dass das menschliche und motorische System wesentlicher Bestandteil für die Wahrnehmung und Antizipation von Handlungen anderer ist. In den Studien wurde gezeigt, dass Spiegelneuronen des Gehirns auch dann aktiv sind, wenn Handlungen nur beobachtet werden. Kognitiv betrachtet bedeutet das, dass nicht nur die eigene Handlung mental repräsentiert wird, sondern auch die eines Partners. Dadurch können eigene Handlungen besser angepasst und effizienter ausgeführt werden. Diese Koordination mittels Antizipation kann allerdings nur dann erfolgen, wenn Handlungen andere Agenten intentional wahrgenommen werden, nicht aber, wenn beispielsweise angenommen wird, dass Handlungen von einer Maschine ausgeführt werden. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, welche Merkmale eines Roboters dessen wahrgenommene Intentionalität, also die volitionale Zielgerichtetheit von Bewegungen und Aktionen, fördern, um eine optimale Zusammenarbeit zu erzielen. Eine Möglichkeit, die wahrgenommene Intentionalität zu steigern sowie die Kommunikationsinstrumente der Koordination zu übertragen, stellt die menschenähnliche Gestaltung von Robotern dar. Anthropomorphismus beschreibt die Tendenz, menschliche Eigenschaften auf Objekte oder Tiere zu übertragen, um deren Handlungen zu rationalisieren. Durch die Nutzung von natürlicher Sprache und anthropomorphe Augenbewegungen können als intentionale Verständigungsmöglichkeiten genutzt werden. Sie können die Aufmerksamkeit des Menschen, über visuelle und auditive Signale, auf aufgabenrelevante Aspekte der Zusammenarbeit lenken. Die anthropomorphe Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion bezieht sich neben der Gestaltmorphologie, wie der Gestaltung der äußeren Hülle des Roboters, auch auf die Bewegungen, Kommunikation und Kontexte. Hauptziel ist es die eine intuitive und sozial situierte MRI zu fördern, als auch die Akzeptanz der Mitarbeiter zu steigern. [Bux-2020, S. 167f.]

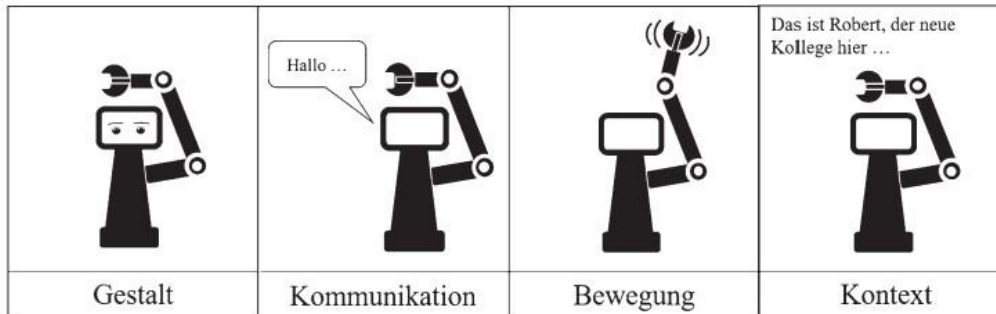


Abbildung 5-1: Morphologische Aspekte in der MRI [Bux-2020, S. 168]

Die in Abbildung 5-1 gezeigten Arten von Morphologie werden meist additiv eingesetzt und ergänzen sich somit in verschiedenen Situationen. Die erste Morphologie aus der Abbildung ist die „Gestalt“. Sie bildet einen erhöhten Einfluss auf die Empathie der Menschen. Zahlreiche Studien zeigen, dass Kooperationsbereitschaft und Empathie des Menschen mit einem hohen Ähnlichkeitsgrad des Roboters zum Menschen zunehmen. Neben diesen Einfluss auf die Akzeptanz kann eine Anpassung der Bewegungsmorphologie die Koordinationsleistung steigern. Die Intentionserkennung der Roboterhandlung kann dabei sowohl durch Trajektorien als auch durch Geschwindigkeitsprofile erleichtert werden. Darüber hinaus können vielfältige Aspekte der Mensch-Roboter-Kommunikation, wie natürliche Sprache oder Blickbewegungen, für die Optimierung der MRI genutzt werden. Die Variation der Kommunikationsmorphologie kann die Effizienz und Akzeptanz der Interaktion durch Aspekte wie Kopfnicken des Roboters, Klang einer Roboterstimme oder Etikette-Strategien steigern. Die Morphologie „Kontext“ kann Framing nutzen, um Anthropomorphismus zu induzieren. Framing beschreibt einen Vorgang, bei dem die gleiche Botschaft unterschiedlich formuliert wird, um das Verhalten des Empfängers zu verändern. Ein Beispiel dafür ist die Vergabe von Namen an die Roboter oder eine Verbindung mit persönlichen Hintergrundgeschichten, um Empathie seitens des Menschen zu erlangen. [Bux-2020, S. 169] Auch in den Experteninterviews, die anschließend im Kapitel 6 resümiert sind, wurde ein solches Vorhaben bereits angesprochen. Im Unternehmen Schiller Automatisierung GmbH ist es Teil der Einführung, den neuen Roboter einen Spitznamen zu geben, um die Akzeptanz zu fördern und Empathie zu generieren. [Asb-2022a] So vorteilhaft ein menschenähnliches Erscheinungsbild in der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter auch scheint, gibt es auch hierfür eine Grenze. Eine Abgrenzung, die von Masahiro Mori als „Uncanny Valley“ bezeichnet wurde und schon frühzeitig im Bereich der Gestaltungs- und Bewegungsmorphologie für Aufmerksamkeit sorgte, beschreibt einen Zusammenhang zwischen der Ähnlichkeit eines Roboters zum Menschen und der menschlichen Akzeptanz zu einem Roboter. Diese Grenze charakterisiert sich dadurch, dass es ab einer gewissen Ähnlichkeit zum Menschen zu einem drastischen Rückgang der Akzeptanz kommt. Bei weiterer Zunahme der Ähnlichkeit wird diese Akzeptanz wieder erhöht und das vorherige Niveau kann erreicht oder sogar überstiegen

werden. In der Abbildung 5-2 wird dieses Phänomen dargestellt. [Bux-2020; Bux-2020, S. 169]

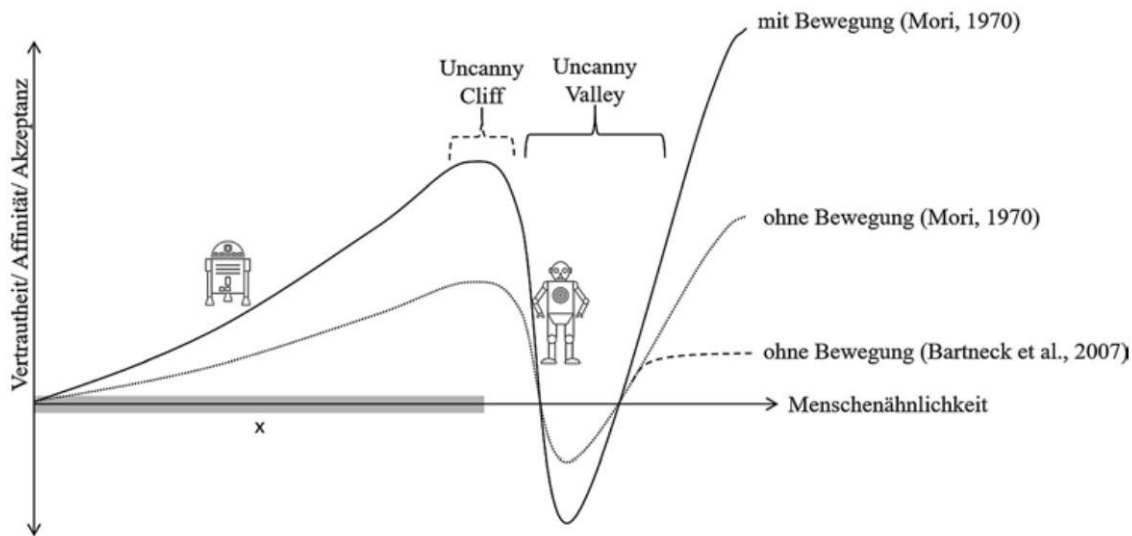


Abbildung 5-2: Akzeptanz des Menschen in Abhängigkeit der Anthropomorphie eines Roboters [Bux-2020, S. 170]

In der Abbildung 5-2 sind mehrere Kurvenausprägungen abgebildet. Wie man anhand von der Beschriftung erkennt, handelt es sich um die Betrachtung des Phänomens unter der Berücksichtigung von Bewegungen. Sie können das Phänomen verstärken. Empirische Untersuchungen bezüglich des Zusammenhangs von Akzeptanz und Vermenschlichung haben diese Annahmen auch in einigen Studien hinterlegt. Bartneck beschreibt den Zusammenhang im Gegensatz zu Mori mit einer „Uncanny Cliff“, da sich das Akzeptanzniveau laut ihm nicht mehr auf dasselbe Niveau wie vor der Degression stabilisiert. Die Debatte zu diesen beiden Ansichten zeigt, dass das Gestaltungsziel nicht darauf ausgerichtet sein sollte einen möglichst perfekten Menschen nachzubauen. Hinzu kommt, dass neben den Akzeptanzproblemen auch ethische Probleme wie beispielsweise rassistische oder sexistische Stereotypreplikationen durch einen hyperrealistischen Nachbau generiert werden können. Neben den bereits beschriebenen Problemen gibt es noch weitere Herausforderungen für die anthropomorphe Robotergestaltung. Bereits vor der eigentlichen Interaktion bilden sich Menschen einen initialen Eindruck, auf dessen Grundlage eine gewisse Erwartung an den Roboter gestellt wird. Häufig setzt die Gesamtmorphologie diesbezüglich einen Ausgangspunkt für die erwartete Kommunikation. Ein Beispiel dafür sind Roboter mit Augen. Der Mensch begegnet solchen Robotern mit der Erwartungshaltung, dass dieser auf visuellen Input reagiert. Dieses Beispiel illustriert, dass Funktion und Gestaltung des Erscheinungsbildes immer eine Einheit bilden sollen. Neben der äußeren Gestaltung hat auch der anthropomorphe Kontext einen Effekt auf die wahrgenommene Funktionalität oder Zweckgebundenheit des Roboters. So sind laut eines Framing-Experiments von Onnasch und Roesler befragte Probanden eher dazu bereit Geld für eine Roboterreparatur zu spenden, wenn dieser funktional anstatt anthropomorph

beschrieben wird. Im Allgemeinen zeigen sich sowohl positive als auch negative Effekte anthropomorpher Robotergestaltung. Einerseits bietet die Vermenschlichung eine Chance, die Akzeptanz von Menschen zu steigern und eine reibungslose Interaktion zu fördern. Andererseits kann diese Gestaltung des äußeren Erscheinungsbilds von Robotern die Wahrnehmung der Zweckgebundenheit des Roboters reduzieren und zu einer Nichterfüllung in der Erwartungskonformität führen. [Bux-2020, S. 170f.]

Generalisierte Gestaltungsempfehlungen sind daher aufgrund von komplexen und vielfältigen Interaktionen zwischen Mensch und Roboter nicht formulierbar. Eine Morphologie wie sie in Abbildung 5-1 gezeigt wurde, sollte daher an die spezifischen Interaktionscharakteristika, wie das Einsatzgebiet oder die Rolle des Menschen, gekoppelt sein. Im besten Fall werden Aspekte für die Morphologie bereits iterativ und menschenzentriert bei der Entwicklung von Robotern für die Mensch-Roboter-Zusammenarbeit konzeptioniert. Dabei beeinflussen vor allem das Einsatzgebiet und die Aufgabe des Roboters die optimale Gestaltung der Robotermorphologie. Aus diesem Grund ergibt sich der Wunsch keine allgemeingültige Gestaltungsrichtlinien für Roboter festzulegen. Viel wichtiger ist eine detaillierte Betrachtung des Interaktionskontextes, um eine angemessene Gestaltung beurteilen zu können. Die Taxonomie von Onnasch und Roesler, welche im Kapitel 4.2.2 bereits erläutert wurde, bietet dafür eine entsprechende Basis für eine top-down gesteuerte Entwicklung. In Kombination mit einem menschenzentrierten Vorgehen und einer sorgfältigen Aufgabenanalyse kann eine vielversprechende Mensch-Roboter-Zusammenarbeit erzielt werden.[Bux-2020, S. 171ff.] In diesen Bereichen kann der Sprachbaukasten von RoboLingo als weitere Hilfestellung für Entwickler eingesetzt werden. Mit dem Baukasten sollte schnell und einfach herausgefunden werden können, was für die vorliegende Anwendung benötigt wird und welche Technologien beziehungsweise Lösungen es bereits gibt oder sich bereits bewährt haben. [Sch-2022a]

5.3 Kommunikation zwischen Mensch und Roboter

Die Mensch-Roboter Kommunikation setzt sich zum Teil aus der natürlichen und aus der künstlichen Sprache zusammen. In diesem Zusammenhang ist der Begriff „Sprache“ im weitesten Sinne zu betrachten und die Interaktion zwischen Mensch und Roboter mit potenziell unterschiedlichen Formen von Kommunikation zu berücksichtigen. Sie kann textbasiert, grafisch, verbal oder non-verbal, direkt oder indirekt und synchron oder asynchron erfolgen. Dabei werden verschiedene Forschungsgebiete aus der Linguistik und Computerlinguistik angeschnitten, die sich mit Sprachlogik bis hin zu

sprachenphilosophischen oder auch konstruktivistischen Ansätzen befassen. Der Fokus liegt auf rezente Forschungsansätze aus der Roboterentwicklung und auf der Mensch-Maschine-Kommunikation. Hierbei kommt es darauf an, eine geeignete Schnittstelle zu designen und die Modalität der Kommunikation festzulegen. Die Schnittstelle ist insofern wichtig, da sie die Handlungsmuster der Nutzer sowie den gesamten Kontext beziehungsweise die Art der Interaktion beeinflusst. Dabei ist es bemerkenswert, dass die Mensch-Roboter-Kommunikation und insbesondere das Design einer Schnittstelle ein Konglomerat von nutzerzentrierter Methodologie und roboterzentrierter Bedarfe darstellt. Dass sich ein Roboter rein unidirektional an den Menschen anpasst, ist daher nicht möglich. Einer der Hauptgründe dafür liegt in der Autonomie des Roboters. Sie beschreibt nicht notwendigerweise die Fähigkeit vollkommen selbstbestimmt zu agieren und zu interagieren, sondern im weitesten Sinne die Kompetenz der Mobilität. Grundsätzlich sind Roboter in einem oder mehreren Punkten beweglich, weshalb ein Aspekt der Autonomie immer vorhanden ist. [Zel-2005, S. 61f.]

5.3.1 Sinneswege für die Kommunikation des Menschen

Für das Verständnis über die Kommunikation zwischen Mensch und Roboter ist es zunächst von Nutzen beide Teilnehmer der Kommunikation getrennt zu betrachten. Der Mensch verfügt über mehrere Sinne, um seine Umgebung wahrnehmen zu können. Diese können für die Übermittlung von Kommunikationsinhalten genutzt werden und dienen als eine Schnittstelle für den Menschen. Damit ein zureichendes Verständnis in einer solchen Situation zustande kommen kann, ist es wichtig diese Schnittstellen sinnvoll zu nutzen. Außerdem werden gewisse Operationen erst durch eine intelligente Mensch-Roboter-Schnittstelle steuerbar, überschaubar und handhabbar. Dem Menschen werden neben den bekannten 5 Sinnen weitere Wahrnehmungen zugeschrieben. Die verschiedenen Sinne können auch multimodal genutzt werden. Das bedeutet, dass der Mensch über die Fähigkeit verfügt mehrere Sinne parallel zu verwenden und somit zum Beispiel hören und sehen gleichzeitig kann. In der folgenden Tabelle 5-1 ist eine Übersicht über die Sinneswege des Menschen angeführt. [Sch-2010, S. 14f.]

Sinnesbezeichnung	Modalität	Bemerkung
Sehen	visuell	„5 Sinne“
Hören	auditiv	
Riechen	olfaktorisch	
Schmecken	gustatorisch	
Tasten	taktil	
Druck Kraft	haptisch	mechanische Modalität
Berührung Vibration	taktil	oberflächensensitiv
Temperatur	thermorezeptorisch	
Bewegung, Orientierung Gleichgewicht	kinästhetisch vestibulär	

Tabelle 5-1: Sinnenwahrnehmungen des Menschen [Sch-2010, S. 15]

Auch wenn es für den Menschen sehr viele Kommunikationswege gibt, wird die Kommunikation zwischen Mensch und Roboter dennoch durch den Cobot begrenzt. Aufgrund von finanzieller Forderungen und der einfacheren technischen Umsetzbarkeit reicht in der Intralogistik größtenteils der visuelle und akustische Sinneskanal aus. Derzeit und auch in nächster Zukunft werden diese Wahrnehmungen noch ausreichen, allerdings gibt es bereits eine Anzahl von Forschungsarbeiten, die bereits in Richtung haptischer Wahrnehmung und Gestenerkennung des Roboters gehen. [Poi-2022a] Eine ausgeprägte Konversation zwischen einem Cobot und einem Mitarbeiter wird in den derzeitigen Logistikanwendungen noch nicht benötigt, daher ist es wichtig eine einfache Kommunikation beizubehalten, welche intuitiv verstanden werden kann und die Mitarbeiter nicht überfordert. Ausschlaggebend ist die klare Vermittlung der Intention in den verschiedenen Situationen des Aufeinandertreffens, wodurch die Situation schnell und unproblematisch gelöst werden kann. [Poi-2022a] Außerdem sind die Kundenanforderungen meistens anhand von klaren und einfachen Signalen, wie akustische oder visuelle Signale, zu befriedigen. Da Lager oder Produktionsstätte von Grund auf geplant werden, verkehren Logistikfahrzeuge ohnehin auf nahezu fixen Bahnen, um zum einen eine Vorhersehbarkeit zu generieren und zum anderen Komplikationen durch das Eingewöhnen der umliegenden Mitarbeiter zu erleichtern. Zudem werden mithilfe von den Gegebenheiten aus der Umgebung häufig dieselben Routen von einem autonomen System generiert, wie eine vorgeplante Karte enthält, da diese sowieso einen optimalen Fahrweg darstellen. Es ist daher überwiegend der Fall, dass einige Fahrzeuge des heutigen Stands der Technik ohnehin schon mehrere Fähigkeiten und Potenziale besitzen, welche nicht direkt oder nur in vereinzelter Situationen Anwendung finden. Das heißt, dass für aktuelle Logistikanwendungen optimale

Routen oder Verkehrswege ohnehin schon nahezu vorbestimmt sind, weshalb unnötiger Aufwand bei der Routenfindung durch festgelegte bzw. fortlaufend aktualisierte Karten des Werkes vermieden werden kann und die verbauten Systeme wie Objekt-/Personenerkennung oder ein Blue Spot erst in unvorhersehbaren Situationen beziehungsweise aus sicherheitstechnischen Gründen benötigt werden. Dennoch zeichnen sich viele Hersteller dadurch aus, auch in einem vollkommen freien Raum arbeiten und verkehren zu können. Demzufolge ist es kundenabhängig welche Arten der Kommunikation tatsächlich benötigt werden, nichtsdestotrotz bleibt es sinnvoll diese so einfach und verständlich wie möglich zu halten. [Poi-2022a; Asb-2022a]

5.3.2 Schnittstellen-Arten des Roboters

Bei einer genaueren Betrachtung der unterschiedlichen Schnittstellenarten zwischen Mensch und Roboter, kommt man schnell zu einer Einteilung. Dabei liegt der eigentliche Abgrenzungspunkt zur Mensch-Computer Interaktion in der Beschaffenheit des Roboters, genauer gesagt in der Autonomie und der Mobilität. Daraus können folgende, Schnittstellenarten abgeleitet werden: [Zel-2005, S. 67ff.]

1. Technische Schnittstellen des Roboters:

Hierbei handelt es sich um grundlegende Hardware-Schnittstellen oder sogenannte technische Verbindungspunkte wie zum Beispiel Prozessoren und Hauptplatinen. Hinzu kommen noch Hardware-Software Schnittstellen, da die einzelnen Hardwarekomponenten in der Lage sein müssen mit der Software zu kommunizieren. Eine letzte technische Schnittstelle ist die Software-Schnittstelle, durch welche die Kommunikation zwischen einzelnen Softwareanwendungen garantiert wird. Technische Schnittstellen funktionieren ausschließlich über binäre Sprach- und Kommunikationsformen. Für Nutzer beziehungsweise Mitarbeiter sind diese formal-sprachlichen Dialoge meistens nicht sichtbar. Diese Dialogstrukturen, die oftmals intensive Rechenprozesse beinhalten, werden meist erst dann genauer betrachtet, wenn die Kommunikation zwischen technischen Schnittstellen nicht fehlerfrei funktioniert. [Zel-2005, S. 67ff.]

2. Mensch-Roboter Schnittstellen:

Unter dieser Schnittstellenart wird die Einheit aller Komponenten verstanden, die einem Nutzer zur Bedienung eines Geräts zur Verfügung steht. In der Robotik, und insbesondere im Falle von autonomen Robotern, dienen diese nicht nur, um potenziell-interaktiv mit dem Menschen agieren zu können, sondern bringen auch ihre eigenen Kommunikationsparameter für die einzelnen Akteure mit. Da in der industriellen Robotik Industrieroboter meistens über einen Computer ferngesteuert werden, wird diese Schnittstelle oft durch eine weitere

Instanz vermittelt. Sowohl der Mensch als auch ein Computer greifen aktiv in die Steuerung des Roboters ein. Im Kapitel 5.3.3 wird diese Schnittstellenart genauer betrachtet. [Zel-2005, S. 67ff.]

3. Roboter-Raum Schnittstellen:

Diese dritte Schnittstellenart umfasst unterschiedliche Sensoren oder generelle Fähigkeiten eines Roboters den Raum, in dem er sich bewegt, zu erfassen. Sie ergibt sich anhand von der Fähigkeit mobil zu sein oder sich zu bewegen. [Zel-2005, S. 68]

4. Inter-Roboter Schnittstelle:

Diese Schnittstelle unterscheidet sich von der technischen Schnittstelle, durch seine nicht selbstreferenzielle Ausrichtung. Die Inter-Roboterschnittstelle bezieht sich auf die Kommunikation zwischen Robotern, beispielsweise in einem Schwarm. Diese Form der Kommunikation wird benötigt, wenn Roboter gemeinsam eine Aufgabe erfüllen oder ergänzend interagieren müssen. [Zel-2005, S. 68f.]

Die Komplexität der Kommunikationsschnittstellen nimmt mit den letzten beiden Schnittstellenarten verstärkt zu. Diese erfordern eine nahtlose Kombination der beiden ersten Schnittstellenarten. Eine Überschneidung der letzten beiden Schnittstellen ist unvermeidlich, da sich zwei Roboter zum einen als Hindernis identifizieren können und zum anderen über eine passende Kommunikation kooperieren können. Heterogene sowie homogene Robotergruppen sind abhängig von einem Dialog, wenn sie zusammen interagieren wollen. Weniger problematisch ist dabei der Einsatz einer homogenen Gruppe, da sie häufig eine gemeinsame Kommunikationsplattform und Sprache besitzen. Um Komplikationen im Ablauf eines solchen Informationsaustausches zu vermeiden, benötigt es gewisse Gesprächsregeln, da eine gleichzeitige Kommunikation beziehungsweise Kommunikationswahrnehmung, die eigentlich für einen konstruktiven Dialog erforderlich sind, für Roboter nicht möglich sind. Es gilt eine optimale Balance aus Input- und Output-Signalen zu finden und den Schnittstellen Prioritäten zuzuordnen. [Zel-2005, S. 69f.]

5.3.3 Kommunikationsschnittstelle zwischen Mensch und Roboter

Die Schnittstelle zwischen Mensch und Roboter überschneidet sich in einigen Fällen mit den technischen Schnittstellen des Roboters. Meistens kommt es bei Fehlern oder Problemen während der Interaktion zu dieser Überschneidung. Auch wenn eine fehlerfreie Interaktion und Funktion als Kommunikationsträger gesehen werden kann, wird diese oftmals nicht wahrgenommen und nur selten intendiert. Es wird eine Optimierung

der Akzeptanz und des Erfolgs im Gesamtsystem gewünscht, sodass nicht nur die Mechanismen des Roboters wahrgenommen werden sollen, sondern dieser als sozial-kommunikatives Objekt, über dessen Handlungsmodalität und Anpassungsfähigkeit an den Menschen definiert wird. Die wesentliche Herausforderung in der Interaktion zwischen Mensch und Roboter bringt die Mensch-Roboter Schnittstelle mit sich, da neben dem Kommunikationsverhaltensweisen des Menschen auch die des Roboters betrachtet werden müssen. Bei einfacheren Anwendungen, wie zum Beispiel industrielle Roboter in einer Laufband-Produktion, ist diese Kommunikation nicht oder kaum notwendig und dennoch ist die Rückkopplung von Befehlseingaben zu beachten. Wichtiger wird die Kommunikation für autonome Roboter. Die Mitarbeiter beziehungsweise Nutzer des Roboters müssen sich gewiss sein, dass sie mit dem Roboter einen Dialog aufbauen können und dass der Roboter sie prinzipiell versteht. Diese Anforderung gilt als Voraussetzung für die Integration und Akzeptanz des Roboters im gesellschaftlichen persönlichen Leben und als wichtiger Überwindungsmechanismus bezüglich der Technologie-Integration auf einer persönlichen und emotionalen Ebene. [Zel-2005, S. 71]

Sowohl der Mensch als auch der Roboter verfügen über einen Kommunikationsraum, mit dessen Inhalten ein Dialog beziehungsweise eine Kommunikation aufgebaut werden kann. Beim Menschen zählt dazu jegliche Art von sprachlicher Äußerung. Im Kontext mit dem Roboter wird dabei nicht auf alle unterschiedlichen Sprachformen wie Dialekte, Varietäten oder Register eingegangen, sondern es wird die Aufteilung von natürlicher und formaler sowie Schriftsprache und Oralsprache betrachtet. Für die Kommunikation zwischen Mensch und Roboter gibt es unterschiedliche Arten oder Modalitäten, die im Folgenden genauer erklärt werden. [Zel-2005, S. 72]

1. Textausgabe:

Schon die dem Roboter beigelegte Gebrauchsanweisung ist die erste textbasierte Kommunikationsebene. Bereits bei dieser Form der Kommunikation wird eine fachsprachliche Dichte des Textes erkennbar. Technik-Laien verstehen die Inhalte nicht sofort oder nur bedingt, deshalb ist es plausibel, dass Kommunikation stark von den Kommunikationsteilnehmern abhängig ist. Im Sinne einer zureichenden Kommunikation wäre es demzufolge sinnvoller, keine Gebrauchsanweisung lesen zu müssen, sondern eine spontane und natürliche Näherung stattfinden zu lassen. Eine weitere textbasierte Kommunikationsform liegt bei Robotern mit Bildschirmen vor. In der Robotik dienen Bildschirme oft für die Visualisierung der primären Funktionsangaben, wie der Betriebsstatus oder Angaben zum Batteriestatus. Auch wenn diese einfachen Inhalte verständlich über Bildschirme kommuniziert werden können, stellt die weitere Kommunikation über Bildschirme einen Bruch in der Vermenschlichung des

Schnittstellen-Design dar. Es gibt verschiedene Faktoren, die zu Fehlkommunikation und einer erschwerten Akzeptanz führen können, wenn ein Bildschirm als Kommunikationsweg verwendet wird. Darunter fallen zum Beispiel Schrift- und Symbolgrößen, eindeutig verständliche Ausdrücke oder Symbole, die Farbwahl und nicht zuletzt die Bildschirmhelligkeit und Auflösung. [Zel-2005, S. 72f.]

2. Tonausgabe:

Die Kommunikation von Informationen über ein akustisches Signal stellt eine weitere Form der Kommunikation dar. Einzelne Tonsequenzen können unterschiedliche Informationen enthalten, welche logisch angewandt, unbewusst von den Nutzern wahrgenommen und verarbeitet werden können. Auch primäre Funktionsangaben wie „An-Aus“ können akustisch einfach umgesetzt werden, da es sich dabei meistens um binär umsetzbare Aussagen handelt. [Zel-2005, S. 73]

3. Sprachsynthese

Die intuitivste Art und Weise der Interaktion für den Menschen ist die natürliche Sprache, weshalb sie als optimale Kommunikationsform zwischen Mensch und Roboter angestrebt wird. Für diese Art der Kommunikation sind die Bereiche Spracherkennung und Sprachsynthese zu unterscheiden. Während sich die automatische Spracherkennung mit der Erkennung natürlich-verbaler Sprache seitens künstlicher Systeme befasst, werden in der Sprachsynthese künstliche Sprachausgabesysteme, welche auf formalen Grammatiken und Lexika basieren, entwickelt. In beiden Bereichen herrscht hohe Komplexität, wodurch mehrere unterschiedliche Forschungsansätze existieren. Je nach Einsatzgebiet beherrschen Roboter thematisch beschränkte Sprachsynthesen. Hinzu kommen weitere Faktoren wie Stimmfarbe, Qualität der Roboterstimme oder Verständlichkeit bezogen auf Lautstärke und Sprache.[Zel-2005, S. 73]

4. Optische und non-verbale Signalausgabe:

Bei dieser Modalität handelt es sich um generelle Signale, die von technischen Applikationen erzeugt werden. Hinzu kommen aus linguistischer Sicht non-verbale Kommunikation, wie Mimik und Gestik. Das Spektrum geht also von Leuchtdioden bis hin zu Bewegungen verschiedener Körperteile, mit denen unterschiedliche Botschaften kommuniziert werden. Mimische Kommunikation, wie beispielsweise Gesichtsausdrücke, sind nicht für alle Roboter geeignet, jedoch durchaus möglich. [Zel-2005, S. 74f.]

Als Gegenstück zum Kommunikationsraum des Menschen gibt es ebenso einen Roboter-Kommunikationsraum. Er umfasst alle Rezeptionsformen menschliche

Kommunikation, die im Rahmen einer Interaktion zwischen Mensch und Roboter auftreten können. Die Forderung, dass Roboter neben den rein sprachlichen Äußerungen auch metasprachliche Äußerungen und Informationen verarbeiten können müssen, ist wesentlicher Bestandteil der Kommunikation des Roboters. Im Gegensatz zum Menschen hat der Roboter die Herausforderung Informationen qualitativ aus einem Dialog zu extrahieren, da dieser aus einer Vielzahl von Äußerungen die tatsächlichen kommunikativen Formen filtern muss. Handzeichen des Menschen, die für den Informationsinhalt unwichtig sind, muss der Roboter als solche identifizieren und vernachlässigen, um ein vertretbares und für die maschinelle Umsetzung zu bewältigendes Maß an kommunikativen Input zu bewahren. Zu Schwierigkeiten kann es ebenso durch das Vorhandensein von mehreren Menschen im Umfeld des Roboters kommen. Der Roboter muss in solchen Fällen eindeutig zuordnen, wer gerade mit ihm kommunizieren will. Als Hauptbereiche von kommunikativem Input können folgende Bereiche für den Roboter genannt werden. [Zel-2005, S. 75]

1. Texteingabe:

Die Texteingabe ist ein gängiger kommunikativer Input. Unter diese Art zu kommunizieren, fällt nicht nur die Texteingabe durch eine Tastatur, sondern auch jegliche Steuerung über weitere Hardware. Beispiele dafür sind eine externe Steuerungsvorrichtung oder eine Texteingabe über einen Computer. [Zel-2005, S. 76]

2. Spracherkennung:

Erst in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts ist die computerbasierte Spracherkennung entstanden. Es handelt sich dabei um eine komplexe technische Aufgabe, die einige Probleme und Schwierigkeiten mit sich bringt. Die erste Schwierigkeit entsteht durch die kontinuierliche Sprache. Wird ein Dialog in kontinuierlicher Sprache geführt, gehen die einzelnen Wörter ineinander über und Pausen sind nicht zu erkennen. Erste Spracherkennungssysteme hatten in diesem Zusammenhang vor allem Schwierigkeiten, Pausen künstlich einzufügen, um einen sinnvollen Informationsfluss erfassen zu können. Deshalb wurde in solchen Systemen eine diskrete Sprache vorausgesetzt, in der Pausen künstlich gesetzt wurden. Ein natürlicher Kommunikationsfluss war demzufolge nicht möglich. Als weiteres Problem gilt die Wortschatzgröße. Da der Wortschatz für ein künstliches Spracherkennungssystem nicht nur aus Lexemen bestehen kann, muss er durch die entsprechenden Flexionsformen unproportional vergrößert werden. Ein großer Wortschatz ist demnach ebenso wichtig wie die Lernfähigkeit eines Systems. Durch diese Fähigkeit ist es möglich unbekannte Begriffe beziehungsweise Wörter aufzunehmen. Allerdings entstehen dadurch weitere Probleme, da das Wort nicht nur denotativ gelernt werden soll,

sondern auch in seinen unterschiedlichen Konnotationen verarbeitet werden muss. Hinzu kommen neben den bereits genannten Problemen auch die Beeinflussung anhand von Homophonen. Homophone sind Wörter, die dasselbe Lautbild aufweisen, jedoch eine unterschiedliche Bedeutung haben. Ein Beispiel dafür stellen die Wörter „Meer“ und „mehr“ dar. Beide Wörter klingen sehr ähnlich und sind daher für eine Spracherkennung besonders schwierig zu unterscheiden. Sie können nur über ein Kontextverständnis korrekt auseinandergehalten werden. Unter paralinguistischen Äußerungen versteht man beispielsweise ein Husten oder Räuspern im Verlauf eines Dialoges. Diese Teile als nichtbedeutungstragenden Inhalt zu erkennen ist ein weiteres Problem in der Kommunikation. Außerdem erweisen sich soziolinguistische Faktoren und metasprachliche Informationen als zusätzliche Herausforderungen. Kulturell oder sozial bedingte Formulierungen und Ausdrucksweisen zählen neben der Art und Weise wie Symbole oder Sachverhalte beschrieben werden ebenso zu den Problematiken. [Zel-2005, S. 76f.]

3. Optische Signalausgabe:

In den meisten Kulturen ist das äußerliche Erscheinungsbild eines der wichtigsten primären Kommunikationswege. Dies bezieht sich neben der physischen Statur, die bereits zwischen Mann und Frau sowie zwischen Kind und Erwachsenen unterscheiden lässt, generell auf das Äußere. Dazu zählen zum einen natürliche äußere Erscheinungsformen, wie beispielsweise Haare und andere Körpervariablen, und zum anderen auch kulturell bedingte Erscheinungsformen, wie zum Beispiel die Kleidung. Ähnlich wie der Mensch, können auch moderne Roboter Gestik und Mimik als optische Signale verarbeiten. Diese Form von optischen Signalen bringen jedoch einige erhöhte Schwierigkeiten mit sich. Als Beispiel dafür birgt die Haltung des Menschen gegenüber dem Roboter bereits tief reichende Interpretationen mit sich. Eine ängstliche oder dominante Haltung gibt dem Roboter beispielsweise die Information, ob der Mensch zugänglich oder abweisend in einer Situation ist. Die Schwierigkeit bei der Verarbeitung dieser Informationen ist die hohe erforderliche Rechenleistung und die benötigten hochentwickelten Sensoren, um diese Daten überhaupt erfassen zu können. Hinzu kommt außerdem das hohe Tempo der Erkennung beziehungsweise das Potenzial auch kurze, einander folgende Mimik zu erkennen und verarbeiten zu können. [Zel-2005, S. 78]

Ein hoher Grad an Autonomie eines Roboters fordert auch eine intuitive Interaktion mit dem Menschen. Ziel neuer Entwicklungen ist es deshalb, neue Innovationen zu entwickeln, welche den Menschen über die Entscheidungen des autonomen Robotersystems informieren und eine Interaktion mit dem Roboter ermöglichen. Dabei muss sich

der Mensch in jeder Situation sicher fühlen und zu jeder Zeit die Kontrolle über das Gesamtsystem behalten. Um beispielsweise Sachverhalte besser zu verstehen oder Fehler zu finden, ist eine verständliche Visualisierung nötig. Räumliche Darstellungen kombiniert mit intuitiven Ansichten, beispielsweise mit Augmented oder Virtual Reality, ermöglicht erst die Darstellung für Menschen oder Mitarbeiter ohne Erfahrung mit Robotik. Kombiniert mit einer visuellen Aufbereitung und Interaktion mit den Ablaufmodellen, können auch Facharbeiter Arbeitsschritte mit kollaborativen Robotern selbst gestalten und ausführen. Um solche Anwendungen sinnvoll umzusetzen, müssen Mitarbeiter den aktuellen Status und die nächsten Bewegungen des Roboters verstehen, um darauf selbst entsprechend reagieren zu können. Die Bedeutung dieser Vermittlung von Intentionen wird in zeitkritischen Situationen, wie das Eindringen eines Roboters in den Arbeitsbereich der Menschen, um seine Aufgabe zu erfüllen, noch deutlicher. Die in diesem Kapitel bereits genannten Möglichkeiten der Kommunikation und Interaktion sind Grundlage für neue Entwicklungen, auf denen die folgenden aufgelisteten Innovationsfelder basieren: [emb-2022]

- Sprach Ein- und Ausgabe als Schnittstelle
- Haptische Ein- und Ausgabeschnittstellen
- Augmented Reality Visualisierungen der Geräteeigenschaften, Status und Intentionen
- Virtual Reality System zum Training der menschlichen Nutzer oder zur Planung des Roboter Kollaboration-Einsatzes
- Multimodale Kommunikationsmethoden, wie z.B. Mixed-Reality-Anwendungen
- Aufmerksamkeitslenkung des Nutzers auf relevante Aspekte der Interaktion oder Zustände des Systems [emb-2022]
-

5.3.4 Kommunikation der Roboter aus den Unternehmen der interviewten Experten

Die im Laufe dieser Semesterarbeit interviewten Experten wurden unter anderem zu den Kommunikationsmöglichkeiten der Roboter befragt. Dabei wurden verschiedenen Strategien genannt, die sich mit der Kommunikation zwischen Mensch und Roboter befassen. In den folgenden Abschnitten sind die unterschiedlichen Strategien und Visionen für die Zukunft der Unternehmen angeführt.

robominds

Im Interview mit Andre Bronold von robominds wurden verschiedenen Arten der Kommunikation genannt, die zum Teil bereits umgesetzt sind oder zukünftig die Grundlage für technischen Fortschritt bilden. Derzeit werden im Unternehmen hauptsächlich

akustische oder visuelle Signale eingesetzt, um Informationen zu kommunizieren. Diese reichen laut Bronold aktuell noch aus, um eine einfache Kommunikation zu generieren. Allerdings sei der Bereich der Haptik für die Zukunft noch ein spannendes Entwicklungsfeld. Als Beispiele hierfür nennt er Flächenmodule am Boden, die an definierten Stellen eine Warnung von sich geben. Des Weiteren könnten Türgriffe mit ähnlichen Funktionen, vor dem Betreten eines gefährlichen Bereichs mit einer Vibration darauf aufmerksam machen, dass man sich in Gefahr begeben könnte. Vibrierende Brust-Tags an jedem Mitarbeiter empfindet er als überflüssig. Sollte eine solche Technologie zum Einsatz kommen, dann nur in definierten Bereichen, so Bronold. Sicherheitsrelevante Aktionen sollten so einfach wie möglich gehalten werden, indem dem Menschen die höchste Priorität zugesprochen wird und in diesem Sinne keine Kommunikation aufgebaut werden muss. In solchen Situationen sollte der Roboter laut dem Experten reagieren und stehen bleiben. Aus prozesstechnischer Sicht ist eine Kommunikation vorteilhaft. Eingangssignale, die der Mensch gibt, können in die Prozesssteuerung aufgenommen und umgesetzt werden. [Bro-2022a]

magazino

Die Roboter des Herstellers magazino kommunizieren über verschiedene visuelle und akustische Signale. Dazu zählen neben Lichtsignalen in verschiedenen Farben auch Lautsprecher, welche die Lichtsignale bestärken sollen. Laut des befragten Experten von magazino, kommt es in industriellen Anwendungen häufig dazu, dass bestimmte Signale durch Umgebungsbedingungen wie Lärm nicht wahrgenommen werden können. Deshalb sei es sinnvoll Signale multimodal an den Menschen zu vermitteln. Derzeit kommt man bei magazino größtenteils mit nur visuellen Signalen aus. Diese werden als vielversprechendster Kommunikationsweg angesehen. Die Umsetzung dieser Kommunikation erfolgt dabei zum Teil über LEDs und Bildschirme oder über Lautsprecher am Fahrzeug. Andere Formen der Kommunikation, wie beispielsweise Haptik oder Gerüche sieht der Experte von magazino als große Schwierigkeit. Diese Formen von Kommunikation seien noch schwerer umzusetzen als akustische Signale, weshalb er wenig sinnvolle Anwendungen für Entwicklungen in diese Richtung sieht. [Sch-2022a]

Schiller Automatisierungstechnik

Ähnlich wie bei den bereits betrachteten Unternehmen werden bei Schiller Automatisierungstechnik größtenteils visuelle und akustische Signale für die Kommunikation verwendet. Visuelle Signale werden dabei über verschiedene Systeme vermittelt. Neben einem Floor Spot, der die Fahrtrichtung eines Fahrzeugs anzeigt beziehungsweise ein Fahrzeug ankündigt, können die Fahrzeuge von magazino ebenfalls mit einen

LED-Kranz um das Fahrzeug ausgestattet werden, der verschiedenen Gefahrenzonen anzeigen kann. Die Umsetzung dieses Kranzes hat sich allerdings aufgrund von Gewicht, Größe und Kosten noch nicht bewährt. Zudem wurde noch kein Lieferant gefunden, der mit seinem Produkt ein dynamisch, angepasstes Schutzfeld, welches sich an die Kontur der Ladung, Kurven oder Geschwindigkeiten anpasst, um ein Fahrzeug abbilden kann. Stattdessen setzt magazino auf eine Fahrwegdarstellung der vorbeikommenden Fahrzeuge an Kreuzungen. Für dieses System werden Projektoren über Kreuzungen platziert, welche die Absichten der vorbeifahrenden Fahrzeuge anzeigen können. Diese Umsetzung hat einen großen Kostenvorteil, denn der Projektor wird von allen Fahrzeugen genau dann verwendet, wenn er benötigt wird. Für die weitere visuelle Kommunikation werden an Eingängen zu Lagergängen Lampen montiert, welche kennzeichnen sollen, ob sich im Gang ein Roboter befindet. Für die Auftragsabwicklung bietet Schiller Automatisierungstechnik eine Smart-Watch an, die Mitarbeitern beispielsweise Bescheid geben kann, ob eine Entladung durchzuführen ist. Laut dem Unternehmensvertreter bestehe die Möglichkeit, diese als visuellen und haptischen Kommunikationsweg zu nutzen. An den Fahrzeugen befinden sich meistens Displays, welche ebenfalls für eine Ein- und Ausgaben verwendet werden und somit für die Kommunikation dienen. Als weitere Form der Kommunikation dient ein Manöver, bei der der Roboter kurz stehen bleibt, wenn sich ein Hindernis vor ihm befindet. Handelt es sich beim Hindernis um einen Menschen, hat er die Möglichkeit den Weg freizumachen und der Roboter kann weiterfahren. Verschwindet das Hindernis nicht, dreht sich der Roboter, um dem Hindernis auszuweichen. Grundsätzlich sollte die Kommunikation so einfach wie möglich gehalten werden. Asbeck empfiehlt deshalb verschiedene Eskalationsstufen einzuführen, welche unterschiedlich gelöst und kommuniziert werden. Für die höchste Stufe, in der beispielsweise eine Störung aufgetreten ist, muss der Mitarbeiter über beispielsweise einen Bildschirm aktiven Zugriff auf das Fahrzeug haben, um Probleme zu beheben. [Asb-2022a]

Jungheinrich

Dr. Sebastian Rockel von Jungheinrich empfindet eine angebrachte Kommunikation als Grundlage, der immer wichtiger werdenden Zusammenarbeit von Mensch und Roboter. Ähnlich wie auch bei anderen Experten ist es von grundlegender Bedeutung, die Kommunikation so einfach und intuitiv wie möglich zu halten, um Situationen sofort richtig einschätzen zu können und gleichzeitig keine Mitarbeiter zu überfordern. Ein besonderes Augenmerk bei der Entwicklung von Kommunikationsstrategien sollte dabei auf der optimalen Kombination von Safety und Performance gelegt werden, was vor allem durch die Kommunikation von Intentionen möglich sei. Als wesentliches Signal für eine Kommunikation nach diesen Anforderungen, sieht er visuelle Signale. Zu diesen zählen neben dem Floor Spot, Anzeigen von Fehlerzuständen über LEDs oder

Bildschirme. Die Verwendung von Bildschirmen sei allerdings nur bedingt möglich, da viele Fahrzeuge nicht den nötigen Platz für eine solche Ausrüstung mit Displays bieten. Eine Lösung für diese Problem ist die Kommunikation mit den Robotern über das zentrale Leitsystem, anhand von dem im besten Fall alle Roboter miteinander verbunden sind. Als weiteren Weg für die Kommunikation nennt Rockel Personenschutzanlagen, durch welche Roboter gestoppt werden, sobald ein Mensch in ihre Nähe kommt. Diese können entweder durch Lichtschranken bei Eingängen zu Fahrwegen oder durch ein Schutzfeld um das Fahrzeug abgewickelt werden. Über die Visualisierung eines solchen Schutzfelds gibt es verschiedene Ansätze, die von projizierten Zonen um das Fahrzeug bis hin zu LED-Signalen gehen. Bezogen auf die Haptik beziehungsweise der Kontakt von Mensch und Roboter stellt laut Sebastian Rockel eine erhöhte Gefahr dar und ist daher zu unterlassen. Wenn haptische Signale verwendet werden, dann nur in Form von Smart Devices, wie Smartwatches oder vibrierenden Tags am Körper.[Roc-2022a]

AGILOX Services

Auch für den Vertreter von AGILOX Services stellen akustische und visuelle Signale die wesentliche Kommunikationsform dar. Sie sind einfach und gut verständlich und daher auch in den meisten Anwendungen verbaut. Der Experte sieht bezogen auf die haptischen Signale für eine Kommunikation allerdings den Nachteil, dass sich Mitarbeiter an solche Signale schnell gewöhnen und diese ohne weiteres ignoriert werden. Generell sollten intuitive und einfach gehaltene Kommunikationswege bevorzugt werden. Bei den Anwendungen von AGILOX werden daher Methoden wie ein Floor Spot, eine Klingel oder grafische Ausgaben über Bildschirme verwendet. Laut dem Entwickler von AGILOX sollten Fahrzeuge auf keinen Fall nur ein defensives Verhalten, wie das Stehenbleiben beim Antreffen mit einem Menschen, an den Tag legen, sondern durch geeignete Anzeigen Intentionen vermitteln. Dadurch können Situationen schnell und effektiv gelöst werden und das gesamte System verliert nicht an Effizienz. Für das gesamte Konzept von AGILOX, mit frei im Raum verkehrenden Fahrzeugen, ist eine zureichende Kommunikation von Intentionen von elementarer Bedeutung. Für die Zukunft kann sich der Experte unter anderem Systeme mit Virtual oder Augmented Reality vorstellen, die größte Herausforderung liege dabei bei den hohen zusätzlichen Kosten aufgrund von einer neuen benötigten Ausrüstung. Außerdem zeichnet sich das System von AGILOX durch die Unabhängigkeit von Infrastrukturen aus, was in diesem Fall zum Teil wieder verloren gehen würde. [Agi-2022; Poi-2022a]

6 Anforderungen an einen Baukasten mit Interaktionsbausteinen im MRI

6.1 Interviewte Experten

Im Laufe dieser Semesterarbeit wurden fünf Experten aus verschiedenen Unternehmen interviewt. Alle wurden nach dem gleichen Fragenkatalog befragt, mit dem Ziel eine anschließende Anforderungsanalyse zu RoboLingo durchzuführen und einen allgemeinen Überblick über den aktuellen Stand der Dinge in der Industrie zu erlangen. Die Vertreter sind in der folgenden Tabelle 6-1 mit dem jeweiligen Unternehmen angeführt.

Experte	Unternehmen	Funktion im Unternehmen
Sebastian Asbeck	Schiller Automatisierungstechnik GmbH	Projektmanagement Mobile Robotics
Wolfgang Pointner	Agilox Services GmbH	R&D Coordinator
Dr. Sebastian Rockel	Jungheinrich AG	Development Engineer, Advanced Technologies, Visual Computing & Control Systems, TRD-AT-VC
Daniel Schauer	magazino GmbH	User Experience Designer
Andre Bronold	robominds GmbH	Head of Application & Engineering

Tabelle 6-1: Unternehmensvertreter in den Experteninterviews

6.2 Anforderungsermittlung für den RoboLingo-Baukasten

Ziel des RoboLingo Projektes ist es einen Sprachbaukasten für Roboter in der Mensch-Roboter Kooperation zu entwerfen. Damit dieses Forschungsprojekt den nötigen Input aus der Industrie erlangt, auch in späteren Projekten effektiv verwendet werden kann und zum Einsatz kommt, findet eine enge Zusammenarbeit mit Experten aus verschiedenen Unternehmen statt. Im Rahmen dieser Semesterarbeit wurden Anforderungen für den Baukasten gesucht. Anhand von fünf Experteninterviews mit verschiedenen Vertretern aus unterschiedlichen Unternehmen wurden diese Anforderungen gefunden. Für die Interviews wurde im Vorfeld ein Fragenkatalog mit zehn Fragen erstellt, welcher mit allen Experten bearbeitet beziehungsweise von allen beantwortet wurde. Alle Vertreter wurden mit denselben Fragen konfrontiert, damit die Aussagen an einem späteren Zeitpunkt verglichen werden konnten. Neben der Abfrage des aktuellen Stand der Technik in den Unternehmen wurden auch Fragen zu

6 Anforderungen an einen Baukasten mit Interaktionsbausteinen im MRI

Forschungszielen und Absichten für zukünftige Entwicklungen gestellt. Zudem wurde das Interesse an RoboLingo geklärt und Anforderungen aus Unternehmens- beziehungsweise Entwicklersicht an das Vorhaben gesucht. Aus den Antworten wurden anschließend die wesentlichen Anforderungen aus Sicht der Experten herausgefiltert und in einer Auflistung festgehalten. Die Recherche ergab folgende Anforderungen aus Tabelle 6-2, welchen RoboLingo gerecht werden soll.

<p>Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)</p>
<p>Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen -->je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)</p>
<p>Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)</p>
<p>Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)</p>
<p>Sicherheit + sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)</p>
<p>Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)</p>
<p>Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)</p>
<p>Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)</p>
<p>Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intralogistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)</p>
<p>Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intralogistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)</p>
<p>Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)</p>
<p>Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)</p>

Tabelle 6-2: Anforderungen aus den Experteninterviews [Roc-2022a; Bro-2022a; Poi-2022a; Sch-2022a; Asb-2022a]

6.3 Anforderungsanalyse durch den Paarweiser Vergleich

Durch die Auswertung der Experteninterviews mit den Experten konnten verschiedene Anforderungen an den RoboLingo Sprachbaukasten gefunden werden. Um eine Auswertung beziehungsweise eine Anforderungsanalyse zu den gesammelten Daten durchzuführen, wird ein passendes Werkzeug benötigt. Für Vergleiche dieser Art bietet sich ein Paarweise Vergleich an. Dabei handelt es sich um ein Instrument womit mehrere Varianten (in diesem Fall die gefundenen Anforderungen) in eine Reihenfolge gebracht sowie mit einer prozentualen Wertigkeit versehen werden können. Die Bewertung erfolgt dabei nicht über vordefinierte Kriterien, sondern indem die einzelnen Varianten einzeln direkt miteinander abgewogen werden. Als Ergebnis des Vergleichs ergibt sich eine Vorauswahl, genauer gesagt eine Gewichtung der verschiedenen Varianten beziehungsweise Anforderungen. Ein großer Vorteil dieser Methode ist der relativ geringe Aufwand, der von der Anzahl der betrachteten Varianten abhängt. Außerdem eignet sich der Paarweise Vergleich, um auch schwer vergleichbare Varianten einfach zu bewerten. Neben den genannten Vorteilen gibt es allerdings einige Nachteile, wie beispielsweise, dass die Methode ausschließlich auf subjektiven Einschätzungen basiert. Wie der Name der Methode bereits verrät, werden die zu vergleichenden Varianten miteinander verglichen und festgestellt, welche Variante bedeutsamer ist als die andere beziehungsweise ob sie von gleicher Bedeutung ist. [Son-2015, S. 1]

Mit der folgenden Darstellung 6-1, welche die verwendete Tabelle für die Paarweise Vergleiche mit den Experten aus den Unternehmen abbildet, wird der Ablauf des durchgeführten Vergleichs genauer erklärt.


		Anforderungen an den Baukasten						
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Punktesumme	Gewichtung $\left(\frac{p+n}{n^2}\right)$
Anforderungen an den Baukasten	Bewertung weniger wichtig: -1 gleich wichtig: 0 wichtiger: 1 							
	Variante 1		1				0	0,1
	Variante 2	-1					0	0,1
	Variante 3						0	0,1
	Variante 4						0	0,1
	Variante 5						0	0,1

Abbildung 6-1: Vorbereitete Tabelle für Paarweise Vergleich der befragten Experten nach [Son-2015]

Wie bereits beschrieben, werden die verschiedenen Varianten, welche im Falle dieser Semesterarbeit den gefundenen Anforderungen entsprechen, gegenübergestellt und bewertet. Folgt man der Tabelle, so erkennt man, dass jede Variante mit der jeweils anderen Variante aufeinandertrifft. Demzufolge wird jede Anforderung im Laufe des Vergleichs aufeinandertreffen. Die ausgegrauten Felder bilden die Situation ab, wenn eine Variante auf sich selbst trifft. Dieser Vergleich führt zu keinem Ergebnis und wird daher weggelassen. Der Inhalt der Tabelle wird an der so entstandenen grauen Achse negiert gespiegelt, weshalb es keinen Sinn machen würde, beide Hälften getrennt zu bearbeiten. Um die Bearbeitungszeit durch die Experten gering zu halten, wurde die Tabelle mit einer Funktion versehen, welche die untere Hälfte der Tabelle gleichzeitig negiert ausfüllt, während die obere Hälfte bearbeitet wird. Für das Ausfüllen der Tabelle werden die im oberen linken Kasten beschriebenen Werte verwendet. Dabei wird zwischen drei Bewertungen unterschieden. Der Vergleich erfolgt von links nach rechts, es wird also immer eine Zeile mit einer Spalte verglichen. Sind beide Varianten, beziehungsweise Anforderungen identisch von ihrer Bedeutung, wird eine 0 im Feld notiert. Ist eine Variante wichtiger als die andere wird eine 1 und sollte die Variante weniger wichtig sein eine -1 im Feld notiert. Zur Verdeutlichung wurde in der Abbildung 6-1 bereits ein Vergleich zwischen Variante 1 und Variante 2 durchgeführt. Die rote 1 bedeutet demzufolge, dass Variante 1 wichtiger ist als Variante 2 und wurde in der unteren Hälfte der Tabelle sinngemäß negiert. [Son-2015]

Sobald die gesamte Tabelle erfolgreich ausgefüllt ist, werden die Daten über die beiden letzten Spalten ausgewertet. Im ersten Schritt wird zu jeder Variante eine Zeilensumme gebildet. Diese werden in der Spalte „Punktesumme“ angeführt. Anschließend werden die errechneten Punktesummen über die folgende Formel (1) in eine relative Häufigkeit umgerechnet, wodurch der jeweilige Anteil in Prozenten ausgedrückt werden kann. Dieser Anteil spiegelt die Wichtigkeit und Bedeutung einer Anforderung wider und kann zur Bildung einer Rangfolge verwendet werden. [Son-2015]

$$G = \left(\frac{p+n}{n^2} \right) \quad (1)$$

In der gezeigten Formel (1) entspricht dabei p der erreichten Punktesumme der betrachteten Anforderung und n der Anzahl aller Anforderungen aus dem Vergleich. [Son-2015] Die gezeigte Tabelle wurde nach dem Experteninterviews mit den gefundenen Anforderungen (Varianten in Abbildung 6-1) bestückt und anschließend von allen Experten bearbeitet. Im folgenden Kapitel sind die Vergleiche und die Ergebnisse von jeden der befragten Experten angeführt.

6.4 Paarweise Vergleiche aus den Experteninterviews

Wie bereits im Kapitel zuvor erwähnt, wurde die erstellte Tabelle für den Paarweise Vergleich von allen Experten bearbeitet. In den nun folgenden Unterkapiteln sind die Einschätzungen der Experten abgebildet. Dabei wurden die in der Tabelle 6-2 im Kapitel 6-2 zusammengefassten Anforderungen von allen Experten gegenübergestellt und bewertet. Die Ergebnisse aus den Vergleichen werden nun genauer betrachtet.

6.4.1 robominds GmbH - Andre Bronold

		Anforderungen an den Baukasten													
		Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen → je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweiß auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	Intuitivität/Verständlichkeit der Einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intra-logistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intra-logistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	Punktesumme	Gewichtung
Anforderungen an den Baukasten	Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)		0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	5	0,12
	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen → je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	0		1	0	-1	1	0	-1	1	1	0	0	4	0,11
	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	-1	-1		-1	0	1	1	-1	1	1	0	0	0	0,08
	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	0	0	1		0	1	1	0	1	1	0	0	5	0,12
	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweiß auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	-1	-1	0	0		1	0	1	1	1	1	0	3	0,10
	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1	0	0	0	-1	-8	0,03
	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	0	0	-1	-1	0	1		0	1	1	0	0	1	0,09
	Intuitivität/Verständlichkeit der Einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	0	1	1	0	-1	1	0		1	0	0	0	3	0,10
	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intra-logistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1		1	-1	-1	-8	0,03
	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intra-logistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1		1	0	-6	0,04
	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	-1		1	0	0,08
	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1		1	0,09

Tabelle 6-3: Paarweise Vergleich - Andre Bronold - robominds GmbH

Der in der Tabelle 6-3 dargestellte Paarweise Vergleich, wurde von Andre Bronold erstellt. Im Laufe dieser Studienarbeit vertritt er das Unternehmen robominds. Betrachtet man das Ergebnis aus seinem Paarweise Vergleich, gibt es einige Anforderungen, die für den Experten wichtiger sind als andere. Mit einer errechneten Bewertung von 12 Prozent stehen die Kosteneffizienz und die Usability ganz oben in der Bewertung. Laut Bronold ist die Finanzierbarkeit ein wesentliches Ausschlusskriterium für viele neue Entwicklungen, da Zusatzkosten zuerst gerechtfertigt werden müssen, bevor sie

akzeptiert werden. Usability stellt neben den Kosten einen wichtigen Faktor für den zukünftigen Einsatz des Sprachbaukastens von RoboLingo dar. Nur wenn der Inhalt sinnvoll abgegrenzt ist und die Arbeit mit dem Baukasten anwenderfreundlich und nützlich ist, hat RoboLingo eine Chance auch Teil zukünftiger Entwicklungsprozesse zu werden. Der Baukasten sollte laut dem Vertreter von robominds den Part eines Werkzeugkastens einnehmen, anhand von dem Ansätze und Lösungen für verschiedene Problemstellungen während der Entwicklung vereinfacht gefunden werden können. Den Ablauf für den Umgang mit dem Baukasten beschreibt er dabei durch das Zusammenbauen von verschiedenen Bausteinen, die dem Entwickler vorgeschlagen werden. Für diesen Vorgang und das leichtere Zurechtfinden im Baukasten, sei es sinnvoll, eine Einteilung nach Einsatzsituationen vorzusehen. Demzufolge bestehe der halbe Weg bei der Verwendung von RoboLingo daraus, zum Beispiel mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes herauszufinden, was in vorliegenden Situationen benötigt wird. Gleichzeitig sollte man entlang des Baums jederzeit Ratschläge bekommen und an Rückmeldungen gelangen. Die zweite Hälfte des Weges sollte wie ein Konfigurator aufgebaut sein und den oben beschriebenen Zusammenbau von Bausteinen kombiniert mit einem Abfang für Fehler ermöglichen. Im Unternehmen robominds werden verschiedene Roboter gebaut, dementsprechend groß ist der Wunsch nach Modularität und Kompatibilität. Aus dem Vergleich ist ersichtlich, dass es für den Experten von robominds sehr wichtig ist, dass der Baukasten sowohl für verschiedene Anwendungen als auch für verschiedene Roboter verwendet werden kann. Demnach sollte RoboLingo neben der Entwicklung von mobilen Plattformen auch für die Konstruktion von 6-achs-Robotern geeignet sein. Neben den bereits beschriebenen Anforderungen, ist für Bronold ein sicherheitsrelevanter Bezug eine weitere wichtige Anforderung an RoboLingo. Der Mensch hat in jeder Situation Vorrang und soll auf keinen Fall einem Risiko ausgesetzt oder im schlimmsten Fall verletzt werden. Notfallsituationen, in denen ein sicherer Zustand eingenommen werden soll, müssen unbedingt im Vorfeld definiert werden, um genau festzulegen wie in einem bestimmten Notfall gehandelt werden muss. Daher gibt es für die Systeme von robominds beispielsweise bei Bränden einen eigenen Vorgang für die Entschärfung dieser Situationen. Dabei fahren die Fahrzeuge auf definierten Wegen in Stehbereiche, wo sie keine Fluchtwege blockieren. Abhängig ist das Ganze auch von der vorliegenden Anwendung sowie vom betrachteten Kunde und den Anforderungen der zuständigen Versicherung. [Bro-2022a; Bro-2022b]

6.4.2 magazino GmbH – Daniel Schauer

Anforderungen an den Baukasten

Bewertung

weniger wichtig: -1
gleich wichtig: 0
wichtiger: 1

Anforderungen an den Baukasten	Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen -->je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	Sicherheit+ Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intralogistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intralogistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	Punktesumme	Gewichtung $\left(\frac{p+n}{n^2}\right)$
Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)		1	1	0	-1	-1	1	0	0	1	1	1	4	0,11
Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen -->je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	-1		0	-1	-1	-1	0	0	0	1	-1	0	-4	0,06
Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	-1	0		-1	-1	-1	0	-1	0	1	-1	0	-5	0,05
Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	0	1	1		-1	0	0	1	1	1	1	1	6	0,13
Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	0	10	0,15
Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	1	1	1	0	-1		1	0	1	1	1	0	6	0,13
Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	-1	0	0	0	-1	-1		-1	-1	0	-1	0	-6	0,04
Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	0	0	1	-1	-1	0	1		1	0	0	0	1	0,09
Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intralogistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	0	0	0	-1	-1	-1	1	-1		0	1	1	-1	0,08
Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intralogistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0		-1	-1	-8	0,03
Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0	-1	1		-1	-2	0,07
Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	-1	0	0	-1	0	0	0	0	-1	1	1		-1	0,08

Tabelle 6-4: Paarweise Vergleich - Daniel Schauer - magazino GmbH [Sch-2022b]

Die Tabelle 6-4 zeigt den Paarweise Vergleich, der von Daniel Schauer vom Unternehmen magazino GmbH durchgeführt wurde. Betrachtet man die Ergebnisse aus der Bewertung, ist zu erkennen, dass für den Entwickler von magazino vier Schwerpunkte von Bedeutung sind. Ein sicherheitsrelevanter Bezug muss ein wesentlicher Bestandteil der Bausteine von RoboLingo sein und sollte laut Schauer als Grundvoraussetzung angesehen werden. Der Mensch hat höchste Priorität im System aus Mensch und Roboter und die Sicherheit jeder Person im Umfeld eines Roboters hat höchsten Vorrang. Betrachtet man die weiteren drei Schwerpunkte hierarchisch nach der getroffenen Bewertung, sind die Eingliederung in andere Projekte sowie die Kosteneffizienz ein wichtiges Instrument für die Entwicklung des Baukastens. Laut Schauer werden Systeme nur dann in der Anwendung interessant, wenn ihr Nutzen auch durch einen passenden Preis aufgewogen werden kann. Zu kostspielige Systeme können durch zu hohe Investitionskosten ausscheiden, auch wenn sie viele Vorteile mit sich bringen. Neben RoboLingo gibt es noch weitere Projekte, die sich mit ähnlichen Themen, wie beispielsweise mit der Standardisierung befassen. Ziel von RoboLingo sollte es daher sein,

auch zu Entwicklungen aus anderen Projekten kompatibel zu sein. Zudem sollte der Baukasten aus Sprachbausteinen eine einfache Anwendung mitbringen, welche durch eine klare Struktur und gute Usability unterstützt wird. Der Baukasten sollte nach Use-Cases aufgebaut sein, wodurch schnell herausgefunden werden kann, welche Anwendung es bereits gibt. Als Beispiel nennt Schauer einen Feueralarm im Unternehmen. Durch einen Blick auf RoboLingo sollte einfach zu erkennen sein, welche gesetzlichen Vorgaben gelten und für welche Inhalte es einen gewissen Gestaltungsspielraum gibt. Nützlich seien außerdem Angaben zu den Bausteinen, in denen angegeben ist, wo und für welche Roboter diese bereits verwendet werden. Bezogen auf die Kommunikationsform wäre es praktisch eine Einteilung nach Signalen (akustisch, visuell und so weiter) einzuführen. Angaben zu den bewährtesten Anwendungen in verschiedenen Fällen können dabei helfen, die optimale Form beziehungsweise optimalen Signale zu finden, sodass der Baukasten seinem praktischen und intuitiven Anwendungszweck gerecht werden kann. Einfach beschrieben sollte der Baukasten von RoboLingo nach Schauer wie eine Art Filter funktionieren, anhand dessen zusätzliche Informationen und Erfahrungen gewonnen werden können. Ziel ist es einfach und schnell Aussagen zu erhalten, was im betrachteten Fall benötigt wird und welche Lösungen es bereits gibt. [Sch-2022b; Sch-2022a]

6.4.3 Schiller Automatisierungstechnik GmbH – Sebastian Asbeck

		Anforderungen an den Baukasten													
		Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen --> je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intralogistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intralogistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	Punktesumme	Gewichtung $\left(\frac{p+1}{12}\right)$
Anforderungen an den Baukasten	Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)		1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	9	0,15
	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen --> je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	-1		1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	7	0,13
	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	-1	-1		0	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-2	0,07
	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	-1	-1	0		-1	1	1	1	1	1	1	1	4	0,11
	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	11	0,16
	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	-1	-1	1	-1	-1		-1	1	1	1	1	-1	-1	0,08
	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	-1	-1	-1	-1	-1	1		1	1	1	1	-1	-1	0,08
	Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1		1	1	1	-1	-3	0,06
	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intralogistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		0	0	-1	-9	0,02
	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intralogistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0		0	-1	-9	0,02
	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0		-1	-9	0,02
	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1		3	0,10

Tabelle 6-5: Paarweise Vergleich - Sebastian Asbeck - Schiller Automatisierungstechnik GmbH [Asb-2022b]

Die dargestellte Tabelle 6-5 zeigt den Paarweise Vergleich von Sebastian Asbeck. Als Projektmanager in Mobile Robotics vertritt er das Unternehmen Schiller Automatisierungstechnik GmbH in diesem Vergleich. Derselbe Paarweise Vergleich wurde auch von ihm durchgeführt, indem er dieselben Anforderungen bewertet hat. Ähnlich wie bei den beiden bereits betrachteten Paarweise Vergleichen ist die Anforderung zur Sicherheit prozentual gesehen die relevanteste. Auch bei Schiller Automatisierungstechnik steht die Sicherheit des Menschen an erster Stelle. Laut Asbeck resultiert eine Basis-sicherheit aus der Einhaltung von Vorschriften und Normen und alle zusätzlichen Funktionen werden darauffolgend aufgebaut. Um eine CE-Zertifizierung für das entwickelte Produkt zu erhalten sind diese eine Grundvoraussetzung. Für RoboLingo ist es deshalb unbedingt notwendig, konform mit den Normen und Vorschriften zu sein und auch über diese zu informieren. In Bezug auf die Sicherheit besteht die größte Herausforderung darin, Sicherheit trotz großer Verfügbarkeit zu gewährleisten. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, sollte RoboLingo laut Asbeck verschiedene Eskalationsstufen für Gefahrensituationen vorsehen, in denen unterschiedliche Intentionen

vorgeschlagen werden. Zwei weitere Ansprüche des Experten sind außerdem die Kosteneffizienz und die Usability für Entwickler. Kosten und Nutzen sollten optimal kombiniert werden, und es sollten je nach Situation, Fahrzeugtyp und Fahrzeuggröße Vorschläge für die nötigen Interaktionen geliefert werden. Bei derzeitigen Projekten sei die Machbarkeit meistens kein Problem, trotzdem scheitern Projekte häufig an der Finanzierbarkeit. Neben alldem sei der Nutzen durch verbesserte Kommunikation nur schwer monetär messbar, weshalb der Kunde die Möglichkeit besitzen sollte, selbst entscheiden zu können, welche optionalen Zusatzmodule noch eingebaut werden sollen. Aus der Sicht der Entwicklerseite sollte daher RoboLingo eine Möglichkeit bieten, aus verschiedenen Problemlösungen auszuwählen. Neben den genannten Anforderungen empfindet Asbeck daher die Modularität in den Anforderungen als fundamental. Mit 13 Prozent liegt diese Anforderung weit oben in der Bewertung. Seine Gedanken beziehen sich dabei auf verschiedene Optionen, welche im Umgang mit dem Baukasten gefunden werden sollten. Neben den genannten Anforderungen empfindet Asbeck die Kompatibilität für verschiedene Hersteller und Robotertypen grundlegend. In diesem Fall liegt die Schwierigkeit darin, soweit zu spezifizieren, dass jeder Anwender versteht, was gemeint ist, aber gleichzeitig niemand eingeschränkt wird. Zum Aufbau des Baukastens äußert Asbeck, dass dieser nicht wie eine Norm aufgebaut sein sollte, da sonst wieder dieselben Probleme wie mit anderen Normen auftreten. Normen haben viel Interpretationsspielraum und wirken daher oft nicht im Sinne der Kompatibilität. Diesbezüglich sollte RoboLingo klar aufgebaut sein und dieselben Standards für alle Hersteller bieten. Im Wesentlichen sollte der Baukasten Vorschläge für verschiedene Verbesserungen und Ausbaustufen beinhalten, welche zur Findung von alternativen Lösungen dienen. Entwickler können dadurch von anderen Denkanstößen profitieren und werden über andere Lösungen informiert. [Asb-2022a; Asb-2022b]

6.4.4 Jungheinrich AG – Dr. Sebastian Rockel

Anforderungen an den Baukasten														
Anforderungen an den Baukasten	Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen --> je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intra-logistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intra-logistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	Punktesumme	Gewichtung
	Bewertung weniger wichtig: -1 gleich wichtig: 0 wichtiger: 1													p
Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)		-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-7	0,03
Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen --> je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	1		1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	0,09
Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	-1	-1		-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-7	0,03
Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	1	1	1		-1	1	-1	1	1	1	1	-1	5	0,12
Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	11	0,16
Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	1	-1	1	-1	-1		-1	1	-1	1	1	-1	-1	0,08
Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	1	1	1	1	-1	1		1	1	1	1	-1	7	0,13
Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		-1	-1	1	-1	-7	0,03
Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intra-logistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	1	1	1	-1	-1	1	-1	1		1	1	-1	3	0,10
Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intra-logistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1		1	-1	-3	0,06
Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		-1	-11	0,01
Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1		9	0,15

Tabelle 6-6: Paarweise Vergleich – Dr. Sebastian Rockel - Jungheinrich AG [Asb-2022b]

Die Tabelle 6-6 stellt den Paarweisevergleich von Dr. Sebastian Rockel dar. Er vertritt das Unternehmen Jungheinrich AG und hat wie auch alle anderen Befragten dieselbe Tabelle bearbeitet. Erneut ist der Anspruch auf einen sicherheitsrelevanten Bezug am deutlichsten. Laut Dr. Rockel muss die Personensicherheit immer gewährleistet werden. Dafür müssen Fahrzeuge rechtzeitig Objekte und Personen erkennen und gegebenenfalls zeitig bremsen. In Solchen Situationen muss das Fahrzeug in eine für den Menschen sicheren Zustand gebracht werden. Ein zweiter, wichtiger Punkt für die Gewährleistung der Sicherheit bezieht sich auf den Maschinenschutz. Jede im Betrieb agierende Maschine oder Roboter muss sich selbst und die Maschinen um sich schützen beziehungsweise nicht beschädigen. Als Beispiel für einen nützlichen Baustein im RoboLingo Baukasten nennt Rockel Signale, die einen Roboter ankündigen. Vor allem an Kreuzungen kann anhand von solche Maßnahmen ein zureichender, sicherer Zustand entstehen. Ob das Signal direkt vom Roboter kommt, oder durch Lichtschranken an bestimmten Wegen erzeugt wird, hängt dabei von den Gegebenheiten der

betrachteten Anwendung ab. Natürlich gibt es, wie auch in anderen Fällen, immer mehrere Lösungen, so Rockel. RoboLingo könne genau dabei unterstützen, um alternative Lösungen zu finden. Idealerweise sind in den Bausteinen auch User-Stories mit Einsatzgebiet, Evaluation und gegebenenfalls Beispielstandorten hinterlegt, an denen sich künftige Entwickler orientieren können. Mit einer Bewertung von rund 10 Prozent im Paarweise Vergleich ist diese Anforderung für Rockel von elementarer Bedeutung und sollte laut ihm in die Ausarbeitung des Baukastens aufgenommen werden. Neben den genannten Anforderungen spielen die Kompatibilität und die Standardisierung bei berücksichtigter Kosteneffizienz eine wichtige Rolle für den Experten. RoboLingo könne eine gute und endgültige Lösung für banale Probleme werden. Als Beispiel nennt Rockel die Farbspezifikation von Lichtsignalen. Dafür gäbe es keine normative Vorschrift, weshalb viele verschiedene Umsetzungen dafür existieren. Wäge man den Schritt diese mit einem Baukasten als eine Art Vorschrift für alle Hersteller festzulegen, wäre dieses einfache Problem gelöst und darüber hinaus könne damit auch noch im Sinne der Kompatibilität mit RoboLingo geworben werden. Für die Arbeit mit dem Baukasten wäre es wünschenswert, wenn er einfach und intuitiv aufgebaut wäre und möglichst modular an ein vorliegendes Problem angewandt werden könnte. Außerdem würden jegliche Entwickler, die im besten Falle zukünftig mit RoboLingo zusammenarbeiten, von Verweisen zu Normen und Vorschriften profitieren. Im Gegensatz zu den anderen Experten schlägt Rockel einen klassischen Aufbau für den RoboLingo Baukasten vor. Laut ihm sollte der Baukasten wie eine Norm aufgebaut werden, in der man über Erkenntnisse informiert wird. Bei Jungheinrich seien Normen wie Gesetze, an denen sich jeder Hersteller halten muss. Ein solcher Ansatz wäre für alle Beteiligten an RoboLingo sicherlich sinnvoll, da somit weniger Missverständnisse entstehen würden und es würde eine Vielfalt an Vorteilen für die Kompatibilität zwischen Herstellern mit sich bringen. Zu der Gliederung schlägt Rockel eine Einteilung nach Situationen vor, durch welche Herangehensweisen und Ansätze gefunden werden können. [Roc-2022a; Roc-2022b]

6.4.5 AGILOX Services GmbH – Wolfgang Pointner

		Anforderungen an den Baukasten													
		Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen --> je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intra-logistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intra-logistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	Punktesumme	Gewichtung
Anforderungen an den Baukasten	Usability, einfache Anwendung, einfacher Aufbau - klare Struktur und Übersicht (nützlicher, anwenderfreundlicher, sinnvoll abgegrenzter Inhalt)	0	-1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	5	0,12	
	Modularer Aufbau (anpassbare bzw. auswählbare Optionen --> je nach Situation, Fahrzeug, Umgebungsbedingungen)	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	5	0,12	
	Erweiterbarkeit (Baukasten kann und wird fortlaufend ergänzt)	1	-1	1	1	-1	1	0	0	0	1	0	3	0,10	
	Kosteneffizienz (Kosteneffiziente Umsetzung der Inhalte gewährleisten)	-1	-1	1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	-5	0,05	
	Sicherheit + Sicherheitsrelevanter Bezug (Verweis auf Normen und Gesetze + Verdeutlichung von zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen + Sicherheit im Betrieb gewährleisten)	0	0	-1	1	1	0	0	1	1	1	1	5	0,12	
	Eingliederung in andere Projekte (z.B. VDA5050)	-1	0	1	0	-1	1	-1	-1	0	0	1	0	-2	0,07
	Kompatibilität (für verschiedene Hersteller, Systeme, Robotertypen)	0	-1	-1	1	0	1	1	1	1	1	0	4	0,11	
	Intuitivität/Verständlichkeit der einzelnen Bausteine (unterstützt mit Beispielen, User Stories, Simulationen, Einsatzorten, Evaluationen)	-1	-1	0	0	0	1	-1	1	1	1	0	1	0,09	
	Verschiedene Situationen, die im Bereich der Intra-logistik auftreten, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	0	0	0	-1	0	-1	1	1	0	0	-3	0,06	
	Verschiedene Intentionen, die Roboter im Bereich der Intra-logistik haben, berücksichtigen (häufigste & wichtigste)	-1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0	-5	0,05	
	Priorisierung der Inhalte (Abgrenzung zwischen unumgänglich und optional)	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-8	0,03	
	Standardisierung (Vereinheitlichung verschiedener Sachen wie z.B. Farbspezifizierung visueller Signale)	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0,08	

Tabelle 6-7: Paarweise Vergleich - Wolfgang Pointner - AGILOX Services GmbH [Poi-2022b]

Der Paarweise Vergleich wurde wie bereits von den anderen Experten auch von Wolfgang Pointner bearbeitet. Der Experte ist im Unternehmen AGILOX Services GmbH tätig und wurde durch denselben Fragenkatalog wie die anderen Vertreter aus dem Unternehmen befragt. Die Tabelle 6-7 zeigt die Ergebnisse aus seinem Paarweise Vergleich. Im Gegensatz zu den anderen Experten gibt es für Pointner mehrere Anforderungen, die den Vergleich dominieren. Mit einem Anteil von 12 Prozent steht die Sicherheit als Anforderung für die Bausteine von RoboLingo erneut ganz oben im Vergleich. Laut Pointner haben Personen immer Vorrang und deren Sicherheit sollte auf keinen Fall gefährdet werden. Er betont jedoch, dass die Leistungsfähigkeit auch in Situationen mit sicherheitstechnischem Bezug so hoch wie möglich gehalten werden sollte. Als Beispiel nennt er diesbezüglich die Situation, wo Mensch und Roboter im Betrieb aufeinandertreffen. Solche Situationen können auf verschiedene Art und Weise gelöst werden und dabei sollte keinesfalls nur ein defensives Verhalten des Roboters umgesetzt werden. Zu Gunsten der Leistungsfähigkeit könne beispielsweise ein Verlangsamen je nach Entfernung zu Objekten oder Personen sinnvoller sein als

ein sofortiger Stillstand des Roboters. Des Weiteren könne Gestenerkennung hilfreich sein, um Situationen geschmeidiger zu bewältigen, allerdings bringen solche Ansätze erhöhte Komplexität mit sich, weshalb eine verbesserte Vermittlung von Intentionen sinnvoller wäre. Mit einer klaren Kommunikation über Intentionen sei es einfacher verschiedene Situationen besser abschätzen zu können und dementsprechend zu reagieren. Die Unterscheidung einer Leerfahrt von einer Fahrt mit Ladung beispielsweise, ist in einer Notfallsituation eine wertvolle Information, welche berücksichtigt werden soll. Wird diese Information zusätzlich während der Fahrt kommuniziert, so können alle Beteiligten die Lage besser einschätzen. Wie im Paarweise Vergleich aus der angeführten Tabelle 6-7 zu erkennen ist, sind die Usability und die Modularität von Pointner mit demselben Anteil wie die Sicherheit bewertet worden. Damit der Baukasten zu einem späteren Zeitpunkt auch verwendet wird, sei es wichtig eine klare Struktur mit einfachem und nutzerfreundlichem Aufbau vorzufinden. Pointner schätzt die Darstellung eines Baukastens mit den vielen benötigten Dimensionen, wie Nutzer, Fahrzeuggröße, Umgebung, Situationen oder Antriebe als schwierig ein und vermutet, dass sich dahingehend eine zukünftige Herausforderung für RoboLingo ergeben wird. Nichtsdestotrotz sollte der Baukasten laut ihm wie ein Wegweiser funktionieren, in dem man stufenweise durch Unterscheidungen an verschiedenen Vorschlägen oder Problemlösungen kommt. Die Unterscheidung sollte zum Beispiel nach priorisierten Zuständen oder Situationen erfolgen. Seinen vorgeschlagenen Aufbau beschreibt er auch als eine Art Entscheidungsbaum, in dem das vorliegende Projekt durch seine Gegebenheiten und Anforderungen in einen bestimmten Bereich fällt. Für den Bereich werden anschließend verschiedene Lösungen für Situationen vorgeschlagen. Zudem sollte internes Knowhow des Unternehmens, durch die im Baukasten vorgeschlagenen Inputs, ergänzt werden können, wodurch eine höhere Kompatibilität zu verschiedenen Herstellern erreicht wird. Entwickler könnten durch die Orientierung am Baukasten Lösungen oder Inspirationen finden, so Pointner. [Poi-2022a; Poi-2022b]

6.5 Einschätzung der Anforderungen für die Umsetzung von RoboLingo

Nach der Analyse der Paarweise Vergleiche und den gesammelten Informationen aus den Experteninterviews gibt es verschiedene Anforderungen, welche für die Experten wichtiger sind und einige die zwar zu berücksichtigen sind, allerdings als weniger wichtig empfunden worden sind. Diese sollten bei der Entwicklung des RoboLingo Baukastens unbedingt berücksichtigt werden und sollten als Entwicklungsschwerpunkte angesehen werden. Um einen besseren Überblick über die ausgewerteten Vergleiche der befragten Experten zu erlangen, zeigt die folgende Abbildung 6-2 eine Zusammenfassung der Beurteilungen. Die Bedeutung der Anforderungen wird als prozentualer Anteil am Kreisdiagramm dargestellt. Dabei wurde der Mittelwert aus den Bewertungen der jeweiligen Anforderung berechnet.

AUSWERTUNG DER VERGLEICHE NACH DEM MITTELWERT

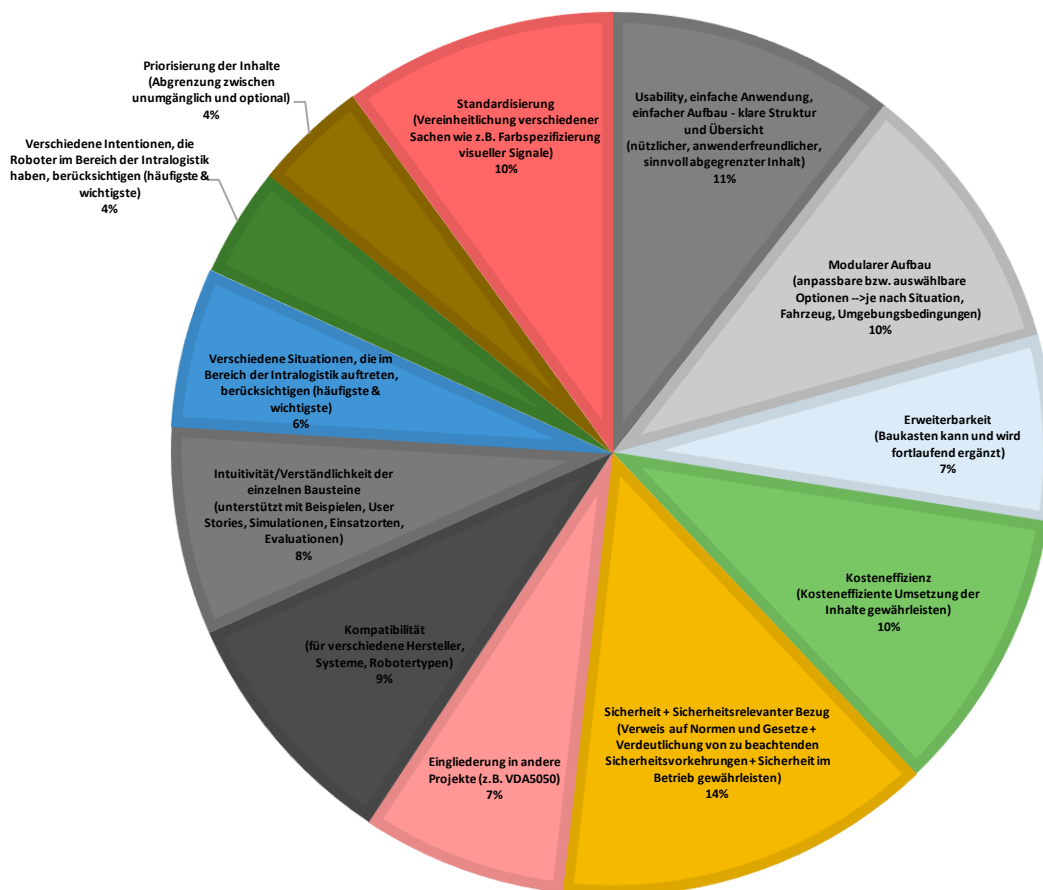


Abbildung 6-2: Mittelwerte der Bewertungen aus den Paarweise Vergleichen der Experten [Bro-2022b; Sch-2022b; Roc-2022b; Asb-2022b; Poi-2022b]

Wie im Diagramm aus Abbildung 6-2 zu erkennen ist, hat der sicherheitsrelevante Bezug den wichtigsten Stellenwert für die Experten. Mit rund 14 Prozent im Durchschnitt, wurde Sicherheit als wichtigste Anforderung für die Bausteine von RoboLingo empfunden. In den Interviews mit den Experten wurde diese Ansicht auch immer deutlich klar gestellt. Der Mensch hat in der MRK immer Vorrang und darf unter keinen Umständen in Gefahr gebracht werden. Sicherheit ist somit das höchste Gebot, welches bei der Ausarbeitung von RoboLingo unbedingt berücksichtigt werden muss. Neben der Sicherheit versprechen sich die Experten aus den Unternehmen einen einfachen und intuitiven Umgang mit dem entstehenden Baukasten, der in Sachen Usability überzeugt. Nach den Meinungen der Interviewten sollte RoboLingo Ansätze und Denkanstöße für neue Entwicklungen liefern und dabei gleichzeitig verschiedene Möglichkeiten für die Umsetzung und Lösung verschiedenster Problemstellungen bieten. Hierfür wurde häufig ein modularer Aufbau vorgeschlagen, durch welchen die Inhalte eines Projekts durch die Bausteine des Baukastens aufgebaut werden können. Die Einteilung der einzelnen Module beziehungsweise Bausteine sollte dafür nach Situationen und Signalen aufgebaut sein. Außerdem sei es sehr hilfreich, wenn man durch den Einsatz des Baukastens praktische Hinweise zu verschiedenen Situationen bekomme, durch welche man versteht, was genau für eine gewisse Umsetzung benötigt wird. Zudem äußerte sich der Wunsch auch nach Verweisen zu normativen Vorschriften und Richtlinien, welche in der Entwicklung zu berücksichtigen sind. Nicht nur durch die Ansichten aus verschiedenen Unternehmen, sondern auch aufgrund der Tatsache, dass die Unternehmen zum Teil auch intern verschiedene Roboterarten herstellen, sollte der Baukasten von RoboLingo auf alle Hersteller sowie Robotertypen angewandt werden können. Die Experten versprechen sich durch eine solche Umsetzung des Baukastens enorme Vorteile in der Standardisierung und Kompatibilität verschiedener Hersteller. Einfache Probleme, wie die Farbspezifikation von visuellen Signalen, könnten somit mühelos gelöst werden. Im Laufe der Interviews wurden auch häufig die Kosten als kritischer Faktor für neue Entwicklungen angesprochen. Der Nutzen vieler versprochener Vorteile durch beispielsweise einer ausgeprägten Kommunikation seien nur schwer in den Leistungsdaten zu ermitteln und somit schwer monetär zu rechtfertigen. Eine Vielzahl von Projekten würde nicht an der Machbarkeit scheitern, sondern an der Finanzierbarkeit. Demzufolge sollten die Bausteine des Baukastens mehrere Optionen beinhalten, damit verschiedene Ausbaustufen beliebig gewählt werden und die Kunden ihre Kosten besser einplanen können. Außerdem sei ein praktischer Verweis, wie bereits bestehende Projekte oder Erfahrungen mit dem Baustein hilfreich, um die Inhalte von RoboLingo besser einschätzen zu können. Damit der Baukasten praktische Relevanz erhalten kann, erwähnten einige Experten, dass noch genügend Platz für Input der eigenen Entwicklungsabteilung sein sollte und RoboLingo somit die Anforderung der Erweiterbarkeit erfüllen sollte. Außerdem gibt es noch weitere ähnliche Projekte an denen neben RoboLingo gearbeitet wird, welche im Aufbau des Baukastens

eingegliedert werden sollte. Als Beispiel wurde diesbezüglich VDA 5050 genannt, was sich mit einer universellen Schnittstelle für Intralogistikfahrzeuge beschäftigt. [Aus-2022; Bro-2022a; Asb-2022a; Poi-2022a; Sch-2022a; Roc-2022a]

Wird nur der Mittelwert aus allen Bewertungen betrachtet, so bekommt man keine Übersicht über die Streuung beziehungsweise über die Übereinstimmung der Ansichten der befragten Experten. Für die Betrachtung dieser Zusammenhänge eignet sich die Darstellung der Daten in einem sogenannten Boxplot. Mit diesem Werkzeug aus der Statistik können alle wichtigen robusten Lage- und Streumaße sowie die Spannweite eines Datensatzes in einer Grafik dargestellt werden. Diese Grafik besteht aus der sogenannten Box und zwei Linien, die das Rechteck verlängern. Innerhalb der Box befindet sich eine weitere Gerade, die den Median darstellt. Alle Komponente zusammen ergeben die in der Abbildung 6-3 demonstrierte Grafik. [Lek-2022]

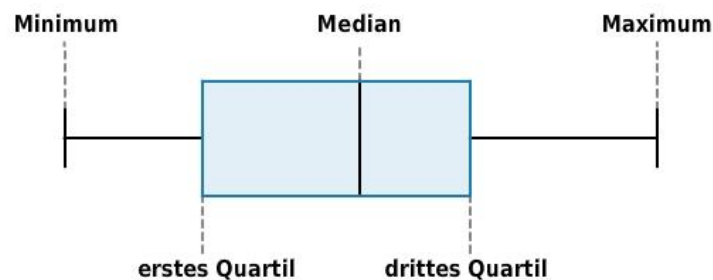


Abbildung 6-3: Darstellung eines Boxplots nach [DAT-2022]

Die Box spannt den sogenannten Interquartilsabstand auf, der den Abstand zwischen dem dritten und dem ersten Quartil darstellt und somit die mittleren 50 Prozent der Daten repräsentiert. Die Differenz der beiden Quantile ist also ein Maß für die Streuung der Daten. Das dritte Quartil wird auch als 75-Prozent-Quantil bezeichnet, da 75 Prozent der Werte aus dem betrachteten Datensatz kleiner beziehungsweise gleich dem Quantil sind. Gleiches gilt für das erste Quartil. Dieses wird als 25-Prozent-Quantil bezeichnet und liegt auf einem Wert, den 25 Prozent der Daten unterschreiten. Den Mittelpunkt der Verteilung stellt der Median dar. 50 Prozent der Daten sind größer und 50 Prozent der Daten sind kleiner als dieser Wert, wodurch dieser den Datensatz in zwei Hälften teilt. Der Median ist besonders robust gegenüber Ausreißern im Datensatz und stellt eine ungewichtete und realistische Mitte der Werte dar. Seine Lage in der Box zeigt, wie schief die Verteilung ist, die den Daten zugrunde liegt. Die beiden Linien, welche die Box verlängern, stellen das Minimum beziehungsweise das Maximum aus dem Datensatz dar. [Lek-2022]

6 Anforderungen an einen Baukasten mit Interaktionsbausteinen im MRI

Durch die Paarweise Vergleiche von fünf Experten wurden im Laufe dieser Semesterarbeit fünf Bewertungen zu jeder der zwölf Anforderungen zusammengetragen. Somit kommt zu jeder Anforderung eine Datenreihe von fünf Werten zusammen, durch welche für jede Anforderung ein Boxplot erzeugt werden kann. Diese sind in der folgenden Abbildung 6-4 dargestellt.

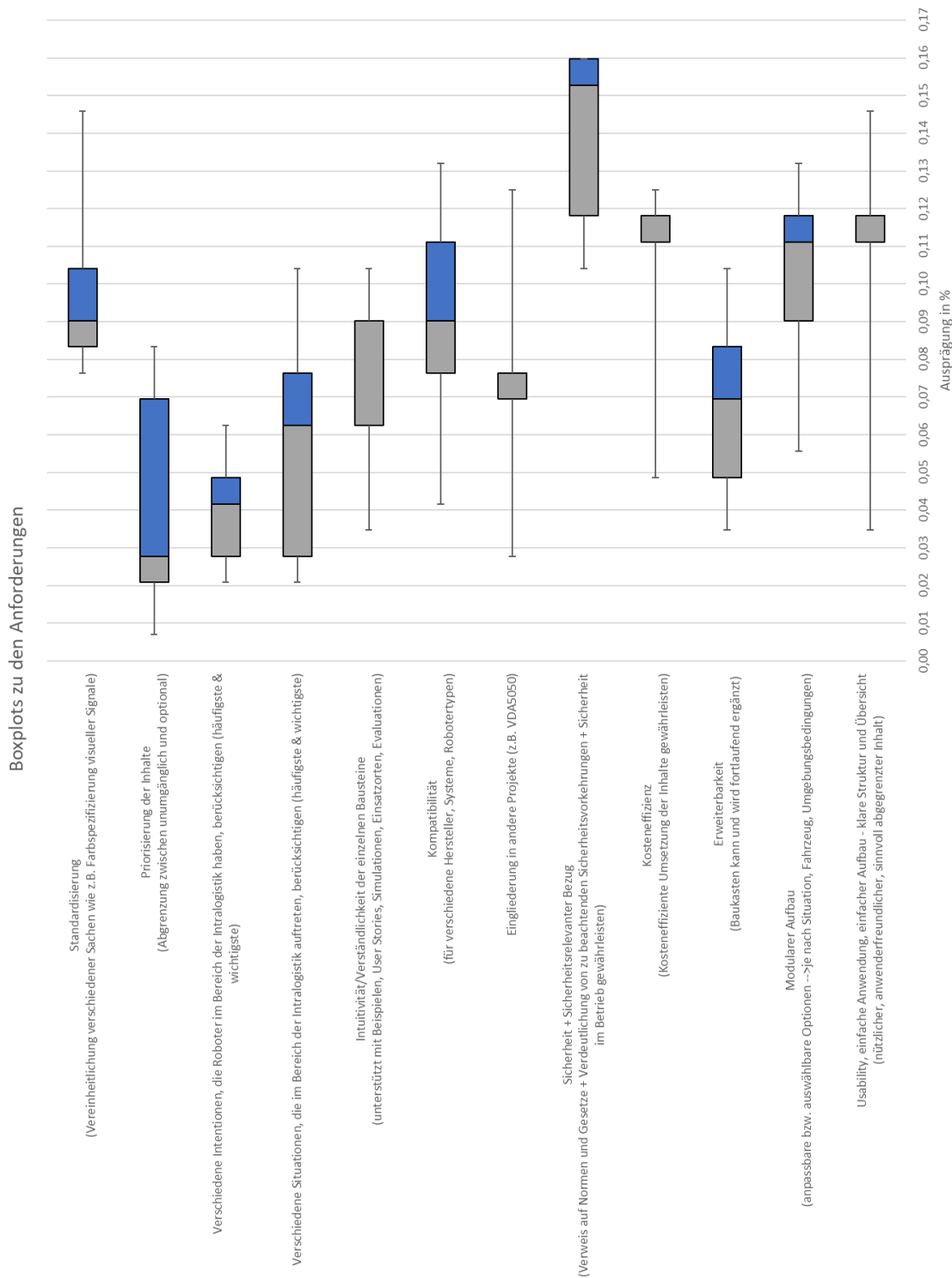


Abbildung 6-4: Boxplots zu den Anforderungen - Verteilung der Bewertungen [Bro-2022b; Sch-2022b; Roc-2022b; Asb-2022b; Poi-2022b]

Betrachtet man die Boxplots aus der Abbildung 6-4, sind verschiedene Ausprägungen zu erkennen. Zum einen etwas größere Boxen, die auf eine größere Streuung der Datenpunkte hinweisen und zum anderen kleinere Boxen, die auf eine gewisse Einigkeit der Experten schließen lassen. Zudem zeigen das Minimum und das Maximum den Bereich, in welchem die Bewertungen liegen. Auch wenn zu den am wichtigsten bewerteten Anforderungen, wie beispielsweise der Sicherheit, eine größere Streuung vorliegt, kann nicht direkt auf eine nicht vorhandene Einigkeit der Experten geschlossen werden. Die Lage des gesamten Boxplots muss dabei berücksichtigt werden. Demzufolge liegt beispielsweise die Sicherheit als Anforderung ganz oben in den Bewertungen, da sie am weitesten im rechten Bereich der Abbildung 6-4 liegt und dessen niedrigste Bewertung immer noch höher ist als der Großteil der Bewertungen zu anderen Anforderungen. Dadurch kann eine Einigkeit der Experten zum Thema Sicherheit festgestellt werden, da sie für die meisten Experten als wichtigste Anforderung gilt. Bei einigen Boxen ist nur ein grauer Kasten zu erkennen. Das liegt daran, dass der Median und das dritte Quartil sehr nahe beieinander liegen. Solche Effekte kommen dann zustande, wenn die Datenpunkte, die größer als 50 Prozent aller betrachteten Datenpunkte sind, ähnlich hoch sind und nahe beieinander liegen. Die Anforderung mit einem solchen Boxplot wurde demnach als ähnlich bedeutend empfunden und zeichnet sich durch große Ähnlichkeiten bei der Bewertung der Experten aus. Werden diese einfarbigen, grauen Boxen größer, wie beispielsweise bei der Anforderung Intuitivität, sind die Datenpunkte, welche kleiner als 50 Prozent aller betrachteten Datenpunkte sind, mehr verstreut. Im Allgemeinen kann durch die gezeigten Boxplots also gesagt werden, dass die Relevanz einer Anforderung durch die Lage der Boxen festgestellt werden kann. Ist die Relevanz nicht eindeutig, verlängert sich die Box und die eingenommene Position verlagert sich durch die größere Streuung.

7 Fazit

7.1 Diskussion

Das Ziel dieser Semesterarbeit ist es, eine Anforderungsanalyse für das Projekt RoboLingo durchzuführen. Die Anforderungsanalyse wurde im Zuge der Semesterarbeit durchgeführt, da es in der Entwicklung der Mensch-Roboter-Kollaboration noch einige Problemstellungen zu bewältigen gibt. Zum einen wird die Entwicklung aufgrund von fehlender finanzieller Bereitschaft eingeschränkt, da der Nutzen von beispielsweise ausgeprägter Kommunikation zwischen Mensch und Roboter monetär nur schwer messbar ist. Des Weiteren existiert noch keine Übersicht über Möglichkeiten zur Vermittlung von Intentionen, die sich für den Austausch von Informationen zwischen Mensch und Robotern in gewissen Situationen eignen. Außerdem erweist sich der Einsatz von autonomen Robotern als aufwendig, da die allgemeine Akzeptanz von Arbeitnehmern nur mithilfe von viel Vorbereitung und Einsatz erzielt werden kann. Nicht zuletzt ist die Standardisierung von einfachen Inhalten, wie beispielsweise die Farbspezifikation von visuellen Signalen, nicht vorhanden. Dadurch erweist sich die Kombination von Robotersystemen von verschiedenen Herstellern als äußerst schwierig. Um die Anforderungsanalyse zu erstellen, wurde zunächst eine Literaturrecherche vorgenommen, in der der aktuelle Stand der Technik erläutert wurde. Im zweiten Schritt wurde ein Fragenkatalog erstellt, der im Rahmen von fünf Experteninterviews bearbeitet wurde. Bei den Befragten handelt es sich um fünf Vertreter aus unterschiedlichen Unternehmen. Nachdem die Fragenkataloge jeweils von dem zuständigen Experten bearbeitet wurden, konnten 12 Anforderungen der Experten an RoboLingo ermittelt werden. Im dritten Schritt wurden die gefundenen Anforderungen mithilfe eines Paarweise Vergleichs gegenübergestellt. Anhand von diesem Paarweise Vergleich war es möglich die einzelnen Anforderungen nach Wichtigkeit zu sortieren. Mithilfe der gesammelten Daten konnten unter anderem die Verteilung und die Streuung der Daten beurteilt werden. Zuletzt konnten die am höchsten bewerteten Anforderungen analysiert und als Entwicklungsschwerpunkte für RoboLingo festgelegt werden.

7.2 Zusammenfassung

Der Baukasten von RoboLingo ist ein neuer Ansatz, um die zukünftige Entwicklung von Projekten zur Mensch-Roboter-Kollaboration zu unterstützen. Wesentlich für die Umsetzung ist eine zureichende Anforderungsanalyse, um die Entwicklung des Baukastens in die richtige Richtung zu leiten. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine enge Zusammenarbeit mit Industriepartnern nötig, da diese den Nutzen eines Vorhabens dieser Art am besten abschätzen können. Im Laufe dieser Studienarbeit wurden fünf Unternehmen zum Thema befragt und es konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Entwicklungsschwerpunkte können anhand der Analysen abgeleitet werden und in die Entwicklung des Baukastens integriert werden. Zu den wichtigsten Anforderungen aus der durchgeführten Anforderungsanalyse zählen neben einem sicherheitsrelevanten Bezug und der Kosteneffizienz der einzelnen Bausteine auch ein intuitiver und einfacher Umgang mit dem Baukasten, der sich durch seine Standardisierung und Kompatibilität für verschiedenen Robotertypen und Hersteller auszeichnet. Um dieser Semesterarbeit einen vernünftigen Rahmen zu geben, wurde die Anzahl der befragten Unternehmensvertreter auf fünf begrenzt. Allerdings gibt es zum Teil unterschiedliche Ansichten zu einigen Anforderungen und vor allem zu der Form für den Aufbau. Deshalb wäre es hilfreich zukünftig weiterhin Befragungen und Studien durchzuführen, um noch mehr Klarheit zu schaffen und den Kontakt mit der Industrie aufrecht zu erhalten. Diesbezüglich gibt es bereits einen Expertenkreis, der sich in regelmäßigen Abständen trifft, um an RoboLingo zu arbeiten.

7.3 Ausblick

Im Laufe dieser Semesterarbeit wurde ein Überblick über die ausschlaggebendsten Anforderungen an den Baukasten von RoboLingo erarbeitet. Die Ergebnisse aus der Analyse sollten in der Entwicklung der Sprachbausteine unbedingt berücksichtigt werden und stellen einen Ausgangspunkt für die Umsetzung dar. Eine große Herausforderung bei der Abwicklung des Projektes liegt in der Festlegung einer passenden Darstellung des Baukastens. Dieser sollte intuitiv und simpel aufgebaut sein und sollte sich für die Findung von neuen Lösungen von Problemstellungen eignen. Zudem sollte man durch RoboLingo neue Denkanstöße erlangen und es sollte dennoch genug Platz für den eigenen Input erhalten bleiben. Die befragten Experten versprechen sich aus dem Projekt auch einige Vorteile für die Standardisierung von einfachen Annahmen, wie beispielsweise der Definition von Farbspezifikationen visueller Signale. Außerdem profitiert jeder Hersteller von einer Kompatibilität zwischen verschiedenen Herstellern und der Verwendbarkeit des Baukastens für verschiedene Robotertypen. Schließlich muss die Finanzierbarkeit der Bausteine des Baukastens garantiert werden, oder

zumindest verschiedene Ausbaustufen bezogen auf die Kosten vorgesehen werden. Eine mögliche Form des Baukastens ist die Darstellung von Intentionen und Situationen eines Roboters in einer Matrix. Die dadurch entstandene Unterteilung bietet eine intuitive Übersicht und kann zudem mit Einsatzszenarien, Verweise auf normative Vorschriften und Angaben zu Potenzialen unterstützt werden. Die Abbildung 7-1 zeigt eine solche Matrix.








Intention	Fahren			Handhaben			..
	vorwärts	anhalten	rangieren	aufladen	abladen	picken	
Situation FTS fährt auf eine Kreuzung zu	 Keine Interaktion	 Rotes Licht + Ton	 Blinkend + Ton	X	X	X	
Stationäres Handhaben und Sequenzieren	X	X	 Augen in Bewegungsrichtung oder Lichtpunkt blau	 Blinkend + Ton	 Back-off oder Ton	 Augen auf Werkstück oder Lichtpunkt grün	
...							

Abbildung 7-1: Beispielhafte Darstellung des Baukastens von RoboLingo [Nie-2022]

Neben dem Einbezug von Unternehmen sollte RoboLingo auch andere Projekte integrieren, um zum einen Kompatibilität zu gewährleisten und zum anderen, um mit dem Lauf neuer Entwicklungen mithalten zu können. Werden die gefundenen Anforderungen in die Umsetzung von RoboLingo aufgenommen, kann der dabei entstehende Baukasten als ein nützliches und praktisches Werkzeug für Entwickler fungieren und viele Hersteller können davon profitieren.

Literaturverzeichnis

- [2006/42/EG] Europäisches Parlament und des Rates: RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES Nr. 2006/42/EG, 2006.
- [Agi-2022] AGILOX: Fahrerloses Hubsystem: Einfach- & Doppelscherenhub | AGILOX. <https://www.agilox.net/produkt/agilox-one/>, Aufruf am 29.09.2022.
- [Asb-2022a] Sebastian Asbeck. Expertengespräch am 23.08.2022.
- [Asb-2022b] Sebastian Asbeck. Expertengespräch am 23.08.2022.
- [Böc-2022] Hans-Böckler-Stiftung: Branchenanalyse Fördertechnik und Intralogistik: Perspektiven für Arbeit und Beschäftigung – Working Paper Forschungsförderung, No. 235, Aufruf am
- [Bro-2022a] Andre Bronold. Expertengespräch am 28.06.2022.
- [Bro-2022b] Andre Bronold. Expertengespräch am 28.06.2022.
- [Bux-2020] Buxbaum, H.-J.: Mensch-Roboter-Kollaboration. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2020.
- [Elk-2013] Dr. techn. Norbert Elkmann: Sichere Mensch-Roboter-Kooperation: – Normenlage, Forschungsfelder und neue Technologien, Aufruf am
- [emb-2022] embeteco GmbH & Co. KG: Forschungsschwerpunkte | MRK-Netzwerk. <https://mrk-netzwerk.de/forschungsschwerpunkte/>, Aufruf am 22.10.2022.
- [fml-2022] fml: RoboLingo – Ein Interaktionsbaukasten für Roboter in der Intralogistik. <https://www.mec.ed.tum.de/fml/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/roboLingo-ein-interaktionsbaukasten-fuer-roboter-in-der-intralogistik/>, Aufruf am 22.06.2022.
- [Höc-2018] Höchsmann, B.: Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) - WEKA. <https://www.weka.de/produktsicherheit/mensch-roboter-kooperation-mrk/>, Aufruf am 22.09.2022.

- [Lek-2022] Lektorat Plus: Boxplot verstehen und interpretieren (inkl. Beispiel). <https://www.lektorat-plus.de/posts/boxplot.php>, Aufruf am 26.10.2022.
- [Mag-2022] Magazino GmbH: SOTO - Supply Chain-Lösung für die Produktionslogistik - Magazino. <https://www.magazino.eu/produkte/soto/>, Aufruf am 29.09.2022.
- [Mol-2015] Molzow-Voit, F.: Robotik in der Logistik – Qualifizierung für Fachkräfte und Entscheider. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2015.
- [Nie-2022] Nicolas Niessen: RoboLingo: Ein Interaktionsbaukasten für Roboter in der Intralogistik. In: Ergonomie Aktuell, Jg. 2022 (2022) Nr. 23
- [Poi-2022a] Wolfgang Pointner. Expertengespräch am 26.07.2022.
- [Poi-2022b] Wolfgang Pointner. Expertengespräch am 27.06.2022.
- [Roc-2022a] Sebastian Rockel. Expertengespräch am 17.06.2022.
- [Roc-2022b] Dr. Sebastian Rockel. Expertengespräch am 17.06.2022.
- [Sch-2010] Schenk, J.; Rigoll, G.: Mensch-Maschine-Kommunikation – Grundlagen von sprach- und bildbasierten Benutzerschnittstellen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [Sch-2022a] Schauer Daniel. Expertengespräch am 21.06.2022.
- [Sch-2022b] Daniel Schauer. Expertengespräch am 21.06.2022.
- [Son-2015] Alexander Sonntag: Paarweiser-Vergleich (2015)
- [Tha-2016] Hendrik Thamer, Florian Loibl, Claudio Uriarte und Michael Freitag: Robotik als Schlüsselkomponente – Flexible Robotersysteme für dynamische Logistikprozesse, Aufruf am
- [VDM-2016] VDMA: „Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration“, Aufruf am
- [wlw-2022] wlw inside business: Darum sind Roboter in der Logistik von Vorteil. <https://www.wlw.de/de/inside-business/praxiswissen/logistikmanagement/roboterloesungen-fuer-die-logistik-produktiver-und-widerstandsfahiger>, Aufruf am 16.09.2022.

- [Wöl-2006] Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dennis Fritsch, Dipl.-Ing. Kay Wöltje: Roboter in der Intralogistik – Von der Speziallösung zum wirtschaftlichen Standardprodukt, Aufruf am
- [Zel-2005] Zeller, F.: Mensch-Roboter Interaktion: Eine sprachwissenschaftliche Perspektive (2005)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Linde "blue spot" [Lin-2022]	3
Abbildung 2-2: Aussicht für RoboLingo [fml-2022]	4
Abbildung 3-1: Anzahl der Beschäftigten und Umsätze in der Fördertechnik und Intralogistik (2008–2019; in Milliarden Euro) [Bök-2022]	8
Abbildung 3-2: Roboter SOTO des Unternehmens magazzino GmbH [Mag-2022]	11
Abbildung 4-1: Beispielhafte Beschreibung eines Roboters nach der Taxonomie von Onnasch und Roesler [Bux-2020, S. 166]	21
Abbildung 4-2: Spiegel Titelblätter zur Akzeptanz für Roboter [Spi-2022]	26
Abbildung 4-3: Sicherheitsprinzipien nach TS 15066 [Mar-2016, S. 11]	28
Abbildung 4-4: Technologische Lösungsansätze für eine sichere MRK nach	31
Abbildung 4-5: Sicherheitsmaßnahmen AGILOX [Agi-2022]	32
Abbildung 4-6: Sicherheitskonzept Magazzino GmbH [Mag-2022]	33
Abbildung 4-7: robominds – Sicherheit [rob-2022]	33
Abbildung 4-8: Jungheinrich Zone Control [Jung-2021]	34
Abbildung 4-9: Kamera-Safety-System Jungheinrich [Jung-2021]	34
Abbildung 4-10: Projiziertes Schutzfeld [Jung-2021]	35
Abbildung 5-1: Morphologische Aspekte in der MRI [Bux-2020, S. 168]	41
Abbildung 5-2: Akzeptanz des Menschen in Abhängigkeit der Anthropomorphie eines Roboters [Bux-2020, S. 170]	42
Abbildung 6-1: Vorbereitete Tabelle für Paarweise Vergleich der befragten Experten nach [Son-2015]	59
Abbildung 6-2: Mittelwerte der Bewertungen aus den Paarweise Vergleichen der Experten [Bro-2022b; Sch-2022b; Roc-2022b; Asb-2022b; Poi-2022b]	71

Abbildung 6-3: Darstellung eines Boxplots nach [DAT-2022]	73
Abbildung 6-4: Boxplots zu den Anforderungen - Verteilung der Bewertungen [Bro-2022b; Sch-2022b; Roc-2022b; Asb-2022b; Poi-2022b]	74
Abbildung 7-1: Beispielhafte Darstellung des Baukastens von RoboLingo [Nie- 2022]	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Roboter aus Unternehmen der Experteninterviews [Poi-2022a; Asb-2022a; Roc-2022a; Sch-2022a; Bro-2022a]	11
Tabelle 4-1: Vor- und Nachteile des Einsatzes von MRK nach [Bux-2020, S. 22f.; Roc-2022a]	23
Tabelle 5-1: Sinnenwahrnehmungen des Menschen [Sch-2010, S. 15]	45
Tabelle 6-1: Unternehmensvertreter in den Experteninterviews	57
Tabelle 6-2: Anforderungen aus den Experteninterviews [Roc-2022a; Bro-2022a; Poi-2022a; Sch-2022a; Asb-2022a]	58
Tabelle 6-3: Paarweise Vergleich - Andre Bronold - robominds GmbH	61
Tabelle 6-4: Paarweise Vergleich - Daniel Schauer - magazino GmbH [Sch-2022b]	63
Tabelle 6-5: Paarweise Vergleich - Sebastian Asbeck - Schiller Automatisierungstechnik GmbH [Asb-2022b]	65
Tabelle 6-6: Paarweise Vergleich – Dr. Sebastian Rockel - Jungheinrich AG [Asb-2022b]	67
Tabelle 6-7: Paarweise Vergleich - Wolfgang Pointner - AGILOX Services GmbH [Poi-2022b]	69

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum, Unterschrift