MASTERARBEIT

EXPLORATION DER AKTUELLEN ENTWICKLUNGEN UND HERAUSFORDERUNGEN IN DER SERVICE-ROBOTIK:

Eine Handlungsempfehlung für die Implementierung und Integration von effektiven und sicheren Serviceroboter-Systemen bei industriellen Anwendungen

ausgeführt am

CAMPUS 02 GRAZ
FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Studiengang

Informationstechnologien und Wirtschaftsinformatik

Von: Ing. Stefan Halper, BSc

Personenkennzeichen: 2210320012

Graz, am 13. Dezember 2023 .....

Ing. Stefan Halper, BSc

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....

Ing. Stefan Halper, BSc

DANKSAGUNG

An diesem wichtigen Punkt meines Weges möchte ich innehalten und all jenen meinen tiefsten Dank aussprechen, die mich auf diesem Pfad begleitet und unterstützt haben.

Mein unermesslicher Dank gilt meiner Familie, deren moralische Unterstützung die Säulen meiner Stärke sind. Ihr Glaube an mich und meinen Zielen hat mich in Momenten des Zweifels gestärkt und mir den Mut gegeben, stets voranzuschreiten.

Ein besonderer Dank geht an meine wunderbare Freundin, die mich nicht nur mit Rat und Tat bereicherte, sondern auch meine selten, aber doch vorkommenden chaotischen Momente ertragen musste.

Ebenso bin ich meinen Freunden zu großem Dank verpflichtet, die mit ihrer Freundschaft und Unterstützung den Weg erleichtert und mir immer Rückhalt geboten haben.

Ich möchte auch meinen geschätzten Kolleginnen und Kollegen danken, deren Zusammenarbeit und kollegialer Geist unerlässlich für meinen Fortschritt waren.

Zudem möchte ich meinem Arbeitgeber meinen herzlichen Dank aussprechen. Die Unterstützung und das Entgegenkommen, das mir geboten wurde, um das Studium sowie die Masterarbeit zu realisieren, waren außerordentlich. Die gewährten Ressourcen haben es mir ermöglicht, mich vollkommen auf dieses Projekt in meinem Leben zu konzentrieren.

Nicht zuletzt gebührt mein tiefster Dank meinem Betreuer Dipl.-Ing (FH) Günther Zwetti, dessen Weitsicht, Beratung und Vertrauen für mich von unschätzbarem Wert waren und die sowohl für den Abschluss dieser Masterarbeit als auch für meine weiteren akademischen Bestrebungen eine wesentliche Unterstützung boten.

KURZFASSUNG

In der heutigen Zeit sind Serviceroboter ein unverzichtbares Element in zahlreichen industriellen und gesellschaftlichen Bereichen. Ihre steigende Bedeutung ist größtenteils auf erhebliche Fortschritte in der Software-Entwicklung, wie KI-Technologien, einen Quantensprung in der Mikro-Chip-Industrie und neuartiger leistungsstarker Hardware zurückzuführen. Diese Entwicklungen eröffnen Möglichkeiten für erhöhte Autonomie und Effizienz, stellen jedoch auch eine Reihe von technischen Herausforderungen dar. Ein Schlüsselaspekt ist die Variabilität, die es ermöglicht, Roboter für eine breite Palette von Anwendungen, von Fertigungsprozessen bis hin zu Logistik und Gesundheitswesen, zu optimieren. So wertvoll diese Flexibilität auch ist, erschwert sie jedoch die Integration der Software, die der Hardware, deren Wartung, sowie die kontinuierliche Verbesserung und wirft teilweise wirtschaftliche und ethische Fragen auf.

Die Masterarbeit nimmt diese vorwiegend technischen Herausforderungen ins Visier und bietet eine tiefgehende Analyse über das Feld der professionellen Servicerobotik. Sie stellt die Notwendigkeit einer durchdachten Planung, Implementierung und Integration in den Vordergrund, mit dem Ziel, die Serviceroboter in ihren jeweiligen Einsatzfeldern, anhand der eruierten Herausforderungen, so reibungslos als möglich zu integrieren.

Neben dem Hauptaugenmerk auf die technischen Aspekte betrachtet die Arbeit auch einige soziale und ethische Fragen, die durch die zunehmende Integration von Servicerobotern in menschliche Umgebungen entstehen. Hierzu zählen insbesondere Software, Hardware, das menschliche Wohlbefinden und die Verantwortung im Umgang mit Daten. Diese Herausforderungen und möglichen Lösungen werden anhand einer systematischen Literaturrecherche nach vom Brocke et al. ermittelt.

Die Forschung hat eine Vielzahl von Herausforderungen und Lösungen aufgezeigt, wobei der Schwerpunkt hauptsächlich auf technischen Problemen lag. Es gelang, einige Hypothesen zu bestätigen und andere zu widerlegen, was zur Beantwortung der Forschungsfragen beitrug. Zudem wurde ein deutlicher Trend hin zu einem vermehrten Interesse im Bereich der Servicerobotik erkennbar.

Insgesamt bietet die Arbeit einen umfassenden Überblick über die komplexen Anforderungen, die die Implementierung und Integration von Servicerobotern mit sich bringt. Die Studie der Masterarbeit dient als wertvolle Ressource für diejenigen, die in der Planung, Entwicklung und Implementierung von Servicerobotern tätig sind und gibt einen fundierten Einblick in die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen dieses dynamischen und schnell wachsenden Feldes.

ABSTRACT

Service robots are indispensable across industry and society. Their increasing importance is largely due to significant advancements in software, such as AI, the microchip industry, and novel, high-performance hardware. These developments allow increased autonomy and efficiency but also present technical challenges. A key aspect is variability, enabling robots to be optimized for various applications, from manufacturing to logistics and healthcare. This flexibility complicates the integration of software and hardware, their maintenance, and continuous improvement, and raises economic and ethical questions.

This master's thesis targets these predominantly technical challenges, providing an in-depth analysis of the field of service robotics. It emphasizes the necessity of thoughtful planning, implementation, and integration, aiming to seamlessly integrate service robots into their respective fields, based on the identified challenges.

In addition to focusing on technical aspects, the thesis also considers social and ethical issues arising from the increasing integration of service robots into human environments. These include software, hardware, human well-being, and responsibility in data handling. These challenges and potential solutions are identified through systematic literature research according to von Brocke.

The research has revealed various challenges and solutions, primarily focusing on technical problems. It succeeded in validating some hypotheses and refuting others, contributing to answering the research question. Moreover, a clear trend towards greater interest in the field of service robotics is observed.

Overall, the thesis provides a comprehensive overview of the complex requirements associated with the implementation and integration of service robots. The study in the master's thesis serves as a valuable resource for those engaged in planning, developing, and implementing service robots, offering a well-founded insight into the current and future challenges of this dynamic and rapidly growing field.

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG 1

1.1 Motivation und Ausgangssituation 1
1.2 Problemstellung 2
1.3 Fragestellung und Zielsetzung 2

1.3.1 Forschungsfrage 2
1.3.2 Hypothesen 3
1.3.2.1. H1 – Technologie dominiert die Herausforderungen 3
1.3.2.2. H2 – Regulatoren und Ethik 3
1.3.2.3. H3 – Einsatzumgebung 3
1.3.2.4. H4 – Technologische Lösungen 4
1.3.3 Ziele 4

1.4 Vorgehensweise 4
1.5 Aufbau der Arbeit 5

2 SERVICEROBOTIK 7

2.1 Definition 7

2.1.1 Norm 7
2.1.2 Galber-Wirtschaftslexikon 8

2.2 Bedeutung 9

2.2.1 Starke Anzeichen eines Trends 9
2.2.2 COVID-19 als Boost? 11

2.3 Kategorien 13

2.3.1 Einteilung nach Anwendung 13
2.3.2 Persönliche oder professionelle Nutzung 14

2.4 Anwendungsbereich 16

2.4.1 Sektorenunterteilung 16
2.4.1 Flexible Anwendungsbereiche pushen den Trend 18

2.5 Kontrast zum Menschen 19

2.5.1 Gegenüberstellung 19
2.5.2 Möglicher Mittelweg 21

2.6 Neuerungen im Bereich der Robotik 22

2.6.1 AI-Industrie 4.0 anhand Multirobotersystem 22
2.6.2 ML & AI mit Robotik 25

2.6.3 Ausblick von Technologiedurchbrüchen in verschiedenen Bereichen 27

3 IMPLEMENTIERUNG UND INTEGRATION 29

3.1 Technischer Aufbau 29

3.1.1 Hardware 29
3.1.2 Software 30
3.1.3 Software-Architektur 31

3.2 Technische Aspekte 32

3.2.1 Frameworks: Zwischen Hard- und Software 32

3.3 Mensch-Roboter-Interaktion 33

3.3.1 Bedienbarkeit und Sicherheit 33
3.3.2 Ethische Überlegungen, Regulierungen und Interaktionen 33

4 METHODIK – SYSTEMATISCHE LITERATURRECHERCHE 35

4.1 Begründung der Wahl als Forschungsmethode 35
4.2 Forschungsmethode: Systematische Literaturrecherche 35

4.2.1 Übersicht 35
4.2.2 Unsystematische Literaturrecherche 36
4.2.3 Systematische Literaturrecherche 36

4.3 Recherche nach vom Brocke et al. 37

4.3.1 Phasen 37
4.3.2 Definieren des Anwendungsbereichs 38
4.3.3 Konzeptionalisierung des Themas 40
4.3.4 Literatursuche 40
4.3.5 Literaturanalyse und Synthese 41
4.3.6 Forschungsagenda 41

4.4 PRISMA-Statement 42

4.4.1 Übersicht 42
4.4.2 Hintergrund 42
4.4.3 Aufbau 43
4.4.3.1. Struktur 43
4.4.3.2. Checkliste 45

4.5 Durchführung der syst. Literaturrecherche mit PRISMA 47

4.5.1 Definition des Anwendungsbereiches 47
4.5.1 Konzept für die Systematische Literaturrecherche 49
4.5.1 Datenbanken 51

4.5.1 Kriterien 52
4.5.1 Spezifische Suchbegriffe 53
4.5.1 Finale Suchbegriffe 55

4.1 Angewandte Literatursuche mit PRISMA-Workflow 55

4.1.1 Identification (Identifikation) 55
4.1.2 Screening (Sichtung) 57
4.1.3 Inclusion (Einschluss) 58

4.2 Literaturanalyse 59

4.2.1 Hauptkategorien 59
4.2.1 Feinkriterien 60
4.2.1.1. Feinkriterien – Kategorisierung 60
4.2.1.1. Feinkriterien – Herausforderungen 62
4.2.1.1. Feinkriterien – Lösungen 63

5 RESULTATE DER LITERATURRECHERCHE 64

5.1 Übersicht 64
5.2 Kategorisierung 65

5.2.1 Einteilung in Industriezweig und Roboterart 66
5.2.1 Mögliche Korrelation: Industriezweig-Roboterart 67

5.3 Herausforderungen 70
5.4 Lösungen 71
5.5 Korrelation 73

5.5.1 Kategorie – Herausforderung 74
5.5.2 Herausforderung – Lösungen 76

6 DISKUSSION 78

6.1 Aufgabenstellung und Zusammenfassung 78
6.2 Interpretation der Ergebnisse 79
6.3 Hypothesenprüfung 81

6.3.1 H1 – Technologie dominiert die Herausforderungen 81
6.3.2 H2 – Regulatoren und Ethik 81
6.3.3 H3 – Einsatzumgebung 82
6.3.4 H4 – Technologische Lösungen 82

6.4 Konkrete Handlungsempfehlung 82
6.5 Beantwortung der Forschungsfrage 84
6.6 Kritische Reflexion, Limitationen und Forschungsmöglichkeiten 87

ANHANG A - QUELLEN DER SYST. LITERATURRECHERCHE 88

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 91

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 92

TABELLENVERZEICHNIS 94

BIBLOGRAFIE 95

1 EINLEITUNG

"The best way to predict the future is to invent it." – Alan Kay

Die folgenden Abschnitte bieten den Leser*innen einen umfassenden Überblick über die Kernthemen dieser Arbeit. Die Einleitung beginnt mit der Darstellung der Ausgangssituation und der Problemstellung, die zur Durchführung dieser Forschung geführt haben. Im Anschluss daran wird die Forschungsfrage in Unterkapitel 1.3.1 präzisiert, einschließlich der damit verbundenen Hypothesen und Ziele. Unterkapitel 1.4 beschreibt die Vorgangsweise, die zur Beantwortung der Forschungsfrage verwendet wird. Schließlich gibt das letzte Unterkapitel einen Ausblick auf die Struktur der weiteren Arbeit.

1.1 Motivation und Ausgangssituation

Aktuell ist ein außerordentlicher Umbruch der Zeit, in der Serviceroboter nicht nur mehr futuristische Konzepte, sondern feste Bestandteile unseres Alltags sind. Der Markt für diese autonomen Maschinen, die den Menschen in vielfältigen Aufgaben unterstützen, ist weltweit im Aufschwung und sollte laut Prognose im Jahr 2022 einen Wert von rund 24 Milliarden US-Dollar erreicht haben (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

Diese Zahlen unterstreichen die rapide Akzeptanz von Servicerobotern in unterschiedlichen Sektoren, von der Industrie bis zur Gesundheitsversorgung, wo sie insbesondere während der COVID-19-Pandemie als unverzichtbare Helfer dienten (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

Trotz dieses Potenzials sind die Herausforderungen bei der Implementierung von Servicerobotern vielfältig. Serviceroboter sind komplexe cyber-physische Systeme, die sowohl Hardware als auch Software umfassen. Das Software-Engineering für Roboter ist jedoch nach wie vor ein unausgereiftes Feld, das die Qualitätssicherung und Integration dieser Systeme erheblich beeinträchtigt (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

Die technologischen Fortschritte in künstlicher Intelligenz (KI) und Sensortechnologien haben Servicerobotern zwar mehr Autonomie und Funktionalität verliehen, aber ihre Akzeptanz und ihr Erfolg hängen nicht ausschließlich von der Technologie ab. Ethische, regulatorische und betriebliche Bedingungen spielen eine ebenso entscheidende Rolle im Einsatz von Robotern. Zudem stellen die Interaktion und Kollaboration dieser Roboter mit Menschen in verschiedenen Kontexten neue ethische und soziale Herausforderungen dar (García et al., 2023).

1.2 Problemstellung

Die rasanten Fortschritte in der Servicerobotik haben eine Fülle von Möglichkeiten in verschiedenen industriellen und gesellschaftlichen Bereichen eröffnet. Diese Fortschritte in Technologie und Software bieten zwar ein enormes Potenzial für erhöhte Autonomie und Effizienz, stellen aber auch eine Reihe neuer, komplexer Herausforderungen dar.

Neben diesen technischen Herausforderungen ergeben sich durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Servicerobotern auch ethische und soziale Fragestellungen. Dazu zählen insbesondere Sicherheitsüberlegungen, der Schutz des menschlichen Wohlbefindens und die Verantwortung im Umgang mit sensiblen Daten. Diese Kombination aus technischen und nicht-technischen Herausforderungen stellt ein zentrales Problem dar, das eine umfassende-multidisziplinäre Betrachtung erfordert.

1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Dieses Kapitel widmet sich der zentralen Forschungsfrage dieser Masterarbeit und ergänzt die zu Beginn gestellte Frage, die dem weiteren Ausbau des Forschungsfeldes dient. Abschließend werden die Hypothesen vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit geprüft werden, sowie die angestrebten Ziele dieser Masterarbeit.

1.3.1 Forschungsfrage

Dank rasanter technologischer Entwicklungen und der Einbindung verschiedenster Disziplinen hat der Bereich der Robotik einen enormen Investitionsschub erfahren, der durch den Mangel an Fachkräften weiter angeheizt wird. Insbesondere Serviceroboter zeigen in verschiedenen Sektoren großes Potenzial. Die Konstruktion, Implementierung und Integration dieser Roboter stellen immer wieder eine zunehmend komplexe Herausforderung dar. Besonders in den Phasen der Entwicklung und Integration treten fortlaufend neue Probleme auf. Um diese Schwierigkeiten frühzeitig zu identifizieren und Ressourcen gezielt einsetzen zu können, leitet sich folgende Forschungsfrage ab:

„Welche möglichen Herausforderungen ergeben sich bei der Entwicklung und der Integration von Servicerobotern in der Industrie und wie könnten diese Herausforderungen bewältigt werden?“

Aufgrund der potenziell unendlichen Anzahl an Herausforderungen und Lösungen wurde in Folge der Recherche die Forschungsfrage präzisier und messbarer definiert, was zu einer neuen Fragestellung führt:

„Welche zehn häufigsten Herausforderungen ergeben sich bei der Entwicklung und der Integration von Servicerobotern in der Industrie und was sind die fünf häufigsten Lösungsvorschläge?“

1.3.2 Hypothesen

1.3.2.1. H1 – Technologie dominiert die Herausforderungen

$H1_0$: Der Großteil aller Herausforderungen, innerhalb der zehn häufigsten Herausforderungen in der Entwicklung und Integration von Servicerobotern sind technischer Natur, wie Sensorik, Aktorik und Software-Architektur.

$H1_1$: Obwohl technische Aspekte eine Rolle spielen, sind sie nicht der dominante Faktor in der Entwicklung und Integration von Servicerobotern.

1.3.2.2. H2 – Regulatoren und Ethik

$H2_0$: Regulatorische und ethische Herausforderungen zählen zu den zehn häufigsten Herausforderungen bei der Integration von Servicerobotern, da sie grundlegende Bedingungen für den Einsatz und die Akzeptanz dieser Technologien in der Gesellschaft festlegen.

$H2_1$: Trotz regulatorischer und ethischer Aspekte bei der Entwicklung und Integration von Servicerobotern spielen diese Faktoren laut Literatur kaum eine Rolle und zählen daher auch nicht zu den zehn häufigsten Herausforderungen, da technische Probleme in der Vorrangigkeit überwiegen.

1.3.2.3. H3 – Einsatzumgebung

$H3_0$: Die spezifischen Anforderungen spezieller Einsatzumgebungen (zum Beispiel bei industriellen Bedingungen, Schmutz) sind Hindernisse für die effektive Integration von Servicerobotern und somit unter den zehn größten Herausforderungen.

$H3_1$: Die Einsatzumgebung stellt keine Herausforderung dar, welche die Integration erschwert.

1.3.2.4. H4 – Technologische Lösungen

$H4_0$: Die fünf häufigsten möglichen Lösungen für die Entwicklung und Integration von Servicerobotern sind technischer Natur, was zur Annahme führt, dass Verbesserungen in der Servicerobotik primär durch technologische Fortschritte erzielt werden.

$H4_1$: Auch wenn technische Lösungen entscheidend sind, gehören sie nicht zu den fünf häufigsten der möglichen Lösungen für die Integration von Servicerobotern, da andere Faktoren wie Benutzerfreundlichkeit, Akzeptanz und Anpassungsfähigkeit an verschiedene Umgebungen ebenso wichtig sind.

1.3.3 Ziele

Das Ziel dieser Masterarbeit besteht darin, den aktuellen Forschungsstand zur Entwicklung und Integration von Servicerobotern in der Industrie eingehend zu untersuchen und zu bewerten. Insbesondere wird die Arbeit Hypothesen zu den Hauptproblembereichen – *Technik*, *Sicherheit*, *Mensch-Roboter-Interaktion*, *Regulierung und Ethik* – überprüfen. Die Arbeit zielt darauf ab, eine praxisorientierte Handlungsempfehlung zu formulieren. Diese sollen aufzeigen, wie und in welchem Umfang die identifizierten Herausforderungen am effektivsten in Betracht gezogen werden können, um eine erfolgreiche Integration von Servicerobotern in industrielle Anwendungen zu gewährleisten.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel 1.3.1 Forschungsfrage erwähnt, ist das Ziel dieser Masterarbeit eine Übersicht, sowie eine Handlungsempfehlung über Herausforderungen auszuarbeiten, um eine Planung und Integration von Servicerobotern im industriellen Bereich je nach Typ zu erleichtern und somit die Forschungsfrage zu beantworten.

1.4 Vorgehensweise

Um die Forschungsfrage zu beantworten und Hypothesen zu überprüfen, ist es notwendig, durch die Theoriekapitel grundlegendes Wissen aufzubauen, um Prozesse, Herausforderungen und Lösungen zu verstehen. Diese wurden basierend auf ihrer Anzahl von Erwähnungen, dem Kontext und der Wichtigkeit ihrer Bedeutung in der Methodik bei Bedarf erweitert.

Die Durchführung einer Studie durch den Autor mit Fallstudien über unterschiedliche Robotertypen in diversen Industriebereichen würde den Rahmen dieser Arbeit, sowohl zeitlich als auch aufgrund der Zugänglichkeit sprengen. Daher wird eine strukturierte Literaturrecherche, als beste Methode angesehen, um die Forschungsfrage umfassend und detailliert zu untersuchen und zu beantworten.

Zu Beginn der strukturierten Literaturrecherche werden bestimmte Kriterien festgelegt und genau dokumentiert, um das Vorgehen möglichst transparent und nachvollziehbar zu gestalten. Anschließend startet die Suche nach Literatur in den Datenbanken, die zwischen 2013 und 2023 veröffentlicht wurde. Auf die Ergebnisse dieser Suche werden die zuvor definierten Ein- und Ausschlusskriterien angewendet, was meist zu einer starken Reduzierung der Quellen führt.

Die Forschungsarbeiten und Studien, die der Prozess identifiziert, stehen im Anschluss daran für einer genauere Analyse bereit. Dabei werden Informationen zu den Studien und ihren Ergebnissen gesammelt, um die Forschungsfrage der Masterarbeit beantworten zu können.

Abschließend werden die Daten aus der umfangreichen Literaturrecherche verarbeitet, in Beziehung gesetzt und nochmals tiefer analysiert, um auf dieser Basis die Forschungsfrage zu beantworten und in weiterer Folge die Hypothesen bestätigen oder widerlegen zu können.

1.5 Aufbau der Arbeit

Unmittelbar nach der Einleitung setzt das zweite Kapitel der Arbeit an. Hier wird zunächst die Definition und die aktuelle Relevanz der Servicerobotik eingehend erläutert. Dieser Abschnitt zielt darauf ab, ein solides Fundament an theoretischem Wissen zu schaffen, das für den weiteren Verlauf der Arbeit von zentraler Bedeutung ist.

Noch innerhalb desselben Kapitels erfolgt eine umfassende Behandlung des Aufbaus und der Einsatzgebiete von professionellen Servicerobotern. Der Abschnitt wird abgerundet mit einem zukunftsgerichteten Ausblick, der sich insbesondere mit den neuesten Entwicklungen und der zunehmenden Integration verschiedener Robotertechnologien in diesem Bereich befasst.

Kapitel 3 ist den spezifischen Aufgaben gewidmet, die mit der Implementierung und Integration von Servicerobotern einhergehen. In diesem Kapitel wird ein besonderes Augenmerk auf die bevorstehenden Herausforderungen gelegt, die in den folgenden praxisorientierten Kapiteln weiter vertieft werden. Dabei werden sowohl technische als auch nicht-technische Aspekte eingehend beleuchtet.

Mit dem Abschluss von Kapitel 3 endet der theoretische Teil der Arbeit, der bereits Verbindungen zur Praxis aufweist. Durch einen Bezug auf Entwicklung und Integration wird ein Einstieg zum ersten Praxis-Kapitel „Kapitel 4 Methodik -Systematische Literaturrecherche“ geschaffen. In diesem Kapitel wird die angewandte Methodik der systematischen Literaturrecherche nach vom Brocke et al. (2009) detailliert beschrieben.

Im Zusammenhang dazu knüpft Kapitel 5 an, indem es die Resultate dieser Methodik vorstellt und dabei auf eine strukturierte visuelle Darstellung zurückgreift. Diese Visualisierungen erleichtern die Rekonstruktion und Analyse der Ergebnisse für die Leser*innen.

Das abschließende Kapitel 6 widmet sich der Diskussion und Reflexion der gesamten Arbeit. Es ruft zunächst an zentrale Aufgabenstellung ins Gedächtnis und bietet eine prägnante Zusammenfassung des Erarbeiteten. Des Weiteren werden die Ergebnisse aus Kapitel 5 interpretiert und es werden konkrete Handlungsempfehlungen formuliert. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden die Hypothesen nochmals aufgegriffen und auf ihre Richtigkeit geprüft oder widerlegt.

Das Kapitel endet mit der Beantwortung der Forschungsfrage, einer kritischen Reflexion über die Grenzen der Arbeit und skizziert mögliche Ansätze für zukünftige Forschungen in diesem Bereich.

2 SERVICEROBOTIK

Dieses Kapitel konzentriert sich auf Serviceroboter, die speziell für industrielle Anwendungen entwickelt wurden. Es bietet einen umfassenden Überblick über ihre Definition, Bedeutung, Kategorien, Anwendungsbereiche und die neuesten technischen Innovationen in diesem Sektor.

2.1 Definition

In diesem Abschnitt wird der Terminus "Serviceroboter" definiert. Es wird erläutert, wie sich diese von allgemeinen Robotern und anderen industriellen Robotertypen unterscheiden.

Im Robotik-Universum gibt es viele Arten und Beschreibungen, die sich im Wesentlichen in zwei Hauptgruppen aufteilen: Grundlegende und hochentwickelte Robotik. Die grundlegende Robotik umfasst einfache, bewegliche Roboter und Manipulationsgeräte, die vorwiegend für elementare Tätigkeiten in der Industrie verwendet werden. Hochentwickelte Robotik hingegen bezieht sich auf Serviceroboter, die komplexere Aufgaben ausführen (Gonzalez-Aguirre et al., 2021).

Bereits im Vorfeld existiert eine Vielzahl voneinander abweichender Definitionen, abhängig von der Perspektive und der durchgeführten Recherche. Diese Vielfalt ermöglicht im Verlauf eine Entwicklung ungleicher Definitionen (Tamás Haidegger, 2021).

2.1.1 Norm

Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, existieren in der Welt der Robotik zahlreiche Kategorien und Definitionen, die sich allgemein in konventionelle und fortgeschrittene Robotik einteilen lassen. Im Gegensatz zu konventioneller Robotik fallen Serviceroboter meist unter dem Bereich der fortgeschrittenen Robotik (Gonzalez-Aguirre et al., 2021).

Die Herausforderung einer allgemeingültigen Definition von Servicerobotern ist nicht trivial, da die Robotik ein sehr breites Forschungsfeld hat. Zur besseren Standardisierung hat die ISO (Internationale Organisation für Normung) 2007 ein Expertengremium eingesetzt. Dieses mündete in den ISO-Standard 8373:2012, der einen Serviceroboter als eine Maschine definiert, die Aufgaben für Menschen oder Geräte ausführt, jedoch nicht in industriellen Automationsanwendungen eingesetzt wird. Diese Definition wird auch von der Internationalen Föderation der Robotik (IFR) unterstützt, die zusätzlich betont, dass ein Serviceroboter semi- oder vollautomatisches Verhalten aufweisen sollte (Gonzalez-Aguirre et al., 2021).

Einige Forscher sehen darüber hinaus die Einbindung eines natürlichen Kommunikationssystems und das Vorhandensein künstlicher Intelligenz als notwendige Merkmale für Serviceroboter an. Diese Fähigkeiten ermöglichen es den Robotern, sich an unkontrollierbare Umgebungen anzupassen (Gonzalez-Aguirre et al., 2021).

2.1.2 Galber-Wirtschaftslexikon

Als Gegenpol zum ISO-Standard steht eine weitere Definition im bekannten Wirtschaftslexikon von Gabler. Hierbei wird der Begriff „Serviceroboter“ dezidiert definiert.

Zusammengefasst wird ein *Serviceroboter* in diesem Kontext als eine technologisch fortgeschrittene Maschine definiert, die für die Erbringung einer Vielzahl von Dienstleistungen und Hilfestellungen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen konzipiert ist. Im Gegensatz zu Industrierobotern, die primär in isolierten Umgebungen für spezialisierte Fertigungsaufgaben eingesetzt werden, zeichnen sich Serviceroboter durch ihre vielfältige Einsetzbarkeit aus, die von der Überwachung und Sicherheit bis zur Gesundheitsversorgung und Haushaltsführung reicht (Bendel, 2021).

Die steigende Autonomie der Serviceroboter, teilweise ermöglicht durch die Integration von Sensoren und künstlicher Intelligenz, lässt sie zu proaktiven und adaptiven Einheiten in menschlichen Umgebungen werden. Einige hochentwickelte Modelle können sogar als unterstützender Begleiter fungieren, die in der Lage sind, kontinuierlich Daten zu erfassen und zu analysieren. Sie passen sich den Bedürfnissen und Verhaltensweisen ihrer Benutzer sowie ihrer Umgebung an und können, je nach ihrer Programmierung und ihren Fähigkeiten, Entscheidungen treffen und Handlungen initiieren (Bendel, 2021).

Diese wachsende Eigenständigkeit der Serviceroboter ist jedoch nicht ohne ethische und soziale Herausforderungen. Neben den Vorteilen, die sie in Bezug auf Effizienz und Bequemlichkeit bieten, werfen sie auch Fragen zur Datensicherheit, zum Datenschutz und zur menschlichen Autonomie auf. Darüber hinaus beeinflussen sie die Arbeitsmärkte und die Verteilung von Ressourcen, was wiederum wirtschaftsethische Überlegungen erfordert (Bendel, 2021).

Insgesamt repräsentiert der Begriff "Serviceroboter" somit nicht nur eine technologische Kategorie, sondern impliziert auch eine Reihe von sozialen, ethischen und wirtschaftlichen Dimensionen, die in ihrer Gesamtheit betrachtet werden müssen (Bendel, 2021).

Beiläufig muss erwähnt werden, dass sich im Zuge der Recherche unterschiedliche Definitionen von Servicerobotern in der Industrie etabliert haben. Die klare Unterscheidung zwischen Servicerobotern und Industrierobotern wird aufgrund variabler Anwendungsgebiete und divergierender Strukturmerkmale der Roboter zunehmend unscharf. Ein namhaftes Beispiel wäre die massenhafte industrielle Verwendung von Desinfektionsroboter während der COVID-19 Pandemie.

2.2 Bedeutung

Dieser Unterabschnitt hebt die wirtschaftliche und operationale Bedeutung von industriellen Servicerobotern hervor. Es wird diskutiert, wie sie zur Steigerung der Effizienz und Produktivität in der Industrie beitragen.

2.2.1 Starke Anzeichen eines Trends

Die Bedeutung von Servicerobotern in der modernen Gesellschaft wächst exponentiell, wie aus Prognosen der International Federation of Robotics (IFR) hervorgeht. Im Gegensatz zu klassischen Industrierobotern, die in streng kontrollierten Umgebungen eingesetzt werden und auf spezialisierte Fertigungsprozesse beschränkt sind, müssen Serviceroboter die Fähigkeit besitzen, in einer ständig wechselnden Umgebung zu operieren. Sie sind darauf programmiert, zu lernen, sich anzupassen und Fehler autonom zu korrigieren, was ihnen eine vielseitige Einsatzfähigkeit, sowohl im domestizierenden als auch im professionellen Kontext verleiht (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

Abbildung 2-1 zeigt eine Studie, gefördert vom deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über die Investitionen, sowie deren Aussichten im Servicerobotiksektor. Dargestellt wird das Marktpotenzial in den fünf umsatzstärksten Segmenten der Servicerobotik. Für das Jahr 2018 handelt es sich um eine vorläufige Schätzung. Die Umsatzdaten für die Zeitspanne von 2019 bis 2021 wurden durch Interpolation der geschätzten Gesamtumsätze für diese drei Jahre ermittelt. Dabei wurde von einer konstanten jährlichen Wachstumsrate in den jeweiligen Segmenten ausgegangen.

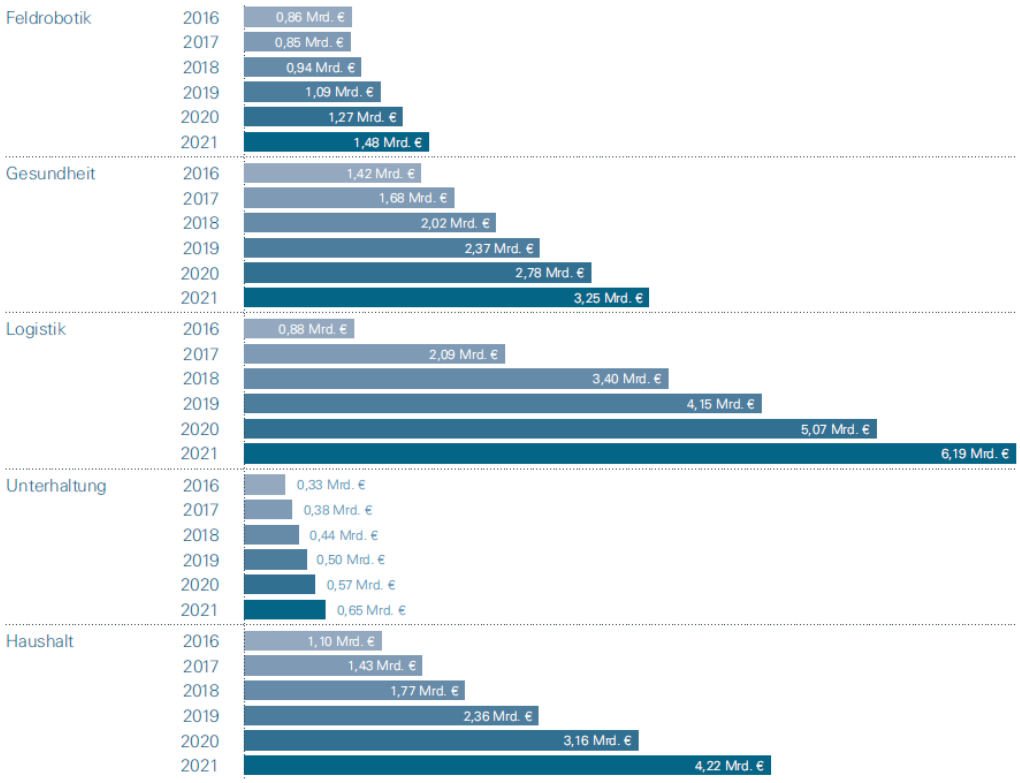

Abbildung 2-1 Servicerobotik - Investitionen von 2016 bis 2021 (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019)

Die IFR schätzt, dass Serviceroboter in den Jahren 2019 bis 2021 weltweit in großem Umfang zum Einsatz kommen werden, sowohl im professionellen Bereich mit etwa 730.000 Einheiten als auch im Endkonsumentenbereich mit etwa 50 Millionen Einheiten. Diese Zahlen unterstreichen das enorme wirtschaftliche Potenzial von Servicerobotern, das in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter steigen wird (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

Trotz dieser optimistischen Prognosen ist die tatsächliche Verbreitung von Servicerobotern im professionellen Kontext noch gering und die Interaktion der allgemeinen Bevölkerung mit Robotern ist nach wie vor begrenzt. Umfragen zufolge können sich jedoch eine überwältigende Mehrheit der Menschen vorstellen, dass Roboter künftig körperlich anstrengende oder repetitive Aufgaben übernehmen, während sie in Bereichen wie Entscheidungsfindung und Kreativität eher eine kooperative Rolle zwischen Mensch und Maschine sehen (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

Eine Statistik der IFR, in Abbildung 2-2 dargestellt, untermauert den enormen Anstieg von Robotern.

Abbildung 2-1

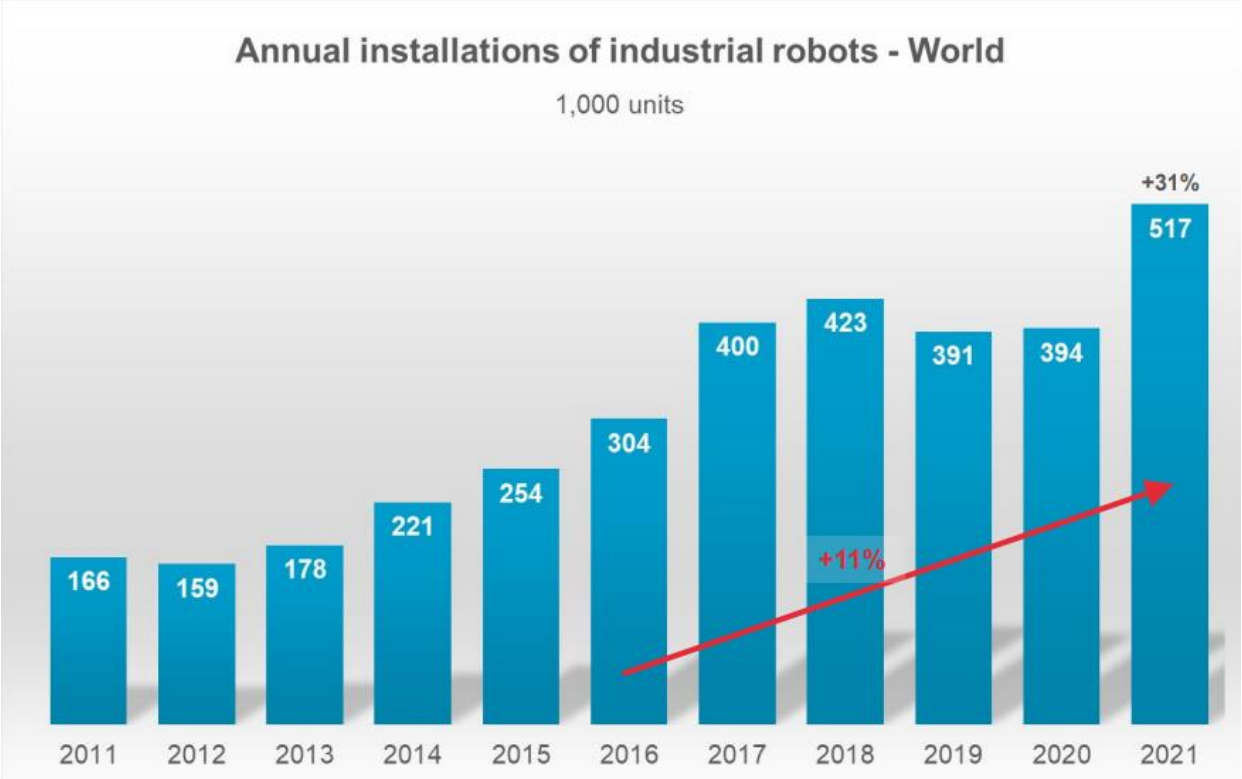

Abbildung 2-2 Servicerobotik - Jährliche Installationen – Global (IFR International Federation of Robotics, 2023)

Dies legt nahe, dass die Bedeutung von Servicerobotern nicht nur in ihrer technologischen Kapazität liegt, sondern in ihrer Fähigkeit, die Arbeitsteilung und Interaktion zwischen Menschen und Maschinen neu zu gestalten. Sie haben das Potenzial, sowohl die berufliche als auch die private Welt tiefgreifend zu verändern, obwohl ihre Akzeptanz und Verbreitung noch nicht voll ausgeschöpft ist (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019).

2.2.2 COVID-19 als Boost?

Die COVID-19-Pandemie hat nicht nur den Bedarf an medizinischer Versorgung und Hygienemaßnahmen erhöht, sondern ebenso die Servicerobotik in den Fokus gerückt. Es lässt sich geradezu von einem regelrechten „Boom“ sprechen (Bendel, 2020).

In China als Beispiel wurden Drohnen eingesetzt, um Personen ohne Mundschutz zu identifizieren und auf die Einhaltung der Maskenpflicht hinzuweisen. Des Weiteren wurden in Krankenhäusern Roboter für Routineaufgaben wie die Verteilung von Medikamenten eingesetzt, um das Personal zu entlasten (Bendel, 2020).

Was besonders auffällt ist, ist die Geschwindigkeit der Adaption und Implementierung. Firmen und Behörden schienen geradezu darum zu wetteifern, wer am schnellsten eine robotergestützte Lösung parat hat. Dies ist ein deutliches Zeichen dafür, wie die Pandemie als Beschleuniger für technologische Innovationen wirkt (Bendel, 2020).

Grund zu dieser Annahme lässt die folgende Abbildung sichtbar werden. Ein starker Grad an Neuinstallationen und der Trend in Richtung Servicerobotik ist tendenziell erkennbar.

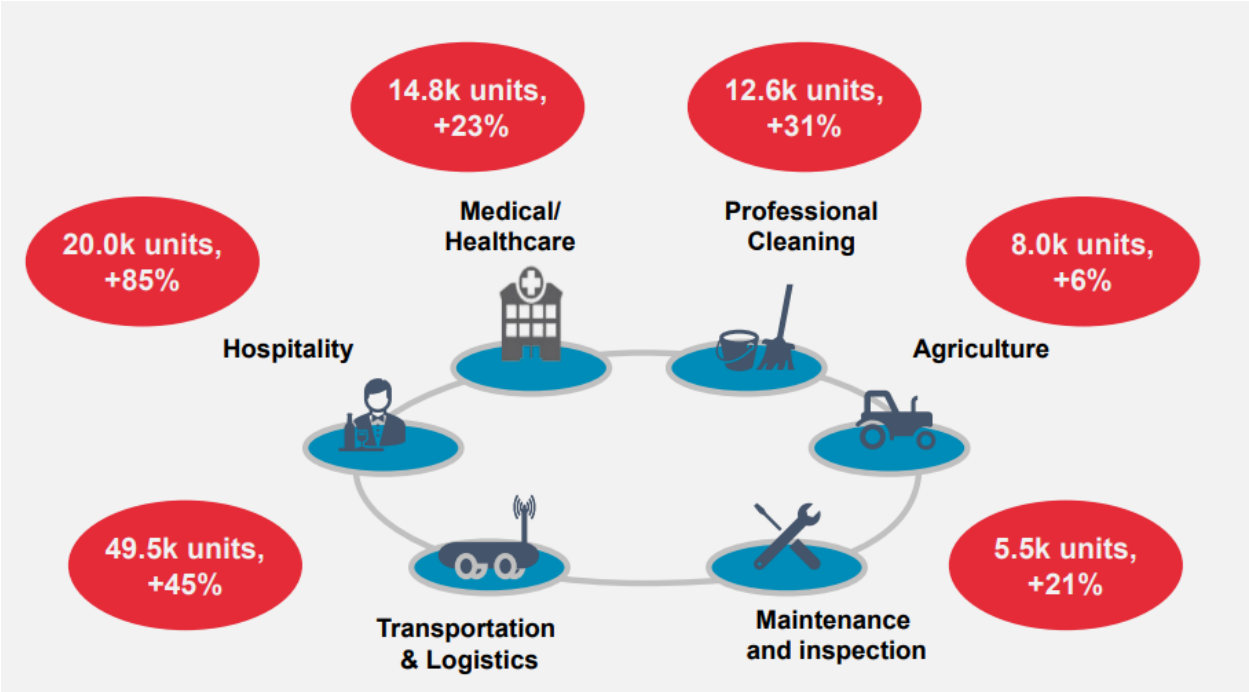

Abbildung 2-3 Servicerobotik - Steigerung von professionellen Roboter 2021-2022 (IFR International Federation of Robotics, 2023)

2.3 Kategorien

In diesem Kapitel werden verschiedene Kategorien von Servicerobotern behandelt. Wobei die Fähigkeiten und der Grad der Anwendung eine tragende Rolle spielen. Infolgedessen werden einzigartige Eigenschaften und Anforderungen jeder Kategorie besprochen.

2.3.1 Einteilung nach Anwendung

Die Einteilung der Anwendungsgebiete von Servicerobotern gemäß der ISO 8373:2012-Norm bietet eine systematische Strukturierung, die für die Klassifizierung und das Verständnis der vielfältigen Funktionen dieser fortschrittlichen Maschinen wesentlich ist.

Die ISO-Norm, herausgegeben von der Internationalen Organisation für Normung im Jahr 2023, teilt Serviceroboter in zwei Hauptkategorien: "Professional use" (professionelle Nutzung) und "Personal use" (persönliche Nutzung). Serviceroboter, die unter "Professional use" fallen, sind für Aufgaben konzipiert, die spezialisierte Kenntnisse und Fähigkeiten erfordern, oft in kommerziellen, industriellen oder landwirtschaftlichen Kontexten (Lee, 2021).

Hierzu zählen beispielsweise Roboter für medizinische Anwendungen, Feldroboter in der Landwirtschaft oder automatisierte Überwachungssysteme in industriellen Anlagen. Die Kategorie "Personal use" hingegen bezieht sich auf Roboter, die in häuslichen oder nicht-kommerziellen Umgebungen zum Einsatz kommen, wie etwa Reinigungsroboter, Assistenzroboter für körperlich eingeschränkte Personen oder Bildungsroboter für den privaten Gebrauch (Lee, 2021).

Diese Unterteilung nach Anwendungsgebiet in der ISO 8373:2012 ist entscheidend für Entwickler, Anwender und Regulierungsbehörden, um Funktion, Einsatzbereich und sicherheitstechnische Anforderungen von Servicerobotern zu bestimmen und zu normieren.

Die vorliegende Grafik ist ein Baumdiagramm, das die verschiedenen Anwendungsgebiete von Servicerobotern gemäß der ISO 8373:2012-Norm darstellt (ISO, 2012). Das Diagramm ist in zwei Hauptkategorien unterteilt: "Professional use" und "Personal use".

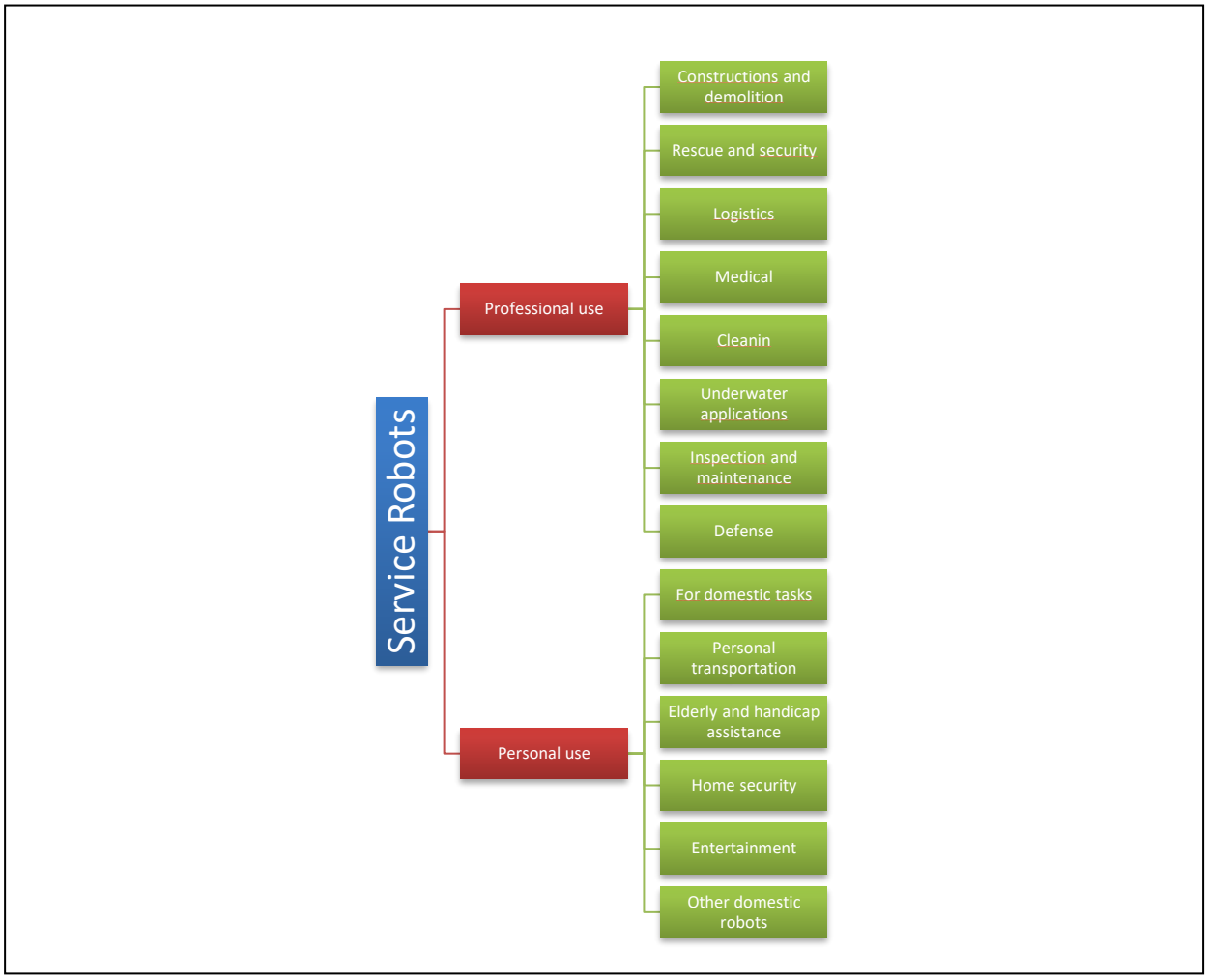

Abbildung 2-4 Servicerobotik - ISO 8373: Kategorisierung (Lee, 2021)

Laut Fortune Business Insights (Marktforschungsunternehmen) ist dabei das Verhältnis von „Personal use“ zu „Professional use“ Servicerobotern bei eins zu zwei. (*Service Robotics Market Size, Share | Growth Drivers [2030]*, 2023).

2.3.2 Persönliche oder professionelle Nutzung

Serviceroboter können grundsätzlich in zwei Hauptkategorien eingeteilt werden: "Professional use" und "Personal use" (Lee, 2021). Roboter für den professionellen Gebrauch sind in der Regel in Branchen wie der Medizin, dem Bauwesen, der Landwirtschaft und der Fertigung zu finden (ISO, 2012).

Diese Roboter sind oft auf spezialisierte Aufgaben ausgerichtet, für die Fachkenntnisse erforderlich sind. Sie sind in der Regel robuster gebaut, um den anspruchsvollen

Arbeitsbedingungen standzuhalten und haben oft höhere Leistungsspezifikationen, die eine größere Genauigkeit, Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit ermöglichen. Weiters sind sie häufiger mit fortschrittlicheren Steuerungssystemen, Sensoren und Software ausgestattet, die speziell für die jeweilige Branche oder Anwendung optimiert sind. Aufgrund dieser spezialisierten Funktionen und höheren Leistungsanforderungen sind sie in der Regel im Betrieb und der Anschaffung teurer (ISO, 2012).

Auf der anderen Seite befinden sich Serviceroboter, die für den persönlichen Gebrauch entwickelt sind. In viele Fällen sind diese für den Endverbraucher und für den Einsatz in häuslichen oder persönlichen Umgebungen konzipiert. Beispiele hierfür sind Roboterstaubsauger, Rasenmähroboter und Assistenzroboter für ältere oder beeinträchtigte Menschen (ISO, 2012).

Domestizierende Serviceroboter sind in der Regel einfacher zu bedienen und erfordern vermindert technisches Fachwissen für die Inbetriebnahme und Wartung. Sie sind vermehrt weniger leistungsfähiger und vielseitiger als professionelle Serviceroboter, aber auch wesentlich kostengünstiger. Ihre Design-Philosophie konzentriert sich vielmehr auf Benutzerfreundlichkeit und Komfort, als auf hohe Leistung oder Spezialisierung (ISO, 2012).

In beiden Kategorien gibt es Überschneidungen und Grauzonen, da die Technologie ständig voranschreitet und die Grenzen zwischen professionellen und persönlichen Servicerobotern, ähnlich, wie bei Industrie- und Servicerobotern immer mehr verschwimmen (Tamás Haidegger, 2021). Dennoch bieten diese Kategorien eine nützliche Grundlage für die Unterscheidung der verschiedenen Typen und Anwendungsbereiche von Servicerobotern (ISO, 2012).

2.4 Anwendungsbereich

Im Anwendungsbereich werden spezifische und industrielle Sektoren, in denen die professionelle Servicerobotik Anwendungen findet, detailliert beschrieben. Dazu gehören beispielsweise die Inspektion in der Industrie, Dienstleistung im Lebensmittelbereich oder Transport in der Logistik.

2.4.1 Sektorenunterteilung

Serviceroboter finden in einer Vielzahl von professionellen Anwendungsgebieten Verwendung und revolutionieren damit branchenübergreifend traditionelle Arbeitsweisen. Einige von diesen Bereichen konnten eingegrenzt und in Folge betrachtet werden.

Im **Agrarbereich** etwa erleichtern Serviceroboter durch automatisierte Erntesysteme und Milchroboter die Arbeit und steigern die Effizienz. In der Forst- und Bergbauindustrie ermöglichen sie den Zugang zu schwer erreichbaren oder gefährlichen Gebieten (Shurpali, 2023).

Auch in der **Reinigungsbranche** sind sie vielfältig einsetzbar, von der Bodenreinigung bis hin zu spezialisierten Anwendungen wie der Reinigung von unterschiedlichen Flüssigkeitstanks (Shurpali, 2023).

Im Bereich der **Inspektion und Wartung** können Roboter komplexe und repetitive Aufgaben übernehmen, die ein hohes Maß an Genauigkeit erfordern (Shurpali, 2023).

In der **Medizin** werden sie für Diagnostik, robotergestützte Chirurgie und Rehabilitation eingesetzt. Dabei wird einerseits im OP auf die Präzision und im Pflegebereich auf die Dienstleistung als solche gesetzt (Shurpali, 2023).

Darüber hinaus spielen Serviceroboter eine wichtige Rolle in der **Logistik, dem Bauwesen und der Sicherheit**, wobei sie verschärft in gefährlichen oder menschenfeindlichen Umgebungen wie nuklearen Anlagen oder Katastrophengebieten zum Einsatz kommen.

Kritisch betrachtet, stellen diese Entwicklungen demgegenüber auch ethische Fragen, vor allem im Bereich der **Überwachung** und der **militärischen Anwendung** (Shurpali, 2023).

Abbildung 2-5 gibt eine weitreichende Übersicht über eine Kategorisierung der Anwendungsbereiche von Servicerobotern, die unter anderem vorhin erwähnt wurden.

Abbildung 2-5 Servicerobotik - Unterschiedliche Einsatzgebiete (Shurpali, 2023)

2.4.1 Flexible Anwendungsbereiche pushen den Trend

Serviceroboter sind im Aufzug und bieten enorme Chancen für Effizienzsteigerungen und neue Möglichkeiten in einer Vielzahl von professionellen Anwendungsgebieten.

Die Ausführungen beleuchten ein breites Spektrum an Chancen und Risiken im Umgang mit Servicerobotern, insbesondere in sensiblen Bereichen wie der Pflege. Es ist bemerkenswert, dass trotz der potenziellen Vorteile – etwa die Entlastung des Pflegepersonals und die Erhöhung der Lebensqualität älterer Menschen – die sozialen und ethischen Implikationen nicht außer Acht gelassen werden darf (Universität Oldenburg, 2016).

Die "Uncanny-Valley"-Hypothese stellt einen wichtigen Punkt dar, da die Akzeptanz von Robotern maßgeblich von ihrem Erscheinungsbild beeinflusst wird. Dies könnte insbesondere in der Pflege entscheidend sein, wo der Bedarf an menschlicher Empathie und emotionaler Unterstützung hoch ist (Universität Oldenburg, 2016).

Eine offensichtliche Herausforderung in diesem Zusammenhang sind die verbundenen Sicherheitsrisiken, insbesondere die Gefahr von Hackerangriffen sind ein weiteres ernstzunehmendes Problem. Da Serviceroboter zunehmend in private und intime Lebensbereiche vordringen, ist die Gefahr eines Missbrauchs von Daten oder der physischen Kontrolle über den Roboter ein kritischer Punkt, der intensiver Forschung bedarf (Universität Oldenburg, 2016).

Ebenso kritisch sind die sozialen Aspekte anzusehen. Die Technologisierung des Alltags von grundlegenden sozialen Interaktionen könnten langfristig das menschliche Selbstbild und unsere sozialen Strukturen negativ beeinflussen. Während die Robotertechnologie zweifellos das Potenzial hat, unser Leben zu verbessern, müssen ethische Regulatorien mit den technologischen Entwicklungen Schritt halten, um sicherzustellen, dass diese Technologien unsere Menschlichkeit und Interesse, mit Verweis auf Kapitel 3.3.2 nicht untergraben (Universität Oldenburg, 2016).

2.5 Kontrast zum Menschen

Dieses Kapitel behandelt Serviceroboter im Kontrast zum Menschen. Dabei werden diverse Ausprägungen und äußerliche Erscheinungen gegeneinandergestellt und bewertet.

2.5.1 Gegenüberstellung

Der Fokus in diesem Kapitel liegt auf der Reflektion der Eigenschaften eines Serviceroboters und eines Menschen.

Die Rolle von Robotern im Dienstleistungssektor unterscheidet sich grundlegend von der des menschlichen Angestellten, insbesondere in Bezug auf emotionale Interaktionen. Während menschliche Mitarbeiter in der Lage sind, wahre Emotionen zu zeigen, können Roboter nur oberflächliche, künstlich-emotionale Reaktionen erzeugen (Belanche et al., 2020).

In Dienstleistungsberufen, in denen echte emotionale Interaktionen erforderlich sind, bleibt der Mensch unersetzlich. Allerdings haben Roboter den Vorteil, dass sie nicht zu emotional bedingten Ausfällen neigen und somit in Berufen, die eine konstante Darstellung erfordern, überlegen sein können. Darüber hinaus werden Dienstleistungsroboter primär für einfache und repetitive Aufgaben eingesetzt, die geringe kognitive und emotionale Komplexität erfordern (Belanche et al., 2020).

Dies reicht von physischen Robotern in Hotels, die den Zimmerservice und den Gepäcktransport übernehmen, bis hin zu text- und audiobasierten Robotern für die Interaktion mit Kunden (Belanche et al., 2020).

Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz können menschliche Mitarbeiter von trivialen Kundenaufgaben entlastet werden und sich auf komplexere, wertvollere Tätigkeiten konzentrieren. So konnte beispielsweise ein Chatbot routinemäßigen Fragen beantworten, die zuvor vom Menschen behandelt wurden. Dies ermöglicht es dem Unternehmen, den Fokus auf qualitativ hochwertigere Kandidaten und komplexere Diskussionen zu legen (Belanche et al., 2020).

Abbildung 2-6 stellt einen Vergleich zwischen Service-Mitarbeitern und Dienstleistungsrobotern in den Dimensionen – Training und Lernen – Kundenerfahrung – und – Unternehmensstrategie dar. Dabei zeigt die Tabelle insgesamt die jeweiligen Stärken und Schwächen in den betrachteten Dimensionen.

Dimension	Service Employees	Service Robots
Employee/ Robot Training and Learning	• Act as individuals, individual learning • Need training • Limited memory and access	• Act as part of systems, are connected, system learning • Upgradable, system-wide • Virtually endless memory and access
Customer Experience	• Heterogeneous output • Customisation and personalisation depend on employee skill and effort • Unintended biases • Have genuine emotions • Can engage in deep acting • Can engage in out-of-box thinking and creative problem-solving	• Homogenous output • Customisation and personalisation can be delivered on scale at consistent quality and performance • Potentially no biases • Can mimic emotions • Can engage in surface acting • Limited out-of-box thinking, have rule-bound limits
Firm Strategy	• Service employees can be a source of competitive advantage • High incremental cost • Low economies of scale and scope • Differentiation on service can be based on better hiring, selection, training, motivation and organisation of service employees	• Service robots are unlikely to be a source of competitive advantage, as service robot solutions are likely to be supplied by third-party providers (very much as ATMs are sold to banks) • Low incremental cost • High economies of scale and scope • Economies of scale and scope and related network and service platform effects will become important sources of competitive advantage

Abbildung 2-6 Servicerobotik - Vergleich zum Menschen (Belanche et al., 2020)

2.5.2 Möglicher Mittelweg

Ist ein solider Mittelweg der vielversprechendste Ansatz? Möglicherweise, dabei sollten die Stärken beider Systeme ausgespielt werden.

Die Implementierung von Dienstleistungsrobotern in Sektoren, die höhere kognitive und analytische Anforderungen stellen, wie etwa im Finanzwesen, markieren eine signifikante Verschiebung in der automatisierten Kundeninteraktion (Belanche et al., 2020).

Durch die Kapazität, umfangreiche Datenmengen in kürzester Zeit zu analysieren und Mustererkennungen in Kundenprofilen durchzuführen, können diese Roboter optimierte Lösungsansätze und Empfehlungen generieren. Allerdings liegt ihre Begrenzung im, wie bereits erwähnt emotionalen Spektrum. Sie sind nicht in der Lage tiefgründige emotionale Reaktionen, wie Empathie oder Begeisterung authentisch darzustellen. Dies macht menschliche Mitarbeiter in komplexen und emotional anspruchsvollen Dienstleistungsszenarien, wie beispielsweise in der Beschwerdeabwicklung, unverzichtbar (Belanche et al., 2020).

Eine zukunftsträchtige Strategie könnte in der Bildung hybrider Teams aus Menschen und Robotern liegen. Im Gesundheitswesen könnten beispielsweise Roboter die analytische Vorarbeit leisten, indem sie Symptome auswerten und potenzielle Diagnosen vorschlagen, während der menschliche Mediziner die finale Diagnose trifft und die emotionale Beratung des Patienten übernimmt (Belanche et al., 2020).

Eine vermutete schlichte Abgrenzung der Fähigkeiten, welche in Kapitel „2.5.1 Gegenüberstellung“ behandelt wurden könnte Abbildung 2-7 liefern. Die Matrix unterteilt dabei in soziale und emotionale Fähigkeiten, sowie in kognitive und analytische Fähigkeiten.

Ausgegangen wird davon, dass ein Mensch zwar nahezu begrenzte Möglichkeiten im Bereich der Analyse besitzt, aber unbegrenzte Fähigkeiten mit komplexen emotionalen und sozialen Aufgaben. Entgegen den Unterteilungen wird auf einen Mix von Roboter und Mensch angedeutet, um einen effektiven und effizienten Weg zu gehen (Belanche et al., 2020).

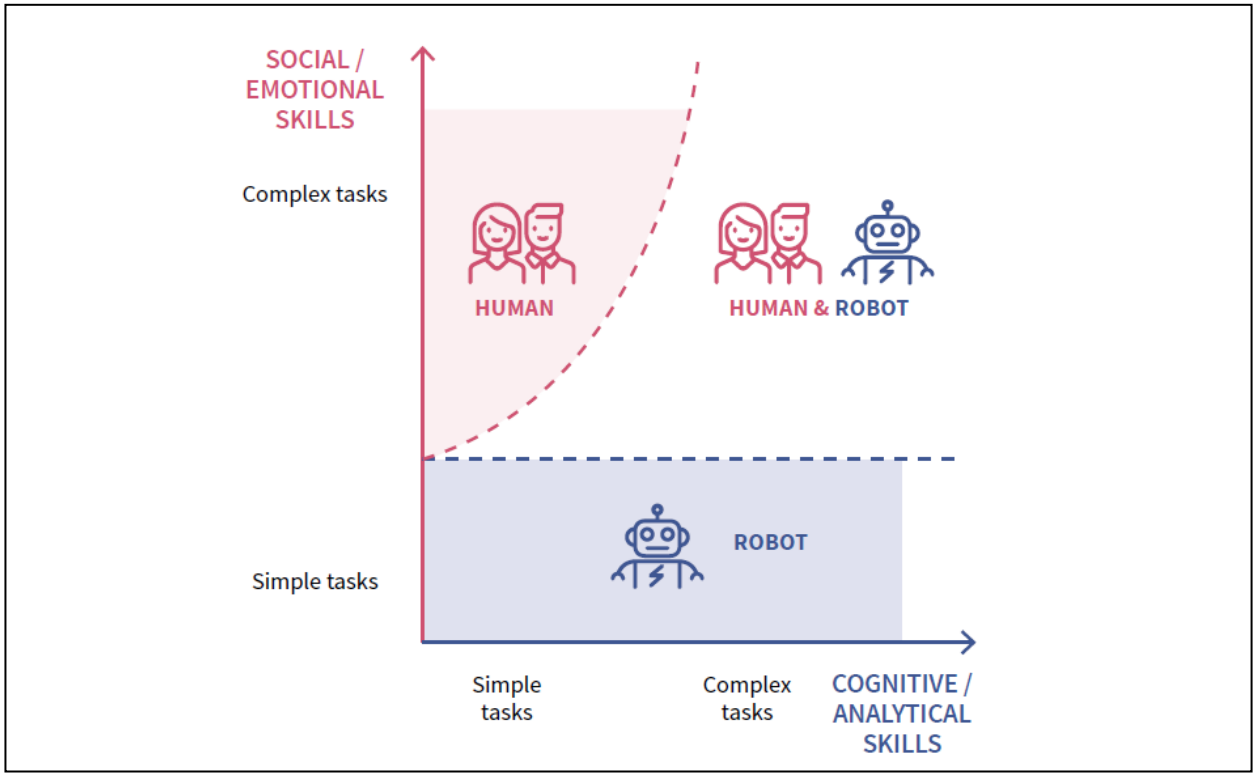

Abbildung 2-7 Servicerobotik - Fähigkeitsmatrix (Belanche et al., 2020)

2.6 Neuerungen im Bereich der Robotik

Dieser Abschnitt fokussiert sich auf die neuesten technologischen Entwicklungen, die das Potenzial haben, die Leistungsfähigkeit und Anwendbarkeit von industriellen Servicerobotern drastisch zu verbessern. Dazu zählen KI-gesteuerte Algorithmen, verbesserte Sensortechnologie und fortschrittliche Mensch-Maschine-Schnittstellen.

2.6.1 AI-Industrie 4.0 anhand Multirobotersystem

Ein wichtiger „Enabler“ der Industrie 4.0 ist die strukturierte und organisierte Kommunikation mehrerer Serviceroboter zusammen (R. S. Peres et al., 2020). Bei einer Kombination von mehreren Robotern wird von einem Multirobotersystem gesprochen (Balch & E. Parker, 2018, S. 1-22).

Multirobotersysteme sind Systeme, in denen mehrere autonome Roboter zusammenarbeiten, um bestimmte Aufgaben zu erfüllen. Diese Roboter können in verschiedenen Konfigurationen und mit unterschiedlichen Kommunikations- und Rechenfähigkeiten operieren. In der Forschung wurden solche Systeme als Schwärme, Kolonien oder Kollektive bezeichnet. Der Einsatz mehrerer Roboter statt eines einzigen hat mehrere Vorteile und führt zu einer Reihe von Gestaltungsoptionen (Balch & E. Parker, 2018, S. 1-22).

Zum Beispiel können für spezifische Aufgaben, wie dem Scannen der Umgebung, das Verschieben von Objekten oder das Beseitigen von Müll kleinere, einfachere Roboter effektiver sein als ein einzelner komplexer Roboter. Multirobotersysteme ermöglichen es, die Gesamtkomplexität der erforderlichen Robotik zu reduzieren, während zeitgleich die Effizienz und die Fähigkeit zur Bewältigung komplexer Aufgaben erhöht werden (Balch & E. Parker, 2018, S. 1-22).

Der permanente Datenaustausch führt zu einer starken Dynamik und einer hohen Generierung an verwertbaren Daten (Balch & E. Parker, 2018, S. 1-22; R. S. Peres et al., 2020). Um diese Daten effektiv und effizient einsetzen zu können müssen diverse Technologien vorhanden sein (Peres et al., 2020).

In der folgenden Aufzählung werden diese Technologien beschrieben.

Datentechnologie (DT):

Durch die Digitalisierung der Fertigung entstehen immer größere Datenmengen. Um Wert aus diesen Daten zu ziehen, ist eine Kontextanreicherung und Standardisierung im Datenaustausch erforderlich (Peres et al., 2020).

Analysetechnologie (AT):

AT transformiert Rohdaten in wertvolles Wissen. Sie nutzt Echtzeitdatenströme und maschinelles Lernen für kontinuierliche Verbesserungen und Selbstoptimierung (Peres et al., 2020).

Plattformtechnologie (PT):

PT ermöglicht die Vernetzung verschiedener Elemente und muss Flexibilität und Selbstorganisation unterstützen. Cybersecurity wird aufgrund der hohen Konnektivität kritisch (Peres et al., 2020).

Betriebstechnologie (OT):

OT ist entscheidend für die Wertschöpfung und ermöglicht einen Wechsel von erfahrungsgesteuerter zu datengesteuerter Produktion (Peres et al., 2020).

Mensch-Maschine-Technologie (HT):

Industrielle KI verändert die Rolle des Menschen in der Produktion. HT kann durch Virtual Reality das Personal unterstützen und muss daher erforscht werden, um das volle Potenzial dieser Systeme nutzen zu können (Peres et al., 2020).

Abbildung 2-8 gibt einen Überblick eines schematischen Aufbaues eines Industrie 4.0 Systeme. Das komplexe System wird in fünf Bereichen unterteilt (frei interpretiert).

1. Datenanalyse und übergeordnete Systeme
2. Versorgung und Versand
3. Netzwerk und Sicherheit
4. Simulation und Schnittstellen
5. Manufaktur und Felddatengenerierung

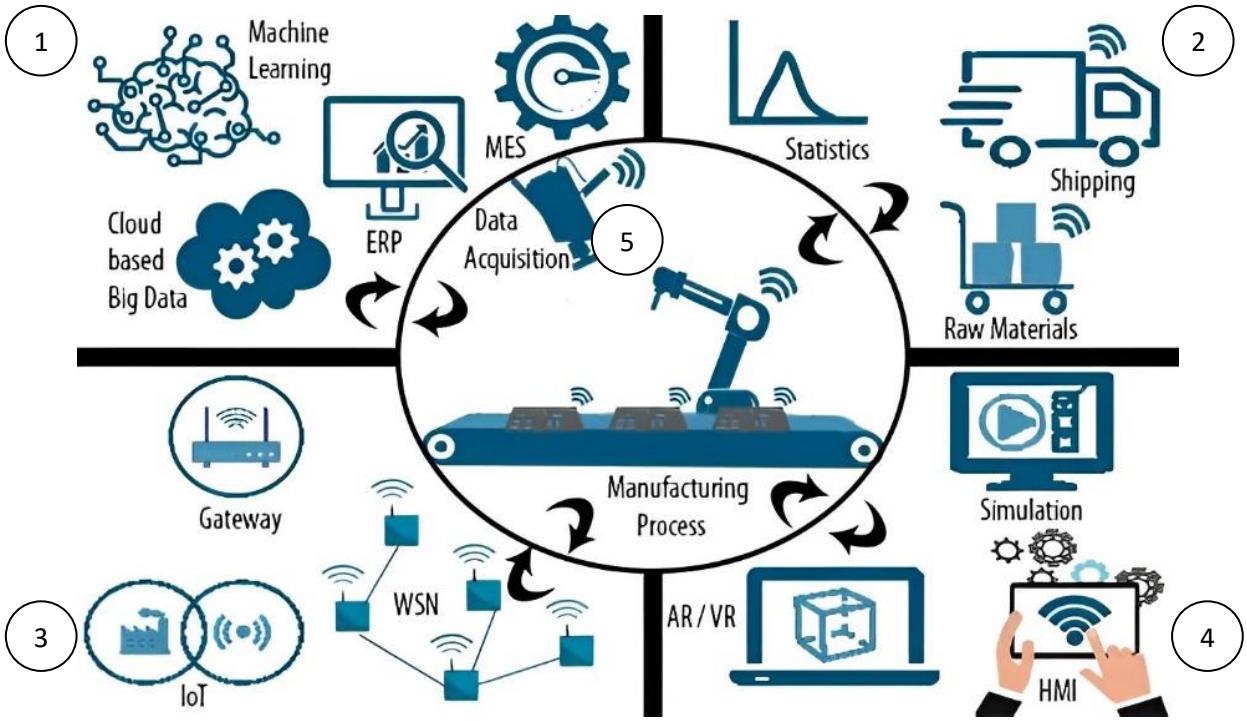

Abbildung 2-8 Servicerobotik - Industrie 4.0: Schema (Elkaseer et al., 2018)

2.6.2 ML & KI mit Robotik

Auch in der modernen Robotik führt kein Weg mehr an maschinelles Lernen (ML) und künstliche Intelligenz vorbei. Diese Kapitel gibt einen kurzen Einblick in diesen hochmodernen Datenverarbeitungssysteme.

In der sich stetig wandelnden Technologielandschaft nehmen KI und ML eine Schlüsselposition ein. Insbesondere in der Robotik eröffnen diese Technologien neue Dimensionen. Machine Learning-Roboter sind keine futuristische Vision mehr, sondern bereits Realität. Sie sind darauf programmiert, aus einer Vielzahl von Daten zu lernen und sich an neue Umgebungen und Herausforderungen anzupassen. Durch die Integration von Sensoren sammeln diese Roboter Informationen aus ihrer Umgebung, die dann zur Anpassung ihres Verhaltens verwendet werden (Robotnik, 2023; Wischmann & Rohde, 2019).

Abbildung 2-9 machte den Unterschied zwischen „Traditionelle Programme“ und ML sichtbar. Der signifikante und ausschlaggebende Vorteil von ML ist der in Blau markierte Feedback-Loop.

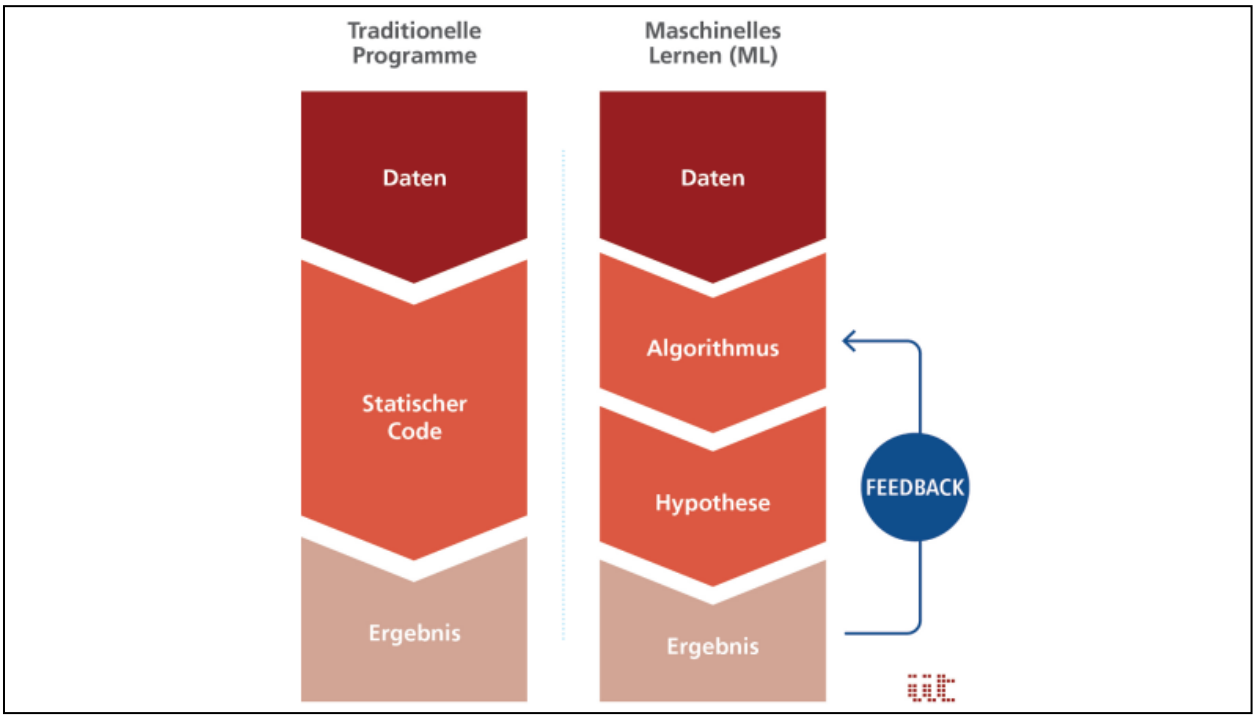

Abbildung 2-9 Servicerobotik - Traditionell vs. ML (Wischmann & Rohde, 2019)

Deep Learning DL:

Im technologischen Kontext stellt Deep Learning eine spezielle Kategorie des maschinellen Lernens dar, die für die Robotik von besonderem Interesse ist. Die zugrundeliegenden künstlichen neuronalen Netzwerke erlauben es den Robotern, komplexe Datenmuster zu erkennen und ihre Entscheidungsfindung entsprechend anzupassen. Diese Algorithmen entwickeln sich ständig weiter und benötigen immer weniger menschliche Aufsicht (Robotnik, 2023; Wischmann & Rohde, 2019).

Maschinelles Lernen im Kontext von Robotik:

Die Verschmelzung von ML und Robotik zeigt bereits heute beeindruckende Ergebnisse. Beispielsweise können Roboter in der Fertigungsindustrie durch den Einsatz von ML komplexere Aufgaben schneller und genauer erledigen. Im Gesundheitswesen hat die Technologie das Potenzial, von der Diagnose bis zur patientenspezifischen Behandlung einen signifikanten Einfluss auszuüben (Robotnik, 2023; Wischmann & Rohde, 2019).

KI gegenüber Maschinellem Lernen:

Während KI ein breites Spektrum an Techniken und Ansätzen zur Nachahmung menschlicher Intelligenz umfasst, konzentriert sich das Maschinelle Lernen speziell auf das Erlernen von Fähigkeiten aus Daten. Deep Learning, eine Untergruppe des Maschinellen Lernens, beschränkt sich in der Regel auf strukturierte oder halbstrukturierte Daten (Robotnik, 2023; Wischmann & Rohde, 2019).

Abbildung 2-10 zeigt den zeitlichen Verlauf von KI zu DL, wobei die Durchbrüche von DL zur Förderung und Fortschritt der KI führte.

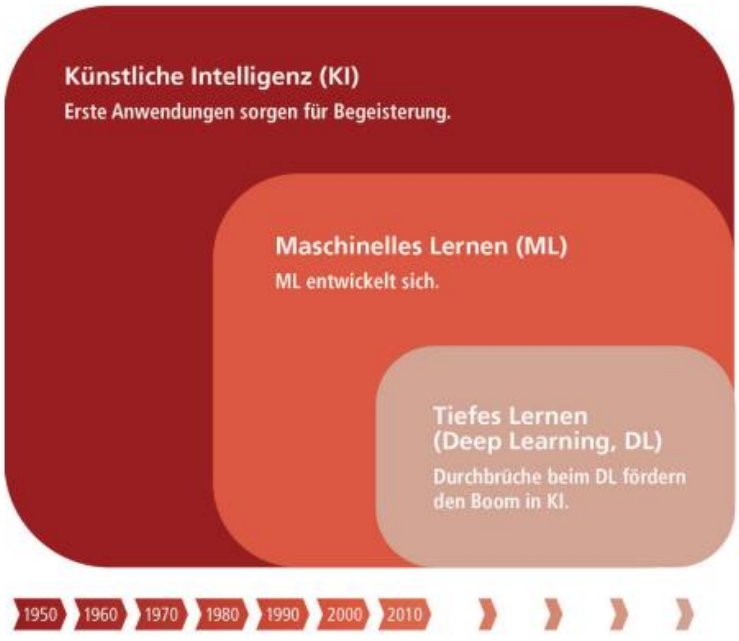

Abbildung 2-10 Servicerobotik - Von KI zu DL (Wischmann & Rohde, 2019)

2.6.3 Ausblick von Technologiedurchbrüchen in verschiedenen Bereichen

Die Technologie im Bereich der Servicerobotik schreitet in Anbetracht von Neuheiten rasant voran. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass basierend auf den Veröffentlichungsdaten eine hohe Aktivität in Forschung und Entwicklung zu verzeichnen ist.

Aus **Gründen der Vollständigkeit** sei darauf hingewiesen, dass dieser Abschnitt nicht alle Schlüsseltechnologien ("Key-Enabler") im Bereich der Serviceroboter abdeckt. Eine vollständige Betrachtung würde jeweils eine eingehende Analyse, Recherche und Erklärung erfordern, welche den Umfang dieses Unterkapitels übersteigen würde. Die nachfolgenden Aufzählungen beziehen sich auf Institutionen oder Unternehmen, die in den letzten Jahren beachtliche Fortschritte in dem dazugehörigen Bereich lieferten.

Logistik:

Amazon und FedEx sind zwei Giganten im Logistiksektor, die stark in die Robotik investieren. Amazon setzt auf seine autonomen Roboter wie Cardinal und GoCart, um die Effizienz in ihren Lagerhäusern zu steigern. Diese Roboter können Güter autonom aufnehmen und an den gewünschten Ort transportieren, wodurch der Bedarf an menschlicher Arbeit reduziert wird. FedEx hingegen setzt auf seine SameDay-Bots, autonome Lieferroboter, die speziell für den letzten Kilometer der Lieferkette entwickelt wurden. Beide Unternehmen zeigen, wie autonome Roboter die Logistik von der Lagerhaltung bis zur Lieferung direkt an die Haustür des Kunden, revolutionieren (FedEx, 2023; Staff, 2022).

Universelle Roboter:

Boston Dynamics und Lockheed Martin sind Vorreiter im Bereich universell einsetzbarer Roboter. Boston Dynamics' Atlas ist bekannt für seine bemerkenswerte Beweglichkeit und Fähigkeit, in verschiedenen Terrains und Situationen zu operieren, von der Materialhandhabung bis zur Erkundung unbekannter Umgebungen. Lockheed Martins ONYX hingegen ist ein Exoskelett, das darauf abzielt, die menschliche Leistungsfähigkeit zu steigern, insbesondere in industriellen und militärischen Anwendungen. Beide Technologien demonstrieren das wachsende Potential von Robotern, die über spezialisierte Aufgaben hinausgehen und eine breite Palette von Funktionen erfüllen können (Boston Dynamics, 2023a; Pegasus Magazine, 2023).

Reinigung und Inspektion:

Skyline Robotics, Boston Dynamics und Skydio sind führende Unternehmen, die innovative Lösungen für die Reinigung und Inspektion anbieten. Skyline Robotics hat einen Reinigungsroboter entwickelt, der die Fassaden von Hochhäusern effizient reinigen kann, was nicht nur sicherer, sondern auch kosteneffektiver ist. Boston Dynamics' Spot ist ein vielseitiger Roboter, der für Inspektionsaufgaben in verschiedenen Umgebungen, von Baustellen bis zu industriellen Anlagen, eingesetzt werden kann. Skydio bietet eine Drohne für 3D-Scans an, die es ermöglicht, detaillierte Inspektionen aus der Luft durchzuführen, etwa für Infrastrukturprojekte oder landwirtschaftliche Anwendungen. Diese Technologien revolutionieren den Bereich der Reinigung und Inspektion durch Automatisierung und erhöhte Datengenauigkeit (Boston Dynamics, 2023b; skydio, 2023; Skyline Robotics, 2023).

Medizin:

Die Mayo Clinic und Diligent Robots sind prominente Beispiele für die Anwendung von Servicerobotern in der Medizin, die durch KI und Maschinelles Lernen an Effizienz und Vielseitigkeit gewinnen. Die Mayo Clinic setzt Roboter in der Chirurgie ein, die durch fortschrittliche Algorithmen immer präziser werden. Hingegen entwickelte Diligent Robots „Moxi“ einen Pflegeroboter für Krankenhäuser, der eine Reihe von unterstützenden Aufgaben erledigen kann. Beide Technologien unterstreichen die breite Palette an Möglichkeiten, die KI und Maschinelles Lernen in der medizinischen Robotik bieten (Diligent Robotics, 2023; Mayo Clinic, 2023).

Essen und Dienstleistung:

Karakuri und Pudu Robotics mit Bellabot sind zwei Unternehmen, die den Dienstleistungssektor durch den Einsatz von Robotertechnologie revolutionieren. Karakuri hat einen Küchenroboter entwickelt, der in der Lage ist, eine Vielzahl von Mahlzeiten zuzubereiten, was für Restaurants und Catering-Dienste eine enorme Effizienzsteigerung bedeutet. Bellabot, ist ein Serviceroboter, der in der Gastronomie eingesetzt wird und Bestellungen aufnehmen oder servieren kann. Das zeigt, dass solche Technologien immer mehr an Akzeptanz gewinnen. Beide Roboter veranschaulichen, wie Automatisierung und KI den Sektor der Lebensmittelzubereitung und des Kundenservices transformieren können (Karakuri, 2023; Schnepf, 2022; Smart Delivery Robot-Pudu Robotics, 2023).

3 IMPLEMENTIERUNG UND INTEGRATION

In der modernen Robotik zeichnet sich ein Trend zur Vereinfachung der Bedienbarkeit, der Implementierung und Integration ab. Diese Entwicklung öffnet selbst kleinen Unternehmen, die bislang wenig automatisiert haben, die Tür zu den Vorteilen der Robotertechnologie. Schlüssel zu dieser Zugänglichkeit ist ein benutzerfreundliches Frontend, dass die komplexe Algorithmik für den Anwender unsichtbar macht. Durch eine intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle können Werker Roboterabläufe mit wenig bis keinem spezialisierten Wissen anpassen (Schröder, 2020).

3.1 Technischer Aufbau

In diesem Abschnitt wird der technische Aufbau von Serviceroboter untersucht. Dabei werden sowohl die Hardware- als auch die Softwarekomponenten betrachtet, die für ihre spezialisierten Aufgaben in der Industrie erforderlich sind.

Fundamental betrachtet hängt die verbaute Hardware, daneben die Software vom Anforderungsmanagement ab. Je nach Anforderungen werden Sensoren und Aktoren verbaut und diese anhand einer Logik angesteuert, welches dieses Kapitel skizzieren wird.

3.1.1 Hardware

In der Robotik ist die Hardware ein Schlüsselelement, das direkt von der Einsatzumgebung der Systeme beeinflusst wird. Die Hardware bestimmt, welche Dienstleistungen ein Roboter erbringen kann, und wird stark durch den Kontext und des zur Verfügung gestellten Ökosystems, in der der Roboter operiert, beeinflusst (García et al., 2023).

Dabei sind vier zentrale Aspekte zu berücksichtigen (García et al., 2023).

- Typ der Dienstleistungen
- Fähigkeiten zur Erfüllung dieser Dienstleistungen
- Physische Gestaltung
- Kundenanforderungen

Zum Beispiel benötigt ein Desinfektionsroboter Ultraviolett-Lampen, während ein Patiententransportroboter spezielle Mechanismen und Sensoren zum Heben und Navigieren braucht. Die Hardware-Anforderungen sind also nicht nur funktions-, sondern auch kontextabhängig (García et al., 2023).

3.1.2 Software

Die Software ist eines der Hauptbestandteile eines Serviceroboters und haucht ihm die nötige „Intelligenz“ für die Steuerung und Ansteuerung der Aktoren ein. Als Feedback der Umwelt dienen Sensoren, die sie digital transformieren und in höheren Software-Ebenen zurückmelden.

Die Architektur der Software ist ausschlaggebend für die Software insbesondere für das Design des Serviceroboters. In der Softwarearchitektur eines Roboters beginnt alles bei der Sensor/Aktor-Ebene (Álvarez et al., 2001). In dieser werden Sensordaten gesammelt und an die Firmware weitergeleitet. Aktoren erhalten ihre Steuerbefehle ebenfalls auf diesem Level (García et al., 2020).

Die Firmware ist für die Basiskontrolle der Hardware verantwortlich und agiert als Bindeglied zur Middleware. In der Middleware erfolgt die Datenverarbeitung und -weiterleitung zu den höheren Ebenen. Das Kontrollsystem nimmt die verarbeiteten Daten auf und führt spezifische Algorithmen und Logiken aus, um den Roboter zu steuern (García et al., 2020).

Darüber liegt meist ein übergeordnetes System, das eine weitere Abstraktionsebene bietet und komplexere Funktionen und Entscheidungslogiken implementiert. Die Hochsteuerung ist für die übergeordneten Steuerungs- und Planungsaufgaben zuständig und interagiert direkt mit der grafischen Benutzeroberfläche. Die GUI ist die Schnittstelle, über die der Benutzer mit dem Roboter interagiert. Schließlich gibt es optional das Cloud-Design, das für die Vernetzung, Datenspeicherung und Fernzugriff sorgt. Es ermöglicht auch die Integration von KI und Big Data Analysen (García et al., 2020).

3.1.3 Software-Architektur

Die Software-Architektur in der Robotik hat sich in den letzten Jahren deutlich weiterentwickelt, um die wachsenden Anforderungen an Vielseitigkeit und Leistungsfähigkeit zu erfüllen. Schlüsselmerkmale wie ein Nebenläufigkeitsmodell, Informationsaustausch, unterstützende Tools und Interoperabilität spielen dabei eine entscheidende Rolle. Frameworks wie OpenRDK verwenden beispielsweise eine Multi-Threaded-Multi-Prozess-Struktur und ein "Blackboard"-Typ-System für die Kommunikation zwischen den Modulen (Koubâa & Martínez-de Dios, 2015).

Diese Merkmale beeinflussen nicht nur die Softwareentwicklungszyklen, sondern ermöglichen auch ein breiteres Anwendungsspektrum. Neue Designansätze wie das "Task-State-Pattern" bieten eine abstrakte Schnittstelle zur Koordination verschiedener Roboter-Komponenten, während fortschrittliche APIs für komplexe Aufgaben wie sensorbasierte Bewegungen und Multi-Roboter-Synchronisation entwickelt werden (Koubâa & Martínez-de Dios, 2015).

Die nachfolgende Abbildung 3-1 stellt eine Software-Architektur als Beispiel eines Serviceroboters mit Manipulations- und mobilen Transportsaufgaben dar. Des Weiteren verfügt der Roboter über eine Kamera mit einer Objekterkennung.

- Grün: Manipulationsdesign
- Blau: Navigationsdesign
- Orange: Hauptsteuerungsdesign

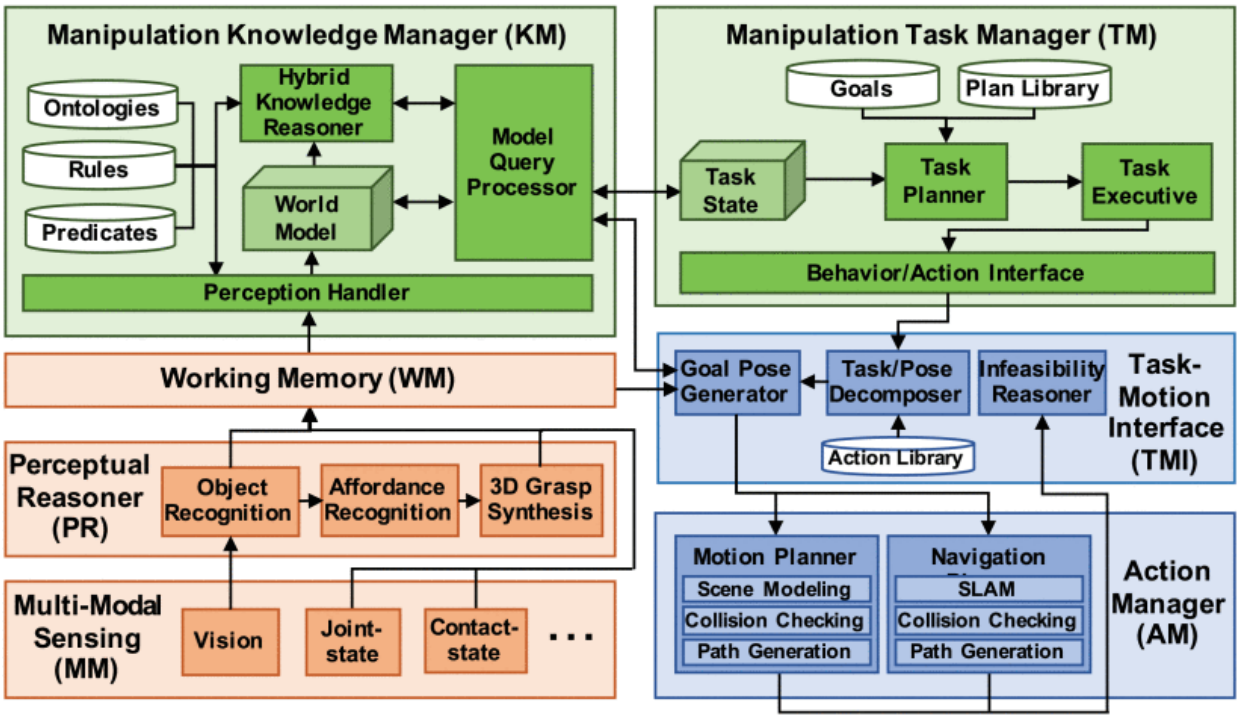

Abbildung 3-1 Servicerobotik - Software-Architektur für Manipulations- und Navigationsaufgaben (Nam et al., 2020)

3.2 Technische Aspekte

Dieses Unterkapitel untersucht die technischen Herausforderungen bei der Auswahl und Implementierung von Hardware- und Softwarekomponenten für Serviceroboter in der Industrie.

3.2.1 Frameworks: Zwischen Hard- und Software

Robotic Software Development Frameworks (RSDF) sind nicht nur das Rückgrat der Software-Architektur in der Robotik, sondern auch ein Schlüsselwerkzeug für Qualitätssicherung und -kontrolle. Die Frameworks bieten eine Vielzahl an Funktionen, die von Nebenläufigkeitsmodellen über Informationsaustausch und unterstützende Tools bis hin zur Interoperabilität reichen. Im Bereich der Testautomatisierung hat sich das Robot Framework, als ein vielseitiges und benutzerfreundliches Werkzeug etabliert. Als Open-Source-Framework bietet es den Entwicklern eine breite Palette an Möglichkeiten für Akzeptanztests und kostengünstige Entwicklung. Das Werkzeug unterstützt verschiedene Ansätze für das Schreiben von Testfällen, darunter keyword-, verhaltens- und datengetriebene Stile und ist kompatibel mit einer Reihe von externen Bibliotheken, wobei die Selenium Library für Webentwicklung und UI-Tests besonders hervorzuheben sind (Koubâa & Martínez-de Dios, 2015; tutorialspoint, 2023).

Eine Vielseitigkeit von RSDF zeigen sich unterschiedlich in einer Plattformunabhängigkeit. Somit funktioniert es reibungslos auf allen gängigen Betriebssystemen und ist in oftmals gängigen Sprachen implementiert, was eine breite Akzeptanz in der Entwicklergemeinschaft sicherstellt. Ein weiterer Fokus von diesen Systemen ist die Qualität von Endprodukten sicherzustellen. Dabei wird gezielt auf den Umgang mit Tests und deren Ausführung gelegt (Koubâa & Martínez-de Dios, 2015; tutorialspoint, 2023).

Die nachfolgenden RSDF geben einen kurzen Überblick:

ROS (Robot Operating System):

ROS ist wahrscheinlich das bekannteste Middleware-Framework in der Robotik und wird von der Open Source Robotics Foundation entwickelt. Es bietet Dienste für Hardwareabstraktion, Gerätetreiber, Kommunikation zwischen Prozessoren, Paketverwaltung und vieles mehr. Der Schwerpunkt liegt auf der Bereitstellung einer umfassenden Reihe von Tools zur Entwicklung robuster und skalierbarer Robotersoftware. Die Vielzahl an verfügbaren Bibliotheken und Entwicklerwerkzeugen macht ROS besonders geeignet für komplexe Robotersysteme (Open Robotics, 2023).

PyRobot:

PyRobot ist ein Framework, das eine hohe Abstraktionsebene für die Robotikprogrammierung bietet. Es wurde entwickelt, um Forschern und Entwicklern den Einstieg in die Robotik zu erleichtern. PyRobot ermöglicht die Steuerung von Robotern wie LoCoBot und Sawyers und konzentriert sich auf die Vereinfachung der Programmierung von Arm- und Kamera-Sensorik. Es ist besonders nützlich für Anwendungen in der Forschung und Lehre (PyRobot, 2022).

ORCA Robotics:

ORCA steht für Open Robot Control Architecture und ist ein Framework, das sich auf die Entwicklung von modularen, verteilten Robotersystemen konzentriert. Es bietet eine Reihe von Interfaces und Komponenten für verschiedene Aufgaben wie Navigation, Sensordatenverarbeitung und Kommunikation. Der Schwerpunkt liegt auf der Erstellung wiederverwendbarer und austauschbarer Komponenten, was es ideal für Prototyping und schnelle Entwicklung macht (Tobias Kaupp, 2013).

3.3 Mensch-Roboter-Interaktion

3.3.1 Bedienbarkeit und Sicherheit

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Gestaltung der Benutzeroberflächen und den Sicherheitsmechanismen, die für eine effektive Mensch-Roboter-Interaktion notwendig sind.

3.3.2 Ethische Überlegungen, Regulierungen und Interaktionen

Im Zuge der zunehmenden Integration von Servicerobotern in den menschlichen Dienstleistungsbereich treten ethische Fragen verstärkt in den Vordergrund. Es ist unwahrscheinlich, dass alle ethischen Aspekte bereits im Vorfeld der Implementierung dieser Technologien geklärt werden.

Oliver Bendel von der School of Business in der Schweiz hat eine Reihe von offenen Fragen aufgeworfen:

- Wie gehen wir mit der Möglichkeit um, dass Roboter kleine Tiere aufsaugen und töten könnten?
- Wie sollte mit persönlichen Daten verfahren werden, die von Robotern im privaten Bereich gesammelt und möglicherweise vom Anbieter oder Hersteller analysiert werden?
- Was passiert, wenn Informationen über die Wohnungen oder Häuser, die der Roboter reinigt, erfasst und weitergeleitet werden?

Aus maschinenethischer Sicht ergeben sich zusätzliche Fragen:

- Sollte ein Staubsaugerroboter kleine Tiere wie Marienkäfer aus moralischen Gründen verschonen?
- Sollte es eine Möglichkeit geben, die ethischen Parameter des Roboters anzupassen (zum Beispiel die Erlaubnis, Schädlinge zu töten)?
- Sollte er so konzipiert sein, dass die Bewohner von seiner Überwachungsfunktion ausgenommen werden können?

Bendel (2018) konnte keine Antworten auf diese Fragen bereitstellen, doch dienen sie als Anregung für weiterführende Überlegungen für dieses Thema.

Des Weiteren stellen Therapie- und Überwachungsroboter einen wachsenden Bereich in der angewandten Roboterethik dar. Ihr Einsatz in sensiblen Bereichen wie der Betreuung von Demenzpatienten oder der Gewährleistung öffentlicher Sicherheit führt zu wichtigen ethischen Überlegungen.

Ethiker und Produktdesigner stehen vor der Aufgabe, die mögliche Verringerung zwischenmenschlicher Kontakte durch Roboter zu bewerten, die Verantwortung für von Robotern durchgeführte Therapien zu überprüfen und den Umgang mit persönlichen Daten zu überdenken, die von Robotern gesammelt werden (Bendel, 2018; Segers, 2017).

Darüber hinaus besteht die Herausforderung darin, zu entscheiden, ob und wie Roboter Emotionen ausdrücken und Mitgefühl zeigen sollten, ohne dabei die Grenze zwischen Maschine und Mensch zu verwischen (Bendel, 2018).

Die Beantwortung dieser Fragen ist für die Entwicklung von Richtlinien für den Einsatz von Servicerobotern von hoher Bedeutung, da die menschliche Würde als auch Sicherheit und Privatsphäre es zu achten und schützen gilt (Bendel, 2018).

Nichtsdestotrotz wird es künftig erforderlich sein, sich vermehrt mit ähnlichen Fragen auseinander setzten zu müssen, um Vorfälle mit noch nicht bekannten Ausmaßen zu vermeiden. Hollywood skizziert teilweise beängstigende Szenarien von KI-Systemen, in denen Serviceroboter Autonomie erlangen oder noch prägendere Gedankenspiele entstehen (Segers, 2017).

Inspiriert von Peter Segers Frage „Was können wir von Science-Fiction-Filmen über humanoide Serviceroboter lernen?“, hat er zusätzliche Gedankenexperimente und Lösungsansätze für verschiedenste ethische Szenarien herausgearbeitet (Segers, 2017).

4 METHODIK – SYSTEMATISCHE LITERATURRECHERCHE

In diesem Kapitel wird die Methodik der „Systematischen Literaturrecherche“ beschrieben, welche die Grundlage für die Vorgehensweise der Forschung in dieser Masterarbeit liefert. Außerdem wird auf die Begründung der Auswahl der Forschungsmethode und die Strukturierung des PRISMA-Statements eingegangen.

4.1 Begründung der Wahl als Forschungsmethode

In dieser Masterarbeit wurde sich für die Methodik einer systematische Literaturrecherche nach vom Brocke et al. mit PRISMA-Richtlinien entschieden, um einen tiefen strukturierten Einblick in den komplexen Bereich der aktuellen professionellen Servicerobotik zu bieten. Die Verwendung des PRISMA-Statements gewährleistet eine transparente und reproduzierbare Vorgehensweise, während die Methode von vom Brocke et. al. durch ihre Matrixstruktur eine umfassende Abdeckung aller relevanten Herausforderungen ermöglicht.

Das Ziel dieser systematischen Herangehensweise war es, eine sowohl breite als auch tiefgehende Analyse der bestehenden wissenschaftlichen Literatur, der letzten zehn Jahre zu ermöglichen. Dadurch konnte ein wissenschaftlich fundiertes Verständnis für die Komplexität und Vielfältigkeit der Herausforderungen und möglichen Lösungen in der Servicerobotik erlangt werden.

4.2 Forschungsmethode: Systematische Literaturrecherche

Im folgenden Abschnitt wird auf die Methode der systematischen Literaturrecherche akkurater eingegangen.

4.2.1 Übersicht

Die Überprüfung bestehender wissenschaftlicher Literatur ist ein unverzichtbarer Schritt in jedem akademischen Vorhaben. Eine effektive Literaturanalyse legt den Grundstein für die Ausweitung des Fachwissens, fördert die Entwicklung theoretischer Ansätze und identifiziert Lücken, die weiterer Forschung bedürfen. Im Fachgebiet der Informationssysteme (IS) gibt es allerdings eine bemerkenswerte Knappheit an Übersichtsarbeiten, was die Weiterentwicklung des Feldes erschwert. Um diese Lücke zu schließen, hat die Fachzeitschrift MIS Quarterly den MISQ-Review eingeführt. Das Hauptziel dieser Initiative war die Beschleunigung des Wissensaufbaus im Bereich der Informationssysteme, mit einem speziellen Fokus auf den Vormarsch der Disziplin (Jane Webster and Richard T. Watson).

4.2.2 Unsystematische Literaturrecherche

In der Literaturrecherche kann die Methode der unsystematischen Suche, oft auch als "Schneeballsystem" bezeichnet, angewendet werden. Dieses Vorgehen hat sowohl Vorteile als auch Nachteile. Begonnen wird mit einer einzigen Ausgangsquelle und erweitert die Literaturliste durch das Auffinden weiterer Publikationen aus den Literaturangaben der Ausgangsquelle. Sie ist besonders nützlich, um einen initialen Überblick über ein noch nicht klar definiertes Forschungsthema zu erhalten (Mimir Mentor, 2023; Universität Zürich, 2022).

Allerdings birgt das Schneeballsystem auch Risiken. Zum einen hängt die Qualität der gesammelten Literatur stark von der Gründlichkeit der Ausgangsquelle ab. Zum anderen tendiert diese Methode dazu, neueste Forschungsergebnisse zu übersehen, da sie noch nicht in älteren Publikationen zitiert worden sind. Daher sollte diese Methode vorzugsweise in Kombination mit systematischen Recherchemethoden angewendet werden, um ein ausgewogenes und aktuelles Bild der Forschungslandschaft zu erhalten (Mimir Mentor, 2023; Universität Zürich, 2022).

4.2.3 Systematische Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche ist ein methodischer Ansatz zur Sammlung und Analyse wissenschaftlicher Publikationen, der darauf abzielt, eine umfassende und objektive Übersicht über den aktuellen Forschungsstand zu einem bestimmten Thema oder einer spezifischen Fragestellung zu bieten (*Literaturrecherche • Systematische Literaturrecherche · [mit Video]*, 2023).

Im Gegensatz zur unsystematischen Literaturrecherche, die oft subjektiv und unvollständig ist, legt die systematische Methode strenge Kriterien für die Auswahl und Bewertung der Literatur fest (JLU-EH, 2020; *Literaturrecherche • Systematische Literaturrecherche · [mit Video]*, 2023; Solis, 2021).

Dies beginnt mit der klaren Formulierung einer Forschungsfrage, gefolgt von der Entwicklung einer präzisen Suchstrategie, die die Auswahl von Datenbanken und Schlüsselwörtern umfasst. Anschließend werden die identifizierten Publikationen einer Qualitätsbewertung unterzogen und relevante Daten werden extrahiert und analysiert. Schließlich werden die Ergebnisse in einer strukturierten Form, oft als Literaturübersicht oder Meta-Analyse, präsentiert (JLU-EH, 2020; Solis, 2021).

Obwohl die systematische Literaturrecherche als Standard in der wissenschaftlichen Forschung angesehen wird, ist sie nicht frei von Herausforderungen. Insbesondere die Qualität der Recherche hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Qualität der verfügbaren Literatur, der Vollständigkeit der Datenbanken und der Expertise des Forschers (JLU-EH, 2020; *Literaturrecherche • Systematische Literaturrecherche · [mit Video]*, 2023; Solis, 2021).

4.3 Recherche nach vom Brocke et al.

Vom Brocke et al. sind renommierte Forscher auf ihrem Gebiet und haben bedeutende Beiträge zur systematischen Literaturrecherche geleistet. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf den Aufbau der systematischen Literaturrecherche nach vom Brocke et al.

4.3.1 Phasen

Die Systematische Literaturrecherche nach vom Brocke et al. wird in fünf Phasen untergliedert, welche die Rahmenbedingungen für das System bilden. Um die Recherche vollständig und richtig durchzuführen müssen alle Phasen durchlaufen werden (vom Brocke et al., 2011).

Phasen:

- Definieren des Anwendungsbereichs
- Konzeptionalisierung des Themas
- Literatursuche
- Literaturanalyse und Synthese
- Forschungsagenda

Abbildung 4-1 zeigt die Struktur der fünf Phasen nach vom Brock et al.. Wichtig dabei ist, dass dies nicht als Strecke mit Start und Ziel betrachtet wird, sondern als Iteration. Es kann mit einer einmaligen Iteration enden, jedoch ist das nicht immer zwangsläufig der Fall. Der Prozess kann bis zum gewünschten Ergebnis mehrfach durchlaufen werden, solange die Richtlinien eingehalten werden.

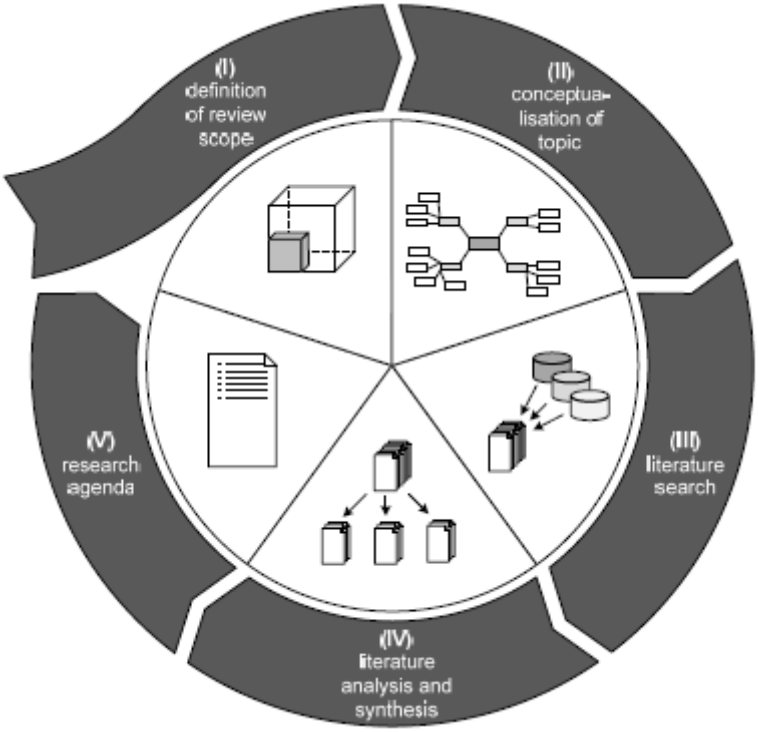

Abbildung 4-1 Methodik - Fünf Phasen (vom Brocke et al., 2011)

4.3.2 Definieren des Anwendungsbereichs

Die erste Phase im systematischen Literaturreview nach vom Brocke et al. befasst sich mit der Definition des Anwendungsbereichs. In diesem Schritt wird der Kontext der Forschungsfrage abgesteckt, um eine klare Orientierung für die gesamte Recherche zu bieten. Dabei werden sowohl die inhaltlichen als auch die methodischen Rahmenbedingungen festgelegt.

Es ist entscheidend, den Anwendungsbereich präzise zu definieren, damit die nachfolgenden Phasen des Reviews effizient und zielgerichtet gestaltet werden können (vom Brocke et al., 2011).

In der folgenden Aufzählung werden die Charakteristiken mit den jeweiligen Kategorien dargestellt.

(1) Fokus:

- Forschungsergebnisse
- Forschungsmethoden
- Theorien
- Anwendungen

(2) Ziel:

- Integration
- Kritik
- Hauptprobleme

(3) Organisation:

- Historisch
- Konzeptionell
- Methodisch

(4) Perspektive:

- Neutrale Position
- Voreingenommene Position

(5) Zielgruppe:

- Wissenschaftlich spezialisierte Gelehrte
- Wissenschaftlich generelle Gelehrte
- Anwender/Politiker
- Öffentlichkeit

(6) Umfang:

- Erschöpfend
- Erschöpfend und selektiv
- Repräsentativ
- Zentral/Entscheidend

Abbildung 4-2 schildert die oben-genannten Information in Form einer Tabelle, welche nach Cooper erstellt wurde (Sipe & Stallings, 1996).

Characteristic		Categories			
(1)	focus	research outcomes	research methods	theories	applications
(2)	goal	integration	criticism	central issues	
(3)	organisation	historical	conceptual	methodological	
(4)	perspective	neutral representation	espousal of position		
(5)	audience	specialised scholars	general scholars	practitioners/politicians	general public
(6)	coverage	exhaustive	exhaustive and selective	representative	central/pivotal

Abbildung 4-2 Methodik - Charakteristik und Kategorisierung (vom Brocke et al., 2011)

4.3.3 Konzeptionalisierung des Themas

Die zweite Phase, die Konzeptionalisierung des Themas, erfolgt unmittelbar nach der Definition des Anwendungsbereichs und dient der tiefergehenden Ausarbeitung des Forschungsfokus. In dieser Phase werden die zentralen Konzepte, Theorien und Modelle identifiziert, die für das Verständnis der Forschungsfrage relevant sind. Es geht darum, die terminologischen und konzeptuellen Grundlagen zu klären, um den Rahmen für die nachfolgende Literatursuche zu schaffen (vom Brocke et al., 2011).

4.3.4 Literatursuche

Angeschlossen an der Konzeptionalisierung wird auf die Literatur eingegangen. Als Beginn wird empfohlen, zunächst wissenschaftliche Datenbanken zu identifizieren. In diesen Datenbanken soll dann mittels einer Stichwortsuche nach relevanten Artikeln gesucht werden (vom Brocke et al., 2011).

Diese Stichwortsuche kann anhand von Bool'sche Operatoren dezidiert nach diversen Mustern gesucht und vorgegangen werden. Ein Beispiel wär ein Oder-Operator, wobei die gesuchten Paper mindestens eins der beiden Stichwörter enthalten muss (Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, 2022). Zudem kann das Schneeballsystem angewendet werden, das heißt, durch Vorwärts- und Rückwärtssuche können weitere Quellen identifiziert werden. Nach dem Auffinden der Quellen erfolgt eine Evaluationsphase, in der die Relevanz und Qualität der Artikel beurteilt werden. Hierzu können der Titel, das Abstract und auch der gesamte Volltext der Artikel herangezogen werden (vom Brocke et al., 2011).

Abbildung 4-3 stellt den schematischen Aufbau der Literatursuche da.

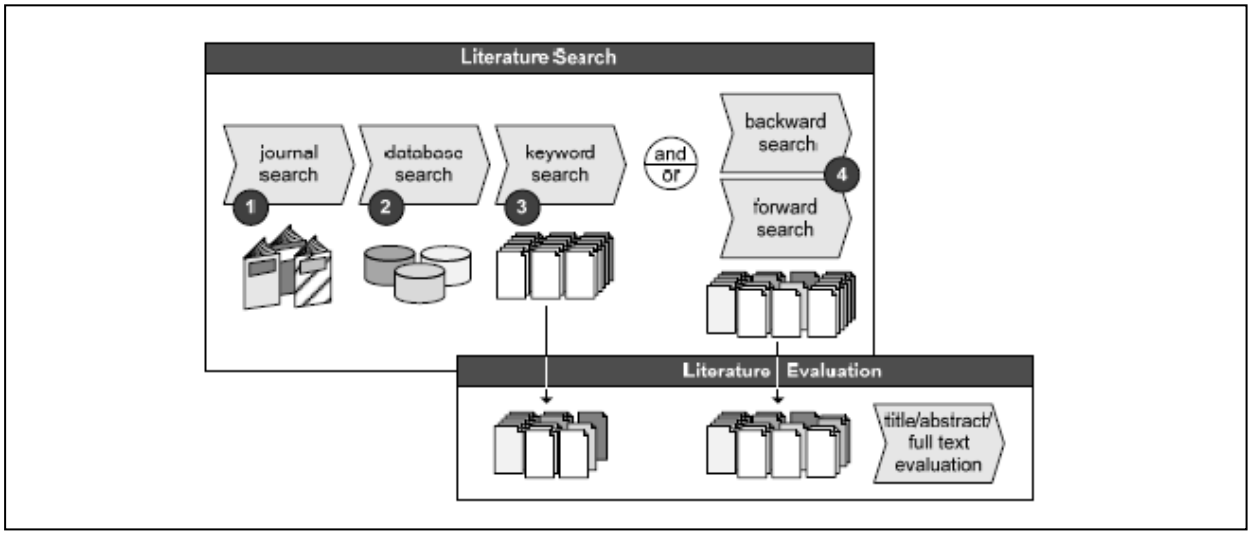

Abbildung 4-3 Methodik - Literatursuche (Jan Vom Brocke, Alexander Simons, Bjoern Niehaves Kai Riemer & Anne Cleven, 2009

4.3.5 Literaturanalyse und Synthese

In diesem Abschnitt wird die Analyse der zuvor hin ausgewählten Literatur in unterschiedlich Kategorien unterteilt. Dabei ist es wichtig die Spalten so zu wählen, dass die in späterer Reihenfolge eine Wertschöpfung für das System liefern (Webster & Watson, 2002). Hier hat sich die Matrixdarstellung, wie in Abbildung 4-4, wo horizontal kategorisiert wird und vertikal die Quellen aufgetragen werden, bewiesen (vom Brocke et al., 2011; Webster & Watson, 2002).

Articles	Concepts														
	A			B			C			D			...		
unit of analysis	O	G	I	O	G	I	O	G	I	O	G	I	O	G	I
1					X				X						X
2	X				X	X		X							
...								X	X			X			

Abbildung 4-4 Methodik - Analyse und Synthese (Jan Vom Brocke, Alexander Simons, Bjoern Niehaves Kai Riemer & Anne Cleven, 2009)

4.3.6 Forschungsagenda

Abschließend wird auf die Forschungsagenda und somit den letzten Punkt der Literaturrecherche nach vom Brocke et al. eingegangen. Dazu sollte auf Grundlage der herauskristallisierten Informationen und Erkenntnissen die gestellten Forschungsfragen beantwortet werden können. Zusätzlich könnte es sein, dass diese weitere Forschungsfragen aufwerfen oder als Basis für zukünftige Forschung dienen.

4.4 PRISMA-Statement

4.4.1 Übersicht

Das Kapitel "Prisma Statement" befasst sich mit der Bedeutung, Entwicklung und Implementierung des PRISMA-P 2015 (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses for Protocols) Leitfadens. Dieser Leitfaden soll die Qualität von Protokollen für systematische Übersichtsarbeiten erhöhen, ähnlich wie bei bereits bestehenden Reporting-Guidelines.

4.4.2 Hintergrund

Das Kapitel unterstreicht die Notwendigkeit einer standardisierten Berichterstattung und hebt den PRISMA-P 2015 Leitfaden als wichtigen Schritt in diese Richtung hervor. Es wird empfohlen, diesen Leitfaden in Verbindung mit dem dazugehörigen Erläuterungs- und Ausarbeitungsdokument zu lesen (Moher et al., 2015; Ziegler et al., 2011).

Systematische Übersichtsarbeiten gelten als Referenzstandard für die Evidenzsynthese im Gesundheitswesen und sind für klinische Entscheidungsfindungen entscheidend. Ein Protokoll für die systematische Übersichtsarbeit ist dabei von grundlegender Bedeutung, da es für Transparenz, Forschungsintegrität und Konsistenz sorgt. Bis vor Kurzem waren solche Protokolle allerdings nur begrenzt verfügbar und oft unzureichend dokumentiert (Moher et al., 2015; Ziegler et al., 2011).

Entwicklung von PRISMA-P: Ein international besetztes Gremium entwickelte den PRISMA-P Leitfaden in einem fünfstufigen Prozess, der auch die Einbeziehung von Experten und die Konsensfindung umfasste. Der Leitfaden enthält 17 Hauptpunkte (mit 26 Unterthemen), die in administrativen Informationen, Einleitung und Methoden unterteilt sind (Moher et al., 2015; Ziegler et al., 2011).

Ziel und Anwendungsbereich: PRISMA-P zielt darauf ab, den Autoren ein klares Gerüst für die Erstellung eines Protokolls an die Hand zu geben. Obwohl es primär für systematische Reviews von Interventionsstudien entwickelt wurde, kann es auch für andere Review-Typen Anwendung finden (Moher et al., 2015; Ziegler et al., 2011).

Nach der Veröffentlichung: Die Umsetzung des PRISMA Leitfadens wird aktiv gefördert, einschließlich der Übersetzung in weiteren Sprachen und der Entwicklung von Webinaren und Schulungsinitiativen. PRISMA-P Dokumente sind frei zugänglich und werden auch in dem internationalen Register PROSPERO verlinkt (Moher et al., 2015; Ziegler et al., 2011).

4.4.3 Aufbau

In diesem Kapitel wird die Struktur als Basis der Dokumentation behandelt, die substanziell für den Aufbau der Checkliste ist. Dabei wird nur die Struktur einer neuen systematischen Literaturrecherche behandelt ohne Erweiterungs- und Aktualisierungsmöglichkeit, da diese in dieser Arbeit verwendet wird.

4.4.3.1. Struktur

Ein Hauptaspekt dieses Systems ist die Struktur, dabei sind klare Ziele eine transparente und genau Methode zur Analyse der Vorgehensweise. Diese sollte ein Mittel als mögliche Nachverfolgbarkeit und sowie einer detaillierten Dokumentation dienen (Page, Moher et al., 2021).

Der Aufbau der Struktur kann generell in zwei Achsen aufgeteilt werden. Eine zur Identifikation von Studien aus Datenbanken und Registern. Die andere Achse beschäftigt sich mit dem Aussortieren der Quellen anhand vorhin festgelegter Kriterien (Page, Moher et al., 2021).

Als gerichteter Fokus des Systems können die identifizierten Quellen ausgemacht werden. Stück für Stück werden die Quellen bewertet und nach bestimmten Mustern ausgesondert (Page, Moher et al., 2021).

Die angeführte Abbildung 4-5 zeigt eine Übersicht der Struktur des PRISMA-Statements aus 2020 als neue systematische Literaturrecherche.

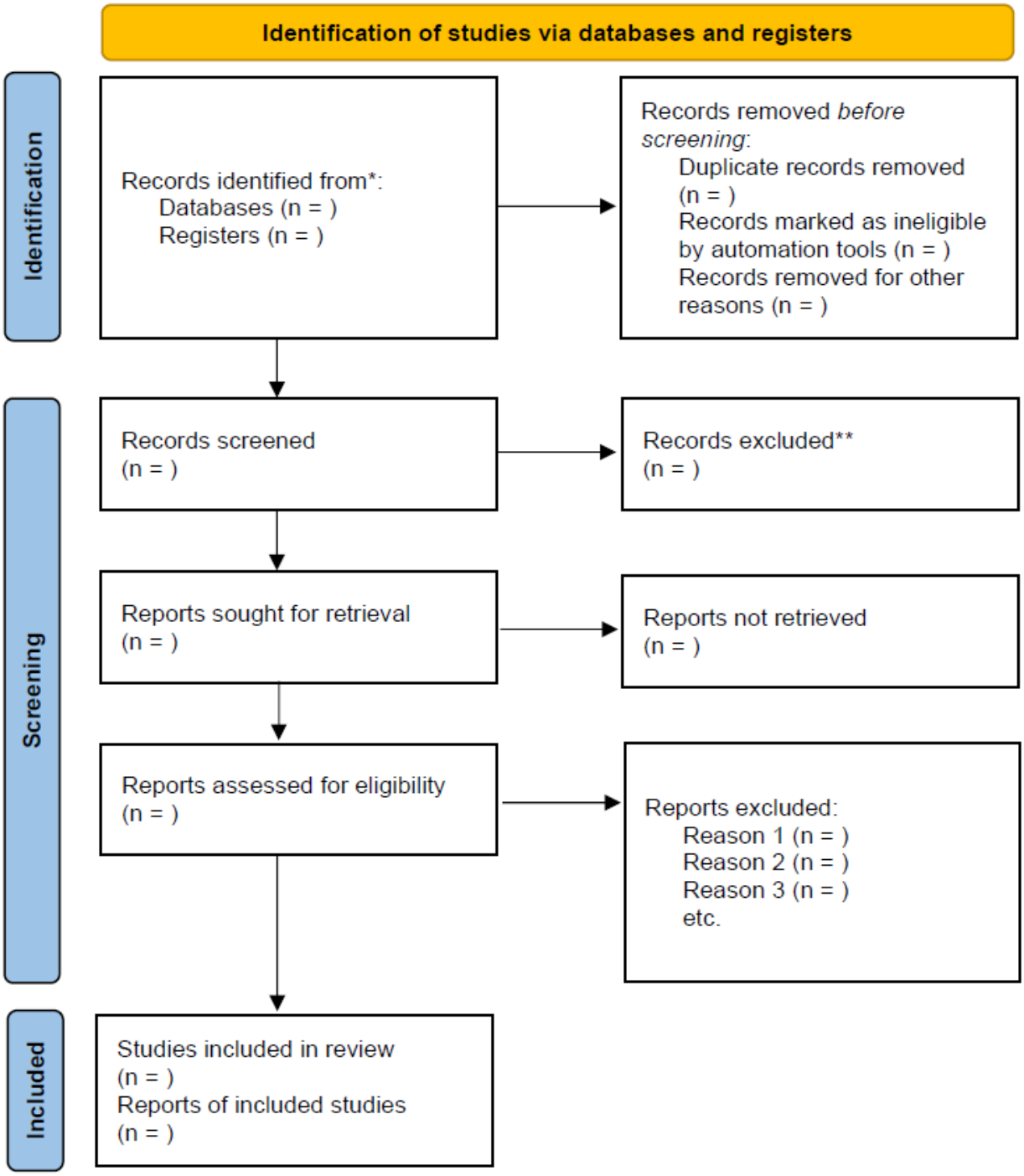

Abbildung 4-5 Methodik - PRISMA Struktur (prisma-statement.org, 2020)

4.4.3.2. Checkliste

Die PRISMA-P (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols) Checkliste aus 2015 dient als strukturiertes Rahmenwerk für Wissenschaftler, die Protokolle für systematische Reviews und Metaanalysen erstellen und veröffentlichen möchten. Diese Checkliste zielt darauf ab, die Transparenz und Integrität solcher Protokolle zu verbessern. Sie ist in mehrere Sektionen gegliedert, die jeweils spezifische Elemente des Forschungsprozesses behandeln (Moher et al., 2015).

Die folgenden Aufzählungen der Checkliste entstammen der PRISMA-Checklist nach Moher.

Hauptinformationen:

Berichtsbezeichnung und Klassifizierung:

In diesem Segment wird der Name des Reviews festgelegt und spezifiziert, ob es sich um eine Überarbeitung einer früheren systematischen Review handelt.

Eintragung:

Dieser Abschnitt enthält Informationen zur offiziellen Registrierung des Projekts in einem anerkannten Verzeichnis, beispielsweise PROSPERO.

Autorendetails und Kommunikation:

Hier werden die Kontaktdetails der beteiligten Forscher sowie deren institutionelle Anbindung aufgeführt. Auch die Rollenverteilung innerhalb des Forscherteams wird geklärt.

Modifikationen und Förderung:

Sofern Änderungen an einem zuvor veröffentlichten Protokoll vorgenommen wurden oder finanzielle Unterstützung erhalten wurde, wird das hier notiert.

Einleitung:

Hintergrund und Fragestellung:

Dieser Bereich gibt Aufschluss über den Kontext der Überprüfung. Es wird erklärt, warum sie durchgeführt wird und welche wissenschaftlichen Fragen sie zu beantworten versucht.

Methodische Ansätze:

Auswahlbedingungen und Bezugsquellen:

Diese Unterpunkte legen die Kriterien für die Einbeziehung von Studien fest und beschreiben die Quellen, aus denen Informationen gewonnen werden.

Suchlogik und Datenaufzeichnung:

Hier wird skizziert, nach welchen Kriterien die Literatursuche erfolgt und wie die erfassten Daten organisiert und bewertet werden.

Datengewinnung und -variablen:

In diesem Teil wird dargelegt, wie Informationen aus den ausgewählten Studien gesammelt werden, welche Datenpunkte wichtig sind und wie die Zuverlässigkeit der Daten eingeschätzt wird.

Datenverarbeitung und -interpretation:

Zusammenfassung der Daten und statistische Analyse:

Dieses Segment klärt die Modalitäten einer möglichen quantitativen Datenzusammenführung und erklärt die statistischen Methoden, die dabei zum Einsatz kommen.

Prüfung auf Meta-Verzerrungen und Evidenzqualität:

Zum Abschluss wird dargelegt, wie eventuelle Meta-Biases überprüft und die Qualität der gesammelten Ergebnisse bewertet werden.

Die PRISMA Checkliste stellt sicher, dass die Forschung methodisch solide und nachvollziehbar ist und erleichtert die nachträgliche Bewertung und Interpretation der Forschungsergebnisse. Sie dient als Werkzeug zur Qualitätssicherung im Forschungsprozess (Page, McKenzie et al., 2021).

Tabelle 4-1 zeigt eine Checkliste, die als Vorlage für das PRISMA-Verfahrens dient.

Section and topic	Item #	Checklist item
Title		
Title	1	Identify the report as a systematic review.
Background		
Objectives	2	Provide an explicit statement of the main objective(s) or question(s) the review addresses.
Methods		
Eligibility criteria	3	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review.
Information sources	4	Specify the information sources (e.g. databases, registers) used to identify studies and the date when each was last searched.
Risk of bias	5	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies.
Synthesis of results	6	Specify the methods used to present and synthesise results.
Results		
Included studies	7	Give the total number of included studies and participants and summarise relevant characteristics of studies.
Synthesis of results	8	Present results for main outcomes, preferably indicating the number of included studies and participants for each. If meta-analysis was done, report the summary estimate and confidence/credible interval. If comparing groups, indicate the direction of the effect (i.e. which group is favoured).
Discussion		
Limitations of evidence	9	Provide a brief summary of the limitations of the evidence included in the review (e.g. study risk of bias, inconsistency and imprecision).
Interpretation	10	Provide a general interpretation of the results and important implications.
Other		
Funding	11	Specify the primary source of funding for the review.
Registration	12	Provide the register name and registration number.

Tabelle 4-1 Methodik - Checkliste (Page, Moher et al., 2021)

4.5 Durchführung der syst. Literaturrecherche mit PRISMA

Im folgenden Unterkapitel wird die Anwendung der Literaturrecherche in Kombination mit der Struktur des PRISMA-Statements für eine transparente Nachverfolgung angewandt. Hierzu wird, wie in den vorherigen Kapiteln nach vom Brocke et al. (2009) und Page et al. (2021) vorgegangen.

4.5.1 Definition des Anwendungsbereiches

Begonnen wurde mit der Definition of Scope. Überleitend wurde die Definition des Anwendungsbereiches nach vom Brocke et al. ausarbeitet.

Focus (Schwerpunkt):

Der Schwerpunkt liegt auf der gründlichen Analyse und Interpretation von **Forschungsergebnissen**, die aus den Suchresultaten gewonnen wurden.

Besonderes Augenmerk wird auf Studien gelegt, die direkte Relevanz für Ihre Forschungsfrage haben.

Die Auswahl der Literatur soll so erfolgen, dass sie ein umfassendes und tiefgehendes Verständnis des Forschungsthemas ermöglicht.

Goal (Ziel):

Das Hauptziel ist die **Integration**:

Dies bedeutet, dass die Informationen und Erkenntnisse aus verschiedenen Quellen zusammengeführt werden, um ein ganzheitliches Verständnis des Forschungsgegenstandes zu entwickeln.

Durch Vergleich und Verknüpfung der Literatur werden neue Einsichten gewonnen, die zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen.

Es geht darum, Wissenslücken zu identifizieren und durch die Zusammenführung bestehender Erkenntnisse daraus zu schließen.

Organisation:

In diesem Fall kann nicht immer auf nur eine Kategorie zurückgegriffen werden, da dies teilweise Situationsbedient verhindert wird.

Perspective (Perspektive):

Die Arbeit wird aus einer neutralen, unvoreingenommenen Perspektive durchgeführt.

Ziel ist es, eine objektive Analyse und Interpretation der Literatur sicherzustellen, frei von persönlichen Meinungen oder Vorurteilen.

Audience (Zielgruppe):

Die Zielgruppe sind Praktiker, Studien und Untersuchungen, die sich mit der Entwicklung und Integration von professionellen Serviceroboter mit Bezug auf die Industrie beschäftigen.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche sollen für Praktiker, mit wenig bis mittlerer Erfahrung, direkt anwendbar und hilfreich sein, insbesondere in Bezug auf die Auswahl und Planung der Integration von Servicerobotern.

Coverage (Umfang):

Der Umfang der Literaturrecherche wird als „repräsentativ“ angestrebt: Es wird versucht, eine breite und umfassende Auswahl an relevanter Literatur einzubeziehen.

Durch sorgfältig definierte Einschluss- und Ausschlusskriterien wird sichergestellt, dass nur qualitativ hochwertige und relevante Quellen berücksichtigt werden.

Das Ziel ist es, ein möglichst vollständiges Bild des Forschungsfeldes zu erhalten, ohne dabei die Qualität und Relevanz der Informationen zu kompromittieren.

4.5.1 Konzept für die Systematische Literaturrecherche

In der Konzeptionalisierungsphase der systematischen Literaturrecherche für die Masterarbeit wurde ein fundiertes und durchdachtes Konzept entwickelt, das sich eng an die bereits etablierte Fragestellung der gesamten Arbeit anlehnte. Diese Phase war notwendig, um eine klare und fokussierte Richtung für die Recherche zu etablieren, wobei das zentrale Forschungsthema bereits aus der Kernfragestellung der Arbeit hervorging.

Dies machte es überflüssig, in diesem Stadium eine neue, offene Fragestellung aus der Literatur abzuleiten, da die Richtung der Forschung bereits durch die Forschungsfrage definiert war.

Gemäß den Empfehlungen von vom Brocke et al. (2009) erfolgte die initiale Konzeptualisierung des Themas durch die kreative und strukturierte Erstellung einer Mindmap. Diese Mindmap fungierte als visuelles Werkzeug, um die zentralen Themen und Unterthemen der Forschung zu organisieren und strukturieren. Ein repräsentativer Ausschnitt dieser Mindmap ist in Abbildung 4-6 dargestellt und bietet einen Einblick in den Prozess der thematischen Vernetzung und Strukturierung, der für die Literaturrecherche von höchster Bedeutung war.

Zum Zweck eine methodisch-korrekte und nachvollziehbare Literaturrecherche zu gewährleisten, war es unerlässlich, vier zentrale Komponenten akkurat zu definieren:

- Datenbanken
- Einschlusskriterien
- Ausschlusskriterien
- Spezifische Suchbegriffe.

Diese Elemente bildeten das Rückgrat der Recherche und waren entscheidend, damit eine systematische, zielgerichtete und effiziente Durchführung der Literaturrecherche erfolgen kann. Jedes dieser Elemente wurde sorgfältig ausgewählt und definiert, sodass die gesammelten Daten relevant, aktuell und von hoher wissenschaftlicher Qualität sind.

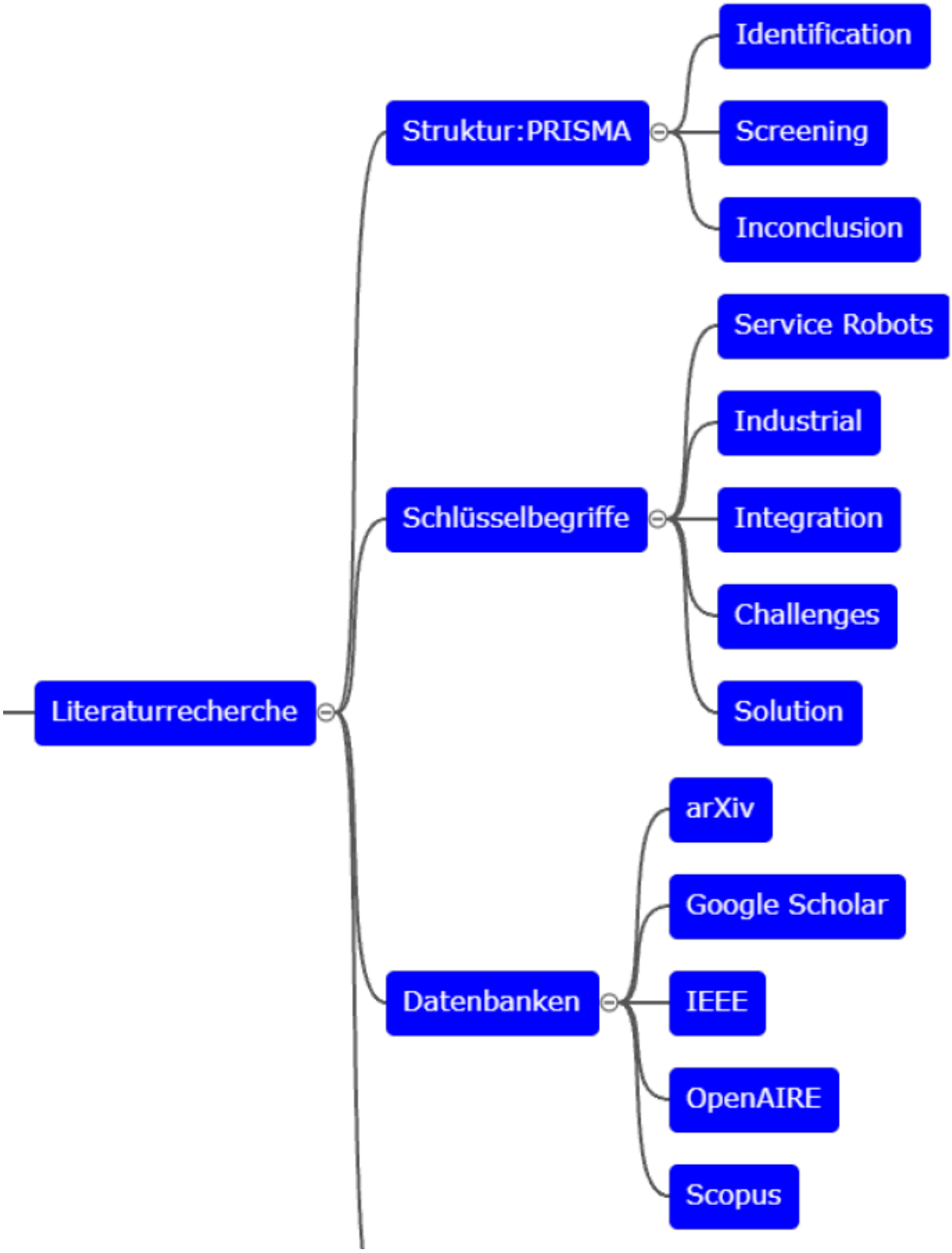

Abbildung 4-6 Methodik - Auszug der Konzept-Mindmap. Eigene Darstellung

4.5.1 Datenbanken

Bei der sorgfältigen Auswahl der Datenbanken für die Literaturrecherche wurden mehrere wesentliche Kriterien berücksichtigt, um die Qualität und Relevanz der recherchierten Informationen sicherzustellen. Zunächst war es entscheidend, dass die ausgewählten Datenbanken seriös und offen zugänglich sind, und dass sie eine umfangreiche und relevante Datensammlung bieten.

Ein weiteres wichtiges Kriterium war die thematische Eignung der Datenbanken für das Spezialgebiet der Servicerobotik, da es nur sinnvoll ist, dass die Datenbanken Fachpublikationen in diesem Bereich enthalten, um eine effiziente und zielgerichtete Suche zu ermöglichen. Die Verwendung von mehreren Datenbanken war ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der Strategie, um eine breitere und neutralere Basis von Quellen zu gewährleisten und eine einseitige Quellenauswahl zu vermeiden.

Gleichzeitig war es wichtig, eine ausgewogene Anzahl von Datenbanken zu verwenden, um den Arbeitsaufwand, der mit der Filterung von Dubletten verbunden ist, zu minimieren. Dies erforderte eine sorgfältige Abwägung zwischen der Breite der Recherche und der Verwaltung des damit verbundenen Arbeitsaufwands.

Schließlich wurde auch darauf geachtet, mindestens eine europäische Datenbank einzubeziehen. Dies war ein wichtiger Aspekt, um sicherzustellen, dass europäische Forschungsarbeiten und Perspektiven in der Recherche angemessen berücksichtigt werden.

Insgesamt trug diese durchdachte Auswahl der Datenbanken dazu bei, eine fundierte, umfassende und ausgewogene Literaturrecherche zu gewährleisten.

Beim Recherchieren zur Auswahl von Datenbanken wurde mehrere Quelle für Empfehlungen von Datenbanken, wie WU-Wien mit der A-Z Liste berücksichtigt (Wirtschaftsuniversität Wien, 2023).

Schlussendlich wurden die Datenbanken **Google Scholar, IEEE, OpenAire** (europäisch) und **arXiv** als Recherchegrundlage ausgewählt.

4.5.1 Kriterien

Die sorgfältige Definition spezifischer Einschluss- und auch Ausschlusskriterien für die Auswahl relevanter Quellen stellte einen wichtigen Gesichtspunkt in der Forschungsmethodologie dar.

Dieser Prozess zielte darauf ab, Quellen mit suboptimaler Qualität oder jene, die aus diversen anderen Gründen als ungeeignet betrachtet wurden, frühzeitig zu identifizieren und auszuschließen. Diese Kriterien wurden sorgfältig ausgearbeitet und dokumentiert, damit die Genauigkeit dieser Arbeit gewährleistet ist.

Folgende Kriterien wurden definiert:

- EAK1
  - Die Quelle wurde in den letzten 10 Jahren veröffentlicht
  - 2013-2023
- EAK2
  - Die Quelle ist als Gesamtdokument verfügbar
  - Ausschnitte, wie „nur Abstract“ sind nicht gültig
- EAK3
  - Die Quelle ist als englische oder deutsche Version zugänglich
- EAK4
  - Die Quelle ist zum Zeitpunkt der Recherche als Open-Access verfügbar
- EAK5
  - Der Fokus der Quelle liegt auf der Entwicklung und Integration von Servicerobotern in der Industrie.
  - Konzepte und Prototypen werden als positive Ergebnisse betrachtet
- EAK6
  - Die verwendete wissenschaftliche Methode ist qualitativ entsprechend, gültig und nachvollziehbar

4.5.1 Spezifische Suchbegriffe

Die Auswahl der passenden Suchbegriffe für die Literaturrecherche erwies sich als besonders herausforderndes Unterfangen.

Dies lag zum einen an der variierenden Definition von Servicerobotern, die in der wissenschaftlichen und technologischen Literatur nicht einheitlich verwendet wird. Zum anderen hat der Bereich der Servicerobotik in den letzten Jahren einen bemerkenswerten Aufschwung erlebt, weswegen die Komplexität der Thematik weiter erhöhte wurde.

Ein zusätzliches Problem stellte die unsaubere Definition von Servicerobotern im privaten Gebrauch dar, während auf der anderen Seite Industrieroboter teilweise in die Kategorie der Serviceroboter eingereiht wurden. Diese unterschiedlichen Betrachtungsweisen erschwerten die genau Abgrenzung der Suche.

Die Forschungsfrage ist präzise und fokussiert sich speziell auf professionelle Serviceroboter in der industriellen Anwendung.

Diese spezifische Ausrichtung führte dazu, dass die Anzahl der relevanten und zutreffenden Forschungsergebnisse begrenzt war.

Darüber hinaus schränkte ein leichter Zusatzfokus auf mögliche Lösungsansätze die Anzahl der relevanten Quellen weiter ein. Obwohl viele Studien und Artikel Herausforderungen im Bereich der Servicerobotik erarbeiten konnten, waren Informationen mit Herausforderungen und deren möglichen Lösungen deutlich seltener zu finden.

Ein weiteres kritisches Problem war die Zugänglichkeit der Informationen. Viele Unternehmen, die Serviceroboter einsetzen, halten ihr spezialisiertes Wissen und ihre Erfahrungen in der Entwicklung und Integration dieser Technologien zurück. Dieses oft nicht veröffentlichte Spezialwissen führte dazu, dass wichtige Erkenntnisse und Daten, für die systematische Literaturrecherche nicht zugänglich waren.

Nach unterschiedlichen Versuchen war die Auswahl der Suchbegriffe folgende:

- Industrial
  - Mit Fokus auf industrielle Inhalte
- Service Robots
  - Service Robots ist der Bereich, der untersucht wird
- Challenges
  - Hauptziel der Forschungsfrage sind die Herausforderungen
- Integration
  - Der untersuchte Prozessschritt
- Solution
  - Ein Nebenziel der Forschungsfrage wären Lösungen

Für die Sprache der Suchbegriffe wurde Englisch gewählt, um den Suchraum zu erweitern und die Chance auf breitere Ergebnisse zu haben. Durch die empirische Vorgangsweise wurden verschieden Kombinationen durchsucht und getestet. Je nach Datenbank und Kombination der Suchbegriffe wurden unterschiedliche Quellen gefiltert.

Schnell stellte sicher heraus, dass „Solution“ in Kombination mit den anderen Begriffen die Auswahl auf Quellen stark einschränkt. Dadurch, dass „Solution“ nur einen Teilaspekt der Forschungsfrage abdeckt, wurde dieser aus der Suche entfernt.

„Integration“ war ein weiterer Suchbegriff, der bei der Suche viele Quellen filterte. In späterer Folge wurde ersichtlich, dass in den Studien meist Herausforderungen behandelt wurde, die keine Integration vollständig unterlaufen sind oder es für diverse Herausforderungen nur theoretische Lösungen gab.

4.5.1 Finale Suchbegriffe

Durch empirisches Vorgehe, wie in Kapitel 4.5.1 erwähnt zeichneten sich unterschiedliche Suchbegriffe für die ausgewählten Datenbanken ab. Diese wurden infolge der Vollständigkeit des PRISMA-Statements dokumentiert.

- Google Scholar
    - Industrial
    - Service Robots
    - Challenges
    - Integration
- arXiv, IEEE, OpenAire
    - Integration
    - Service Robots
    - Challenges

Abgesehen von Google Scholar wurden die Suchbegriffe für eine breitere Spektrum der Analyse reduziert. Dies bedeutete mehr Aufwand in der Recherche und zeitgleich wurde das Kriterium *EK5* intensiver beansprucht.

4.1 Angewandte Literatursuche mit PRISMA-Workflow

Der PRISMA-Workflow ist die Basis der Literatursuche in dieser Masterarbeit. Streng nach dem Workflow wurde die Suche dokumentiert und danach vorgegangen.

4.1.1 Identification (Identifikation)

In der Identifikationsphase des Forschungsprozesses erfolgte eine Durchsuchung verschiedener Datenbanken, wobei spezifische Suchworte verwendet wurden. Diese initiale Suche führte zu einer Reihe von Ergebnissen aus den Datenbanken.

Ergebnisse der Datenbanken:

Google Scholar:

- Suche: "Service Robots" "Challenges" "Industrial"
- Ergebnisse: 16.000

IEEE:

- Suche: "Service Robots" "Challenges" "Industrial"
- Ergebnisse: 428

OpenAire:

- Suche: "Service Robots" "Challenges" "Industrial"
- Ergebnisse: 31

arXiv:

- Suche: "Service Robots" "Challenges" "Industrial"
- Ergebnisse: 8

Die Suche ergab ein ungleich verteiltes Verhalten:

Während Google Scholar eine beachtliche Anzahl von 16.000 Ergebnissen lieferte, zeigten die anderen Datenbanken deutlich weniger Treffer. Bei IEEE fanden sich 428 Einträge, OpenAire ergab lediglich 31 Ergebnisse und arXiv bot nur 8 relevante Veröffentlichungen.

Dieser Trend zeigt, dass die Verfügbarkeit und die Breite der Forschungsliteratur zu diesem Thema stark variieren, abhängig von der gewählten Datenbank. Google Scholar sticht mit seiner umfangreichen Sammlung hervor, während die anderen Datenbanken eine viel geringere Menge an spezifischen Forschungsarbeiten zu bieten haben.

Dieses Ungleichgewicht hatte zur Folge, dass die Suchstrategie bei Google Scholar angepasst wurde. Der angepasste Suchstring auf den Artikel reduzierte die Ergebnisse auf 72 Quellen.

<u>Suchstring</u>: „*allintitle: Challenges OR Industrial OR Integration "Service Robots'*"“

Tabelle 4-2 zeigt einen Ausschnitt aus der Dokumentation des PRISMA-Statements. Dabei wurden von links nach rechts gehend die drei Phasen durchlaufen.

Literatursuche		Kriterien						
Suche	Datenbanken	Ohne	EK1	EK2	EK3	EK4	EK5	EK6
allintitle: Challenges OR Industrial OR Integration "Service Robots"	Google Scholar	72	49	47	43	21	13	13
"Service Robots" "Challenges" "Industrial"	IEEE	428	364	364	359	22	18	15
"Service Robots" "Challenges" "Industrial"	OpenAire	31 - (1 Doppelt)	25	25	25	8	7	7
"Service Robots" "Challenges" "Industrial"	arXiv	8 -(1 Doppelt)	6	6	6	6	5	5
		539	444	442	433	57	43	40
		537 ohne D						

EAK1
Die Quelle wurde in den letzten 10 Jahren veröffentlicht
2013-2023

EAK2
Die Quelle ist als Gesamtdokument verfügbar
Ausschnitte, wie „nur Abstract" sind nicht gültig

EAK3
Die Quelle ist als englische oder deutsche Version zugänglich

EAK4
Die Quelle ist zum Zeitpunkt der Recherche als Open-Access verfügbar

EAK5
Der Fokus der Quelle liegt auf der Entwicklung und Integration von Servicerobotern in der Industrie. Konzepte und Prototypen werden als positive Ergebnisse betrachtet

EAK6
Die verwendete wissenschaftliche Methode ist qualitativ entsprechend, gültig und nachvollziehbar

Tabelle 4-2 Methodik - PRISMA Phasen angewandt. Eigene Darstellung

4.1.2 Screening (Sichtung)

Nach der erfolgreichen Identifikation von 539 Quellen wurde mit der Anwendung der Kriterien begonnen.

Google Scholar führte die Liste mit 72 initialen Treffern an, gefolgt von IEEE mit 428, OpenAire mit 31 und arXiv mit 8 Ergebnissen, wobei jeweils Duplikate abgezogen wurden. Dabei wurde bei den Duplikaten vorgegriffen.

Nach Anwendung der Einschlusskriterien EK1 bis EK6, die unter anderem Aktualität, Volltextverfügbarkeit, Sprachzugänglichkeit, Open-Access-Status, thematischen Fokus und wissenschaftliche Methodik berücksichtigen, reduzierte sich die Zahl der relevanten Quellen erheblich. Am Ende des Screenings standen 40 Quellen fest, die die strengen Kriterien erfüllten und für die weitere Analyse als geeignet betrachtet wurden.

4.1.3 Inclusion (Einschluss)

Abschließend, nach dem Durchlauf des Screenings verblieben 40 streng ausgewählt Quelle, die für die Analyse zur Verfügung standen.

Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wurde der, von der PRISMA-Organisation zur Verfügung gestellte Workflow ordnungsgemäß bearbeitet. Dazu wurde der Workflow für Analyse ohne Updatemöglichkeit vom Stand 2020 herangezogen. Abbildung 4-7 zeigt den vollständig bearbeiteten Workflow der PRISMA-Statements.

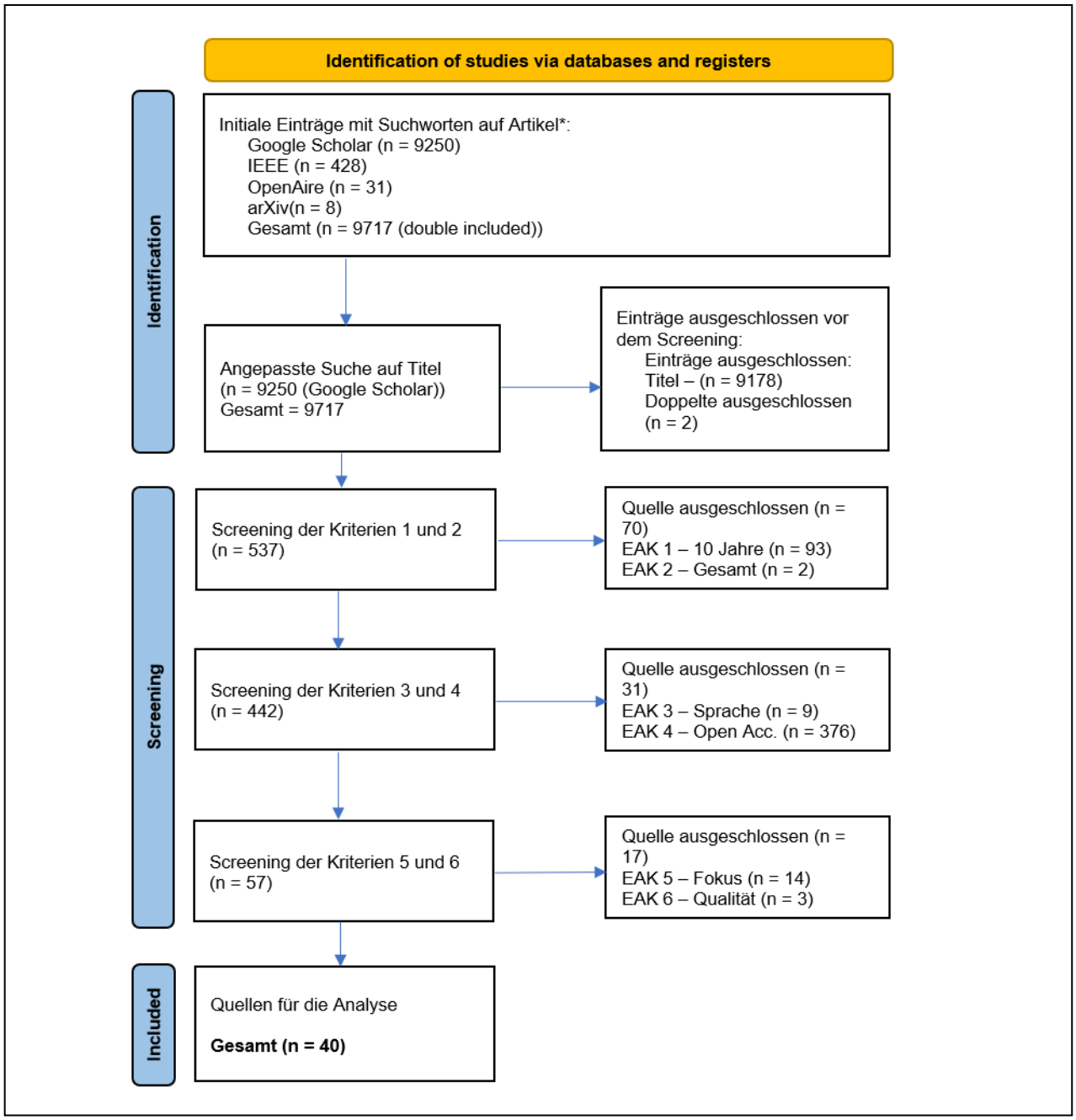

Abbildung 4-7 Methodik - PRISMA Workflow angewandt. Eigene Darstellung

4.2 Literaturanalyse

Nach Anwendung des PRISMA-Workflows bei der Literatur suche konnten insgesamt 40 Quellen identifiziert werden, die als Fundament für die Systematische Literaturrecherche dienen.

Der nächste Schritt bestand darin, die Attribute zu klären, die sich zur Kategorisierung der Quellen eignen sowie Attribute zu bestimmen, die für die Forschungsfrage relevant sind.

Bei der Kategorisierung und der Einteilung stellte sich mehrmals heraus, dass unterschiedliche Studien stets neue Herausforderungen aufzeigten. Generell wurde mit einer Basisrecherche zum Thema Herausforderungen und Lösungen in der Servicerobotik gestartet.

Das ermittelte Wissen floss dabei direkt in die Kategorisierung mit ein. Während des Prozesses stellte sich anfangs ein leicht inkrementeller Prozess ein, da immer wieder neue Kategorien hinzugefügt wurden. Nach jeder Erweiterung mussten alte Paper überprüft werden, ob sie auch in die neue Kategorie fallen könnten.

Für die Analyse wurden Hauptkategorien sowie Feinkriterien festgelegt.

4.2.1 Hauptkategorien

Diese Kategorien dienen als Übersicht der bearbeiteten Daten.

- Erhebung der Daten
  - Welche Methode wurde verwendet
- Einflussfaktor
  - Eine subjektive Beurteilung nach Fokus und Relevanz für die Forschungsfrage
- Industriezweig
  - In welchen Industriezweig sollte oder befindet sich der Roboter
- Roboterart
  - Typ des Roboters
- Technische Herausforderungen
  - Hard- und Software-Herausforderungen
- Sicherheitsbezogene Herausforderungen
  - Herausforderungen im Bereich Verfügbarkeit und Sicherheit
- Interaktive und soziale Herausforderungen
  - Umgebung, sowie Mensch-Maschine
- Regulatorische und ethische Herausforderungen

    - Verantwortung und Ethik
- Technische Lösungen
    - Lösungen in Soft- und Hardware
- Sicherheitsbezogene Lösungen
    - Verfügbarkeit und Sicherheit
- Interaktive und Soziale Lösungen
    - Umgebung, sowie Mensch-Maschine
- Regulatorische und Ethische Lösungen
    - Verantwortung und Ethik

In den Hauptkategorien ist deutlich erkennbar, dass sich der erste Teil mit allgemeiner Kategorisierung, der zweite Teil mit Herausforderungen und der dritte Teil mit möglichen Lösungen auseinandersetzt. Wobei Herausforderungen und Lösungen als Kriterien über die Haupteinteilung verschränkt sind.

4.2.1 Feinkriterien

In der erweiterten Betrachtung der Feinkriterien, welche für die eingehende Analyse und Bewertung der wissenschaftlichen Arbeiten herangezogen werden, spielt die Qualität der Zusammenhangsdarstellung eine zentrale Rolle. Dabei wird nicht nur das bloße Vorkommen eines bestimmten Begriffs in den untersuchten Papers berücksichtigt, sondern vielmehr wird der Fokus auf die Art und Weise gelegt, wie dieser Begriff im Kontext des Textes verwendet wird.

4.2.1.1. Feinkriterien – Kategorisierung

- Fertigungsindustrie:
    - Bezieht sich auf den Einsatz von Servicerobotern in Produktions- und Montageprozessen in Industriebetrieben
- Prozessindustrie:
    - Umfasst die Nutzung von Robotern in Industrien mit kontinuierlichen oder Chargen-Produktionsprozessen, wie Chemie oder Lebensmittel
- Medizin und Gesundheitswesen:

    - Fokussiert auf Roboter, die in medizinischen Verfahren, Patientenbetreuung und Gesundheitsdiensten eingesetzt werden
- Logistik und Supply Chain:
    - Betrifft den Einsatz von Robotern für Lagerhaltung, Distribution und Supply-Chain-Management
- Spezialisierte Dienstleistungen:
    - Behandelt Serviceroboter, die für spezifische Aufgaben konzipiert sind, die nicht breit in anderen Sektoren kategorisiert werden können
- Allgemein:
    - Betrachtet einen breiten Einsatz von Servicerobotern über verschiedene Bereiche hinweg, die in anderen Kategorien nicht spezifiziert sind
- Manipulatoren:
    - Bezieht sich auf Roboterarme und Endeffektoren, die zum Manipulieren von Objekten in verschiedenen Umgebungen verwendet werden
- Mobile Roboter:
    - Bezieht sich auf Roboter, die sich durch Umgebungen bewegen können, wie autonome Fahrzeuge
- Spezialisierte Umgebungsroboter:
    - Umfasst Roboter, die für spezifische Umgebungen wie Unterwasser oder Weltraum entworfen sind
- Kommunikative Interaktive Roboter:
    - Deckt Roboter ab, die durch Kommunikationsprotokolle mit Menschen oder anderen Robotern interagieren
- Medizinische- und Assistenzroboter:
    - Schließt Roboter ein, die speziell dafür konzipiert sind, bei medizinischen Verfahren zu assistieren oder Menschen Unterstützung zu bieten.

4.2.1.1. Feinkriterien – Herausforderungen

- Overall-Design
- Software complexity
- Software Architecture
- Middleware
- Frameworks
- Framework verwendet
- Hohes Fehlerpotenzial
- Ungenaue Sensorik Aktorik
- Hardwarekompatibilität
- Sensor/Aktor Design
- Failure Testing und Training
- Skalierbarkeit
- Latenz und Echtzeitfähigkeit
- Energieeffizienz
- Expertise
- Datensicherheit
- Datenintegrität
- Physische Sicherheit
- Zuverlässigkeit
- Notfallpläne
- Einsatzumgebung
- Mensch-Roboter-Interaktion
- Benutzerakzeptanz
- Arbeitsplatzgestaltung
- Training und Schulung
- Soziale Kommunikation
- Compliance und Zertifizierung
- Datenschutz

- Ethik und Verantwortung
- Kosten und ROI
- Nachhaltigkeit

4.2.1.1. Feinkriterien – Lösungen

- Lösung durch Algorithmen
- SW-Design
- Sensor/Aktor
- Bessere Hardware
- Modulare Hardware
- Skalierungsstrategien
- Verschlüsselung
- Redundanz und Failover
- Safety-by-Design
- Benutzertraining
- UI/UX-Design
- Compliance-Tools
- Ethikmanagement

5 RESULTATE DER LITERATURRECHERCHE

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche behandelt.

5.1 Übersicht

In den vorangegangenen Kapiteln wurde eine gründliche und transparente Analyse durchgeführt, bei der aus 539 anfänglichen Quellen 40 relevante Studien ausgewählt wurden, die als Basis für die weitere Datenanalyse dienten. Die Literatur wurde im Vorfeld kategorisiert und in einer Excel-Tabelle, wie in Abbildung 5-1, erfasst. Jeder Quelle wurde entsprechend ihrem thematischen Bezug zu vordefinierten Kategorien Werte zugewiesen:

'1' für eine direkte Relevanz und '0' für eine fehlende Relevanz.

Quelleninformation					Ein-/Ausschlusskriterien							Erhebung der Daten		
Id (Primary Key)	Titel	Autoren	Erscheinungsjahr	Datenbank	OK	EAK1	EAK2	EAK3	EAK4	EAK5	EAK6	Case Study	Literaturübe	Studie
1	Software variablitity in	Sergio Garcia, Daniel Struber, Davide Brugali	2022	OpenAire	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	Konzeption, Konstrukti	Tim Fröhlich	2021	OpenAire	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
3	N^2M^2:Learning Navigat	Daniel Honerkamp, Tim Welschehold Abhin	2023	arXiv	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
4	Industrial Robot Graspi	Eugen Solowjow, Ines Ugalde, Yash Shahapu	2020	arXiv	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
5	RAFCON: a Graphical To	Sebastian G. Brunner, Franz Steinmetz, Rico	2016	arXiv	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
6	Human-Robot Interacti	Diego Rodríguez-Guerra, Gorka Sorrosal, Itzi	2021	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
7	Real-Time Cloud Visua	Yali Zheng, Shinan Chen, Hong Cheng	2020	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
8	Cooperative Robotics a	Romulo Gonçalves Lins, Sidney N. Givigi	2021	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
9	Online and Modular En	Agajan Torayev, Giovanna Mart´ınez-Arellan	2023	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	Challenges for Future F	Takuya Kiyokawa, Jun Takamatsu, Shigeki Ko	2022	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	IRWoZ: Constructing ar	Chen Li, Dimitrios Chrysostomou, Xiaochun	2023	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
12	Integrating Different Le	Carlos Hernández Corbato, Mukunda Bharatl	2016	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
13	A Comparative Review	Ikenna Enebuse, Mathias Foo, Babul Salam K	2021	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
14	Cloud robotics: Curren	Jiafu Wan, Shenglong Tang, Hehua Yan, Di Li	2016	IEEE	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
15	Service Robots: A Syste	In Lee	2021	OpenAire	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
16	Interactive, Collaborati	Danica Kragic, Joakim Gustafson, Hakan Kara	2018	OpenAire	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
17	Robotics software engi	Sergio Garcia, Daniel Strüber, Davide Brugali	2020	OpenAire	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
18	Manipulation of Flexib	Jiafu Wan, Shenglong Tang, Hehua Yan, Di Li	2020	OpenAire	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Tabelle 5-1 Resultate - Auszug der Analyse. Eigene Darstellung

Anschließend wurden die ausgewählten Quellen in drei Hauptkategorien analysiert:

- Kategorisierung
- Herausforderungen
- Lösungen

Im Rahmen der Kategorisierung wurden die Quellen thematisch geordnet, um einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand und die Vielfalt des untersuchten Bereichs zu erhalten.

Die Herausforderungen wurden identifiziert, um bestehende Probleme und Hindernisse in der Entwicklung und Integration von Servicerobotern in industrielle Prozesse aufzuzeigen.

Schließlich wurden in der Kategorie Lösungen verschiedene Ansätze und bewährte Verfahren zusammengetragen, die in der Literatur als effektive Wege zur Überwindung der identifizierten Herausforderungen präsentiert wurden.

Ein weitere Unterkategorie in der Kategorisierung war der Aspekt der Quelle. Dabei wurde die Quelleinformationen wie Titel, Autor, Jahr etc. pp. zusammengetragen. Bei der Analyse bildet sich trotz nur 40 Datensätze ein leichter Trend in Richtung Zukunft ab.

In der nachfolgenden Abbildung, Abbildung 5-1, welche die Anzahl der Quellen und die Jahrgänge gegenüberstellt ist ein leicht-steigender Trend ersichtlich. Das arithmetische Mittel der Jahrgänge liegt bei gerundet beim Jahrgang 2020 (~2019,83), welches auf aktuelle Daten hinweist.

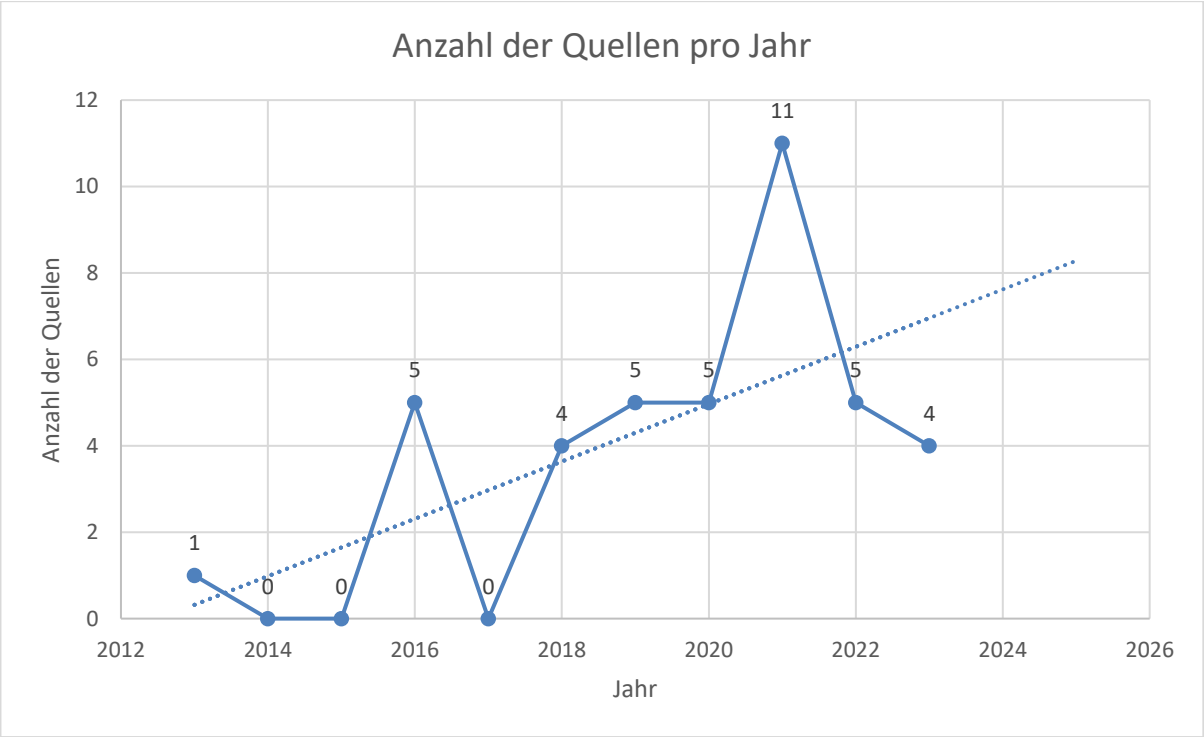

Abbildung 5-1 Resultate - Anzahl der Quellen pro Jahr. Eigene Darstellung

5.2 Kategorisierung

Bei der Kategorisierung wurde, abgesehen von den Quelleninformationen auch weitere Rubriken beurteilt. Einerseits wurde eine subjektive Einschätzung der Quelle vollzogen, andererseits eine Unterteilung in Industriezweig und Roboterart. Diese konnten pro Quelle häufiger vorkommen, da Roboter im Dienstleistungsbereich, sowohl als auch im Fertigungsbereich eingesetzt werden können. Dieselbe Regel konnte bei der Roboterart angewandt, zum Beispiel ein mobiler Roboter mit Greifarm, werden.

5.2.1 Einteilung in Industriezweig und Roboterart

Abbildung 5-2 gibt eine Übersicht der analysierten Quellen und deren Einsatzgebiet. Die größten Segmente sind die "Fertigungsindustrie" und die "Prozessindustrie", was darauf hindeutet, dass diese Bereiche am stärksten automatisiert sind oder den höchsten Einsatz von Robotertechnologie aufweisen. Interessant ist auch, dass der Bereich "Medizin und Gesundheitswesen" sowie "Logistik und Supply Chain" durchaus beachtliche Segmente darstellen, was die zunehmende Bedeutung von Robotik in diesen modernen und sich schnell entwickelnden Feldern widerspiegelt.

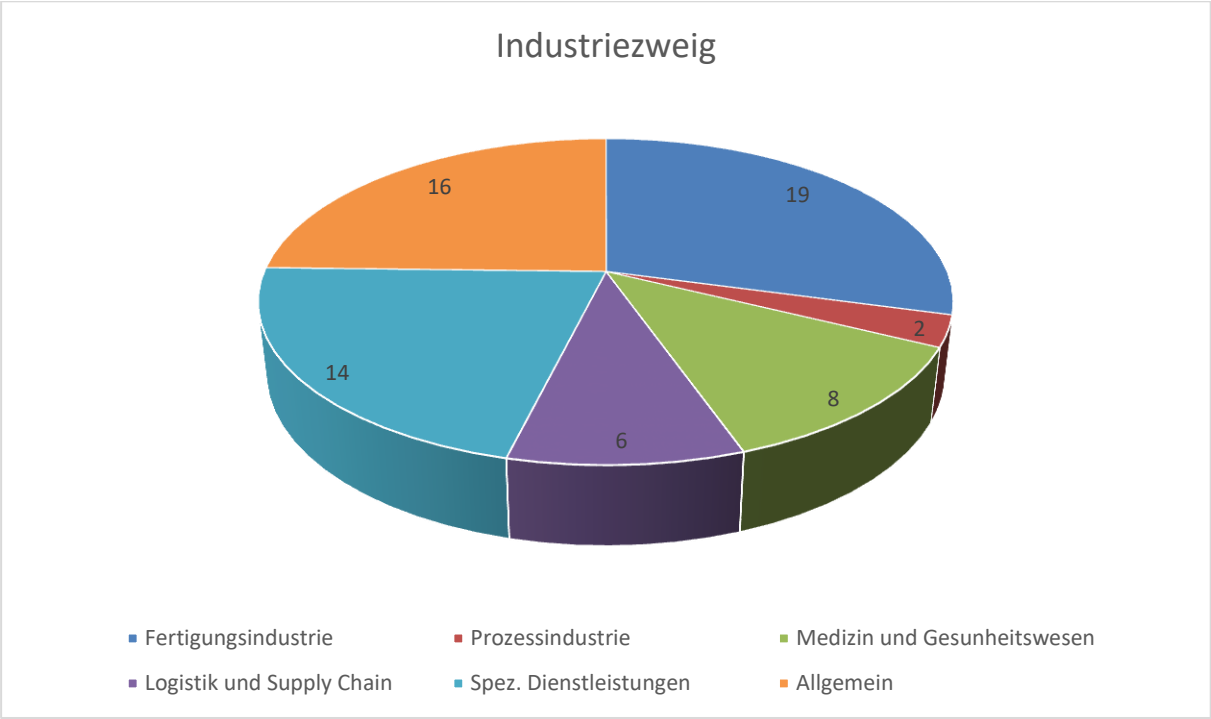

Abbildung 5-2 Resultate - Industriezweige der syst. Literaturrecherche. Eigene Darstellung

Eine weitere interessante Differenzierung ist die Aufspaltung in die Roboterart, die den Robotertyp behandelt, wie in Abbildung 5-3 dargestellt. Dabei ist der klare Vorreiter in der Servicerobotik der mobile Roboter, gefolgt von Manipulatoren, die beide nahezu zwei Drittel der Roboterart einnehmen. Weiter in der Reihenfolge sind interaktive Roboter und Umgebungsroboter sowie Assistenzroboter bilden das Schlusslicht.

Besonders mobile Roboter und Manipulatoren sind gute Indikatoren für Dienstleistungsmerkmale, da sie im Hinblick auf ihre menschenähnlichen Attribute, wie beispielsweise Bewegung und Greifen, viele einfache Aufgaben übernehmen können.

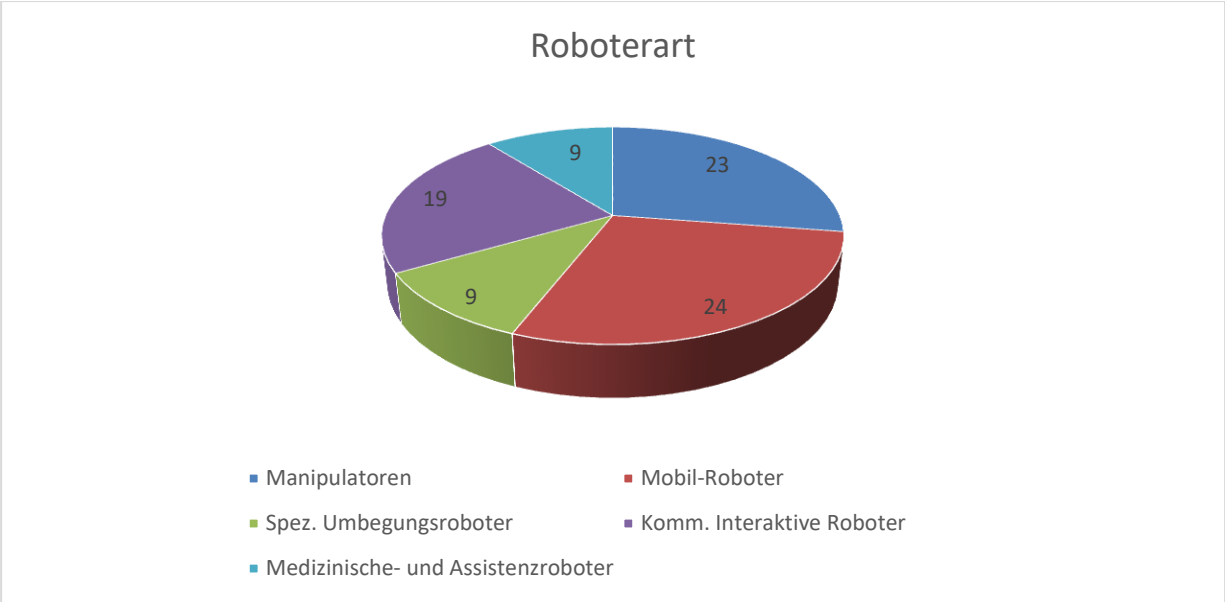

Abbildung 5-3 Resultate - Roboterarten der syst. Literaturrecherche. Eigene Darstellung

5.2.1 Mögliche Korrelation: Industriezweig-Roboterart

In diesem Kapitel wird der Industriezweig in Kombination mit der Roboterart genauer analysiert, um mögliche Verschränkungen zu betrachten.

Die Abbildung 5-4 mit der Überschrift "Industriezweig über die Jahre" stellt ein gestapeltes Flächendiagramm dar, welches die Entwicklung von fünf verschiedenen Industriezweigen von 2013 bis 2023 zeigt. Auf der Y-Achse sind die Anzahlen oder die Werte der verwendeten oder implementierten Robotertechnologien aufgetragen.

Der Höhepunkt der Darstellung im Jahr 2020 deutet auf einen signifikanten Anstieg in allen Kategorien hin, was auf eine verstärkte Automatisierung oder einen Boom in der Robotertechnologie in diesem Jahr hindeutet.

In später Folge können mögliche Parallelen zu der COVID-19 Pandemie gezogen werden. Danach fällt der Gesamtwert bis 2023 wieder ab, bleibt aber höher als in den Jahren vor 2020. Besonders auffällig ist das Wachstum in der Kategorie "Allgemein", die über den beobachteten Zeitraum hinweg kontinuierlich zunimmt. Ein weiterer Auslöser dafür könnte ein gestiegenes Interesse auf die Thematik „Servicerobotik“ sein.

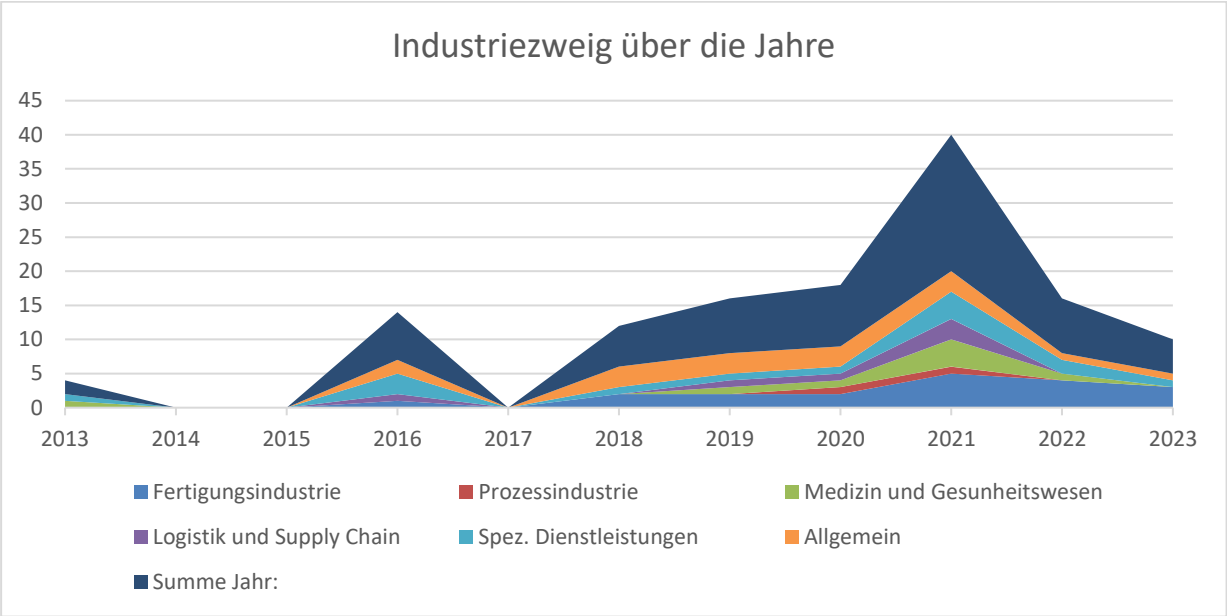

Abbildung 5-4 Resultate - Industriezweig über die Jahre. Eigene Darstellung

Das Kombinationsdiagramm mit Säulen als Typen und einer Summenlinie illustriert, die Verbreitung von verschiedener Roboterarten von 2013 bis 2023. Die Säulendiagramme stellen jährliche Werte für jede Roboterart da, während die Linie die Gesamtanzahl pro Jahr ohne Aufsummierung über die Jahre angibt.

Auffällig ist der starke Anstieg der Kategorie "Mobil-Roboter" im Jahr 2021, was auf eine erhöhte Nachfrage oder Durchbrüche in der Technologie in diesem speziellen Bereich hinweisen könnte. Ein Indiz könnte die laufende COVID-19 Pandemie gewesen sein, da für Desinfektion oder anderen Aufgaben mobile Roboter ein Vorteil wären. Passend wäre auch die Korrelation zwischen den speziellen Dienstleistungen, Medizin und Gesundheitswesen in Abbildung 5-5.

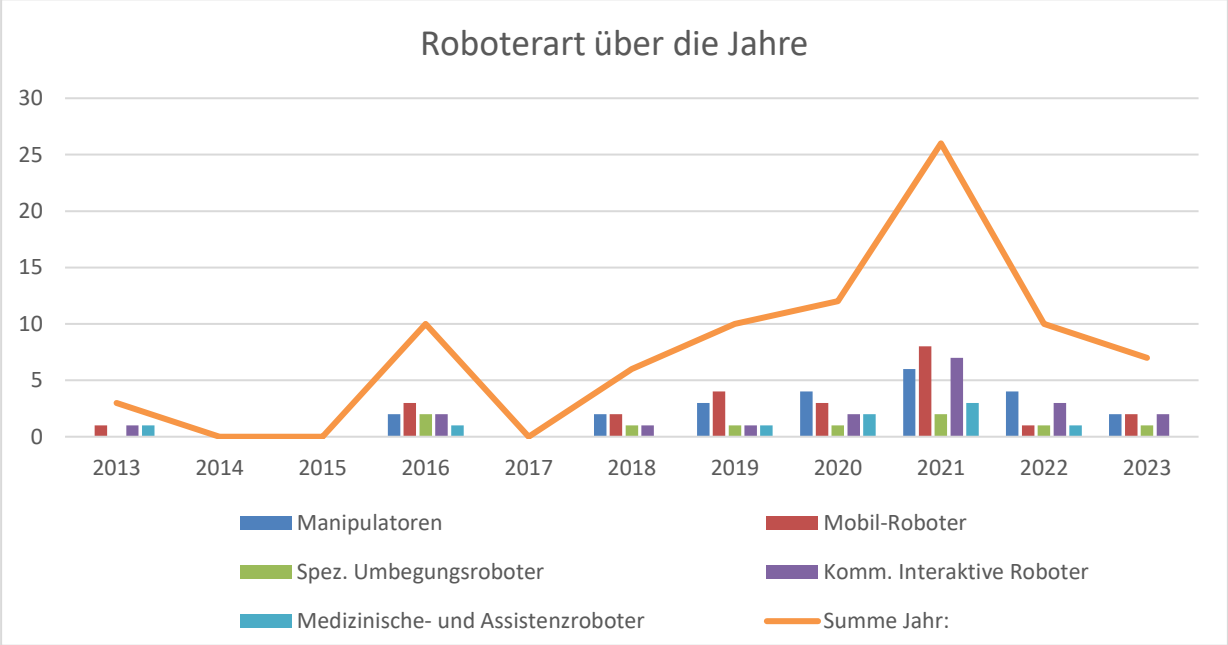

Abbildung 5-5 Resultate - Roboterart über die Jahre. Eigene Darstellung

5.3 Herausforderungen

Das Hauptziel dieser Masterarbeit liegt in der Ermittlung der Herausforderungen und deren durch die Methodik recherchierte Priorisierung. Die technischen Herausforderungen wurden am detailliertesten aufgenommen, da sich im Zuge der Literaturrecherche eine vermehrte Dokumentation von technischen Herausforderungen aufzeigte. Bei der Analyse gab es 15 technische, 5 sicherheitsbezogene, 6 interaktive und soziale und 5 regulatorische und ethische Herausforderungen als Betrachtungskriterien. Dadurch ergaben sich 200% mehr Möglichkeiten für technische Herausforderungen – jedoch nicht grundlegend, da sie nur detaillierter dokumentiert wurden. Abbildung 5-6 zeigt die Summe der detektierten Herausforderungen, wobei jede einzelne Herausforderung als 1 aufsummiert wurde. Bei „Im Verhältnis zu Feldern“ wurde der Detaillierungsgrad durch die Summe dividiert.

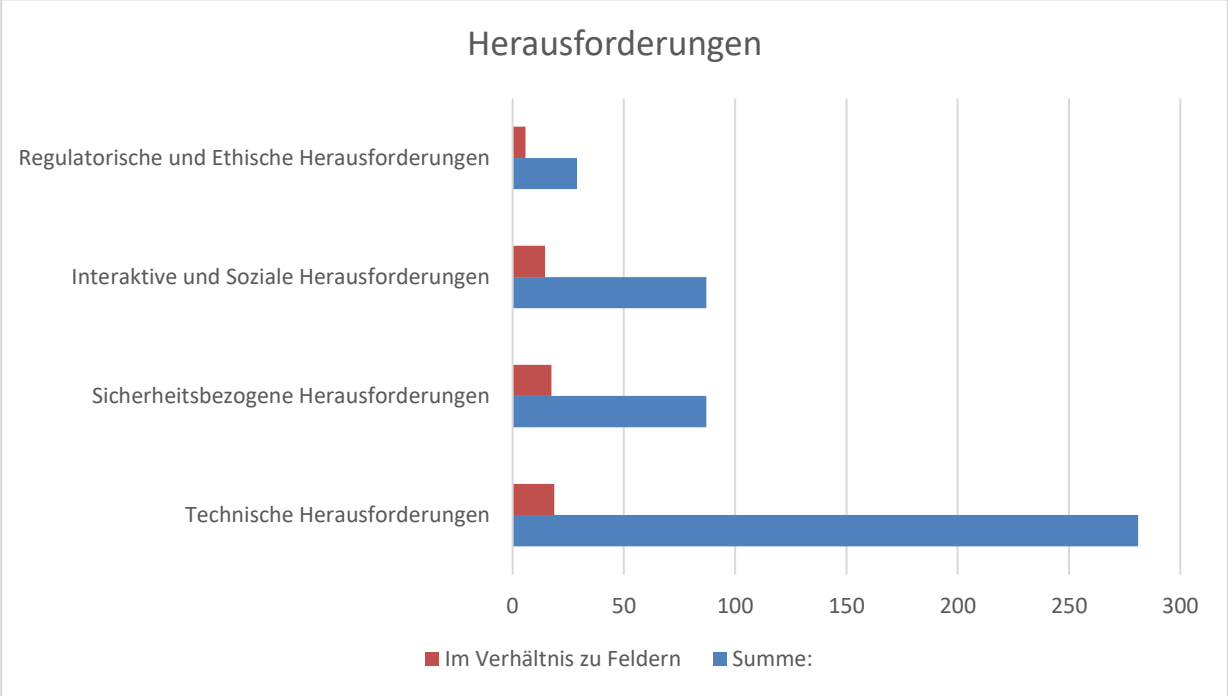

Abbildung 5-6 Resultate - Aufteilung der Herausforderungen. Eigene Darstellung

Einer der interessantesten Statistiken sind die ermittelten „Top 10 Herausforderungen“ in Abbildung 5-7 über alle Kategorien hinweg. Die Daten signalisieren deutlich, dass zwar die „technischen Herausforderungen - Grau“ dominieren, aber die „Einsatzumgebung – Gelb (interaktive und soziale Herausforderungen)“ die größte Herausforderung in der Servicerobotik ist. Ein weiterer nicht-vorhergesehener Aspekt der analysierten Literatur ist, dass das Thema „Return of Investment“, welches unter „regulatorischen und ethische Herausforderungen“ fällt, selten als Problem wahrgenommen wurde. Die Vermutung liegt nahe, dass die meisten Literaturquellen sich mit dem technischen Aufbau und der Integration des Serviceroboters selbst befassen.

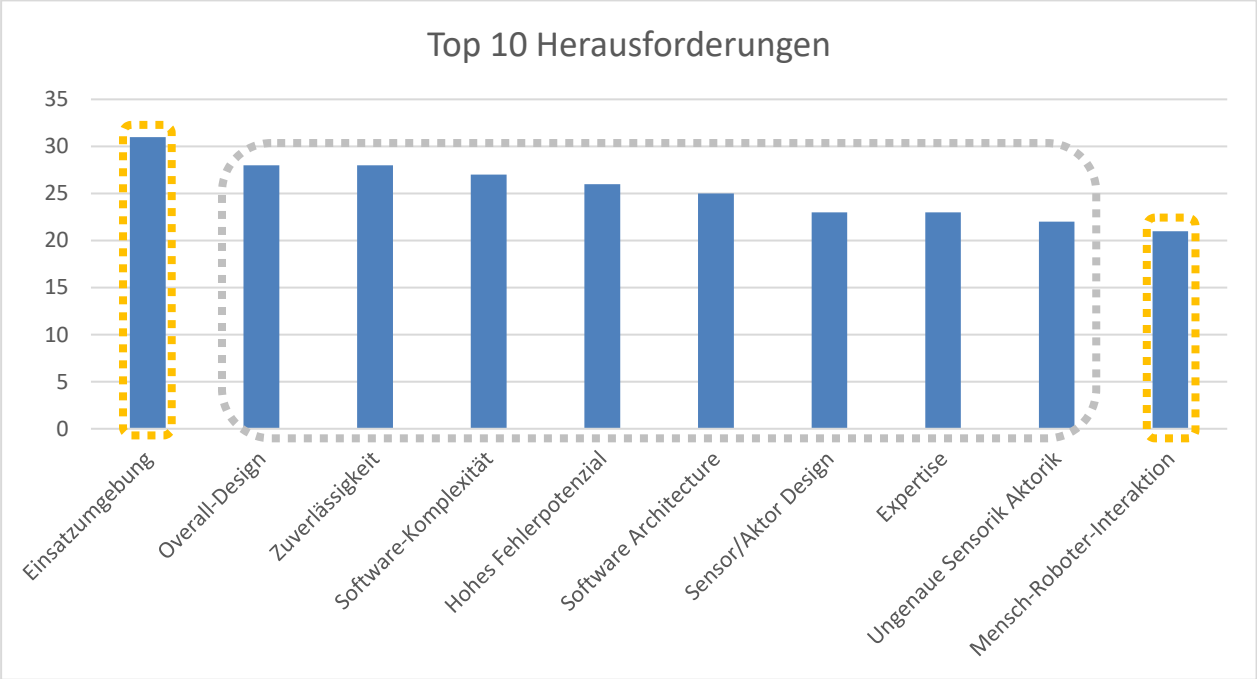

Abbildung 5-7 Resultate - Zehn häufigsten Herausforderungen. Eigene Darstellung

5.4 Lösungen

Das Auffinden von validen Daten als Grundlage für Lösungsansätze, stellte sich als Schwierigkeit dar. In erster Linie konnten oft keine Lösungen für Herausforderungen ausgelotet werde und falls eine Lösung vorlag, dann war sie meist keine verifizierte Lösung. Trotzdem wurde bei der Analyse bei einem Lösungsvorschlag mit kausalem Zusammenhang dieser als Lösung betrachtet.

Abbildung 5-8 visualisiert die erhobenen Daten der Lösungen von der Literaturanalyse. Die Fokussierung auf technische Lösungen ist offensichtlich, mit einer Summe von 119 dokumentierten Lösungen, was einen deutlichen Vorsprung gegenüber anderen Kategorien zeigt. Dies spiegelt den Grad der Detaillierung wider, der bei technischen Lösungen erreicht wird – ein Verhältnis von etwa 19,8, verglichen mit anderen Feldern. Sicherheitsbezogene Lösungen zeigen ebenfalls eine bemerkenswerte Präsenz mit 19 Lösungen, was ein Verhältnis

von 6,3 darstellt. Interaktive und soziale Lösungen, sowie regulatorische und ethische Lösungen sind mit 17 bzw. 2 Lösungen vertreten, was auf ein mittleres bzw. niedriges Niveau der Auseinandersetzung in diesen Bereichen hinweist. Diese Ungleichheiten könnten auf eine tiefere technische Fokussierung oder eine präzisere Dokumentation in der Literatur zurückzuführen sein, während regulatorische und ethische Aspekte möglicherweise weniger Beachtung finden oder schwieriger zu quantifizieren sind.

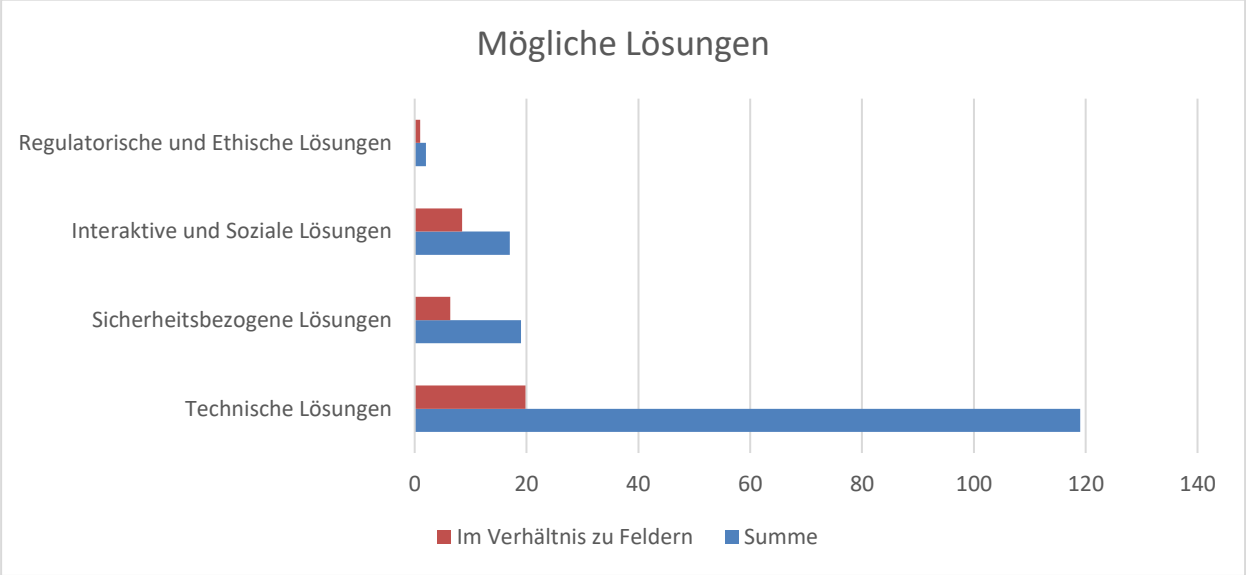

Abbildung 5-8 Resultate - Fünf häufigsten Lösungen. Eigene Darstellung

Die häufigsten fünf Lösungen, die in der Analyse identifiziert wurden und Abbildung 5-9 darstellt, spiegeln eine starke Betonung auf Software-Design und algorithmenbasierte Ansätze wider. Mit 31 identifizierten Lösungen ist das Software-Design führend, dicht gefolgt von Lösungen, die auf Algorithmen basieren, mit 30 Lösungen.

Diese Dominanz unterstreicht die Bedeutung von gut strukturiertem und durchdachtem Design, sowie von intelligenten Algorithmen in der Problemlösung. Sensoren und Aktoren, die eine zentrale Rolle in der Interaktion mit der physischen Welt spielen, sind mit 26 Lösungen auch stark vertreten, was ihre Relevanz in praktischen Anwendungen unterstreicht.

Bessere Hardware ist mit 16 Lösungen vertreten, was auf ein Bewusstsein für die Bedeutung robuster und leistungsfähiger physischer Komponenten hindeutet. Safety-by-Design und Skalierungsstrategien, obwohl weniger häufig mit 12 bzw. 11 Lösungen vertreten, sind dennoch kritische Aspekte, die die Notwendigkeit von Sicherheit und Anpassungsfähigkeit in Systemdesign und -entwicklung betonen. Diese Verteilung zeigt ein klares Bild davon, wo der Schwerpunkt bei der Entwicklung von Lösungen liegt – nämlich in der Optimierung und Intelligenz der Software sowie in der Qualität und Interaktivität der Hardware.

Nichtsdestotrotz könnte es aber auch möglich sein, dass Safety-by-Design ein unterschätzter Schlüssel ist, um die Komplexität eines Systems zu reduzieren. Oftmals wurde Safety-by-Design als Lösungsvorschlag gewählt, damit komplizierte oder komplexe Situationen keinesfalls entstehen können.

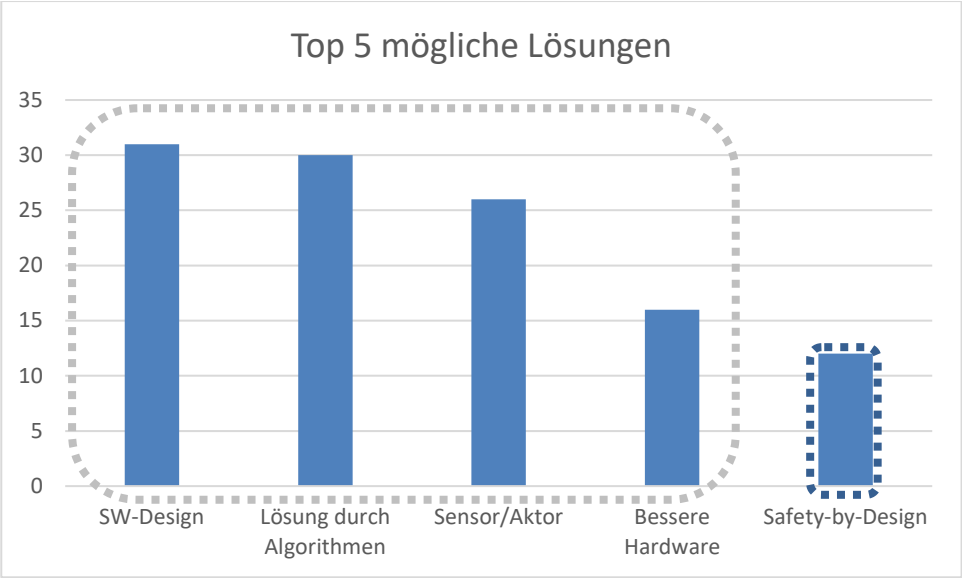

Abbildung 5-9 Resultate - Fünf häufigsten Lösungen. Eigene Darstellung

5.5 Korrelation

In der Abhandlung des Kapitels „Korrelation“ wird trotz des Wissens der nichtaussagekräftigen Datenmenge von nur 40 Datensätzen eine Korrelation zwischen verschiedenen Eingabevariablen hergestellt. Diese Korrelationen werden mit Werten im Bereich von -1 bis 1 quantifiziert, wobei ein Wert von -1 das Fehlen jeglicher Korrelation anzeigt, während 1 eine perfekte Korrelation symbolisiert. Diese Zusammenhänge werden visuell ansprechend durch einen Farbverlauf von Rot, welches keine Korrelation darstellt, zu Grün, das eine vollständige Korrelation repräsentiert, verdeutlicht. Speziell fokussiert sich dieses Kapitel auf zwei Arten von Korrelationen: zum einen die Beziehung zwischen verschiedenen Kategorien von Herausforderungen und zum anderen die Verknüpfung dieser Herausforderungen mit möglichen Lösungsansätzen.

5.5.1 Kategorie – Herausforderung

In Abbildung 5-10 wird gezeigt, wie bestimmte Kategorien mit den Herausforderungen in der Robotik zusammenhängen. Es werden interessante Muster sichtbar, wie zum Beispiel, dass Roboter, die für die Interaktion mit Menschen gedacht sind, oft mit sozialen Problemen konfrontiert sind. Diese Probleme beinhalten Aspekte wie die Mensch-Roboter-Kommunikation und die Akzeptanz durch Benutzer. Obwohl einige Zusammenhänge offensichtlich sind, ist es bemerkenswert, dass Roboter mit Greifarmen, also Manipulatoren, häufiger mit Zuverlässigkeitsproblemen zu kämpfen haben. Ein weiterer spannender Punkt ist, dass im Bereich Medizin und Gesundheitswesen die Roboter anscheinend weniger Schwierigkeiten mit ihrer Software haben als erwartet. Dies deutet darauf hin, dass die Herausforderungen in der Robotik stark variieren können, je nachdem, in welchem Bereich die Roboter eingesetzt werden.

	Industriezweig						Roboterart				
	Fertigungsindustrie	Prozessindustrie	Medizin und Gesundheitswesen	Logistik und Supply Chain	Spez. Dienstleistungen	Allgemein	Manipulatoren	Mobil-Roboter	Spez. Umbegungsroboter	Komm. Interaktive Roboter	Medizinische- und Assistenzroboter
Overall-Design	0,076471911	-0,100125235	0,190940654	0,122226466	-0,091501802	0,311804782	-0,011035753	0,244989472	-0,03919309	-0,032773676	0,222094177
Software complexity	0,125590807	0,159188978	-0,186816179	-0,007474142	-0,162264585	0,239697499	0,051287516	-0,239697499	-0,137408246	-0,195066573	-0,009586622
Software Architecture	0,11633501	0,177704663	-0,387298335	0,036155076	-0,189466187	0,105409255	0,169749828	-0,210818511	-0,077289816	0,012926112	-0,200953521
Middleware	-0,174575555	0,196227812	0,263180678	-0,009213167	0,3517576	0,161164593	0,129768785	0,241746889	0,224526064	0,220689853	0,382088215
Frameworks	-0,11633501	-0,177704663	-0,129099445	-0,036155076	-0,027066598	0,105409255	0,039173037	0,210818511	0,200953521	0,090482786	0,077289816
Framework verwendet	-0,002506266	0,011485152	-0,100125235	0,021030506	0,036735918	0,040875956	0,108866342	0,163503824	0,206804765	0,097744361	0,086917945
Hohes Fehlerpotenzial	-0,141695683	-0,072147911	0,235864088	-0,132110314	0,208791209	0,385164443	0,11132949	0,149786172	0,269864438	0,068223848	0,395382781
Ungenaue Sensorik Aktorik	0,155975953	-0,023057149	0,201007563	0,098513411	0,031606977	0,225667733	0,238886651	0,287213479	0,246697164	-0,045283341	0,246697164
Hardwarekompatibilität	-0,012926112	0,059234888	-7,8831E-17	-0,180775382	0,189466187	0,316227766	0,039173037	0,316227766	-0,04637389	0,090482786	0,077289816
Sensor/Aktor Design	-0,093675689	-0,034806157	0,177002608	0,219527144	-0,005301404	0,289044049	0,283887468	0,227106038	0,22102041	-0,194946705	0,22102041
Failure Testing und Training	0,093675689	0,034806157	-0,050572174	-0,077896728	-0,100726681	0,020646003	0,227621483	-0,123876021	0,021193738	0,194946705	0,142300812
Skalierbarkeit	-0,173183613	-0,168345125	-0,104828484	-0,161468162	0,340659341	0,149786172	-0,11132949	0,171184197	0,106690592	0,141695683	0,106690592
Latenz und Echtzeifähigkeit	0,036735918	-0,168345125	0,026207121	-0,3082574	-0,098901099	0,363766419	0,100726681	0,171184197	-0,144346095	-0,068223848	0,106690592
Energieeffizienz	0,30143725	0,224872398	-0,210042013	0,215686275	-0,3082574	-0,200081683	-0,063733687	-0,085749293	-0,058682803	-0,119172866	-0,226347955
Expertise	-0,194946705	-0,266847204	-0,075858261	-0,205364102	0,100726681	-0,020646003	-0,125319693	-0,082584014	0,22102041	0,108866342	0,099913336
Datensicherheit	-0,259376239	-0,096373885	0,315063019	-0,176470588	0,132110314	0,22866478	-0,063733687	0,200081683	0,108982349	0,161233878	0,2766475
Datenintegrität	-0,032968876	-0,123612847	-0,119736868	-0,226347955	-0,018827751	0,171088301	-0,142300812	0,195529487	-0,290322581	-0,032968876	-0,146953405
Physiche Sicherheit	-0,163503824	0,046829291	0,357217254	0,085749293	-0,064194074	0,0625	0,185814031	0,25	0,171088301	0,245255736	0,415500159
Zuverlässigkeit	0,185717499	0,150187852	-0,081831709	0,122226466	-0,091501802	0,089087081	0,430394369	-0,200445931	0,222094177	-0,032773676	0,091450544
Notfallpläne	0,245984581	0,260132991	-0,188982237	0,264628062	-0,277350098	-0,15430335	0,172030365	-0,3086067	-0,20365327	0,094609454	-0,20365327
Einsatzumgebung	0,152855696	0,123612847	0,119736868	0,226347955	-0,106690592	-0,048882372	0,384514959	-0,073323558	0,146953405	0,152855696	0,146953405
Mensch-Roboter-Interaktion	0,002506266	-0,241188194	0,350438322	-0,30143725	0,068223848	-0,143065846	0,194946705	-0,061313934	0,152855696	0,604010025	0,392629337
Benutzerakzeptanz	-0,125590807	-0,159188978	0,186816179	-0,291491544	0,162264585	-0,13074409	-0,051287516	-0,087162727	0,26522987	0,622609746	0,26522987
Arbeitplatzgestaltung	0,183562931	-0,076471911	-0,166666667	-0,140028008	-0,069885656	-0,102062073	0,286575651	-0,068041382	0,019956145	0,183562931	-0,179605302
Training und Schulung	0,025031309	-0,114707867	-0,09375	-0,210042013	-0,235864088	-0,153093109	0,050572174	-0,229639663	0,179605302	0,525657483	0,179605302
Soz. Kommunikation	-0,086710997	-0,132453236	9,4145E-17	-0,242535625	0,060522753	0,23570226	0,145989291	-0,11785113	0,103695169	0,491362316	0,241955395
Compliance und Zertifizierung	-0,056765672	-0,086710997	0,188982237	-0,158776837	0,039621443	0,15430335	0,324946245	0,15430335	0,158396988	0,397359707	0,339422117
Datenschutz	-0,259376239	-0,096373885	0,315063019	-0,176470588	0,132110314	0,22866478	-0,063733687	0,200081683	0,108982349	0,161233878	0,2766475
Ethik und Verantwortung	-0,119172866	-0,096373885	0,315063019	-0,176470588	-0,014678924	0,085749293	0,219527144	0,057166195	0,2766475	0,441640623	0,444312652
Kosten und ROI	0,088934717	0,196227812	0,263180678	-0,009213167	0,075869286	-0,241746889	0,129768785	-0,026860765	-0,090598237	0,352444989	0,224526064
Nachhaltigkeit	0,245984581	-0,086710997	-0,188982237	-0,158776837	-0,118864328	-0,15430335	0,172030365	-0,15430335	0,158396988	-0,056765672	-0,20365327

Abbildung 5-10 Resultate - Korr. Kategorie - Herausforderungen. Eigene Darstellung

5.5.2 Herausforderung – Lösungen

Abbildung 5-11 fokussiert auf die Beziehung zwischen Herausforderungen und möglichen Lösungen. Überraschenderweise zeigt sich ein ähnliches Muster wie in Abbildung 5-10, wo einige logische Schlussfolgerungen offensichtlich sind. Interessant ist, dass ein verbessertes Software-Design als mögliche Lösung für umfassende Design-Probleme identifiziert wird. Ein weiterer bemerkenswerter Punkt ist der spezifische Wert von -0,4623 bei der Benutzerakzeptanz im Zusammenhang mit Lösungen durch Algorithmen. Dies deutet darauf hin, dass bessere Software-Algorithmen nicht unbedingt eine Lösung für Akzeptanzprobleme darstellen. Es zeigt, dass die Lösung von Akzeptanzproblemen möglicherweise komplexere Ansätze erfordert, die über reine technische Verbesserungen hinausgehen.

	Technische Lösungen						Sicherheitsbezogene Lösungen			Interaktive und Soziale Lösungen		Reg. Und Ethische Lösungen	
	Lösung durch Algorithmen	SW-Design	Sensor/Aktor	Bessere Hardware	Modulare Hardware	Skalierungsstrategien	Verschlüsselung	Redundanz und Failover	Safety-by-Design	Benutzertraining	UI/UX-Design	Compliance-Tools	Ethikmanagement
Overall-Design	0,251976315	0,431123991	0,205879055	-0,02227177	0,08247861	0,158832131	0,150187852	0,08247861	0,19047619	0,054554473	-0,169836724	0,104828484	0,104828484
Software complexity	0,708783584	0,648694742	-0,06154864	-0,414022952	-0,383310771	0,068735158	0,159188978	-0,060522753	-0,011647609	-0,053376051	-0,137408246	0,111111111	0,111111111
Software Architecture	0,387585116	0,448280933	-0,0270666	-0,316227766	-0,331806025	0,245758162	0,177704663	-0,019518001	0,169030851	0	-0,077289816	0,124034735	0,124034735
Middleware	-0,037986859	0,090598237	0,062074871	-0,107443062	0,024868237	0,305757248	-0,10566113	0,223814129	-0,014357683	0,098692754	0,066963914	0,347676748	-0,073749613
Frameworks	0,089442719	0,293701301	0,351865775	-0,210818511	-0,13662601	-0,014456362	0,059234888	-0,13662601	0,169030851	-1,43329E-17	0,077289816	0,206724558	0,206724558
Framework verwendet	0,086710997	0,152855696	0,278143379	-0,265693714	-0,056765672	0,086892022	0,011485152	0,245984581	0,032773676	0,025031309	0,086917945	0,168345125	0,168345125
Hohes Fehlerpotenzial	0,060522753	0,106690592	0,340659341	0,064194074	0,118864328	0,217162927	0,168345125	0,118864328	0,137252703	0,104828484	-0,106690592	0,117501941	0,117501941
Ungenaue Sensorik Aktorik	-0,058025885	-0,126357084	0,600532564	0,225667733	0,341881729	0,106915498	0,207514339	0,037986859	0,372839294	0,075377836	-0,114323076	0,144841365	0,144841365
Hardwarekompatibilität	-0,02981424	-0,077289816	0,243599383	0,316227766	0,331806025	0,332496337	0,059234888	0,175662013	0,281718085	-7,8831E-17	-0,293701301	0,206724558	-0,124034735
Sensor/Aktor Design	0,087593574	0,021193738	0,535441833	0,289044049	0,324946245	0,07645045	0,19723489	0,172030365	0,342108345	-0,075858261	-0,263407886	0,13766649	0,13766649
Failure Testing und Training	0,029197858	0,099913336	0,100726681	0,227106038	0,286717275	0,263329326	0,034806157	0,439633155	0,430394369	0,202288695	0,021193738	0,186254663	0,186254663
Skalierbarkeit	0,060522753	0,269864438	0,318681319	-0,064194074	0,039621443	0,72192	0,072147911	0,198107213	0,320256308	0,28827833	0,106690592	0,21821789	0,21821789
Latenz und Echtzeifähigkeit	0,18156826	0,269864438	-0,01098901	-0,064194074	-0,118864328	0,134993171	0,312640946	0,039621443	0,091501802	0,157242726	-0,395382781	0,21821789	-0,117501941
Energieeffizienz	0,242535625	0,226347955	0,014678924	0,22866478	0,052925612	-0,101920823	0,224872398	0,264628062	0,030556617	-0,035007002	-0,226347955	-0,067267279	-0,067267279
Expertise	-0,029197858	0,142300812	0,005301404	0,185814031	0,019114485	0,189710375	-0,034806157	0,172030365	0,342108345	0,429863477	-0,021193738	0,13766649	0,13766649
Datensicherheit	0,242535625	0,058682803	-0,13211031	0,085749293	0,052925612	0,21168171	0,546118681	0,052925612	0,030556617	0,140028008	-0,058682803	-0,067267279	-0,067267279
Datenintegrität	0,172825282	0,290322581	-0,10669059	0,171088301	-0,022628141	0,204471316	0,425777582	-0,022628141	0,300480357	-0,119736868	-0,290322581	-0,086279596	-0,086279596
Physiche Sicherheit	-0,23570226	-0,29329423	0,064194074	0,270833333	0,3086067	0,068572548	0,280975743	0,3086067	0,467707173	0,229639663	-0,073323558	0,196116135	0,196116135
Zuverlässigkeit	0,251976315	0,169836724	0,205879055	-0,133630621	-0,24743583	0,158832131	-0,100125235	0,24743583	0,19047619	0,054554473	-0,169836724	0,104828484	0,104828484
Notfallpläne	0,21821789	0,20365327	-0,03962144	2,56967E-17	-0,142857143	-0,063485843	0,260132991	0,542857143	-0,08247861	5,24531E-17	-0,20365327	-0,060522753	-0,060522753
Einsatzumgebung	0,103695169	-0,003584229	0,106690592	-0,048882372	0,022628141	0,063687787	0,123612847	0,20365327	0,222094177	0,269407953	-0,139784946	0,086279596	0,086279596
Mensch-Roboter-Interaktion	-0,317940322	-0,272742516	0,036735918	0,061313934	0,056765672	0,137345454	0,21821789	-0,094609454	0,076471911	0,350438322	0,392629337	0,152312256	0,152312256
Benutzerakzeptanz	-0,462250164	-0,26522987	0,061548636	-0,021790682	0,060522753	0,170343653	0,085717142	0,060522753	0,128123702	0,320256308	0,648694742	-0,111111111	0,230769231
Arbeitplatzgestaltung	-0,384900179	-0,219517591	0,244599795	0,238144836	0,125988158	0,167967753	0,305887645	0,377964473	0,327326835	0,041666667	0,019956145	-0,053376051	-0,053376051
Training und Schulung	-0,144337567	-0,179605302	-0,02620712	-0,025515518	-0,188982237	0,111978502	0,1720618	6,16324E-17	0,21821789	0,6875	0,179605302	0,320256308	0,320256308
Soz. Kommunikation	0,2	0,172825282	-0,06052275	-0,23570226	-0,043643578	0,290928683	0,132453236	-0,043643578	0,125988158	0,288675135	0,518475847	0,277350098	0,277350098
Compliance und Zertifizierung	0,043643578	0,20365327	0,277350098	0,15430335	0,085714286	0,275105321	0,260132991	0,085714286	0,412393049	0,188982237	-0,022628141	0,423659273	-0,060522753
Datenschutz	0,242535625	0,058682803	-0,13211031	0,085749293	0,052925612	0,21168171	0,546118681	0,052925612	0,030556617	0,140028008	-0,058682803	-0,067267279	-0,067267279
Ethik und Verantwortung	-0,080845208	-0,108982349	0,161468162	0,22866478	0,052925612	0,054880443	0,224872398	0,052925612	0,336122782	0,315063019	0,2766475	-0,067267279	0,38118125
Kosten und ROI	-0,189934294	-0,224526064	-0,07586929	0,29546842	0,024868237	0,011051467	0,196227812	0,422760022	0,129219148	0,427668602	-0,248160387	-0,073749613	-0,073749613
Nachhaltigkeit	0,21821789	0,20365327	0,118864328	0,3086067	0,085714286	0,105809739	0,260132991	0,085714286	0,08247861	1,04906E-17	-0,20365327	-0,060522753	-0,060522753

Abbildung 5-11 Resultate - Korr. Herausforderung - Lösungen. Eigene Darstellung

6 DISKUSSION

Das Finale Kapitel „Diskussion“ dient als Zusammenfassung, Interpretation sowie Hypothesenprüfung der vorhin zusammengetragenen Daten, welche die Säulen dieses Werkes sind. Weiters wird aufbauend eine konkrete Handlungsempfehlung für die Entwicklung und Integration von Servicerobotern geboten, die die ermittelten Herausforderungen und Lösungen widerspiegeln. Abschließend wird eine kurze kritische Reflexion präsentiert, gefolgt von einer aufschlussreichen Diskussion über die Grenzen und mögliche Wege für zukünftige Forschungen.

6.1 Aufgabenstellung und Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird hauptsächlich Bezug auf Kapitel 1 genommen, das die Motivation, Problem- und Fragestellung dieser Arbeit behandelt. Im Zentrum der Arbeit steht die ausführliche und wissenschaftliche Beantwortung der eingangs formulierten Forschungsfrage. Zusätzlich zu dieser zentralen Frage wurden vier Hypothesen formuliert, die in engem Zusammenhang mit der Forschungsfrage stehen und überprüft werden müssen.

Die Kapitel „2. Servicerobotik“ und „3. Implementierung und Integration“ legen mit ihrem theoretischen Hintergrund das Fundament für die Arbeit. Hierbei wurde eine Definitionsunsicherheit im Bereich der Servicerobotik festgestellt: Es existiert keine einheitliche Definition eines Serviceroboters in der Industrie, die auf allen Ebenen gleich interpretiert wird. Es folgt eine Diskussion über Trends und die allgemeine Notwendigkeit von Servicerobotern sowie ein Ausblick auf aktuelle Trends und Technologien. Das zweite große Theoriekapitel konzentriert sich auf die Implementierung und Integration von Servicerobotern, einschließlich ihres Aufbaus und der damit verbundenen Arbeit und Leistung.

Kapitel 4 widmet sich der Methodik dieser Masterarbeit, mit einem besonderen Fokus auf die systematische Literaturrecherche gemäß dem PRISMA-Statement. Das PRISMA-Statement dient der präzisen und wissenschaftlichen Dokumentation der Variablen für die Literaturrecherche. Beide, das PRISMA-Statement und die systematische Literaturrecherche, wurden zuerst theoretisch besprochen und dann in der Praxis angewandt. Besonderes Augenmerk wurde auf eine umfassende Analyse der Daten gelegt, um deren Wiederverwendung zu ermöglichen. Eine breitgefächerte, selbst durchgeführte Recherche bildete die Grundlage dafür.

Kapitel 5 visualisiert das durch die systematische Recherche gewonnene Wissen und deren Daten. Mithilfe der Visualisierungen konnten die Daten besser verstanden und als Grundlage für Interpretationen genutzt werden. Dieses Kapitel bildet die Basis für die Beantwortung der Forschungsfrage, die Überprüfung der Hypothesen und die Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen.

6.2 Interpretation der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche aufgegriffen, interpretiert und für die anschließende Überprüfung von Hypothesen sowie für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen vorbereitet. Bereits in Kapitel 4.5.1 wurde versucht, durch schrittweise verfeinerte Kriterien eine präzise Unterteilung zu erreichen, um Herausforderungen und Lösungen genau identifizieren zu können. Allerdings war es teilweise schwierig, diese Aufteilung exakt umzusetzen. Manche Herausforderungen waren zu selten oder zu detailliert beschrieben, sodass sie in ein bestehendes Kriterium hineininterpretiert werden mussten, oder Probleme wurden nicht ausreichend detailliert dargestellt.

Zudem gab es Fälle, in denen Herausforderungen in den untersuchten Literaturen erwähnt wurden, aber keine passenden Lösungen dazu gefunden wurden. Dies führte zu der Annahme, dass in dem Datensatz bestimmte Herausforderungen oder Probleme theoretisch lösbar sind, aber diese Lösungen nicht dokumentiert und daher nicht als gültige Lösungen in den Kriterien aufgenommen wurden.

Auffällig ist auch die hohe Anzahl an Kriterien bei technischen Herausforderungen. Die meisten Quellen konzentrierten sich in der Entwicklung und Integration auf die Dokumentation technischer Schwierigkeiten. Vor allem ein kurzer Hinblick auf Abbildung 5-7 lässt die technischen Probleme überwiegend herausstechen und zeigt deren einseitige Belastbarkeit.

Dies wirft die Frage auf, ob diese im Vergleich zu anderen, wie wirtschaftlichen oder ethischen Herausforderungen, komplexer sind und deshalb umfangreicher dokumentiert werden. Oder es könnte sein, dass technische Aspekte einfacher zu dokumentieren sind als wirtschaftliche oder ethische. Es scheint jedoch auch, dass bis zur Phase der Integration und sogar danach, wirtschaftliche und ethische Überlegungen dramatischerweise oft vernachlässigt werden.

Weiterhin könnte ein Grund dafür sein, dass nur wenige Studien Roboter im Zusammenhang mit Ethik behandeln, da dieses Thema sehr gerade aufkommt und möglicherweise noch nicht ausreichend erforscht ist. Die Konzentration auf technische Aspekte in der Servicerobotikforschung könnte auch darauf hindeuten, dass ethische und wirtschaftliche Überlegungen in der aktuellen Forschungslage unterrepräsentiert sind, was eine kritische Lücke in der umfassenden Bewertung von Robotertechnologien darstellt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer multidisziplinären Herangehensweise in der Robotik, die technische, wirtschaftliche und ethische Perspektiven gleichermaßen berücksichtigt, um ganzheitliche und nachhaltige Lösungen für die Herausforderungen der Robotik zu entwickeln.

COVID-19 oder genereller Trend?

Während der COVID-19-Pandemie, die Ende 2019 ihren Anfang nahm (Sozialministerium, 2023), erlebte die Robotikforschung einen beispiellosen Aufschwung (Bendel, 2020).

Dieser Trend, der seinen Höhepunkt im Jahr 2021 erreichte, spiegelt die gesteigerte Forschungstätigkeit, ersichtlich in Abbildung 6-1 wider. Ein mögliche Korrelation in diesem Fall könnte die erhebliche Nachfrage nach Robotertechnologien sein (Bendel, 2020).

Wenn man den Zeitraum von 2017 bis 2023 näher betrachtet und dabei mobile Serviceroboter hinsichtlich ihrer Einsatzgebiete wie Desinfektionstätigkeiten, mobile Dienstleistungen und interaktive Roboter zur Förderung der verbalen Kommunikation zwischen Menschen kategorisiert, zeigt Abbildung 6-1 einen deutlichen Trend nach oben.

Dies deutet darauf hin, dass die COVID-19-Pandemie möglicherweise einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung in der Servicerobotik gehabt hat, was die Aussage von Gonzalez-Aquirre et. al. (2021) unterstreichen würde. Es ist jedoch zu beachten, dass bereits vor der Pandemie, seit 2013, ein ansteigender Trend in der Nutzung von Servicerobotern zu beobachten war.

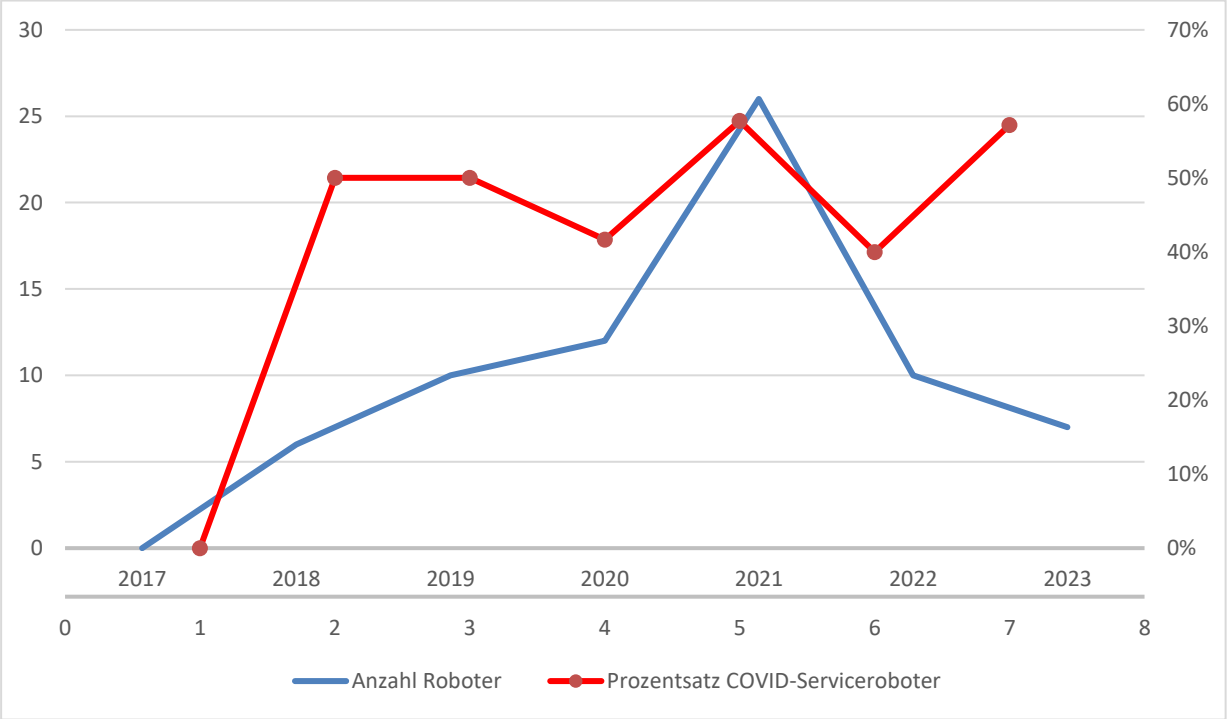

Abbildung 6-1 Diskussion - Aufschwung Covid-19 Serviceroboter: empirisch. Eigene Darstellung

Jedoch bleibt unklar, ob der Aufschwung der Servicerobotik nur ein kurzfristiges Phänomen war oder ob er auch ohne die Pandemie stattgefunden hätte. Nichtsdestotrotz lässt sich feststellen, dass die Pandemie zumindest einen Teil zum Anstieg beigetragen hat. Es könnte auch andere Faktoren geben, die zur Popularität der Servicerobotik beigetragen haben, wie technologische Fortschritte und ein wachsendes Bewusstsein für die Vorteile der Automatisierung.

Insgesamt zeigt sich, dass die Pandemie als ein Beschleuniger für die bereits bestehende Tendenz zur verstärkten Nutzung von Servicerobotern fungiert hat und deren Anwendungsbereiche sich in dieser Zeit deutlich erweitert haben.

6.3 Hypothesenprüfung

In diesem speziellen Unterkapitel konzentriert sich die Diskussion auf die Überprüfung der Hypothesen, die zu Beginn der Arbeit formuliert wurden.

Es wird eine erneute Betrachtung der Nullhypothesen und der Alternativhypothesen für jede der Hypothesen von H1 bis H4 vorgenommen. Nach dieser Betrachtung erfolgt eine gründliche Analyse, in der jede Hypothese auf ihre Gültigkeit hin untersucht und entweder bestätigt oder, falls notwendig, verworfen wird.

Der Prozess beinhaltet eine sorgfältige Bewertung der vorliegenden Daten und Forschungsergebnisse, um zu bestimmen, ob die ursprünglichen Annahmen der Studie haltbar sind oder revidiert werden müssen.

6.3.1 H1 – Technologie dominiert die Herausforderungen

$H1_0$: Der Großteil aller Herausforderungen, innerhalb der zehn häufigsten Herausforderungen in der Entwicklung und Integration von Servicerobotern sind technischer Natur, wie Sensorik, Aktorik und Software-Architektur.

$H1_1$: Obwohl technische Aspekte eine Rolle spielen, sind sie nicht der dominante Faktor in der Entwicklung und Integration von Servicerobotern.

In der Auswertung der Literaturrecherche, explizit in Abbildung 5-7 hat sich eine starke Gewichtung in Richtung technischer Herausforderungen abgezeichnet, was den Aussagen von García et al. (2020) unterstreicht. Zwar ist keine technische Herausforderung an der Spitze, aber über 50% wird von technischen Herausforderungen dominiert, weswegen die Nullhypothese gültig ist und die Alternativhypothese verworfen wird.

6.3.2 H2 – Regulatoren und Ethik

$H2_0$: Regulatorische und ethische Herausforderungen zählen zu den zehn häufigsten Herausforderungen bei der Integration von Servicerobotern, da sie grundlegende Bedingungen für den Einsatz und die Akzeptanz dieser Technologien in der Gesellschaft festlegen.

$H2_1$: Trotz regulatorischer und ethischer Aspekte bei der Entwicklung und Integration von Servicerobotern spielen diese Faktoren laut Literatur kaum eine Rolle und zählen daher auch nicht zu den zehn häufigsten Herausforderungen, da technische Probleme in der Vorrangigkeit überwiegen.

Überraschenderweise wurden kaum regulatorische und ethische Herausforderungen, als solche erwähnt bzw. dokumentiert, was zur Folge hat, dass selten diese Kriterien beleuchtet wurden und zu keiner Gewichtung geführt haben. Letzten Endes hat es keine der regulatorischen und

ethische Herausforderungen in die zehn häufigsten geschafft, aus welchem Grund die Nullhypothese verworfen wird und die Alternativhypothese Gültigkeit hat.

6.3.3 H3 – Einsatzumgebung

$H3_0$: Die spezifischen Anforderungen spezieller Einsatzumgebungen (zum Beispiel bei industriellen Bedingungen, Schmutz) sind Hindernisse für die effektive Integration von Servicerobotern und somit unter den zehn größten Herausforderungen.

$H3_1$: Die Einsatzumgebung stellt keine Herausforderung dar, welche die Integration erschwert.

Der technischen Dominanz entgegen hat sich die Einsatzumgebung von Servicerobotern als größte Schwierigkeit gezeigt. Auch in diesem Fall kann auf García et. al. (2023) verwiesen werde, da die projektspezifische Einsatzumgebung einen erheblichen Einfluss auf den Prozess hat. Damit bewahrheitet sich die Nullhypothese und die Alternativhypothese kann verworfen werden.

6.3.4 H4 – Technologische Lösungen

$H4_0$: Die fünf häufigsten möglichen Lösungen für die Entwicklung und Integration von Servicerobotern sind technischer Natur, was zur Annahme führt, dass Verbesserungen in der Servicerobotik primär durch technologische Fortschritte erzielt werden.

$H4_1$: Auch wenn technische Lösungen entscheidend sind, gehören sie nicht zu den fünf häufigsten der möglichen Lösungen für die Integration von Servicerobotern, da andere Faktoren wie Benutzerfreundlichkeit, Akzeptanz und Anpassungsfähigkeit an verschiedene Umgebungen ebenso wichtig sind.

Schon in den Kriterien für Herausforderungen und möglichen Lösungsansätzen in der Literaturrecherche zeigte sich, dass die Dokumentation in der Literatur technisch getrieben und einseitig ist. Dies ließ schon frühzeitig erkennen, dass die möglichen Lösungen meist technischer Natur sind, weshalb die Nullhypothese bestätigt wird und die Alternativhypothese verworfen werden kann.

6.4 Konkrete Handlungsempfehlung

Die systematische Literaturrecherche und die strukturierte Herangehensweise liefern wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung und Integration von Servicerobotern in der Industrie.

Es ist anzumerken, dass es vermutlich keine allumfassende Lösung für jede spezifische Herausforderung gibt. Stattdessen sollte das Hauptaugenmerk darauf liegen, die Anzahl der Herausforderungen zu minimieren und vorhandene Probleme effektiv und effizient zu bewältigen.

Am Anfang dieses Prozesses steht das tiefgreifende Verständnis für die jeweilige Situation, in der Serviceroboter eingesetzt werden sollen. Hierbei ist es wichtig, die Anforderungen genau zu definieren und zu analysieren. Zu den Kernfragen gehören: Welche Aufgaben sollen die Roboter übernehmen, welches Budget steht zur Verfügung, und wie sieht es mit potenziellen regulatorischen sowie ethischen Herausforderungen aus?

Zur Gewährleistung eines umfassenden Überblicks empfiehlt es sich, Workshops oder andere Methoden zur Informationsgewinnung einzusetzen. Dies hilft dabei, die meisten offenen Fragen zu klären. Zudem ist es von großem Vorteil, sich bereits im Vorfeld ausreichend Expertise zu sichern. Eine frühzeitige Erörterung potenzieller Fehlerquellen trägt dazu bei, diese von Anfang an zu vermeiden und bewirkt dadurch einen effizienteren Entwicklungsprozess.

Bei der Entwicklung und Integration von Servicerobotern in der Industrie ist eine enge und kooperative Zusammenarbeit aller beteiligten Parteien unabdingbar. Dieser Vorgang ermöglicht es, diverse Herausforderungen im Vorhinein zu identifizieren und entsprechend entgegenzuwirken.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche unterstreichen die Bedeutung einer genauen Definition der Einsatzumgebung und der zu erwartenden Hindernissen. Eine präzise Definition dieser Faktoren ist entscheidend, um unerwartete Probleme, bei denen der Roboter an seine Grenzen stoßen könnte, zu vermeiden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Konzentration auf das Design des Roboters. Viele Probleme entstehen aufgrund einer nicht mangelnden Planung des Gesamtdesigns oder der Komponenten, die für den realen Einsatz vorgesehen sind. Herausforderungen wie die Ungenauigkeit der Hardware, die zu einem hohen Fehlerpotenzial führen kann, sind oft schwierig im Nachgang zu korrigieren. Es wird daher häufig versucht, solche technischen Hürden durch Softwareanpassungen zu kompensieren, was wiederum die Komplexität der Software erhöht und zu weiteren Stolpersteinen führen kann.

Zuletzt sollte der menschliche Faktor keineswegs vernachlässigt werden. Der Serviceroboter ist dazu bestimmt, Aufgaben zu übernehmen, die normalerweise in enger Interaktion mit Menschen stattfinden – sei es durch Bedienung, Kommunikation oder generellen Berührungspunkten. Obwohl es scheinen könnte, als würde die Interaktion aus Prozesssicht eine nahezu optimale Lösung darstellen, könnte sie bei realen Bedingungen negative Verhaltensmuster zeigen und zu zusätzliche Herausforderungen führen. Frühe Integrationstests sind daher von großer Bedeutung, um solche Interaktionsprobleme frühzeitig zu erkennen und vor dem produktiven Einsatz zu beheben.

6.5 Beantwortung der Forschungsfrage

Anfangs dieser Arbeit wurde folgende Forschungsfrage definiert:

„Welche möglichen Herausforderungen ergeben sich bei der Entwicklung und der Integration von Servicerobotern in der Industrie und wie könnten diese Herausforderungen bewältigt werden?“

Bei näherer Betrachtung wurde die Frage nochmal umgeformt, um sie eindeutiger als auch messbarer zu formulieren. Als zu beantwortende Frage stellte sich:

„Welche zehn häufigsten Herausforderungen ergeben sich bei der Entwicklung und der Integration von Servicerobotern in der Industrie und was sind die fünf häufigsten Lösungsvorschläge?“

Bereits in Kapitel 6.3 finden sich Anzeichen für die mutmaßlich größten Herausforderungen in der Servicerobotik. Die Nullhypothesen $\mathbf{H1_0}$ und $\mathbf{H3_0}$ wurden bestätigt, was als Teilbeantwortung der Forschungsfrage dient.

Entscheidend für eine korrekte Beantwortung der Forschungsfrage sind jedoch Kapitel 5.3, in dem die Herausforderungen diskutiert werden, und Kapitel 5.4, das einen Überblick über mögliche Lösungsansätze bietet.

Herausforderungen:

Als **zehn** häufigste Herausforderungen, welche eine Teilantwort auf die Forschungsfrage zu den Herausforderungen ist, wurden folgende ermittelt:

1. Einsatzumgebung
2. Overall-Design
3. Zuverlässigkeit
4. Software-Komplexität
5. Hohes Fehlerpotenzial
6. Software Architecture
7. Sensor/Aktor Design
8. Expertise
9. Ungenaue Sensorik/Aktorik
10. Mensch-Roboter-Interaktion

Abbildung 6-2 stellt nochmals die zehn am häufigsten ermittelten Herausforderungsmethoden vor, die in der systematischen Literaturrecherche eingehend behandelt wurden.

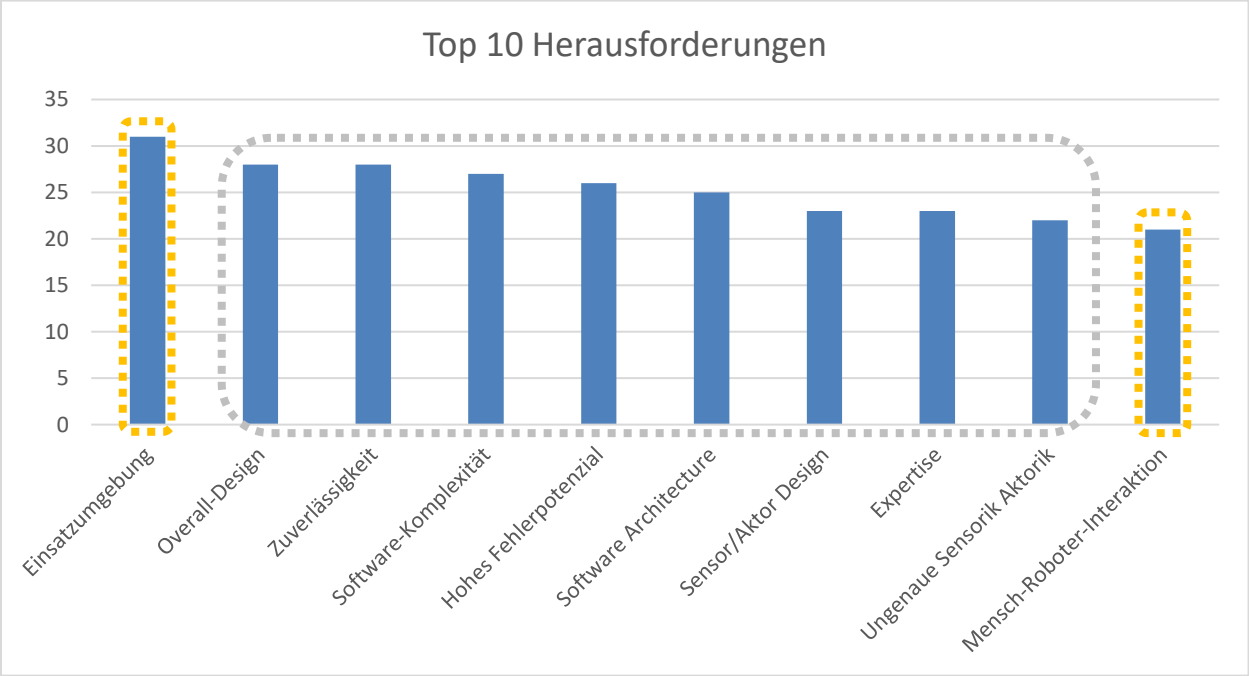

Abbildung 6-2 Diskussion - Resultate - Zehn häufigsten Herausforderungen. Angelehnt an Kapitel 5.3

Lösungen:

Als **fünf** häufigste Lösungen, welche eine Teilantwort auf die Forschungsfrage zu den Lösungen ist, wurden folgende ermittelt:

1. Software-Design
2. Lösung durch Algorithmen
3. Sensor/Aktor (präzisere Erfassung/Akkuratere Endstellungen)
4. Bessere Hardware (Leistungsfähigere Prozessoren, mehr Funktionalität, etc.)
5. Safety-by-Design

Abbildung 6-3 präsentiert erneut die fünf am häufigsten identifizierten Lösungsansätze, die in der systematischen Literaturrecherche ausführlich diskutiert wurden.

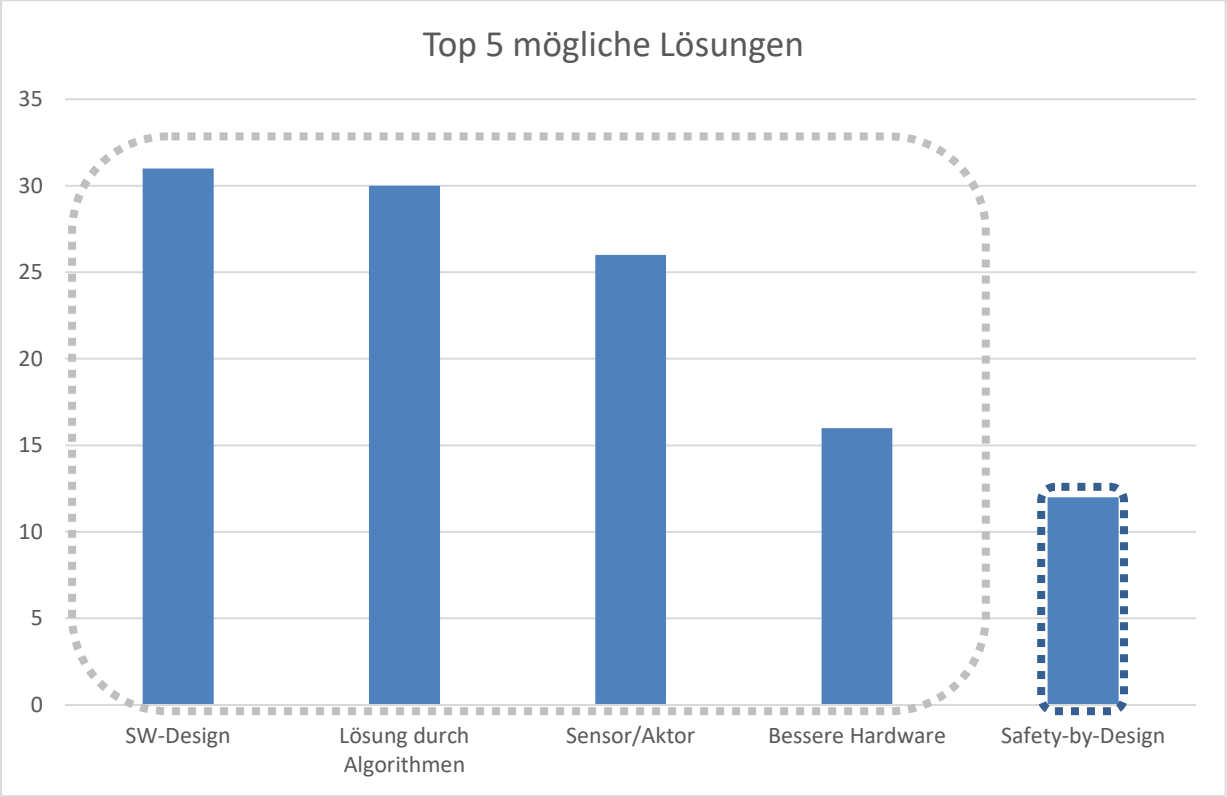

Abbildung 6-3 Diskussion - Resultate - Fünf häufigsten Lösungen. Angelehnt an Kapitel 5.4

6.6 Kritische Reflexion, Limitationen und Forschungsmöglichkeiten

Das Hauptziel dieser Arbeit besteht darin, einen umfassenden Überblick über das Thema Servicerobotik in der Industrie zu bieten, dabei auftretende Probleme und vorgeschlagene Lösungen zu verknüpfen. Ziel ist es, das Vertrauen in den zukünftigen Einsatz von Robotik zu stärken und neue Möglichkeiten in der Automatisierung aufzuzeigen.

Ursprünglich war geplant, das Thema durch theoretisches Wissen zu untermauern und mittels Experteninterviews Herausforderungen und Lösungen zu identifizieren. Jedoch wurde sich schließlich gegen diesen Ansatz entschieden. Stattdessen wurde die Entscheidung getroffen, eine Meta-Analyse, wie sie hier vorliegt, zu erstellen und existierende Literatur zu nutzen, um ein breites Spektrum an Herausforderungen objektiv darzustellen, was als ein vielversprechenderer Ansatz angesehen wurde.

Die Auswahl geeigneter Literatur erwies sich als etwas herausfordernd. Einerseits gab es für dieses Thema weniger Literatur als für andere Bereiche, andererseits ist häufig wertvolles Wissen nicht öffentlich zugänglich. Es ist wahrscheinlich, dass umfassenderes Wissen in Unternehmen vorhanden ist, die bereits Serviceroboter implementiert haben, jedoch Herausforderungen und Lösungen nicht ausführlich für die Öffentlichkeit dokumentiert wurden.

Beim Vorgang gibt es immer Möglichkeiten zur Optimierung, wie die Verwendung breiterer Suchbegriffe oder das Screening mehrerer Quellen. Leider konnte aufgrund zeitlicher Ressourcen nicht unbegrenzt in diese Richtungen erweitert werden. Bei der Methodik selbst gibt es vermutlich wenige Verbesserungsmöglichkeiten, da sie auf bereits bewährten Methoden basiert.

Als weitere Forschungsoption wäre eine gezielte Befragung von Unternehmen, die die Entwicklung und Integration von Servicerobotern abgeschlossen haben, um basierend auf den erarbeiteten Herausforderungen und Lösungen eine breitere Datenbasis zu schaffen. Diese Daten würden mehr Spielraum für eine statistische Datenanalyse bieten und könnten zu präziseren Ergebnissen führen.

Auch eine Vielzahl von Experteninterviews könnte die Möglichkeit bieten, externe Perspektiven besser zu erschließen und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Allerdings hat sich gezeigt, dass tiefgreifendes industrielles Expertenwissen meist bei den Unternehmen selbst liegt und daher schwer zugänglich ist.

ANHANG A - Quellen der syst. Literaturrecherche

Ang, M. H., Khatib, O. & Siciliano, B. (Hrsg.). (2020). Encyclopedia of Robotics. Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41610-1

Aryskin, A. A., Bogdanovich, A., Davydov, O., Khelemendik, R., Petrakov, M. & Pryanichnikov, V. Control and Interaction Algorithms for Industrial and Service Robots, 18, 377–384. https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2019.33

Ata Jahangir Moshayedi, Ge Xu, Liefa Liao, Amin Kolahdooz. Gentle Survey on MIR Industrial Service Robots: Review & Design, 2021, 31–50. https://journals.iau.ir/article_681600_2bdc3049f17b0118d98376426dac3b6f.pdf

Brunner, S. G., Steinmetz, F., Belder, R. & Dömel (2016), A. RAFCON: a Graphical Tool for Task Programming and Mission Control. Robotics and Mechatronics Center (RMC) of the German Aerospace Center (DLR) https://arxiv.org/pdf/2004.10251.pdf

Chen Li, Xiaochun Zhang, Dimitrios Chrysostomou, Hongji Yang (2022). ToD4IR: A Humanised Task-Oriented Dialogue System for Industrial Robots. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9869659

Cherubini, A. (2020). Manipulation of Flexible Objects. In M. H. Ang, O. Khatib & B. Siciliano (Hrsg.), Encyclopedia of Robotics (S. 1–7). Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41610-1_185-1

Corbato, C. H., Bharatheesha, M., van Egmond, J., Ju, J. & Wisse, M. (2018). Integrating Different Levels of Automation: Lessons From Winning the Amazon Robotics Challenge 2016. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(11), 4916–4926. https://doi.org/10.1109/TII.2018.2800744

Dániel Horváth, Gábor Erdős, Zoltán Istenes, Tomáš Horváth, Sándor Földi (2022). Object Detection Using Sim2Real Domain Randomization for Robotic Applications. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9916581

Dudek, W. & Szynkiewicz, W. (2019). Cyber-security for Mobile Service Robots – Challenges for Cyber-physical System Safety. Journal of Telecommunications and Information Technology, 2(2019), 29–36. https://doi.org/10.26636/jtit.2019.131019

Enebuse, I., Foo, M., Ibrahim, B. S. K. K., Ahmed, H., Supmak, F. & Eyobu, O. S. (2021). A Comparative Review of Hand-Eye Calibration Techniques for Vision Guided Robots. IEEE Access, 9, 113143–113155. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3104514

Fröhlich, T. (2021). Konzeption, Konstruktion und Evaluierung einer Dreiachskinematik als Kopf- und Torsogelenk eines Serviceroboters. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.18419/opus-11731

G. Gurguze & I. Turkoglu (2018). Energy Management Techniques In Mobile Robots. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.5281/ZENODO.1315700

Garcia, S., Strüber, D., Brugali, D., Berger, T. & Pelliccione, P. (2018). Robotics software engineering: a perspective from the service robotics domain, 2018. https://doi.org/10.1145/3368089.3409743

García, S., Strüber, D., Brugali, D., Di Fava, A., Pelliccione, P. & Berger, T. (2023). Software variability in service robotics. Empirical Software Engineering, 28(2), 24. https://doi.org/10.1007/s10664-022-10231-5

Garcia-Haro, J. M., Oña, E. D., Hernandez-Vicen, J., Martinez, S. & Balaguer, C. (2021). Service Robots in Catering Applications: A Review and Future Challenges. Electronics, 10(1), 47. https://doi.org/10.3390/electronics10010047

Holland, J., Kingston, L., McCarthy, C., Armstrong, E., O'Dwyer, P., Merz, F. & McConnell, M. (2021). Service Robots in the Healthcare Sector. Robotics, 10(1), 47. https://doi.org/10.3390/robotics10010047

Honerkamp, D., Welschehold, T. & Valada, A. (2023). N^2 M^2: Learning Navigation for Arbitrary Mobile Manipulation Motions in Unseen and Dynamic Environments. IEEE Transactions on Robotics, 1–19. https://doi.org/10.1109/TRO.2023.3284346

Jiang, S., Yao, W., Wong, M.-S., Hang, M., Hong, Z., Kim, E.-J., Joo, S.-H. & Kuc, T.-Y. (2020). Automatic Elevator Button Localization Using a Combined Detecting and Tracking Framework for Multi-Story Navigation. IEEE Access, 8, 1118–1134. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2958092

Karabegović, I. & Husak, E. (2018). INDUSTRY 4.0 BASED ON INDUSTRIAL AND SERVICE ROBOTS WITH APPLICATION IN CHINA. Mobility and Vehicle Mechanics, 44(2), 59–71. https://doi.org/10.24874/mvm.2018.44.04.04

Katalinić, B., Buchmeister, B., Bielić, T. & Butala, P. (Hrsg.). (op. 2021). DAAAM International Scientific Book. DAAAM International scientific book 2021. DAAAM International Vienna. https://doi.org/10.2507/daaam.scibook

Kiyokawa, T., Takamatsu, J. & Koyanaka, S. (2022). Challenges for Future Robotic Sorters of Mixed Industrial Waste: A Survey. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 1–18. https://doi.org/10.1109/TASE.2022.3221969

Kolesov, Y., Pryanichnikov, V. & Tarasov, R. (op. 2021). Continuous Integration and Deployment Software for Mobile Service Robots. In B. Katalinić, B. Buchmeister, T. Bielić & P. Butala (Hrsg.), DAAAM International Scientific Book. DAAAM International scientific book 2021 (Bd. 20, S. 241–250). DAAAM International Vienna. https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2021.20

Kragic, D., Gustafson, J., Karaoguz, H., Jensfelt, P. & Krug, R. (op. 2018). Interactive, Collaborative Robots: Challenges and Opportunities. In J. Lange (Hrsg.), IJCAI (S. 18–25). International Joint Conferences on Artificial Intelligence. https://doi.org/10.24963/ijcai.2018/3

Kulaç, N. & Engin, M. (2023). Developing a Machine Learning Algorithm for Service Robots in Industrial Applications. Machines, 11(4), 421. https://doi.org/10.3390/machines11040421

in Lee (2021). Service Robots: A Systematic Literature Review. Electronics, 10(21), 2658. https://doi.org/10.3390/electronics10212658

Li, C., Chrysostomou, D., Zhang, X. & Yang, H. (2023). IRWoZ: Constructing an Industrial Robot Wizard-of-OZ Dialoguing Dataset. IEEE Access, 11, 28236–28251. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3259325

Linder, T., Vaskevicius, N., Schirmer, R. & Arras, K. O. Cross-Modal Analysis of Human Detection for Robotics: An Industrial Case Study. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/2021

Lins, R. G. & Givigi, S. N. (2020). Cooperative Robotics and Machine Learning for Smart Manufacturing: Platform Design and Trends Within the Context of Industrial Internet of Things. IEEE Access, 8, 16816–16829. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966757

M. Omar Parvez, Cihan Cobanoglu (2021). Opportunities and Challenges of Utilizing Service Robots in Tourism Industry: A Tool for Recovery from COVID-19 Pandemic, 2021. http://smarttourism.khu.ac.kr/file/202109/1637301139.pdf

Oscar Lima, Rodrigo Ventura & Iman Awaad (2018). Integrating Classical Planning and Real Robots in Industrial and Service Robotics Domains, 2018. https://welcome.isr.tecnico.ulisboa.pt/wp-content/uploads/2018/06/draft_Integrating-Classical-Planning-and-Real-Robots-in-Industrial-and-Service-Robotics-Domains.pdf

Papadopoulos, G. T., Antona, M. & Stephanidis, C. (2021). Towards Open and Expandable Cognitive AI Architectures for Large-Scale Multi-Agent Human-Robot Collaborative Learning. IEEE Access, 9, 73890–73909. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3080517

Rodriguez-Guerra, D., Sorrosal, G., Cabanes, I. & Calleja, C. (2021). Human-Robot Interaction Review: Challenges and Solutions for Modern Industrial Environments. IEEE Access, 9, 108557–108578. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3099287

Sakari Pieskä, Mika Luimula, Juhana Jauhiainen & Van Spiz (2013). Social Service Robots in Wellness and Restaurant Applications. Journal of Computer-Mediated Communication, 10, 116–123. https://www.researchgate.net/publication/280477486_Social_Service_Robots_in_Wellness_and_Restaurant_Applications

Silvia Proia, Raffaele Carli, Graziana Cavone, Mariagrazia Dotoli. Control Techniques for Safe, Ergonomic, and Efficient Human-Robot Collaboration in the Digital Industry: A Survey. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9638383

Solowjow, E., Ugalde, I., Shahapurkar, Y., Aparicio, J., Mahler, J., Satish, V., Goldberg, K. & Claussen, H. Industrial Robot Grasping with Deep Learning using a Programmable Logic Controller (PLC). https://arxiv.org/pdf/2004.10251.pdf

Tanwani, A. K., Mor, N., Kubiatowicz, J., Gonzalez, J. E. & Goldberg, K. A Fog Robotics Approach to Deep Robot Learning: Application to Object Recognition and Grasp Planning in Surface Decluttering. https://arxiv.org/pdf/1903.09589.pdf

Thomas Guenther & Andreas Kroll (2016). LOCALIZATION OF COMPRESSED AIR LEAKS IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS USING SERVICE ROBOTS WITH ULTRASONIC MICROPHONES, 2016. https://www.ndt.net/article/ewgae2016/papers/173_paper.pdf

Torayev, A., Martínez-Arellano, G., Chaplin, J. C., Sanderson, D. & Ratchev, S. (2023). Online and Modular Energy Consumption Optimization of Industrial Robots. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 1–10. https://doi.org/10.1109/TII.2023.3272692

Torras, C. (2016). Service Robots for Citizens of the Future. European Review, 24(1), 17–30. https://doi.org/10.1017/S1062798715000393

Wan, J., Tang, S., Yan, H., Di Li, Wang, S. & Vasilakos, A. V. (2016). Cloud Robotics: Current Status and Open Issues. IEEE Access, 4, 1. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2574979

Zhao, X., Chen, X., He, Y., Cao, H. & Chen, T. (2019). Varying Speed Rate Controller for Human–Robot Teleoperation Based on Muscle Electrical Signals. IEEE Access, 7(99), 143563–143572. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2944794

Zheng, Y., Chen, S. & Cheng, H. (2020). Real-Time Cloud Visual Simultaneous Localization and Mapping for Indoor Service Robots. IEEE Access, 8, 16816–16829. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966757

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

IFR – International Federation of Robotics

ISO – International Organization for Standardization

HRI – Human Robot Interface

ML – Machine Learning (maschinelles Lernen)

KI – Künstliche Intelligenz

GUI – Graphical User Interface (grafische Benutzerschnittstelle)

Cobot – Collaborative Robot (kollaborativer Roboter)

DL – Deep Learning

RSDF – Robotic Software Development Framework

ROS – Roboter Operation System

PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1 Servicerobotik - Investitionen von 2016 bis 2021 (Stubbe, Mock, Wischmann, 2019) 10

Abbildung 2-2 Servicerobotik - Jährliche Installationen – Global (IFR International Federation of Robotics, 2023) 11

Abbildung 2-3 Servicerobotik - Steigerung von professionellen Roboter 2021-2022 (IFR International Federation of Robotics, 2023) 12

Abbildung 2-4 Servicerobotik - ISO 8373: Kategorisierung (Lee, 2021) 14

Abbildung 2-5 Servicerobotik - Unterschiedliche Einsatzgebiete (Shurpali, 2023) 17

Abbildung 2-6 Servicerobotik - Vergleich zum Menschen (Belanche et al., 2020) 20

Abbildung 2-7 Servicerobotik - Fähigkeitsmatrix (Belanche et al., 2020) 22

Abbildung 2-8 Servicerobotik - Industrie 4.0: Schema (Elkaseer et al., 2018) 24

Abbildung 2-9 Servicerobotik - Traditionell vs. ML (Wischmann & Rohde, 2019) 25

Abbildung 2-10 Servicerobotik - Von KI zu DL (Wischmann & Rohde, 2019) 26

Abbildung 3-1 Servicerobotik - Software-Architektur für Manipulations- und Navigationsaufgaben (Nam et al., 2020) 31

Abbildung 4-1 Methodik - Fünf Phasen (vom Brocke et al., 2011) 38

Abbildung 4-2 Methodik - Charakteristik und Kategorisierung (vom Brocke et al., 2011) 40

Abbildung 4-3 Methodik - Literatursuche (Jan Vom Brocke, Alexander Simons, Bjoern Niehaves Kai Riemer & Anne Cleven, 2009 41

Abbildung 4-4 Methodik - Analyse und Synthese (Jan Vom Brocke, Alexander Simons, Bjoern Niehaves Kai Riemer & Anne Cleven, 2009) 41

Abbildung 4-5 Methodik - PRISMA Struktur (prisma-statement.org, 2020) 44

Abbildung 4-6 Methodik - Auszug der Konzept-Mindmap. Eigene Darstellung 50

Abbildung 4-7 Methodik - PRISMA Workflow angewandt. Eigene Darstellung 58

Abbildung 5-1 Resultate - Anzahl der Quellen pro Jahr. Eigene Darstellung 65

Abbildung 5-2 Resultate - Industriezweige der syst. Literaturrecherche. Eigene Darstellung 66

Abbildung 5-3 Resultate - Roboterarten der syst. Literaturrecherche. Eigene Darstellung 67

Abbildung 5-4 Resultate - Industriezweig über die Jahre. Eigene Darstellung 68

Abbildung 5-5 Resultate - Roboterart über die Jahre. Eigene Darstellung 69

Abbildung 5-6 Resultate - Aufteilung der Herausforderungen. Eigene Darstellung 70

Abbildung 5-7 Resultate - Zehn häufigsten Herausforderungen. Eigene Darstellung 71

Abbildung 5-8 Resultate - Fünf häufigsten Lösungen. Eigene Darstellung 72

Abbildung 5-9 Resultate - Fünf häufigsten Lösungen. Eigene Darstellung 73

Abbildung 5-10 Resultate - Korr. Kategorie - Herausforderungen. Eigene Darstellung 75

Abbildung 5-11 Resultate - Korr. Herausforderung - Lösungen. Eigene Darstellung..... 77

Abbildung 6-1 Diskussion - Aufschwung Covid-19 Serviceroboter: empirisch. Eigene Darstellung 80

Abbildung 6-2 Diskussion - Resultate - Zehn häufigsten Herausforderungen. Angelehnt an Kapitel 5.3 85

Abbildung 6-3 Diskussion - Resultate - Fünf häufigsten Lösungen. Angelehnt an Kapitel 5.4... 86

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1 Methodik - Checkliste (Page, Moher et al., 2021) 47
Tabelle 4-2 PRISMA Phasen angewandt. Eigene Darstellung 57
Tabelle 5-1 Auszug der Analyse. Eigene Darstellung 64

BIBLOGRAFIE

Álvarez, B., Iborra, A., A. Pastor, J. & Fernández, C. (2001). Software Architecture for Development of Mechatronic Systems: Service Robots, 2001. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=150b8478709e968f1ac7c12209810c1f6691d2af

Balch, T. & E. Parker, L. (Hrsg.). (2018). Robot Teams: From diversity to Polymorphism (Bd. 2018). Tylor & Francis Group.

Belanche, D., Casalo, L. V., Flavian, C. & Schepers, J. (2020). Service robot implementation: a theoretical framework and research agenda. Zugriff am 10. Juni 2023, verfügbar unter https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/02642069.2019.1672666?needAccess=true&role=button

Bendel, O. (2018). Envisioning Robots in Society – Power, Politics, and Public Space: Service Robots from Perspectivew of Information and Machine Ethics, S. 13–17. https://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=jLh9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA12&dq=+ethics+%22Service+Robots%22&ots=P2nB9zfSs-&sig=RylIWOZ6QdSj5OdGZaAyZtFjgUU&redir_esc=y#v=onepage&q=ethics%20%22Service%20Robots%22&f=false

Bendel, O. (2020). Der Einsatz von Servicerobotern bei Epidemien und Pandemien. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 57(6), 1286–1301. https://doi.org/10.1365/s40702-020-00669-w

Bendel, O. (2021). Definition: Was ist "Serviceroboter"? [Serviceroboter]. Zugriff am 14. September 2023, verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/serviceroboter-54472

Boston Dynamics. (2023a). Atlas | Boston Dynamics. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://bostondynamics.com/atlas/

Boston Dynamics. (2023b). Spot | Boston Dynamics. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://bostondynamics.com/products/spot/

Diligent Robotics. (2023, 12. Oktober). Moxi — Diligent Robotics. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.diligentrobots.com/moxi

Elkaseer, A., Salem, M., Ali, H. & Scholz, S. G. (2018). Approaches to a Practical Implementation of Industry 4.0. Zugriff am 19. September 2023, verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/324040762_Approaches_to_a_Practical_Implementation_of_Industry_40

FedEx. (2023, 12. Oktober). Roxo SameDay Delivery Bot | FedEx. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.fedex.com/en-ge/about/sustainability/our-approach/roxo-delivery-robot.html

García, S., Strüber, D., Brugali, D., Berger, T. & Pelliccione, P. (2020). Robotics software engineering: a perspective from the service robotics domain. https://arxiv.org/pdf/2006.10608 https://doi.org/10.1145/3368089.3409743

García, S., Strüber, D., Brugali, D., Di Fava, A., Pelliccione, P. & Berger, T. (2023). Software variability in service robotics. Empirical Software Engineering, 28(2), 24. https://doi.org/10.1007/s10664-022-10231-5

Gonzalez-Aguirre, J. A., Osorio-Oliveros, R., Rodríguez-Hernández, K. L., Lizárraga-Iturralde, J., Morales Menendez, R., Ramírez-Mendoza, R. A., Ramírez-Moreno, M. A. & Lozoya-Santos, J. d. J. (2021). Service Robots: Trends and Technology. Applied Sciences, 11(22), 1–22. https://doi.org/10.3390/app112210702

IFR International Federation of Robotics. (2023). International Federation of Robotics [Free Downloads]. Zugriff am 17. September 2023, verfügbar unter https://ifr.org/free-downloads/

International Organization for Standardization. (2012). Robotics - Vocabulary (ISO 8373:2012). https://www.iso.org/standard/55890.html

Jane Webster and Richard T. Watson. Guest Editorial: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a literature Review. https://web.njit.edu/~egan/Writing_A_Literature_Review.pdf

JLU-EH (2020). Autorenformatvorlage Studienheft, 2020. https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/VKE/nutr-ecol/lehre/SystematischeLiteraturrecherche.pdf

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt. (2022). Grundlegende Suchtechniken. Zugriff am 30. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.ub.uni-frankfurt.de/benutzung/portal_suchtechniken.html

Karakuri. (2023). Fryr | Karakuri. Karakuri. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://karakuri.com/fryr/

Koubâa, A. & Martínez-de Dios, J. (2015). Cooperative Robots and Sensor Networks 2015 (Bd. 2015). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18299-5

in Lee (2021). Service Robots: A Systematic Literature Review. Electronics, 10(21), 2658. https://doi.org/10.3390/electronics10212658

Literaturrecherche • Systematische Literaturrecherche · [mit Video]. (2023, 28. Oktober). Zugriff am 28. Oktober 2023, verfügbar unter https://studyflix.de/studientipps/literaturrecherche-5403

Mayo Clinic. (2023). Robotic surgery. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/robotic-surgery/about/pac-20394974

Mimir Mentor. (2023). Grundlagen der Literaturrecherche für Studenten - Mimir Mentor. Zugriff am 18. Oktober 2023, verfügbar unter https://mimir-mentor.com/blog/grundlagen-literaturrecherche/

Moher, D., Clarke, L. S., Mike, Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P. & Stewart, L. A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement, 2015. http://www.systematicreviewsjournal.com/content/4/1/1

Nam, C., Lee, S., Lee, J [Jeongho], Cheong, S. H., Hwan, D., Kim, C., Kim, I. & Park, S.-K. (2020). A Software Architecture for Service Robots Manipulating Objects in Human Environments. IEEE Access, 8. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003991

Open Robotics. (2023). ROS: Why ROS? Zugriff am 16. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.ros.org/blog/why-ros/

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. Systematic Reviews, 10(1), 89. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4

Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n160. https://doi.org/10.1136/bmj.n160

Pegasus Magazine. (2023). Onyx Exoskeleton: An Inside Look at Lockheed Martin's Wearable Robot. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.ucf.edu/pegasus/power-move-onyx-exoskeleton/

Peres, R. S., Jia, X., Lee, J [Jay], Sun, K., Colombo, A. W. & Barata, J. (2020). Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook. IEEE Access, 8, 220121–220139. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874

PyRobot. (2022, 8. März). PyRobot · An Open Source Robotics Research Platform. Zugriff am 16. Oktober 2023, verfügbar unter https://pyrobot.org/docs/overview

R. S. Peres, X. Jia, J. Lee, K. Sun, A. W. Colombo & J. Barata (2020). Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook. IEEE Access, 8, 220121–220139. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874

Robotnik (15. Juni 2023). The rise of Machine Learning Robots: Explore machine learning in robotics. Robotnik. https://robotnik.eu/the-rise-of-machine-learning-robots-explore-machine-learning-in-robotics/

Schnepf (8. März 2022). Servierroboter | Schnepf GmbH. Schnepf. https://www.schnepf.at/gastronomie/servierroboter/?gclid=Cj0KCQjwsp6pBhCfARIsAD3GZuZi3u2mPwwbPggavKY-eS89W0Fq9PPH8Krn-i-SlwJaAyRgoKraqn4aAgauEALw_wcB

Schröder, N. (8. Juni 2020). Robotertechnik einfach und intuitiv implementieren. Industrieanzeiger. https://industrieanzeiger.industrie.de/technik/automatisierung/robotertechnik-einfach-und-intuitiv-implementieren/

Segers, P. (2017). Cinematic ethics on Robots: what can we learn from Science-Fiction movies about humanoid (service) robots, 2017. https://essay.utwente.nl/72902/1/Segers_MA_BMS.pdf

Service Robotics Market Size, Share | Growth Drivers [2030]. (2023, 17. September). Zugriff am 17. September 2023, verfügbar unter https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/service-robotics-market-101805

Shurpali, S. (2023). Service Robots-Trends, Industry Use Cases & Its Role in fighting COVID19. Zugriff am 2. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.einfochips.com/blog/service-robots-trends-industry-use-cases-its-role-in-fighting-covid19/

Sipe, T. A. & Stallings, W. M. (1996). Cooper's Taxonomy of Literature Reviews Applied to Meta-Analyses in Educational Achievement. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED398275.pdf

skydio. (2023). Skydio 3D Scan Drone Mapping Software. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.skydio.com/about

Skyline Robotics. (2023). Skyline Robotics: The future of automated window cleaning. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.skylinerobotics.com/

Smart Delivery Robot-Pudu Robotics. (2023). Smart Delivery Robot-Pudu Robotics. Zugriff am 12. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.pudurobotics.com/

Solis, T. (15. November 2021). So führst du eine Literaturrecherche für deine wissenschaftliche Arbeit durch. Scribbr. https://www.scribbr.at/aufbau-und-gliederung-at/literaturrecherche/

Sozialministerium. (2023). COVID-19 (SARS-CoV-2). Zugriff am 1. Dezember 2023, verfügbar unter https://www.sozialministerium.at/Themen/Gesundheit/Uebertragbare-Krankheiten/Infektionskrankheiten-A-Z/Neuartiges-Coronavirus.html

Staff, A. (21. Juni 2022). Look back on 10 years of Amazon robotics. US About Amazon. https://www.aboutamazon.com/news/operations/10-years-of-amazon-robotics-how-robots-help-sort-packages-move-product-and-improve-safety

Stubbe, Mock, Wischmann (2019). PAiCE Studie "Akzeptanz von Servicerobotern". Begleitforschung PAiCE, 2019. https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/PAiCE_Servicerobotik_Studie.html (Begleitforschung PAiCE).

Tamás Haidegger (2021). Taxonomy and Standards in Robotics, 2021. http://real.mtak.hu/131800/1/Robotics%20def%20chapter%20v5.pdf

Tobias Kaupp. (2013). Orca Robotics. Zugriff am 16. Oktober 2023, verfügbar unter https://orca-robotics.sourceforge.net/orca_doc_overview.html

tutorialspoint. (2023, 14. Oktober). Robot Framework - Overview. Zugriff am 17. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.tutorialspoint.com/robot_framework/robot_framework_overview.htm

Universität Oldenburg. (2016). Automatisierung des Alltages. Zugriff am 2. Oktober 2023, verfügbar unter http://www.informatik.uni-oldenburg.de/~iug15/au/service_roboter.html

Universität Zürich. (2022). Merkblatt - Universität Zürich. Zugriff am 18. Oktober 2023, verfügbar unter https://www.uzh.ch/de.html

vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Riemer, K. & Cleven, A. (2011). Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process, 2011. https://www.researchgate.net/publication/259440652_Reconstructing_the_Giant_On_the_Importance_of_Rigour_in_Documenting_the_Literature_Search_Process

Webster, J. & Watson, R. T. (2002). Guest Editorial: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a literature Review, 2002. https://web.njit.edu/~egan/Writing_A_Literature_Review.pdf

Wirtschaftsuniversität Wien. (2023). A-Z Liste der Datenbanken. Zugriff am 27. November 2023, verfügbar unter https://www.wu.ac.at/bibliothek/recherche/datenbanken/a-z-liste-der-datenbanken/

Wischmann, S. & Rohde, M. (2019). Neue Möglichkeiten für die Servicerobotik durch KI. In Springer (Hrsg.), Künstliche Intelligenz (S. 99–121). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58042-4_7

Ziegler, A., Antes, G. & König, I. (2011). Bevorzugte Report Items für systematische Übersichten und Meta-Analysen: Das PRISMA-Statement. DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift, 136(08), e9-e15. https://doi.org/10.1055/s-0031-1272978