

Kapitel 1

Einleitung

Die digitale Disruption des Handels führt zu einer zunehmenden Verschiebung der Einkaufsaktivitäten hin zu digitalen Marktplätzen. Dementsprechend ziehen immer mehr Kunden die Lieferung von Waren dem persönlichen Einkaufserlebnis in der Innenstadt vor. Unter dem Brennglas der Corona-Pandemie verstärkt sich diese Entwicklung nochmals deutlich. Kann der Online-Handel schon seit Langem ein stetiges Wachstum vorweisen, konnte der Umsatz im Jahr 2020 nochmals um mehr als vierzehn Prozent gesteigert werden [HDE20, Ebe21].

Diese Entwicklung hat erhebliche Auswirkungen auf die angegliederten Logistikprozesse, die sich sowohl auf kurze Lieferzeiten von ein bis zwei Tagen als auch auf starke Schwankungen im Versandaufkommen einstellen müssen. Daher ist es erforderlich, dass logistische Prozesse ihren Durchsatz dynamisch skalieren und sich flexibel auf sich verändernde Anforderungen einstellen können [BC20].

Lastspitzen und starke Schwankungen im Auftragseingang des Online-Handels sind nicht immer planbar und stellen viele Unternehmen der Branche vor Probleme. Durch den bestehenden Fachkräftemangel¹ lassen sich die benötigten Ressourcen selten ausreichend mit zusätzlichem oder bestehendem Personal auffangen. Verstärkt wird diese Entwicklung zusätzlich durch die zunehmende Alterung der Gesellschaft und den hierdurch bedingten Wegfall älterer, erfahrener Beschäftigter [Ole08]. Dies führt zu Schwankungen in der Prozessqualität sowie der Bearbeitungsgeschwindigkeit und verursacht Lieferverzögerungen und zusätzliche Kosten für die Unternehmen.

Um diese Herausforderungen bewältigen zu können und die Abhängigkeit von begrenzten Personalressourcen zu reduzieren, setzt die Logistik zunehmend auf die Automatisierung von Lagerprozessen. Daher investieren Online-Händler wie auch deren Dienstleister vermehrt in automatisierte Lösungen (vgl. [Ros20, Zal17]). Die Automatisierung von Prozessen geht einher mit der Digitalisierung vorhandener Strukturen sowie dem Einsatz sich selbstständig vernetzender und organisierender

¹ STRAUBHAAR berichtet, dass der Fachkräftemangel in der Logistik dramatische Ausmaße annimmt. So fehlen insbesondere Fachkräfte im Bereich der Fahrzeugführung, des Lagers, der Disposition und der IT [Str19].

cyber-physischer Systeme². Laut TEN HOMPEL zeichnet sich die Logistik, neben der Produktion, als entscheidende Anwendungsdomäne für den Einsatz selbststeuernder CPS in operativen Prozessen aus [HH17].

Für den Menschen in operativen industriellen Prozessen bedeuten diese Entwicklungen, dass der Automatisierungsgrad perspektivisch steigen und der Anteil manuell ausgeführter Prozesse sinken wird. Die Substituierbarkeit von Tätigkeiten im industriellen Umfeld hängt hierbei laut HIRSCH-KREINSEN im hohen Maße von der Art der jeweiligen Tätigkeit ab. So sind insbesondere einfache Tätigkeiten, wie sie in der Logistik häufig vorgefunden werden können, von einer möglichen Substitution betroffen. [HK15b] Jedoch stellt insbesondere die Logistik besonders hohe Anforderungen an automatisierte Systeme, die sich mit aktuell verfügbaren Lösungskonzepten nur zum Teil erfüllen lassen. Als Beispiel lässt sich an dieser Stelle die Kommissionierung nennen, die sich – wie auch die Verpackung – durch ein dynamisches Tätigkeitsspektrum und heterogene Rahmenbedingungen auszeichnet. Sowohl in der Kommissionierung als auch in der Verpackung ist eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Beschäftigten erforderlich. Aufträge bestehen aus heterogenen Artikelspektren, die von Auftrag zu Auftrag stark variieren. Dies stellt unter anderem hohe Anforderungen an potenzielle Greifsysteme, die mit der aktuell verfügbaren Technologie noch nicht effizient erfüllt werden können [AF19].

Der Mensch bleibt aufgrund seiner Anpassungsfähigkeit auch in Zukunft ein elementarer Bestandteil logistischer Prozesse. So sind menschenleere Betriebe weder aus technologischen noch aus ökonomischen Gesichtspunkten realistisch [HK15b]. Laut BOMMERS UND CASTRUP lassen sich nur durch die Kombination der menschlichen Flexibilität mit der Leistungsfähigkeit der Automatisierung zukünftige Herausforderungen der Logistik bewältigen [BC20]. Die Vision der *Social Networked Industry* greift diesen Sachverhalt auf und postuliert, dass die Zukunft ein Miteinander von Mensch und Technik bereithält, in dem Menschen und Technik sich gegenseitig unterstützen und Prozesse Hand in Hand ausführen [THN⁺17].

1.1 Problemstellung und Forschungslücke

Der Mensch wird auch im Distributionszentrum oder dem Lager der Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. Der Mangel an erfahrenen und qualifizierten Beschäftigten erschwert jedoch den bedarfsgerechten Einsatz von Arbeitskräften und verstärkt die bestehende Heterogenität der Belegschaft. Wenige qualifizierte Beschäftigte stehen häufig einer Vielzahl Hilfsarbeitskräften gegenüber³.

² Cyber-physische Systeme (CPS) verbinden eingebettete Systeme mit dem Internet und verknüpfen auf diesem Weg die physikalische mit der digitalen Welt [Bro10].

³ Laut Zahlen der Bundesagentur für Arbeit arbeiteten im Jahr 2019 fast 70 Prozent der Beschäftigten in der Lagerwirtschaft als Helfer oder Helferin [Bun20b]. Hilfsarbeiten lassen sich der Einfacharbeit zuordnen, für die keine dezidierte Ausbildung benötigt wird [AHKI14].

Fallen erfahrene Beschäftigte altersbedingt oder durch einen Wechsel des Unternehmens aus, geht implizites Erfahrungswissen⁴ verloren, das sich nur schwer dokumentieren oder verbalisieren lässt. Die geringe Verbalisierbarkeit führt häufig dazu, dass die regulierende Bedeutung impliziten Wissens auf Arbeitstätigkeiten unterschätzt wird. [Hac14] Laut BUSSING ET AL. zeigen Beschäftigte mit einem hohen Grad impliziten Wissens insbesondere in kritischen Arbeitssituationen eine bessere Lösungskompetenz. Kritische Situationen treten dann ein, wenn ein außerplanmäßiges Handeln aufgrund eines nicht erwarteten Ablaufes erforderlich wird. Dies umfasst Situationen, die nicht in bestehenden, dokumentierten Regelstrukturen abgebildet sind und demnach nur durch implizite Lernprozesse erfasst werden können. [BHE02] Es wird angenommen, dass in Unternehmen ein Großteil des Wissens als implizites Wissen vorliegt. Nur ein geringer Anteil von ca. 20 Prozent lässt sich als dokumentiertes Wissen abrufen. [BH03] Dieser Sachverhalt verdeutlicht die Bedeutung des Wissensverlustes auf die Prozesse der Unternehmen. Die Auswirkungen erstrecken sich von einer geringeren Effizienz über Schwankungen in der Prozessqualität bis hin zu sinkenden Umsätzen.

Der Einfluss des impliziten Erfahrungswissens der Beschäftigten auf operative Prozesse der Unternehmen lässt sich schwer quantifizieren. So existieren nur wenige belastbare Zahlen, die sich in diesem Kontext heranziehen lassen. Eine Studie aus dem Jahr 2009 zu Konfliktkosten von mittelständischen Unternehmen konnte herausfinden, dass sich durch Erfahrungswissen Konfliktkosten für Fehlentscheidungen, hohe Krankenstände, Unfälle oder Materialverschwendungen deutlich reduzieren lassen. Durch innerbetriebliche Konflikte können, je nach Größe des Unternehmens, jährliche Kosten zwischen 50.000 und 500.000 Euro entstehen [ABF⁺09]. Auch auf den Prozess der Digitalisierung hat implizites Wissen einen großen Einfluss. So geben, laut einer Befragung von PLACKE UND SCHLEIERMACHER, zwei Drittel aller befragten Unternehmen an, dass implizites Erfahrungswissen einen Schlüsselfaktor für die erfolgreiche Digitalisierung darstellt [PS18].

Das Meinungsbild in der Wissenschaft hinsichtlich der Dokumentierbarkeit impliziten Wissens zeigt unterschiedliche Ausprägungen. Auf der einen Seite stehen Aussagen von HACKER, PLATH wie auch BRUGGMANN, laut denen sich implizites Wissen nicht weitergeben lässt, da es sich um unbewusstes und nicht verbalisierbares Wissen handelt [Pla02, Hac14, Bru00]. Auf der anderen Seite vertreten verschiedene Arbeiten die Meinung, dass eine Explikation impliziten Wissens durch die Anwendung unterschiedlicher Methoden der Extraktion ermöglicht werden kann. So beschreiben NONAKA ET AL. das Modell der Wissensspirale, das unter anderem den Austausch zwischen impliziten und expliziten Wissensbeständen bzw. den direkten Transfer impliziten Wissens adressiert. Die Autoren beschreiben verschiedene Prozesse, mit denen ein Wissensübergang im Unternehmen ermöglicht wird. Die *Externalisierung* verfolgt die Zielstellung, durch Artikulation impliziten Wissens ex-

⁴ In der Literatur werden hierfür verschiedene Terminologien verwendet, die nicht einheitlich eingesetzt werden. Neben der Bezeichnung *Erfahrungswissen* findet sich auch der Begriff *Expertenwissen*. Erfahrungswissen wird in der Literatur nochmals in implizites und explizites Erfahrungswissen unterteilt (siehe hierzu Abschnitt 2.1.2). In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe *implizites Erfahrungswissen* und *implizites Wissen* synonym verwendet.

plizites Wissen zu erzeugen. Der Prozess der Artikulation kann in unterschiedlichen Formen (z. B. über Metaphern, Analogien oder Modelle) umgesetzt werden. Über den Prozess der *Internalisierung* lässt sich dokumentiertes, explizites Wissen wieder in implizites Wissen umwandeln. Der direkte Transfer impliziten Wissens, ohne eine vorherige Artikulation, lässt sich über den Prozess der *Sozialisation* umsetzen. Die Sozialisation beschreibt den direkten Erfahrungsaustausch zwischen Beschäftigten und kann über Sprache wie auch durch Beobachtung und Nachahmung erfolgen. [NTK00]

In der Wissenschaft lassen sich verschiedene Beispiele der manuellen Externalisierung finden. So untersucht SUTTER, wie mit Hilfe grafischer Elemente und Visualisierungen die Umwandlung impliziten Wissens ermöglicht werden kann [Sut16]. Voraussetzung für diesen Ansatz ist jedoch, dass das entsprechende Wissen durch den Wissensträger aktiv dokumentiert wird. Da das implizite Wissen in vielen Fällen durch den Wissensträger nicht bewusst wahrgenommen wird, ist eine aktive Dokumentation nur in Teilen möglich. PANTFÖRDER ET AL. nutzen die Annahme, dass sich implizites Wissen in mentalen Modellen des Wissensträgers wiederfindet und bedienen sich der Methodik des *Card Sortings*⁵. Die Autoren setzen hierbei eine Kombination aus Card Sorting und Interviews ein, um das implizite Wissen von Fabrikarbeitskräften zu erfassen. [PSVH17] Der beschriebene Prozess der Dokumentation impliziten Wissens ist zeitaufwändig und erfordert die manuelle Analyse eines jeden Datensatzes.

In der Literatur finden sich jedoch auch automatisierte Ansätze zur Explikation impliziten Wissens. Diese bedienen sich einer Methode aus dem Bereich der Sozialisation und ermitteln Verhaltensweisen durch die Beobachtung von Menschen in der Ausführung entsprechender Tätigkeiten. So wird von KUNIYOSHI ET AL. ein Verfahren beschrieben, bei dem die einzelnen Arbeitsschritte einer Arbeitskraft mit Kameras dokumentiert werden. Die erfassten Daten werden daraufhin, nach einer automatisierten Bildanalyse, als Eingangsdaten für die Steuerung von Robotern verwendet [KII94]. SIDANI ET AL. beschreiben in ihrer Arbeit ein Konzept zur Erfassung von implizitem Wissen durch Beobachtung von Experten und Expertinnen sowie den Einsatz maschinellen Lernens. Als Eingangsdaten dienen Daten aus simulierten Arbeitsausführungen, in der Experten und Expertinnen Lösungen für bestimmte Problemfälle finden müssen. Aus den ermittelten Beobachtungsdaten erfolgt der Aufbau eines künstlichen neuronalen Netzes [SG00]. Einen ähnlichen Weg beschreitet das Projekt ALVINN (Autonomous Land Vehicle In a Neural Network), das bereits in den späten 1980er Jahren ein autonom fahrendes Fahrzeug basierend auf mehrschichtigen neuronalen Netzen umgesetzt hat, die mit bildbasierten Beobachtungsdaten aus dem Straßenverkehr gespeist wurden [Pom89]. Im Bereich der Robotik kommen seit einigen Jahren Verfahren zum Einsatz, die Beobachtungen und maschinelles Lernen (ML) nutzen, um Bewegungen – also implizites Wissen zu Bewegungsabläufen – von Menschen dynamisch auf Roboter übertragen zu können. Genannt wird in diesem Zusammenhang insbesondere das *Imitation Learning*,

⁵ Beim Card Sorting handelt es sich um eine Methodik, die angewendet wird, um mentale Modelle von Nutzenden zu erfassen. Anwendung findet diese Methodik unter anderem im Bereich des User-Interface-Designs. [Hin08]

durch das es ermöglicht wird, Bewegungsabläufe an die jeweilige Situation anzupassen, auch wenn diese sich in den Trainingsdaten nicht exakt widerspiegeln. So beschreiben FINN ET AL., wie einem Roboter durch Imitation Learning und der Verwendung von Demonstrationsdaten Bewegungen vermittelt werden können [FLA16]. Die Forschung in dem Bereich des Lernens durch Beobachtung hat in den letzten Jahren eine ganze Reihe an Veröffentlichungen hervorgebracht, die sich alle damit befassen, wie sich menschliches Verhalten bzw. implizites Wissen in eine künstliche Intelligenz (KI) überführen lässt (vgl. [ZMJ⁺18, FS18, CSL⁺19, BJD20]).

Aus Basis dieser Betrachtungen lässt sich zusammenfassen, dass verschiedene Forschungsansätze existieren, die sich mit der Extraktion impliziten Wissens beschäftigen. Neben der expliziten Artikulation, die mit einem hohen manuellen Aufwand verbunden ist, werden auch Ansätze verfolgt, die durch Beobachtung von Verhaltensweisen oder Bewegungen implizites Wissen erfassen können. Die identifizierten Forschungen zu automatisierten Verfahren der Extraktion impliziten Wissens adressieren das Training künstlicher Intelligenzen (z. B. für autonomes Fahren oder die Robotik), berücksichtigen jedoch nicht die Möglichkeit der Weitergabe der trainierten Fähigkeiten und Strategien im Sinne des Trainings von Arbeitskräften.

Ermittelte Forschungslücke

Es existieren nach aktuellem Stand der Forschung keine Arbeiten, die den automatisierten Transfer impliziten Wissens von Experten und Expertinnen zu unerfahrenen Arbeitskräften – also die Extraktion impliziten Wissens und die Bereitstellung dieses Wissens über Methoden der Mensch-Technik-Interaktion – im industriellen Kontext untersuchen, umsetzen oder solch eine Umsetzung vorbereiten.

1.2 Zielstellung und Forschungsfragen

Die beschriebenen Herausforderungen bei dem gemeinsamen Einsatz von Mensch und Technik in logistischen Prozessen sowie der Bedarf an Lösungen für den Wissenstransfer im Unternehmen unterstreichen den Forschungs- und Entwicklungsbedarf in diesem Bereich.

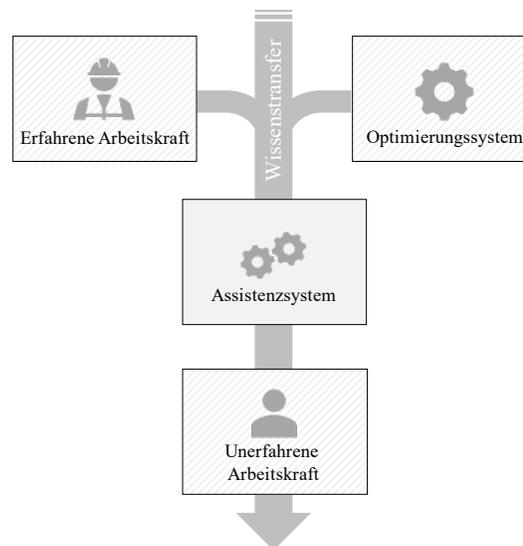
Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die wissenschaftliche Erarbeitung eines Assistenzsystems für den Wissenstransfer in industriellen Prozessen. Diese Erarbeitung beinhaltet die Entwicklung eines Verfahrens, mit dem sich Wissen erfahrener Arbeitskräfte in eine digitale Repräsentation überführen und unerfahrenen Arbeitskräften durch spezifische Werkzeuge der Informationsbereitstellung zur Verfügung stellen lässt. Hierbei soll die Erreichung dieser Zielstellung exemplarisch auf Basis des Verpackungsprozesses im Online-Handel erfolgen. Dieser Prozess wurde gewählt, da er sich durch eine hohe Dynamik, heterogene Umgebungsparameter sowie ein großes Optimierungspotenzial auszeichnet. Die Entwicklung des beschriebenen Verfahrens erfolgt im Zuge dieser Arbeit in zwei differenzierbaren Teilbereichen. Auf der einen Seite steht das Training eines Assistenzsystems durch erfahrene Beschäftigte und

bestehende Systeme – die Konservierung impliziten und expliziten Wissens. Dieser Teil des Verfahrens bedient sich an Technologien des maschinellen Lernens, um durch die Beobachtung von Experten im Prozess Strategien und Verhaltensweisen zu identifizieren. Auf der anderen Seite steht die Unterstützung von Beschäftigten im Prozess durch den Einsatz speziell an den Prozess angepasster Lösungen der Mensch-Technik-Interaktion – der Bereitstellung trainierten Wissens. Dieser Teil fokussiert den Forschungsbereich der kognitiven Ergonomie sowie die Entwicklung intuitiver und kontextsensitiver Lösungen für die individualisierte und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Prozessschritt.

Das zu entwickelnde Verfahren baut auf dem Konzept der *Intelligence Augmentation* auf, in dem durch die Kombination aus menschlicher und technischer Intelligenz die Stärken beider Seiten nutzbar gemacht werden [Rui17]. Bezogen auf den betrachteten Anwendungsfall der Verpackung bedeutet dies, dass der Mensch mit seiner Lösungskompetenz sowie seinem Erfahrungswissen die Fähigkeiten technischer Optimierungssysteme ideal ergänzen kann. Die Verknüpfung beider Wissensbestände kann auf diesem Wege dazu verwendet werden, Prozesse bedarfsgerecht und zielgenau zu optimieren. Aus diesem Grund soll das in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Verfahren in der Lage sein, sowohl das Erfahrungswissen des Menschen als auch das digital dokumentierte Prozesswissen für das Training eines Assistenzsystems heranzuziehen.

Aus dem Abgleich mit dem Stand der Forschung sowie der beschriebenen Zielstellung ergibt sich die zentrale Forschungsfrage, die in dieser Arbeit beantwortet wird. Diese Frage adressiert die identifizierte Forschungslücke und fokussiert die Anwendung des Verpackungsprozesses im Online-Handel.

Abb. 1.1 Visualisierung der Zielstellung dieser Arbeit: Training unerfahrener Beschäftigter durch ein Assistenzsystem, das durch Experten- und Prozesswissen gespeist wird.



Forschungsfrage

Wie lässt sich implizites Wissen von Beschäftigten im Verpackungsprozess mit Hilfe eines digitalen Assistenzsystems transferieren?

Aufbauend auf dieser zentralen Forschungsfrage lassen sich zwei untergeordnete Forschungsfragen ableiten, durch die der Fokus dieser Arbeit enger eingegrenzt wird. Diese Fragen differenzieren den Prozess des Wissenstransfers in zwei technische Teilkomponenten. Die erste Komponente fokussiert den Prozess der Explikation impliziten Wissens von operativen Beschäftigten im Verpackungsprozess. Erreicht werden soll dieses Ziel durch die Beobachtung exemplarischer Prozessausführungen dieser Beschäftigten und die Überführung des erfassten Wissens in eine digitale Repräsentation.

Teilforschungsfrage 1

Mit welchen Methoden lässt sich implizites Wissen der Beschäftigten in der Verpackung durch Beobachtung der Prozessausführung digital erfassen?

Die zweite Teilkomponente thematisiert den Bereich der Unterstützung von Beschäftigten im Prozess. Erreicht werden soll dieses Ziel durch eine individualisierte Aufbereitung des digitalisierten Wissens und die Bereitstellung über eine ergonomische Mensch-Technik-Schnittstelle. Die korrespondierende Teilforschungsfrage fokussiert die Aufbereitung sowie die Art der Bereitstellung des vorliegenden Wissens.

Teilforschungsfrage 2

Wie muss eine Mensch-Technik-Schnittstelle im Verpackungsprozess gestaltet werden, um Beschäftigte bedarfsgerecht und ergonomisch bei der Ausführung zu unterstützen?

1.3 Wissenschaftstheoretische Einordnung

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt die Zielstellung sowie die Forschungsfragen dieser Arbeit definiert wurde, bedarf es an dieser Stelle einer Erläuterung der wissenschaftlichen Methodik sowie des entsprechenden Vorgehens. Basis einer solchen wissenschaftstheoretischen Einordnung bildet die Zielstellung dieser Arbeit, in der die Erarbeitung eines Systems zum Zwecke der Problemlösung adressiert wird und die sich demnach der praxisnahen Forschung zuordnen lässt.

Bezogen auf verschiedene Ausrichtungen der Forschungen unterscheidet CHMIELEWICZ zwischen der Theorieentwicklung und der Technologieentwicklung. Kern der Theorieentwicklung ist die Entdeckung und Validierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen, während die Technologieentwicklung die Konstruktion und Validierung von Mittel-Zweck-Beziehungen fokussiert. [Chm94] In diesem Kontext differenzieren HEVNER ET AL. wie auch BAACKE zwischen dem erklärungsorientier-

ten und dem gestaltungsorientierten Forschungsansatz. Die erklärungsorientierte Forschung hat ihre Wurzeln in den Naturwissenschaften und beschäftigt sich mit der Theorieentwicklung und dem Erkenntnisgewinn. Bezogen auf den Kontext der Informationssysteme verfolgt dieser Ansatz das Ziel, menschliche wie auch organisatorische Phänomene im gesamten Verlauf der Entwicklung, Einführung und Nutzung von Informationssystemen durch Theorien erklären oder vorhersagen zu können. Dem gegenüber steht die gestaltungsorientierte Forschung, deren Ursprünge in den Ingenieurwissenschaften zu finden sind. Dieser Ansatz fokussiert die Problemlösung und zielt auf die ingenieurmäßige Entwicklung von Artefakten (bzw. Technologien) ab. Durch diese Artefakte werden Ideen, Vorgehensweisen und technische Fähigkeiten definiert, mit denen sich die Entwicklung, Einführung und Nutzung von Informationssystemen durchführen lässt. [HMP⁺04, Baa10] Ziel des gestaltungsorientierten Ansatzes sollte, laut WINTER, eine Lösung sein, die eine ganze Problemklasse umfasst und sich nicht auf eine singuläre Problemlösung beschränkt [Win14]. Die vorliegende Arbeit lässt sich, unter Berücksichtigung der beschriebenen wissenschaftlichen Herangehensweisen, der gestaltungsorientierten Forschung zuordnen. Das zu erarbeitende Assistenzsystem entspricht hierbei einem Artefakt, das definiert, wie ein System für den Wissenstransfer in industriellen Prozessen umgesetzt werden kann.

Neben dem Forschungsansatz und dem darauf aufbauenden Forschungsziel werden wissenschaftliche Arbeiten nach ihrer angewandten Methodik differenziert. Unterschieden wird hierbei zwischen deduktivem und induktivem Vorgehen und der darauf basierenden Beweisführung. Deduktive Vorgehensweisen bauen auf generellen Annahmen auf und leiten aus diesen neue Erkenntnisse ab. Typisch für diese Herangehensweise ist die Reduzierung eines allgemeinen Betrachtungsraumes auf das Besondere. Das umgekehrte Vorgehen zeigt sich bei induktiven Beweisführungen, die aus dem Speziellen das Allgemeine ableiten und dadurch den Betrachtungsraum so weit wie möglich erweitern. Laut FISCHBACH UND WOLLENBERG lässt sich die Differenzierung zwischen deduktivem und induktivem Vorgehen meist nicht durchführen, da wissenschaftliches Vorgehen häufig beide Methoden kombiniert. So ist es inzwischen üblich, dass deduktiv erarbeitete Ergebnisse durch induktives Vorgehen in die Realität projiziert werden. [FW07] Auch die vorliegende Arbeit greift auf eine Kombination beider Methoden zurück, indem die Erarbeitung des Assistenzsystems sowie des zugehörigen Verfahrens auf einem deduktiven Vorgehen aufbauen und den Betrachtungsraum aus der allgemeinen Lagerlogistik auf den Spezialfall der Verpackung im Online-Handel reduzieren. In einem zweiten, induktiven Schritt erfolgt eine verallgemeinerte Formulierung der Lösung in Form eines Referenzmodells, durch das eine Übertragbarkeit auf die Problemklasse der industriellen Einfacharbeiten ermöglicht wird.

Für die deduktive Erarbeitung des Forschungsziels dieser Arbeit werden Daten aus unterschiedlichen Quellen herangezogen und ausgewertet. Auf der einen Seite werden quantitative Auswertungen verwendet, um die aktuelle Arbeitssituation in der Lagerlogistik zu analysieren. Aus dieser Analyse werden Erkenntnisse für die Anforderungsdefinition von Assistenzsystemen in der Lagerlogistik abgeleitet. Auf der anderen Seite erfolgt eine qualitative Datenerhebung, durch die eine exempla-

rische Betrachtung des Verpackungsprozesses im Online-Handel für die Ableitung eines Referenzprozesses umgesetzt wird. Ziel dieses Referenzprozesses ist die Schaffung eines prozessspezifischen Rahmens für die Erarbeitung eines spezialisierten Assistenzsystems im betrachteten Prozess.

1.4 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit setzt sich aus vier Teilen und neun Kapiteln zusammen, durch die eine thematische Aufteilung der Erarbeitung des Forschungsziels umgesetzt wird. Während der erste Teil eine Einführung in das Thema der Arbeit sowie die wissenschaftlichen Grundlagen umfasst, enthält der zweite Teil die wissenschaftliche Erarbeitung des angestrebten Assistenzsystems. Der dritte Teil greift diese Ergebnisse auf und beschreibt eine exemplarische Implementierung sowie den Test der implementierten Komponenten mit Bezug auf den spezifischen Anwendungsbereich der Verpackung im Online-Handel. Im letzten Teil werden die Ergebnisse der Arbeit diskutiert und im Bezug zu den im ersten Teil formulierten Forschungsfragen bewertet. Abbildung 1.2 visualisiert den Aufbau dieser Arbeit.

Innerhalb des ersten Teils schafft das Kapitel 2 eine Grundlage für die Umsetzung dieser Arbeit und spannt drei Betrachtungsfelder auf, die den Menschen und seine Umgebung im Kontext der Logistik aus verschiedenen Perspektiven betrachten. Ziel dieses Perspektivwechsels ist eine vollumfängliche Berücksichtigung aller Faktoren, die einen Einfluss auf die Nutzung digitaler Lösungen in industriellen Prozessen durch den Menschen haben. Während sich das *Betrachtungsfeld Mensch* mit den Aspekten der menschlichen Wahrnehmung sowie der Art und Weise des menschlichen Lernens beschäftigt (siehe Abschnitt 2.1), geht das *Betrachtungsfeld Technik* auf die Rahmenparameter ein, die ihrerseits das industrielle Umfeld des Menschen prägen und zu Veränderungen führt, auf die sich der Mensch einstellen muss (siehe Abschnitt 2.2). Das *Betrachtungsfeld Mensch und Technik* bringt beide Perspektiven zusammen und zeigt auf, welche Herausforderungen sich durch den Einsatz von Technik auf den Menschen ergeben und wie der Mensch durch technische Elemente unterstützt werden kann (siehe Abschnitt 2.3).

Der gestaltungsorientierte Entwicklungsprozess im zweiten Teil der Arbeit gliedert sich in drei Kapitel auf. In Kapitel 3 erfolgt eine Analyse der Arbeitsaufgaben sowie der Beschäftigtenstrukturen für den Bereich der Lagerlogistik. Basierend auf dieser quantitativen Datenerhebung und unter Berücksichtigung bestehender Modelle zur Technologieakzeptanz wird für den betrachteten Fall des Einsatzes eines Assistenzsystems ein Akzeptanzmodell für die Lagerlogistik entwickelt, durch das die akzeptanzspezifischen Kernanforderungen an ein Assistenzsystem in dem betrachteten Anwendungsfall ermittelt werden. Im Anschluss erfolgt in Kapitel 4, basierend auf verschiedenen Beispielprozessen mehrerer Unternehmen aus dem Online-Handel, eine qualitative Analyse des entsprechenden Verpackungsprozesses. Ziel dieses Kapitels ist die Entwicklung eines Referenzprozesses für die Verpackung im Online-Handel, der als Basis für die anschließende Systementwicklung dient.

Aufbauend auf den beiden beschriebenen Kapiteln erfolgt in Kapitel 5 die Entwicklung des in der Zielstellung dieser Arbeit beschriebenen Verfahrens zur Umsetzung des Wissenstransfers am Beispiel des zuvor referenzierten Verpackungsprozesses. Diese erfolgt hierbei in zwei Teilen, die jeweils die beiden Teilforschungsfragen dieser Arbeit fokussieren und für jede Frage jeweils eine eigene Lösung ableiten. Beide Komponenten fließen daraufhin in ein Referenzmodell ein, in dem ein verallgemeinertes Assistenzsystem für die Problemklasse der industriellen Einfacharbeit beschrieben wird.

Im dritten Teil dieser Arbeit beschreibt das Kapitel 6 eine Referenzimplementierung des zuvor spezifizierten Assistenzsystems, bestehend aus dem Training des Systems sowie der Unterstützung von Beschäftigten im Verpackungsprozess. Die Implementierungen werden in diesem Kapitel hinsichtlich ihres Vorgehens sowie der eingesetzten Algorithmen und Werkzeuge erläutert. In Kapitel 7 erfolgt eine Evaluation der beschriebenen Implementierungen. Ziel dieses Vorgehens ist, die Machbarkeit der in der Entwicklung beschriebenen Lösungen nachzuweisen, indem anwendungsnahe Szenarien geschaffen werden, innerhalb derer die Lösungen umgesetzt werden. Im Anschluss an die Evaluation werden die ermittelten Ergebnisse mit den Anforderungen aus den vorherigen Kapitel abgeglichen und auf diese Weise bewertet.

Eine abschließende Diskussion der in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse erfolgt in Kapitel 8. An dieser Stelle werden die anfangs aufgestellten Forschungsfragen aufgegriffen und auf ihre Beantwortung geprüft. Anschließend erfolgt in Kapitel 9 eine Betrachtung offener Forschungsfragen, die sich aus den Ergebnissen dieser Arbeit ableiten lassen.

1.5 Publikationen und Patente

Teile der hier dargelegten Forschungsergebnisse wurden durch den Autor im Vorfeld veröffentlicht. Die entsprechenden Publikationen decken unterschiedliche Forschungsarbeiten des Autors ab, die sich in den Ergebnissen dieser Arbeit wiederfinden. Hervorheben lassen sich an dieser Stelle insbesondere folgende Vorveröffentlichungen, die jeweils Kernaspekte der vorliegenden Arbeit repräsentieren und auf internationalen Konferenzen vorgestellt wurden:

Die Veröffentlichung **Design of an Extended Technology Acceptance Model for Warehouse Logistics** erläutert die Entwicklung eines Akzeptanzmodells für die Lagerlogistik. Das beschriebene Modell wird auf Basis detaillierter Analysen der Belegschaft in der Lagerlogistik entwickelt und berücksichtigt entsprechende Auswirkungen auf die Einführung digitaler Technologien im Lager. Diese Veröffentlichung enthält Auszüge der Ergebnisse des Kapitels 3, in dem das entwickelte Akzeptanzmodell für die Anforderungserhebung herangezogen wird.

Mättig, B.: Design of an Extended Technology Acceptance Model for Warehouse Logistics. In: 4th International Conference on Human Interaction & Emerging Tech-

nologies: Future Applications, 2021.

Der Ansatz der Explikation impliziten Wissens durch die Beobachtung von Experten im Prozess sowie die Nutzung dieses Wissens für die Unterstützung unerfahrener Beschäftigter wurde in dem Konferenzbeitrag **Approach to improving training of human workers in industrial applications through the use of Intelligence Augmentation and Human-in-the-Loop** veröffentlicht. Diese Veröffentlichung erläutert die Basis des in der vorliegenden Arbeit erarbeiteten Assistenzsystems und korrespondiert in weiten Teilen mit dem vorgestellten Verfahren in Kapitel 5.

Mättig, B.; Foot, H.: *Approach to improving training of human workers in industrial applications through the use of Intelligence Augmentation and Human-in-the-Loop. In: 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), Delft, Netherlands, pp. 283-288, 2020.*

Die Veröffentlichung **Smart Packaging in Intralogistics: An Evaluation Study of Human-Technology Interaction** beschäftigt sich mit der ergonomischen Bereitstellung von Verpackungsanweisungen und stellt zwei unterschiedliche Varianten der Assistenz vor. Darüber hinaus werden die vorgestellten Assistenten in einer Studie hinsichtlich ihrer ergonomischen Eigenschaften bewertet. Diese Veröffentlichung enthält Ergebnisse der Abschnitte 5.3 sowie 6.2 und beschreibt Details der Evaluation aus Abschnitt 7.3.

Mättig, B.; Kretschmer, V.: *Smart Packaging in Intralogistics: An Evaluation Study of Human-Technology Interaction. In: Applying New Collaboration Technologies. In: 42nd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2019.*

Weitere Vorveröffentlichungen sind im Kontext der Bearbeitung der vorliegenden Arbeit entstanden und publiziert worden und werden im Folgenden aufgelistet:

- Mättig, B.; Lorimer, I.; Jost, J.; Kirks, T.: Untersuchung des Einsatzes von Augmented Reality im Verpackungsprozess unter Berücksichtigung spezifischer Anforderungen an die Informationsdarstellung sowie die ergonomische Einbindung des Menschen in den Prozess. In: Wehking, K.-H. (Hrsg.): 12. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL): Universität Stuttgart. Univ.-Verl. Stuttgart, 2016.
- Kirks, T.; Jost, J.; Mättig, B.: Optimierung manueller Arbeitsprozesse in der Intralogistik durch Unterstützung des Menschen mit Augmented Reality – Datenbrillen zur Prozessunterstützung in der Verpackung. In: Glock, C.; Grosse, E. (Hrsg.): Warehousing 4.0 – Technische Lösungen und Managementkonzepte für die Lagerlogistik der Zukunft. B + G Wissenschaftsverlag, Lauda-Königshofen, 2017.
- Jost, J.; Kirks, T.; Mättig, B.; Sinsel, A.; Trapp, T.U.: Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In: Vogel-Heuser B., Bauernhansl T., ten Hompel M. (eds) Handbuch Industrie 4.0 Bd.1. Springer Reference Technik. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2017.
- Jost, J.; Kirks, T.; Mättig, B.: Multi-agent systems for decentralized control and adaptive interaction between humans and machines for industrial environments.

In: 7th IEEE International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2017 – Proceedings, 2017.

- Jost, J.; Kirks, T.; Mättig, B.: Study on manual palletization of inhomogeneous boxes with the help of different interfaces to assess specific factors of ergonomic impact. In: Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI 2017, 2017.
- Hirsch-Kreinsen, H.; ten Hompel, M.; Ittermann, P.; Niehaus, J.; Kirks, T.; Mättig, B.: „Social Manufacturing and Logistics“ – Arbeit in der digitalisierten Produktion. In: Wischmann S., Hartmann E. (Hrsg.) Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- Mättig, B.; Jost, J.; Kirks, T.: Erweiterte Horizonte – Ein technischer Blick in die Zukunft der Arbeit. In: Wischmann, S.; Hartmann, E. (eds) Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018.
- Kretschmer, V.; Plewan, T.; Rinkeauer, G.; Mättig, B.: Smart Palletisation: Cognitive Ergonomics in Augmented Reality Based Palletising. In: Karwowski W., Ahram T. (Hrsg.) Intelligent Human Systems Integration. IHSI 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 722. Springer, Cham, 2018.
- Mättig B., Kretschmer V.: Einsatz digitaler Assistenzsysteme in der Logistik 4.0. In: ten Hompel M., Vogel-Heuser B., Bauernhansl T. (Hrsg.) Handbuch Industrie 4.0. Springer Reference Technik. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019.
- Mättig, B.; Hering, F.; Doeltgen, M.: Development of an Intuitive, Visual Packaging Assistant. In: Nunes I. (Hrsg.) Advances in Human Factors and Systems Interaction. AHFE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 781. Springer, Cham, 2019.
- Plewan, T.; Mättig, B.; Kretschmer, V.; Rinkeauer, G.: Exploring the benefits and limitations of augmented reality for palletization. In: Applied Ergonomics, Volume 90, 2021.

Alle Publikationen wurden gemäß der Promotionsordnung als Vorveröffentlichung des Autors bei der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund angezeigt und sind durch diese anerkannt worden.

Im Zuge der Bearbeitung dieser Arbeit ist darüber hinaus ein *Patent* entstanden, in dem das Konzept eines Anzeigesystems für Verpackungsanweisungen im Verpackungsprozess beschrieben wird, dessen Entwicklung in Abschnitt 5.3.3 erläutert wird. Das Patent wurde unter dem Titel **Packing Assistance System, Packing Workstation and Method for Supporting Packaging** und der Patentnummer *EP3594139A2* beim Europäischen Patentamt angemeldet und befindet sich derzeit im Offenlegungsprozess.

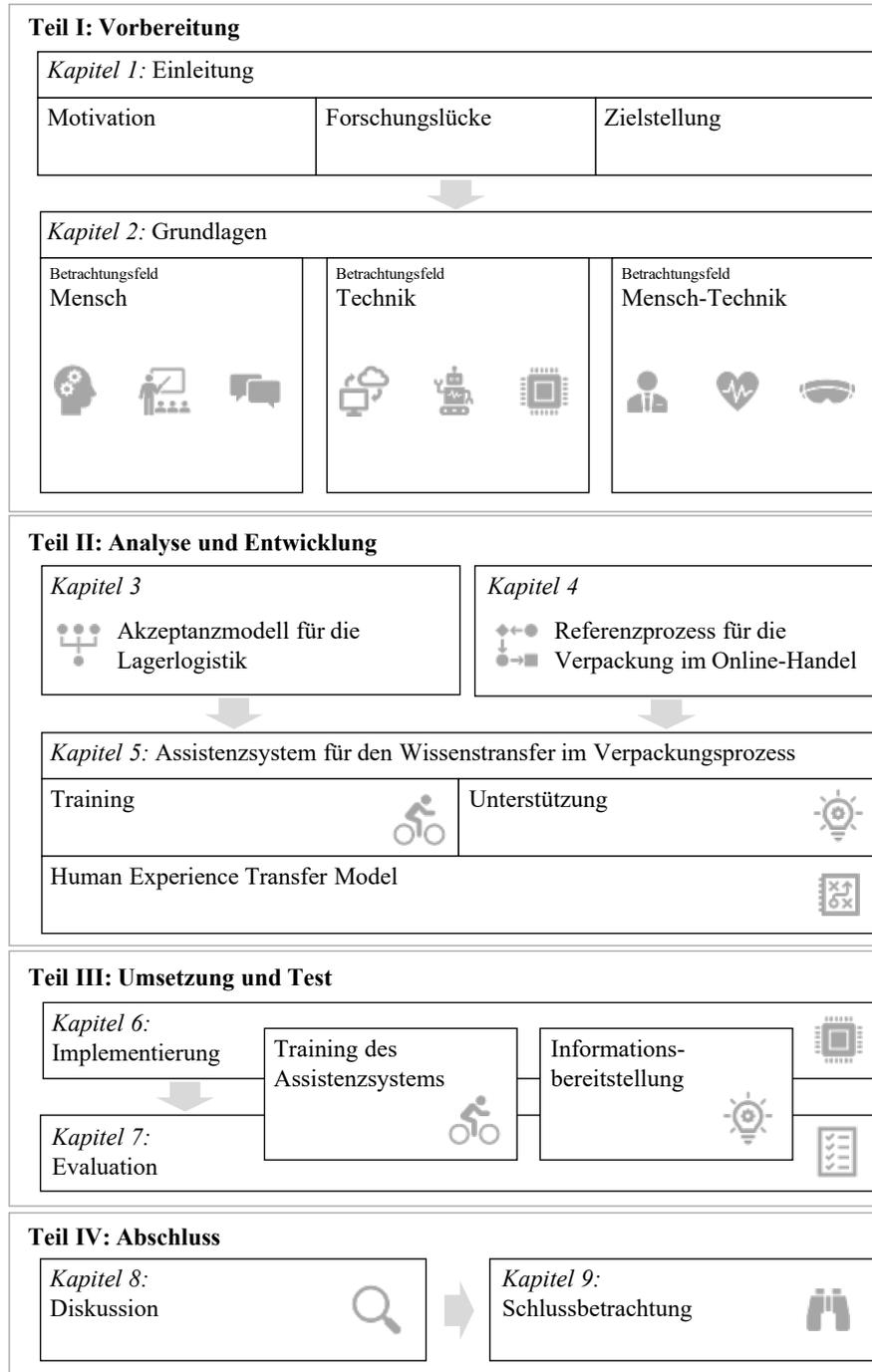


Abb. 1.2 Grafische Aufarbeitung des Aufbaus dieser Arbeit