



© Jaromir Chalabala Shutterstock.com

CargoErgo

Prozess- und Ergonomieanalyse in der Luftfracht

Gefördert über die Innovationsförderung des Landes Hessen



Bericht zum Forschungsvorhaben „CargoErgo – Prozess- und Ergonomieanalyse in der Luftfracht“

Verfasser/innen:

Prof. Dr. Christoph Glock	Technische Universität Darmstadt
Jun.-Prof. Dr. Eric Grosse	Universität des Saarlandes
Heiko Diefenbach, M. Sc.	Technische Universität Darmstadt
Alexander Lunin, M. Eng.	Technische Universität Darmstadt
Prof. Dr. Kai-Oliver Schocke	Frankfurt University of Applied Sciences
Nathalie Erlemann, B. Sc.	Frankfurt University of Applied Sciences

Projektlaufzeit: September 2019 bis Oktober 2020

Darmstadt & Frankfurt am Main, Oktober 2020

Das Forschungsvorhaben CargoErgo (HA-Projekt-Nr.: 801 /19-121) wurde aus Mitteln des Landes Hessen und der HOLM-Förderung im Rahmen der Maßnahme „*Innovationen im Bereich Logistik und Mobilität*“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen gefördert.

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen



HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH

Kurzfassung

Viele intralogistische Prozesse sind speziell in der Luftfrachtabfertigung noch immer durch einen hohen Anteil manueller Arbeit geprägt. Einen besonders zeit- und arbeitsintensiven Prozessschritt stellt hier der manuelle Auf- und Abbau von Luftfrachtpaletten und -containern dar. Ein hohes Maß an manueller Materialhandhabung, wie es beim Auf- und Abbau von Luftfracht anfällt, kann das Risiko der beteiligten Arbeiter, Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) zu entwickeln, deutlich erhöhen. Dies verringert nicht nur das Wohlbefinden der Arbeiter, sondern kann auch Arbeitsausfälle und Rehabilitationsmaßnahmen bedingen, die zu erheblichen Kosten führen können. Eine genaue Bestimmung der tatsächlichen Belastung und eventueller Gegenmaßnahmen ist daher angezeigt. Das Projekt „CargoErgo – Prozess- und Ergonomieanalyse in der Luftfracht“ beschäftigt sich daher mit der effizienz- und ergonomie-orientierten Analyse der intralogistischen Prozesse bei Luftfracht-Abfertigungsgesellschaften. Basierend auf einer Fallstudie bei zwei Luftfracht-Abfertigungsgesellschaften am Frankfurter Flughafen werden die Prozesse analysiert und auf Basis der Analyse Vorschläge zur Verbesserung der Arbeitsergonomie und Prozesseffizienz ausgearbeitet.

In diesem Bericht werden Erkenntnisse über die aktuelle ergonomische Belastung der Mitarbeiter im Luftfrachthandling vorgestellt. Ausgehend von Interviews mit dem operativen Personal werden neben empfundenen Prozessschwächen besonders belastende Tätigkeiten und belastete Körperregionen identifiziert. Darauf aufbauend werden ausgewählte Standard-Prozessabläufe mit anerkannten arbeitswissenschaftlichen Methoden analysiert, wobei zunächst ein grobes Screening-Verfahren angewandt und anschließend anhand von Videoaufnahmen eine detaillierte biomechanische Modellierung durchgeführt wird. Hierdurch können Erkenntnisse über die physische Belastung während der Handhabung typischer Lastgewichte gewonnen werden, welche zeigen, dass bereits vergleichsweise geringe Lastgewichte bei regelmäßiger Tätigkeitsausführung zu einer Erhöhung des Gesundheitsrisikos führen können.

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Interviews und weiteren Prozessbeobachtungen werden im Zuge der betriebswirtschaftlichen Analyse Schwachstellen und Ineffizienzen im Prozessablauf identifiziert, welche sich unter anderem aus einer mangelhaften Digitalisierung der Informationsübertragung und unzureichender Datenverfügbarkeit ergeben. Ebenso werden ineffiziente interne Prozessgestaltungen aufgedeckt, welche an einigen Stellen zu Prozessverzögerungen und Stress unter den Mitarbeitern führen.

Aus den Ergebnisse der ergonomischen und ökonomischen Prozessanalyse werden im Anschluss konkrete Maßnahmen erarbeitet, welche zu einer Prozessverbesserung in beiden Bereichen beitragen können. Es werden verschiedene technische Hilfsmittel vorgestellt, welche sich in unterschiedlichem Maße zur ergonomischen Unterstützung von Mitarbeitern im Luftfrachthandling eignen. Es wird zudem eine Einschätzung getroffen, in welchem Ausmaß ausgewählte technische Hilfsmittel zu einer Entlastung beitragen können. Zur Steigerung der Prozesseffizienz wurden ebenfalls geeignete Maßnahmen abgeleitet, welche sowohl die Umsetzung allgemeiner Prinzipien, als auch die Implementierung geeigneter digitaler Technologien umfassen. Die Akzeptanz eines abschließend ausgearbeiteten Gesamtkonzepts, das ergonomische und ökonomische Überlegungen verknüpft, wird schließlich durch Mitarbeiterinterviews überprüft.

Summary

Many intra-logistic processes are characterized by a high proportion of manual labor, especially in air freight handling. In this context, a particularly time-consuming and labor-intensive activity is the manual assembly and disassembly of air freight pallets and containers. A high amount of manual materials handling, as present at the assembly and disassembly of air freight, can increase the workers' likelihood to develop musculoskeletal disease (MSD). These do not only reduce the workers' wellbeing, but also result in lost time injuries and can require rehabilitation measures, causing significant costs. Hence, determining the workers' physical strains in detail and evaluating possible countermeasures is advisable. Therefore, the project "CargoErgo - Economic and ergonomic process analysis in air cargo handling" investigates the processes of air freight handling agents from an economic as well as ergonomic perspective. Based on a case study at two air freight handling agents at Frankfurt Airport, Germany, we analyze the processes and discuss means to improve the processes' efficiency and reduce ergonomic strains.

This report presents findings on the current ergonomic strain on employees in the air freight handling industry. Based on interviews with the operative staff, particularly stressful activities and stressed body regions are identified in addition to perceived process weaknesses. From that, selected standard processes are analyzed using established ergonomic methods. First, a rough screening method is applied. Afterwards, based on video recordings of the relevant processes, we use biomechanical modelling for a detailed analysis. We evaluate the strains during the handling of typically encountered loads. The results show that even comparatively light loads when handled regularly can increase the health risk significantly.

Based on the interviews and additional process observations, the economic process analysis identifies further weaknesses and inefficiencies in the process chain. Among other causes, they result from inadequate digitization of information transfer and insufficient data availability. Furthermore, inefficient internal process designs are uncovered, which occasionally lead to process delays and stress among employees.

Using the results of the ergonomic and economic process analysis, countermeasures to improve both areas are provided. Various technical devices are presented, which could improve ergonomics in air freight handling in different means. In addition, the extent, to which the devices could reduce the physical strains, is assessed. In order to increase process efficiency, suitable measures that include both the implementation of general principles and of suitable digital technologies are derived. Consecutively, a conclusive conceptual plan that includes both ergonomic and economic considerations is developed. Finally, the concept is evaluated by the handling agents' workers during interviews.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
1.1	Motivation und Forschungsfragen	7
1.2	Methodisches Vorgehen und Aufbau des Projektberichts	9
2	Prozessbeschreibung.....	10
2.1	Die Rolle eines Handling Agents innerhalb der Luftfracht Supply Chain	11
2.1.1	Die Luftfracht Supply Chain.....	11
2.1.2	Die Prozesskette im Frachtexport	12
2.1.3	Die Prozesskette im Frachtimport.....	16
2.1.4	Forschungslücken in der Prozessbetrachtung bei Handling Agents	17
2.2	Beschreibung der Prozesse anhand des Warenflusses HA 1 und HA 2	17
2.2.1	Die Prozesskette im Frachtexport bei HA 1 und HA 2.....	18
2.2.2	Die Prozesskette im Frachtimport bei HA 1 und HA 2	22
2.3	Beschreibung des Personalmanagements bei HA 1 und HA 2.....	24
2.3.1	Personalmanagement bei HA 1.....	25
2.3.2	Personalmanagement bei HA 2.....	26
3	Identifikation von Schwachstellen, Engpässen und körperlich belastenden Aktivitäten in der Prozesskette mittels semi-strukturierter Interviews.....	26
3.1	Nutzen und Zweck semi-strukturierter Interviews.....	27
3.2	Aufbau, Durchführung und Auswertung der semi-strukturierter Interviews.....	27
3.2.1	Aufbau der Interviews.....	28
3.2.2	Durchführung der Interviews	29
3.2.3	Auswertung der Interviews	29
3.3	Ergebnisse der semi-strukturierter Interviews	30
3.3.1	Ergonomie	31
3.3.2	Prozessqualität und -effizienz	33
3.3.3	Prozess- und Arbeitsgestaltung.....	34
4	Prozessanalyse aus ergonomisch-belastungsbezogener Perspektive.....	35
4.1	Bewertung physischer Belastungen	35
4.2	Bewertung der physischen Belastung auf Prozessebene	37
4.2.1	Das Multiple-Lasten-Tool und dessen Anwendung	37
4.2.2	Belastungsbewertung des ULD-Auf- und Abbaus mittels Multiple-Lasten-Tool	38
4.3	Bewertung ausgewählter Prozesse und Tätigkeiten mittels biomechanischer Modellierung	41
4.3.1	Biomechanische Modellierung mittels 3DSSPP	42
4.3.2	Bewertung des Auf- und Abbaus von Luftfrachtpaletten sowie spezieller Tätigkeiten mittels 3DSSPP	43
5	Prozessanalyse aus ökonomischer Perspektive	48
5.1	Herausforderung Informationsaustausch entlang der Luftfracht-Transportkette	48
5.2	Prozessbeschreibung der Frachtabwicklung bei HA 1 und HA 2	49

5.2.1	Exportprozess bei HA 1 und HA 2.....	49
5.2.2	Importprozess bei HA 1 und HA 2.....	56
6	Hilfsmittel und Technologien zur Verbesserung der Ergonomie.....	59
6.1	Überblick über mögliche Hilfsmittel.....	60
6.1.1	Arbeitsbühne/ Hubtisch.....	61
6.1.2	Exoskelett (aktiv und passiv).....	62
6.1.3	Gabelstapler.....	64
6.1.4	Kran (mobil und stationär).....	64
6.1.5	Manipulator/ Cobots.....	65
6.2	Diskussion und Auswahl geeigneter Hilfsmittel.....	65
7	Vorschläge zur Verbesserung des ökonomischen Prozessablaufs.....	67
7.1	Digitalisierung der Luftfracht-Transportkette.....	67
7.2	Effizienzsteigerung durch schlankere Prozesse.....	69
7.2.1	Papier abschaffen.....	69
7.2.2	Direkte Kommunikation.....	71
7.3	Digitale Unterstützung durch Augmented Reality und Smart Glasses.....	73
7.3.1	Funktionsweise.....	73
7.3.2	Darstellung.....	74
7.3.3	Tracking.....	76
7.3.4	Interaktion.....	76
7.3.5	Einsatzmöglichkeiten im Luftfracht-Handling.....	76
7.3.6	Herausforderungen bei der Implementierung von AR-Systeme.....	81
8	Erörterung von Gesamtkonzepten zur ergonomischen und ökonomischen Prozessverbesserung.....	82
8.1	Vorschläge für geeignete Konzepte und Hilfsmittel.....	82
8.2	Mitarbeiterakzeptanz der Konzepte und Hilfsmittel.....	86
9	Fazit und Ausblick.....	88
10	Literaturverzeichnis.....	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Akteure der Luftfracht-Transportkette.....	11
Abbildung 2: Prozesskette bezogen auf den Frachtfluss im Frachtexport bei HA 1 und HA 2	18
Abbildung 3: Luftfrachtpalette.....	20
Abbildung 4: Luftfrachtcontainer.....	20
Abbildung 5: Prozesskette bezogen auf den Frachtfluss im Frachtimport bei HA 1 und HA 2.....	22
Abbildung 6: Datenstruktur der Interviewauswertung.....	31
Abbildung 7: Maximale Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Aufbau von Luftfrachtpaletten	44
Abbildung 8: Kumulierte Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Aufbau von Luftfrachtpaletten	45
Abbildung 9: Maximale Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Abbau von Luftfrachtpaletten.....	46
Abbildung 10: Kumulierte Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Abbau von Luftfrachtpaletten.....	47
Abbildung 11: Maximale Kräfte auf das L4/L5-Gelenk bei ausgewählten Bewegungsabläufen	48
Abbildung 12: Dokumentenumfang e-freight und e-AWB	68
Abbildung 13: Gesamtkonzept zur ergonomischen und ökonomischen Prozessverbesserung bei Handling Agents	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergonomische Belastung nach dem Multiple Lasten Tool beim Aufbau von Luftfrachtpaletten und -containern.....	39
Tabelle 2: Ergonomische Belastung nach dem Multiple Lasten Tool beim Abbau von Luftfrachtpaletten und -containern.....	39
Tabelle 3: Bewegliche Hilfsmittel für die manuelle Materialhandhabung	61
Tabelle 4: Ortsgebundene Hilfsmittel für die manuelle Materialhandhabung.....	61
Tabelle 5: Grundsätze zur Gestaltung effizienterer Prozesse	73
Tabelle 6: Hardware-Überblick AR-Darstellungsformen.....	74

1 Einleitung

1.1 Motivation und Forschungsfragen

Der globale Handel und die Forderung nach immer kürzeren Lieferzeiten und geringen Lagerbeständen haben in den letzten Jahren zu einer deutlichen Zunahme der Luftfracht geführt (Ou et al., 2010). Bereits im Jahr 2006 betrug der wertmäßige Anteil an per Luftfracht versandter Ware 36 % des internationalen Handelsvolumens (IATA, 2006). Schätzungen gehen davon aus, dass der Luftfrachtmarkt auch in Zukunft mit ca. 4,7 % jährlichem Wachstum weiterwachsen wird (Boeing, 2014). Die Luftfracht trägt somit einen entscheidenden Anteil an der globalen wirtschaftlichen Entwicklung, was auch dazu führt, dass sie ein profitables Geschäft für Fluggesellschaften darstellt, die ihre Kapazitäten diesbezüglich stetig weiter ausbauen (Han et al., 2010). Der häufig hohe Wert der per Luftfracht transportierten Güter führt zu hohem gebundenen Kapital und entsprechend hohen Kapitalkosten pro Zeiteinheit. Gleichzeitig erwarten Kunden beim Versand von Waren per Luftfracht eine kurze Versanddauer und eine hohe Zuverlässigkeit, da dies Luftfracht maßgeblich von alternativen Versandmodi unterscheidet. Die Akteure der Luftfrachtprozesskette sind daher besonders veranlasst, ihre Prozesse schlank, effizient und sicher zu gestalten.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass eine Vielzahl an wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich des Luftfrachtmanagements in den vergangenen Jahren veröffentlicht wurde (Feng et al., 2015). Der Fokus dieser Arbeiten lag dabei insbesondere auf der Kapazitätsplanung (Brandt & Nickel, 2018), der Entwicklung von (kombinierten) Flugplänen (Lange, 2019) sowie auf Preisgestaltungspolitiken, jeweils mit dem Ziel der Kostenminimierung bzw. Gewinnmaximierung (Liu et al., 2019). Im Bereich der Planung von manuellen Luftfrachtprozessen existieren auch einige Arbeiten, die eine Zuweisung von Mitarbeitenden auf Arbeitsplätze (bspw. zum Auf- und Abbau von Luftfrachtpaletten) mit dem Ziel der Minimierung von Lohnkosten unterstützen (Rong & Grunow, 2009), oder Arbeiten, die Performancekennzahlen für Bodenabfertigungsdienste erheben (Schmidberger et al., 2009). Neben nennenswerten Arbeiten zur Unfallvermeidung (z. B. Ek & Akselsson, 2007) gibt es allerdings kaum wissenschaftliche Arbeiten, die den Fokus auf die Betrachtung manueller Arbeit beim internen Handling der Luftfracht legen. Wissenschaftler haben jedoch jüngst die dringende Notwendigkeit von ergonomischen Maßnahmen sowie die Potenziale von Automatisierung/Robotik im Luftfrachthandling erkannt, was sich in der Zunahme von aktuellen, jedoch rudimentären Konferenzvorträgen aus dem arbeitswissenschaftlichen Bereich zeigt (Grigorean, 2019). Größtenteils fokussieren arbeitswissenschaftliche Untersuchungen die Gepäckabfertigung an Flughäfen (wie bspw. Steidel et al., 2019; Bier et al., 2019), die jedoch nicht ohne weiteres auf die Besonderheiten des Auf- und Abbaus von Luftfrachtpaletten im internen Handling übertragen werden können. Wissenschaftliche Beiträge, die das Luftfrachthandling sowohl aus ergonomischer als auch betriebswirtschaftlich-prozessorientierter Sicht, insbesondere unter Berücksichtigung von aktueller Informationstechnologie bzw. technischer Hilfsmittel, untersuchen, sind nicht verfügbar.

Innerbetriebliche logistische Prozesse spielen in jeder Supply Chain eine wichtige Rolle und sind vor allem bei Handling Agents entscheidend für Liefertreue und Kundenzufriedenheit. Der hohe Kostendruck in der Luftfracht zwingt die Abfertigungsgesellschaften immer mehr dazu, interne logistische Prozesse effizienter zu gestalten, um langfristig im internationalen Wettbewerb bestehen zu können. Ein Bereich des Luftfrachthandlings, der

besonders arbeits- und zeitintensiv ist, ist der Auf- und Abbau von Luftfrachtpaletten. Diese Prozesse sind allgemein von einem sehr hohen Anteil an manueller, körperlicher Arbeit geprägt. Die Luftfrachtpaletten müssen dabei manuell von den Mitarbeitenden bis zu einer Höhe von drei Metern aufgebaut werden, was aufgrund wenig ergonomischer Körperhaltungen und schwerer Sendungen ein hohes Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen, wie z. B. Rückenleiden, erzeugt.

Arbeitsunfähigkeitsdaten bzgl. Lager- und Transporttätigkeiten im Allgemeinen verdeutlichen dieses branchenbedingte Risiko. Auf 100 Versicherte kommen in Berufen der Lagerwirtschaft mit steigender Tendenz 224,0 Arbeitsunfähigkeitsfälle pro Jahr (Badura et al., 2016). Der bundesdeutsche Durchschnitt liegt branchenübergreifend bei deutlich geringeren 167,6 Fällen. Betriebsgrößenübergreifend sind Mitarbeiter¹ in der Lagerhaltung mit einer höheren Anzahl an Arbeitsunfähigkeitstagen als in anderen Branchen belastet (Badura et al., 2016). Die jährlichen Kosten krankheitsbedingter Fehlzeiten in deutschen Unternehmen betragen ca. 80 Mrd. Euro durch den Verlust an Arbeitsproduktivität (BAuA, 2014). Ca. 30 % der krankheitsbedingten Fehlzeiten in Unternehmen sind auf Muskel-Skelett-Erkrankungen zurückzuführen, im europäischen Transport- und Lagersektor sogar über 60 % (Schneider & Irastorza, 2010). Unternehmen in der Luftfrachtbranche werden sich aufgrund demographischer Veränderungen in der Arbeitnehmerschaft von Logistikberufen zunehmend auch mit der sinkenden körperlichen Belastbarkeit und dem steigenden Krankenstand älterer Beschäftigter auseinandersetzen müssen (Rademacher et al., 2011). Diese Entwicklungen werden für Handling Agents durch die prognostizierte Ausweitung des weltweiten Luftfrachtverkehrs von 256 Mrd. Tonnenkilometern in 2018 bis 584 Mrd. Tonnenkilometern in 2037 zudem deutlich verschärft (Boeing, 2018). Zwar existieren bereits Untersuchungen, die Logistikarbeitsplätze nach ergonomischen Kriterien evaluieren (z. B. Neumann & Medbo, 2010; Larco et al., 2017), jedoch decken diese Arbeiten die spezifischen Anforderungen beim Handling von Luftfrachtpaletten nicht ab. Obwohl in der Luftfracht technische Hilfsmittel (wie z.B. Vakuumheber) bereits verwendet werden, existieren keine wissenschaftlichen Studien dazu, welche technischen Hilfsmittel zur Unterstützung des Menschen beim Auf- und Abbau der Luftfrachtpaletten sinnvoll eingesetzt werden können. Dies trifft auch für die konkrete Beurteilung von Verbesserungsmöglichkeiten zu, die sowohl technische Hilfsmittel als auch wirtschaftliche und ergonomische Kenngrößen berücksichtigen (vgl. für die Kommissionierung Glock et al., 2019). Dabei steigt der Bedarf an Assistenzsystemen zur Unterstützung des Menschen bei der Handhabung von Lastgewichten in der Logistik, wie bspw. Exoskelette, stetig, da diese für die Gewährung der Mitarbeitergesundheit und der Produktivität oftmals unabdingbar sind (Stelzer et al., 2017; Bednorz et al., 2019). Aufgrund von bereits beobachteten Akzeptanzproblemen von technischen Hilfsmitteln in der Logistik muss berücksichtigt werden, dass diese so gestaltet werden, dass ein klarer Mehrwert bei der Benutzung der Hilfsmittel für die Mitarbeitenden ersichtlich ist und eine intuitive Gestaltung der Schnittstelle zwischen Mensch und Hilfsmittel gewährleistet wird (Stelzer et al. 2017).

Die Planung der Luftfrachthandling-Prozesse hat allgemein einen entscheidenden Einfluss auf Durchlaufzeiten und Servicegrade und kann bei Handling Agents sogar der ausschlaggebende Wettbewerbsvorteil sein (Khan, 2000). Diese Prozesse sollten daher kontinuierlich auf Optimierungspotenziale überprüft werden. Auch wenn durch das Voranschreiten von Industrie 4.0 und der digitalen Transformation in anderen logistischen Bereichen verschiedene digitale Technologien zum Einsatz kommen (Winkelhaus & Grosse, 2019), liegt in der Luftfracht

¹ Hier und im Folgenden wird zur Verkürzung der Schreibweise das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind, wenn nicht explizit anders kenntlich gemacht, Personen jeglichen Geschlechts.

der Großteil der Arbeitsleistung nach wie vor beim Menschen. Zudem stehen dabei alle Informationen stehen meist nur in analoger Form zur Verfügung. Es wird daher vermutet, dass der Einsatz digitaler (Informations-) Technologien in der Luftfracht bedeutende Optimierungspotenziale birgt (Bierwirth & Schocke, 2017). So ermöglicht bspw. die Vernetzung von Menschen und Maschinen die Nutzung innovativer Informationstechnologien. Die manuelle Arbeit kann durch die voranschreitende Entwicklung von Assistenzsystemen und Informationstechnologien unterstützt werden. Dabei gilt es, die Fähigkeiten des Menschen (Kreativität, Problemlösen, Kognition, taktile Fähigkeiten) mit jenen der Maschinen (Produktivität, Präzision, Wiederholgenauigkeit, Sensorik) intelligent zu kombinieren.

Maßgebliche Technologien, die zu dieser möglichen Entwicklung v.a. für das innerbetriebliche Handling der Luftfracht beitragen können, sind das Internet der Dinge, cyberphysische Systeme und Big Data bzw. Data-Analytics (Lu, 2017). Im Internet der Dinge können Computer und mit Sensoren ausgestattete Dinge (wie bspw. Container) untereinander kommunizieren und Informationen austauschen (Aztori et al., 2010). Big Data ermöglicht es, große Datenmengen, die schnell generiert werden und aus unterschiedlichen Quellen stammen, so auszuwerten, dass sie dem Management eine gezielte Entscheidungsunterstützung bieten können (Addo-Tenkorang & Helo, 2016). Aber auch mobile Endgeräte, wie Smartphones oder Datenbrillen, gehören zu dieser Entwicklung, da sie neue Interaktionsformen zwischen Mensch und Technologie ermöglichen (Stoltz et al., 2017).

Der Digitalisierungsgrad der Geschäftsprozesse in der Luftfrachtabwicklung ist allgemein noch ausbaufähig. In dem vorliegenden Projekt wird daher zunächst die Existenz aller digitalen Informationen geprüft und dargestellt, welche Daten analog und welche Daten digital vorliegen. In der Folge soll beurteilt werden, welche Möglichkeiten existieren, analoge, Luftfracht-spezifische Informationen zu digitalisieren bzw. digital vorliegende Daten aus einem IT-System zu übernehmen und aufzubereiten. Essentiell ist jedoch, dass geprüft wird, wie die Hilfsmittelwahl in bestehende Geschäftsprozesse integriert werden kann. Hierfür werden die typischen Prozesse beschrieben, analysiert und Hypothesen zu Verbesserungspotenzialen aufgestellt. Der Schwerpunkt liegt hierbei in der Nutzung neuer oder bestehender digitaler Prozesse.

1.2 Methodisches Vorgehen und Aufbau des Projektberichts

Das Projekt „CargoErgo – Prozess- und Ergonomieanalyse in der Luftfracht“ wurde in Zusammenarbeit der Technischen Universität Darmstadt (Fachgebiet Produktion und Supply Chain Management, Projektleitung) und der Frankfurt University of Applied Sciences (Zentrum für Logistik, Mobilität und Nachhaltigkeit) bearbeitet. Das Projekt (HA-Projekt-Nr.: 801/19-121) wird aus Mitteln des Landes Hessen und der HOLM-Förderung im Rahmen der Maßnahme „Innovationen im Bereich Logistik und Mobilität“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen gefördert. Als assoziierte Partner waren zwei Handling Agents am Standort Frankfurter Flughafen beteiligt. Die Projektpartner werden im Folgenden anonymisiert als Handling Agent 1 und Handling Agent 2 (HA 1 und HA 2) bezeichnet.

Der nachfolgende Projektbericht beginnt mit einer detaillierten Beschreibung der Prozesse, die im Zuge der Luftfrachtabfertigung bei einem Handling Agent anfallen. Als Handling Agent wird dabei das Mitglied einer Luftfracht Supply Chain bezeichnet, welches das Bindeglied zwischen land- und luftgebundenem Transport darstellt. Die Prozessbeschreibung erfolgt zunächst auf Basis einer Literaturrecherche und wird im Anschluss durch Prozessbeobachtungen bei den Praxispartnern HA 1 und HA 2, die repräsentative Handling Agents darstellen, präzisiert.

Die Erfassung der Prozesse bei den Projektpartnern erfolgt hierbei mittels Beobachtungen, Videoaufzeichnungen von Schlüsselprozessen und Mitarbeiterbefragungen mittels Interviews.

Nachdem die Prozesse in Abschnitt 2 beschrieben und damit klar definiert wurden, schließt sich in Kapiteln 3, 4 und 5 die Prozessanalyse an. Für die Analyse wird ein zweigliedriges Vorgehen gewählt, bei dem die ergonomische Prozessbegutachtung und die ökonomische Prozessanalyse zunächst separat durchgeführt werden. Das zweigliedrige Vorgehen hat den Vorteil, dass die jeweiligen Analysen fokussierter und präziser durchgeführt werden können. Die ergonomische Analyse, die in Kapitel 4 beschrieben wird, erfolgt in zwei Schritten. Zunächst erfolgt eine grobe Ergonomiebewertung der beobachteten Prozesse und manuellen Tätigkeiten. Die dabei als besonders kritisch eingestuften Tätigkeiten werden anschließend im Detail begutachtet. Die Analyse erfolgt mittels etablierter ergonomischer Bewertungsverfahren, die in Kapitel 4 näher beschrieben werden. Die ökonomische, effizienzorientierte Prozessanalyse wird in Kapitel 5 beschrieben.

Um die Prozesse bei den Handling Agents zu verbessern, sollen im Zuge dieses Projekts technische Hilfsmittel und Informationstechnologien recherchiert und hinsichtlich ihrer Geeignetheit und ihres potenziellen Mehrwertes untersucht werden. Auch hier wird wiederum ein zweigliedriges Vorgehen gewählt, das zwischen den Zielen der ergonomischen Prozessverbesserung und der Effizienzsteigerung der Prozesse unterscheidet. Kapitel 6 thematisiert Hilfsmitteln, die dem ersteren Zweck dienen können, Kapitel 7 fokussiert unterstützende Technologien, die die Prozesse aus ökonomischer verbessern können. Beide Kapitel sind ähnlich aufgebaut. Im ersten Schritt erfolgt eine allgemeine Recherche von Hilfsmitteln, die zunächst einmal unabhängig von den Prozessen bei den Handling Agents erfolgt. Dies soll sicherstellen, dass möglichst alle verfügbaren Technologien und Hilfsmittel berücksichtigt werden und damit verhindern, dass auf den ersten Blick unpassende Alternativen vorschnell ausgesondert werden. Erst im Anschluss an die Recherche werden die identifizierten Technologien und Hilfsmittel mit den Prozessen abgeglichen und bezüglich ihrer Anwendbarkeit und Geeignetheit bewertet. Kapitel 6 und 7 schließen mit Empfehlungen, welche Hilfsmittel und Technologien sinnvoll erscheinen und wie die Nutzung dieser Hilfsmittel die Mitarbeiter bei der Ausführung der Prozesse unterstützen kann.

In Kapitel 8 erfolgt die Synthese der Vorschläge zur Verbesserung der Ergonomie und Prozesseffizienz in einem Gesamtkonzept. Dazu werden Hilfsmittel, die ergonomische Verbesserungen versprechen, auf ihre Auswirkungen auf die Prozesseffizienz untersucht und in einem Handlungsplan übersichtlich dargestellt. Als Resultat wird ein Maßnahmenpaket aus technischen Hilfsmitteln und Technologien abgeleitet, die das Potenzial aufweisen, die Prozesse bei den Handling Agents sowohl ergonomisch weniger belastend als auch ökonomisch effizienter zu gestalten. Die im Maßnahmenpaket vorgeschlagenen Hilfsmittel werden in Kapitel 8.2 hinsichtlich der Mitarbeiterakzeptanz analysiert, was über die Befragung von Mitarbeitern HA 1 und HA 2 erfolgt.

Der Projektbericht schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und einem kurzen Ausblick in Kapitel 9.

2 Prozessbeschreibung

Im nachfolgenden Kapitel werden die Prozesse, die bei der Luftfrachthandhabung bei einem Handling Agent anfallen, beschrieben. Basierend auf einer Literaturrecherche beschreibt Kapitel 2.1 zunächst die Rolle des Handling Agents in der Luftfracht Supply Chain. Aus seiner Position in der Supply Chain ergeben sich für den

Handling Agent Rahmenbedingungen, die bei der Gestaltung der internen Prozesse berücksichtigt werden müssen. Ferner zeigt die Literaturrecherche in Kapitel 2.1 auf, welche prozessbezogenen Planungsprobleme, der sich ein Handling Agent gegenüberstellt, bereits aus wissenschaftlicher Sicht untersucht wurden. Kapitel 2.2 beschreibt die interne Prozesskette eines Handling Agents auf Basis der Prozessbeobachtungen bei HA 1 und HA 2. Die Prozesskette wird dazu anhand des Warenflusses gegliedert. Kapitel 2.3 erläutert den Personalfluss innerhalb der Prozesskette.

2.1 Die Rolle eines Handling Agents innerhalb der Luftfracht Supply Chain

2.1.1 Die Luftfracht Supply Chain

Luftfracht lässt sich konzeptionell als Transport von Waren per Flugzeug definieren. Nichtsdestoweniger umfasst der Versand von Luftfracht eine Vielzahl von Prozessen, die von diversen, miteinander interagierenden Serviceanbietern, der Luftfracht Supply Chain, erbracht werden (Feng et al., 2015). Typischerweise werden die nachfolgenden Serviceanbieter unterschieden (Chan et al., 2012; Feng et al., 2015; Xue & Lai, 1997): Ein Versender (engl. shipper) möchte Ware per Luftfracht an einen Empfänger (engl. consignee) versenden. Ein (oder mehrere) Trucker (engl. road transporter oder trucker) sorgt für den straßengebundenen Transport vom Versender zum exportierenden Flughafen und vom importierenden Flughafen zum Empfänger (vgl. Abbildung 1). An beiden Flughäfen stellt eine Luftfrachtabfertigungsgesellschaft (engl. Handling Agent) das Bindeglied zwischen straßen- und flugzeuggebundenem Transport bzw. Trucker und Fluggesellschaft dar. Der Handling Agent übt damit eine Cross-Docking-Funktion aus (vgl. für eine Beschreibung von Cross-Docking-Systemen Van Belle et al., 2012). Der eigentliche Lufttransport per Flugzeug wird von einer (Fracht-) Fluggesellschaft (engl. airline/ carrier) durchgeführt. Die Koordination der Transportkette wird von einem Spediteur übernommen, der häufig mit einem der Serviceanbieter, beispielsweise einer Fluggesellschaft oder einem Handling Agent, übereinstimmt. Der Spediteur schließt als übergeordnete Instanz den Beförderungsvertrag mit dem Versender, beauftragt die Trucker und kümmert sich um die Luftbeförderung der Ware, indem er eine oder mehrere Airlines beauftragt. Der Handling Agent steht für gewöhnlich nicht im direkten Vertragsverhältnis mit dem Spediteur, sondern wird von der Airline beauftragt (Bernecker & Grandjot 2017; S. 104f).

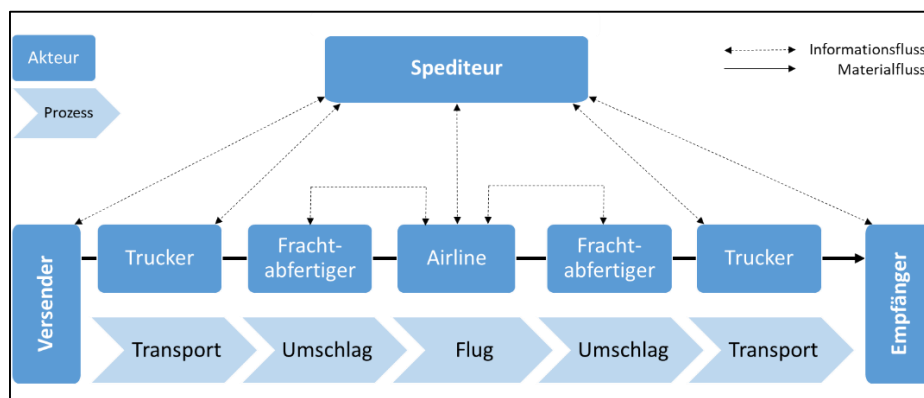


Abbildung 1: Akteure der Luftfracht-Transportkette (eigene Darstellung nach Bernecker & Grandjot 2017; S. 104)

Bei den Fluggesellschaften können reine Frachtfluggesellschaften (engl. all-cargo carriers), die ausschließlich Frachtflugzeuge betreiben, und gemischte Personen- und Frachtfluggesellschaften (engl. combination airlines), die sowohl für dedizierte Frachtflugzeuge als auch die Bauchkapazität von Personenflugzeuge für den Transport

von Luftfracht nutzen, unterschieden werden (Feng et al., 2015). Darüber hinaus können unterschiedliche Grade der Integration innerhalb der Luftfracht Supply Chain vorliegen. Integrierte Express-Luftfrachtgesellschaften (engl. integrated express carriers), wie z. B. FedEx Express, bieten (express) Tür-zu-Tür-Lieferungen an und vereinen dabei die Rolle von Trucker, Handling Agent, Fluggesellschaft und Spediteur. Weiterhin ist die Integration von Handling Agents und Fluggesellschaften möglich, wie z. B. bei Lufthansa Cargo (Brandt & Nickel, 2018). Häufig handelt es sich bei den Dienstleistern, also Trucker, Handling Agents und Fluggesellschaften, jedoch um eigenständige Akteure (Feng et al., 2015). Dies gilt auch für die Projektpartner HA 1 und HA 2. Wann welche Prozessintegration in der Luftfracht aus wirtschaftlicher Perspektive sinnvoll ist, wird von Leung et al. (2009) mittels eines mathematischen Optimierungsmodells untersucht.

Im Gegensatz zu Gepäckstücken von Passagieren, die lose in Passagierflugzeugen verladen werden (vgl. z. B. Dell, 1998), wird die Ware für die kommerzielle Luftfracht üblicherweise mittels Palletten oder Containern, sog. „unit load devices“ (ULDs) konsolidiert. Die Konsolidierung der Luftfracht im Export bzw. deren Zerlegung auf Seiten des Imports ist eine der wesentlichen Aufgabe eines Handling Agents (vgl. z. B. Chan et al., 2006; Norbert & Roy, 1998; Rong & Gronow, 2009; Xue & Lai, 1997). Abhängig vom Integrationsgrad des Handling Agents können dabei unterschiedliche Prozesse ablaufen bzw. unterschiedlich relevant sein. Die Handling Agents betreiben dazu üblicherweise eigene Luftfrachtterminals, die eine physische Schnittstelle, einerseits mit den Truckern und andererseits mit den Fluggesellschaften, darstellen (Brandt & Nickel, 2018). Grundsätzlich können bei den Handling Agents die Prozessketten des Frachtexports und Frachtimports unterschieden werden.

2.1.2 Die Prozesskette im Frachlexport

2.1.2.1 Frachtannahme und -zwischenlagerung

Im Frachlexport liefern die Trucker die zu versendende Fracht, typischerweise per LKW, am Terminal des Handling Agents an. Die Fracht kann in unterschiedlich konsolidierter Weise angeliefert werden. Sie kann entweder bereits auf ULDs verladen sein oder sie liegt in Form von losen oder palettierten Packstücken vor (Rong & Gronow, 2009). Der Handling Agent nimmt die Fracht entgegen und überprüft und sortiert diese. Je nach geplantem Versandzeitpunkt der Fracht wird diese entweder zwischengelagert oder direkt zur Konsolidierung in ULDs bereitgestellt.

Die Koordination der Ankunftszeiten bzw. -reihenfolge und Entladung der LKWs wird als Truck Scheduling bezeichnet. Hall (2001) entwickelte in diesem Zusammenhang einen warteschlangentheoretischen Vorhersage- und Planungsansatz zur zeitlichen Vorhersage der anfallenden Entladungs- und -sortierarbeit und daraus resultierenden Verzögerungen. Für die Anlieferung von bereits auf ULDs konsolidierter Fracht wurde von Ou et al. (2010) ein Planungsmodell entwickelt, das darauf abzielt, die Ankunftszeiten der angelieferten Fracht mit dem Abflugplan der Frachtflugzeuge zu koordinieren, sodass die Fracht möglichst nicht zwischengelagert werden muss, um den Handhabungsaufwand zu minimieren. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn Handling Agent und Fluggesellschaft integriert sind und beide Akteure ein gemeinsames Terminal nutzen. Selinka et al. (2016) entwickelten einen Analyseansatz zur zeitabhängigen Performancebewertung der Abfertigung von LKW im Import und Export.

Die Steuerung des Materialflusses bei Handling Agents wurde bisher nur bei stark automatisierten Terminals wissenschaftlich untersucht. Lau & Zhao (2006) entwickelten einen Ansatz zur integrierten Ablaufplanung von automatisierten Materialhandhabungssystemen in einem stark automatisierten Terminal. Sie betrachten dabei

sowohl die entsprechenden Abläufe im Export als auch im Import. Xu et al. (2014) modellierten den Materialfluss eines automatisierten Terminals als Netzwerkflussproblem und entwickelten eine Flussteuersstrategie, die sie mittels einer Simulation evaluieren.

2.1.2.2 Planung der Frachtkonsolidierung

Sämtliche lose Fracht muss vom Handling Agents für den Export konsolidiert werden. Die Konsolidierung erfolgt mittels ULDs in Form von Luftfrachtcontainern oder Luftfrachtpaletten. Die ULDs werden üblicherweise von den Fluggesellschaften bereitgestellt. Bei integrierten Handling Agents und Fluggesellschaften erfolgt dies über eine interne Abstimmung (Rong & Gronow, 2009). Hierbei besteht die Möglichkeit, die Konsolidierung der Fracht mittels ULDs und die Beladung des Flugzeugs mit ULDs, bei welcher Gewichts- und Balancerestriktionen eingehalten werden müssen, simultan zu planen, um weiteres Optimierungspotenzial auszuschöpfen (Brandt & Nickel, 2018). Handelt es sich bei den Handling Agents und der Fluggesellschaft um separate Akteure, erfolgt die Bereitstellung von ULDs über ein Mietmodell, bei dem fixe Kosten pro ULD und beladungsabhängige variable Kosten anfallen (Xue & Lai, 1997). Die Simultanplanung von Frachtkonsolidierung und Flugzeugbeladung ist hier von geringerer Relevanz. Da die ULDs an die Kontur des Flugzeugtyps, mit dem sie transportiert werden, angepasst sind, existiert eine Vielzahl an verschieden geformten und verschieden großen ULDs. Container besitzen üblicherweise die Form eines Quaders, teilweise mit abgefasten Kanten. Luftfrachtpaletten besitzen eine rechteckige Grundfläche. Der zulässige Aufbau der Fracht auf der Palette ist jedoch, ähnlich den Luftfrachtcontainern, auf einen (teilweise abgefasten) Quader beschränkt. Darüber hinaus können die ULDs unterschiedliche maximale Beladungsgewichte aufweisen (Chan et al., 2006; Paquay et al., 2016; Wu, 2008). Vor diesem Hintergrund können sich die folgenden interdependenten Fragestellungen für einen Handling Agent ergeben: Welche ULDs sollen ausgewählt werden? Welche Fracht soll auf welchem ULD konsolidiert werden? Wie soll die Fracht auf den ULDs aufgebaut werden?

Xue und Lai (1997) entwickelten ein gemischt-ganzzahliges mathematisches Modell zur Planung, welche Luftfrachtcontainer ausgewählt, also von den Fluggesellschaften gemietet, und mit welcher Fracht beladen werden sollen. Dabei wird berücksichtigt, dass die Mietkosten eines Containers sowohl einen fixen als auch einen beladungsabhängigen Anteil mit stückweise linearem Kostenfaktor aufweisen. Die Autoren betrachten dabei die Kapazitätsbeschränkung des Containers hinsichtlich des Gewichts und des Volumens als skalare Größen und vernachlässigen, wie die Fracht in den jeweiligen Containern angeordnet sein sollen. Chan et al. (2006) betrachten ein ähnliches Problem bei der Beladung von Luftfrachtpaletten. Im Gegensatz zu Xue & Lai (1997) reduzieren sie die Volumenbeschränkung einer Palette nicht auf eine skalare Größe, sondern berücksichtigen die konkrete Anordnung der Fracht auf den Paletten mittels heuristischer Beladungsplanung. Huang und Chi (2007) beschäftigen sich damit, wie ein Handling Agent Fracht konsolidieren sollte, um Mengenrabatte der Fluggesellschaften optimal auszunutzen. Der Analysegegenstand der Konsolidierung sind jedoch nicht einzelne ULDs, sondern Flüge. Wu (2008) untersuchte ein Problem, das dem von Xue und Lai (1997) nahezu identisch ist. Das Problem, das von Li et al. (2009) betrachtet wurde, ähnelt dem von Xue und Lai (1997) und Wu (2008). Li et al. (2009) vernachlässigten jedoch die volumenmäßige Kapazitätsrestriktion von Containern und verwendeten eine etwas abgewandelte stückweise lineare Kostenfunktion zur Beschreibung der beladungsabhängigen Kosten. Ferner entwickelten die Autoren eine auf Nachbarschaftssuche basierte Lösungsheuristik für das analysierte Problem. Lau et al. (2009) betrachteten das Problem der Frachtkonsolidierung unter Berücksichtigung der Möglichkeit,

dass Fracht für einen gewissen Zeitraum gelagert und verspätet versandt werden kann, was Lager- und Strafkosten bedingt. Wu (2010) erweiterte das Modell von Wu (2008) um die Berücksichtigung von Unsicherheiten und entwickelte ein stochastisches mathematisches Modell zur Planung, wann welche Mengen welcher Luftfrachtcontainer gemietet werden sollen und welchen Containern die Fracht zugewiesen werden sollen. Dabei wird explizit unterschieden, ob die Container frühzeitig zu günstigen Konditionen oder kurzfristig zu teureren Konditionen gemietet werden. Wu (2011) erweiterte das Modell von Wu (2010), um ein robustes Modell, das den verspäteten Frachtversand erlaubt. Yan et al. (2008c) beschäftigten sich mit der Konsolidierung von Waren auf Containern in einem Hub-and-Spoke-Netzwerk mit dem Ziel, den Handhabungsaufwand, der abhängig vom Konsolidierungsaufwand an den Spokes und dem Hub ist, zu minimieren. Tang (2011) entwickelte einen zugehörigen genetischen Algorithmus zur Lösung dieses Problems. Chan et al. (2012) modellierten das Problem der Frachtkonsolidierung als agentenbasiertes System und berücksichtigten gleichzeitig die Möglichkeit der Equalisierung, bei den Handling Agents einen Kostenausgleich bei gleichzeitigem Vorliegen von überbeladenen Containern und unterbeladenen Containern erlauben.

Im Fall, dass die Fluggesellschaft die Rolle des Spediteurs übernimmt, so wie bei HA 1 und HA 2, kann es auch sein, dass die ULDs, die zur Konsolidierung einer Frachtsendung genutzt werden sollen, vorgegeben werden. In diesem Fall entfällt das Problem der ULD-Auswahl seitens des Handling Agents.

Der (manuellen) Materialhandhabung bei der Beladung von ULDs wurde von der wissenschaftlichen Literatur bisher keine Aufmerksamkeit gewidmet.

2.1.2.3 Durchführung der Frachtkonsolidierung

Nachdem festgelegt wurde, welche Fracht auf welchen Ladungsträger konsolidiert werden soll, erfolgt der eigentliche Aufbau der Luftfrachtpaletten bzw. die Beladung der Luftfrachtcontainer, im Englischen auch als „build-up“ bezeichnet. Während Container Seitenwände besitzen, die die Fracht abstützen, müssen Aufbauten auf Paletten mit Folien, Netzen und Gurten verspannt und gesichert werden (Chan et al., 2006). Dabei kommen auch Stütz- und Füllmaterialien zum Einsatz. Darüber hinaus können Paletten mit Überhang aufgebaut werden, wenn im Gegenzug bei einer anderen Palette entsprechende Aussparungen berücksichtigt werden, da beide Paletten im Flugzeug so verladen werden können, dass die kombinierte Platzrestriktion beider Paletten eingehalten wird (Brandt & Nickel, 2018). Die Entscheidungen über die Konsolidierung der Fracht und den build-up sind dabei nicht unabhängig (vgl. Chan et al., 2006), werden jedoch häufig getrennt betrachtet, wie der vorangegangene Abschnitt verdeutlichte. Der build-up gilt als zeitaufwändigster physischer Prozessschritt des Handling Agents (Brandt & Nickel, 2018). Die Fachliteratur beschäftigt sich im Wesentlichen aus zwei Blickwinkeln mit dem build-up. Einerseits existiert Literatur, die sich mit der Anordnung der Fracht beschäftigt und dabei das Ziel verfolgt, die Fracht möglichst dicht und stabil zu packen. Andererseits wird der Prozess des build-up in der Literatur aus der Perspektive der Personal- und Schichtplanung betrachtet.

Das Problem der Frachtpackung wird in der Literatur als Container Loading Problem bezeichnet. Ein Überblick über das Container Loading Problem, das auch außerhalb der Luftfracht von großer Relevanz ist und daher gut untersucht ist, kann bei Bortfeldt und Wäscher (2013) gefunden werden. Nachfolgend wird sich auf Literatur beschränkt, die einen expliziten Bezug zur Luftfracht aufweist. Chan et al. (2006) beschäftigten sich neben der Konsolidierung von Fracht auch mit dem Pallet Loading Problem bei Luftfrachtpaletten. Die Autoren berücksichtigten dabei spezielle Anforderungen an den Aufbau von Paletten in der Luftfracht. Diese sind unter anderem,

dass ein bestimmtes Maximalgewicht nicht überschritten wird, dass schwere Fracht möglichst niedrig gelagert werden sollte, dass der Aufbau stabil sein sollte und dass der Aufbau möglichst wenig Hohlräume aufweisen sollte. Zur Lösung des Problems wird ein heuristischer Ansatz vorgestellt. Paquay et al. (2016) untersuchten das Pallet Loading Problem bei Luftfrachtcontainern. Sie definierten dazu diverse Anforderungen an den Frachtaufbau bezüglich der Gewichtlimits, der räumlichen Orientierung der Fracht, der Fragilität der Fracht und der Gewichtsverteilung. Das Problem wurde als gemischt-ganzzahliges lineares Modell formuliert, das für sehr kleine Probleminstanzen optimal gelöst werden kann, für realistische Problemgrößen jedoch nicht in angemessener Zeit lösbar ist. Zur Lösung größerer Probleminstanzen des von Paquay et al. (2016) definierten Problems entwickelten und erprobten Paquay et al. (2018a) und Paquay et al. (2018b) verschiedene heuristische Lösungsverfahren. Brandt & Nickel (2018) merkten an, dass der Aspekt, dass nicht sämtliche Fracht zu Beginn der Konsolidierung verfügbar ist, sondern teilweise erst im Laufe des Aufbaus angeliefert wird, weitestgehend vernachlässigt wird. Eine Ausnahme stellt die Arbeit von Ha und Nananukul (2016) dar, die jedoch anderen Anforderungen des Pallet Loading Problems in Kontext von Luftfracht, wie z. B. Gewichtsverteilung oder Stabilitätskriterien, vernachlässigt.

Personal- und Schichtplanung ist, ähnlich wie das Container Loading Problem, nicht nur im Zuge von Luftfrachthandhabung relevant. Ein allgemeiner Überblick zu dieser Thematik findet sich bei Van den Bergh et al. (2013) und Ernst et al. (2014). Aus der Perspektive eines Handling Agents ist insbesondere die Personal- und Schichtplanung des für den Aufbau und Abbau von ULDs eingesetzten Personals relevant. Nachfolgend wird sich auf die Literatur mit Bezug zu diesem Kontext beschränkt. Norbert und Roy (1998) beschäftigten sich mit der Personalbedarfs- und Schichtplanung von im Export tätigem Personal mit der Zielstellung der Personalkostenminimierung. Sie lösten das Problem zweistufig, indem sie zunächst eine Nivellierung der Auftragslast durchführten (engl. demand leveling) und daraus den Personalbedarf über den Zeitverlauf ableiteten. Das Resultat des ersten Schrittes wurde dann in einem zweiten Schritt genutzt, um konkrete Schichtpläne zu bestimmen. Der dabei betrachtete Planungszeitraum betrug lediglich einen Arbeitstag. Yan et al. (2006a) und Yan et al. (2006b) entwickelten einander ähnliche deterministische Planungsmodelle zur Bestimmung des Personalbedarfs und des Schichtplans für einen Planungszeitraum von einer Woche bzw. einem Jahr. Sie vernachlässigten die Nivellierung der Auftragslast, berücksichtigten dafür aber die Möglichkeit, dass Mitarbeiter aus anderen Abteilungen vorübergehend für den Aufbau von ULDs im Export eingesetzt werden können und umgekehrt. Yan et al. (2008a) und Yan et al. (2008b) erweiterten in einander ähnlicher Weise die deterministischen Modelle von Yan et al. (2006a) und Yan et al. (2006b) um die Berücksichtigung von stochastischer Unsicherheit des Personalbedarfs. Rong und Gronow (2009) beschäftigten sich mit der Personalbedarfs- und Schichtplanung von Personal, das für den Auf- und Abbau von ULDs eingesetzt wird, und formulierten hierzu ein mathematisches Optimierungsmodell. Die Autoren unterschieden dabei zwischen zwei Qualifikationsstufen von Arbeitern: solchen, die sowohl für den Auf- und Abbau eingesetzt werden können, und solchen, die nur für letzteres qualifiziert sind. Darüber hinaus berücksichtigten Rong und Gronow (2009) die Möglichkeit der Nivellierung der Auftragslast. Der betrachtete Planungszeithorizont der Autoren ist eine Woche. Emde et al. (2020) betrachteten ein operatives Personalbedarfs- und Abfertigungsplanungsproblem, bei dem Personal zeitkritischen ULD-Aufbauprozessen zugewiesen werden muss, sodass alle ULDs rechtzeitig abgefertigt werden und der Personalbedarf minimiert wird. Die Autoren berücksichtigten dabei auch den restringierten Platz in einem Terminal. Sie formulierten das Problem als gemischt-ganzzahliges lineares Programm und entwickelten zugehörige Lösungsheuristiken.

2.1.2.4 Frachtübergabe an die Fluggesellschaft

Nachdem die Luftfracht vom Handling Agent mittels ULDs konsolidiert wurde, werden die ULDs, ggf. nach kurzer Zwischenlagerung, an die Fluggesellschaften übergeben. Bei integrierten Handling Agents und Fluggesellschaften können das Terminal des Handling Agents und der Fluggesellschaft ein und dasselbe Gebäude sein, sodass die Übergabe der ULDs fließend erfolgt. Sind das Terminal des Handling Agents und der Fluggesellschaft räumlich getrennt, werden die ULDs üblicherweise per LKW von einem zum anderen Terminal transportiert (Feng et al., 2015). Ferner existiert die Möglichkeit, dass ULDs per Luftfrachtersatzverkehr (englisch road feeder service), transportiert werden können (Derigs et al., 2011). Hierbei ersetzt ein straßengebundener Transport per LKW den Transport per Flugzeug. Der Kurzstreckentransport der ULDs zum Terminal der Fluggesellschaft entfällt in diesem Fall.

Das Problem der Koordination der Transporte von ULDs vom Terminal des Handling Agents zum nahegelegenen Terminal des Carriers kann als Truck Scheduling Problem oder Vehicle Routing Problem (vgl. z. B. Laporte (1992) für eine Übersicht) aufgefasst werden, welches im verallgemeinerten Kontext in der Fachliteratur gut untersucht ist. Im speziellen Kontext des Transportes zwischen Handling Agents und Fluggesellschaft wurde dem Problem allerdings weniger Aufmerksamkeit gewidmet. Werden die bereits zuvor angeführten Arbeiten von Ou et al. (2010) und Selinka et al. (2016) aus dem Blickwinkel einer Fluggesellschaft aufgefasst, so beschäftigten sie sich mit der Planung bzw. Analyse des Transports zwischen Handling Agents und Fluggesellschaft. Derigs et al. (2011) beschäftigten sich aus Sicht eines Anbieters von road feeder services mit dem Vehicle Routing Problem.

2.1.3 Die Prozesskette im Frachtimport

Im Frachtimport liegt im Wesentlichen eine im Vergleich zum Export umgekehrte Prozessreihenfolge vor. Nachdem eine Luftfrachtsendung, die konsolidiert in einem ULD vorliegt, am Zielflughafen angekommen ist, wird sie von der Fluggesellschaft aus dem Flugzeug entladen, ggf. zwischengelagert und anschließend an den Handling Agent ausgeliefert (Feng et al., 2015). Der Handling Agent nimmt die angelieferten ULDs entgegen und lagert diese ggf. zwischen. Teilweise können ankommende ULDs im Ganzen an den Empfänger gesandt werden bzw. dem Trucker übergeben werden. Üblicherweise muss die auf den ULDs konsolidierte Fracht jedoch separiert werden (was im Englischen als „break-down“ bezeichnet wird), da sie für verschiedene Empfänger bestimmt sind (Rong & Grunow, 2009). Am Hub eines Hub-and-Spoke-Netzwerks wird darüber hinaus nicht sämtliche importierte Fracht direkt an den Empfänger weitergeleitet. Stattdessen wird die Fracht erneut konsolidiert, um per Flugzeug weiterversandt zu werden (Yan et al., 2008c).

Der break-down von ULDs ist in der wissenschaftlichen Literatur weniger intensiv untersucht als deren build-up. Die bereits aufgeführte Arbeit von Rong und Gronow (2009) berücksichtigte den break-down bei der Personalbedarfs- und Schichtplanung. Darüber hinaus wird bei Yan et al. (2008c) der break-down indirekt als zusätzlicher Handhabungsaufwand am Hub eines Hub-and-Spoke-Netzwerks berücksichtigt, allerdings nicht im Detail untersucht.

Ähnlich dem build-up von ULDs wurde auch der break-down, oder konkreter, die manuelle Materialhandhabung der Fracht während des break-down, aus wissenschaftlicher Perspektive bisher nicht untersucht.

2.1.4 Forschungslücken in der Prozessbetrachtung bei Handling Agents

Der vorangegangene Literaturüberblick zeigte, dass sich die wissenschaftliche Forschung bereits mit der Untersuchung verschiedener Prozesse bei Handling Agents beschäftigt hat. Der Großteil der Arbeiten konzentrierte sich dabei auf einzelne Prozessschritte oder klar abgegrenzte Planungsprobleme und zielte darauf ab, diese zu optimieren. Ganzheitliche Betrachtungen der Prozesskette bei Handling Agents wurden ausschließlich für den Spezialfall von hochautomatisierte Terminals angestellt. Die Prozesskette von hochautomatisierte Terminals ist allerdings nur sehr eingeschränkt mit der von manuell betriebenen Terminals, wie sie üblicherweise von Handling Agents betrieben werden, vergleichbar. Eine detaillierte, alle Prozessschritte umfassende Beschreibung und Analyse der Prozesskette bei Handling Agents existiert bis dato nicht.

Optimierungsansätze finden sich in der Literatur insbesondere im Bereich der Personal- und Schichtplanung sowie der Beladungsplanung von ULDs. Daneben existieren Arbeiten, die sich mit der Planung und Optimierung der Frachtannahme und des Weitertransports der Fracht auseinandersetzen. Die Arbeiten beschränken sich jedoch nahezu ausschließlich auf die mathematische Modellierung und Optimierung der vorhandenen Prozesse. Es werden keine Vorschläge zur Verbesserung der Prozesse und der dabei genutzten (technischen) Hilfsmittel gemacht. Ferner sind die betrachteten Optimierungsziele ausschließlich ökonomischer Natur, wie z. B. Kostensenkungen oder Effizienzsteigerungen. Menschliche Faktoren, insbesondere die Reduzierung der körperlichen Belastung der Mitarbeiter, wurden von der bisherigen Forschung vernachlässigt. Dass die Reduktion der körperlichen Belastung von Arbeitern bei Handling Agents von hoher Relevanz sein kann, wird jedoch durch Untersuchungen in Branchen, in denen vergleichbare Tätigkeiten ausgeführt werden, wie z. B. der Kommissionierung, nahegelegt (vgl. Kapitel 1.1)

Vor diesem Hintergrund leistet diese Arbeit drei wesentliche wissenschaftliche Beiträge. Erstens erfolgt eine detaillierte Beschreibung der gesamten Prozesskette basierend auf den Prozessen von HA 1 und HA 2. Dabei werden sowohl der Waren- und Personalfluss als auch der Informationsfluss berücksichtigt. Zweitens werden die manuellen Materialhandhabungsprozesse bei Handling Agents erfasst und hinsichtlich der körperlichen Belastung, die sie verursachen, analysiert. Drittens wird untersucht, welche technischen Hilfsmittel und Informationstechnologien eingesetzt werden können, um die Prozesse sowohl aus ökonomisch-ablauforientierter als auch aus ergonomisch-belastungsorientierter Sicht zu verbessern.

2.2 Beschreibung der Prozesse anhand des Warenflusses HA 1 und HA 2

Nachfolgend werden die Prozesse bei den Praxispartnern beschrieben. Das Terminal von HA 1 hat keinen direkten Zugang zum Flugvorfeld, während das Terminal von HA 2 direkt mit diesem verbunden ist. Trotz dieses Unterschieds sind die Prozessketten bei beiden Unternehmen sehr ähnlich gestaltet und werden daher in der nachfolgenden Beschreibung weitestgehend zusammengefasst. Relevante Unterschiede zwischen den Prozessen bzw. der Prozesskette der beiden Unternehmen werden jedoch an den entsprechenden Stellen angesprochen.

Die Beschreibung der Prozesskette orientiert sich in diesem Kapitel vornehmlich am auftragsbezogenen Warenfluss. Ein Auftrag im Export umfasst dabei die termingerechte Konsolidierung einer vorgegebenen Menge an Fracht mittels einer vorgegebenen Menge an ULDs. Ein Importauftrag ist der Abbau einer gegebenen Menge an

ULDs und die termingerechte Übergabe der Fracht an einen oder mehrere Trucker. Die Auftraggeber sind Fluggesellschaften, welche im Normalfall von einem Spediteur mit dem Frachttransport beauftragt wurden. Der Informations- und Personalfluss werden in Kapitel 5 analysiert. Die manuelle Materialhandhabung und damit einhergehende körperliche Belastung der Arbeiter werden in Kapitel 4 näher betrachtet. Da die Materialflüsse im Export und Import der Fracht nahezu unabhängig voneinander sind, werden sie nachfolgend getrennt voneinander betrachtet.

2.2.1 Die Prozesskette im Frachtexport bei HA 1 und HA 2

Die Prozesskette im Frachtexport bei HA 1 und HA 2 stimmt im Wesentlichen mit der in der Literatur beschriebenen Prozesskette für nicht-integrierte Handling Agent überein. Sie ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

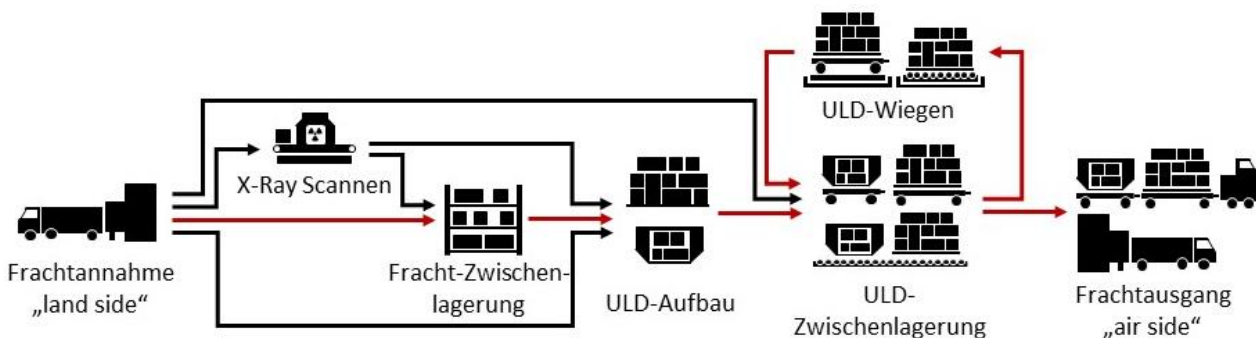


Abbildung 2: Prozesskette bezogen auf den Frachtfluss im Frachtexport bei HA 1 und HA 2

Abbildung 2 zeigt die relevanten Prozesse der Frachtflusskette als Piktogramme. Die Frachtflüsse sind als Pfeile dargestellt, wobei die roten Pfeile den gängigen Frachtfluss darstellen und schwarze Pfeile alternative Frachtflüsse zeigen. Ziel des Exportprozesses ist die Bereitstellung der Fracht zum Transport. Hierzu müssen eine Reihe von dokumentarischen und physischen Bedingungen der Fracht erfüllt sein und die Fracht muss als sicher eingestuft werden.

2.2.1.1 Frachtannahme an der „land side“ und Überprüfung des Sicherheitsstatus

Der erste Prozess des Warenflusses der Exportprozesskette ist die Frachtannahme an der „land side“, also der dem Straßentransport zugewandten Seite. Der Prozess der Frachtannahme stellt den Übergang zwischen dem Frachttransport durch den Trucker und der Frachthandhabung durch den Handling Agent, also im vorliegenden Fall HA 1 oder HA 2, dar. Der Trucker liefert die Fracht in der Regel mittels LKW oder Lieferwagen zum Terminal des Handling Agents. Am Terminal angekommen, erfolgt die dokumentarische Anmeldung des LKW-Fahrers im Büro des Handling Agents. Anschließend kann der LKW oder Lieferwagen an einer von mehreren parallelen Ladebrücken andocken, sodass die transportierte Fracht entladen werden kann. Das Entladen der Fracht erfolgt üblicherweise durch den LKW-Fahrer. Diese nutzen zum Entladen von palettierter Fracht elektrische Hubwagen. Lose, nicht auf Paletten gebundene Frachtstücke werden händisch entladen und im Anschluss palettiert, wobei Frachtstücke, die mit dem gleichen Flug transportiert werden sollen, teilweise bereits auf gemeinsamen Paletten konsolidiert werden. Die entladene Fracht wird auf Ladungsträgern im Frachteingangsbereich zwischengelagert oder direkt in das Frachtzwischenlager befördert. Neben der physischen Entladung umfasst der Entladungsprozess auch das Überprüfen der Vollständigkeit und Unversehrtheit der gelieferten Fracht, sowie die Gewährleistung der sicheren Lieferkette.

Seltener werden von einem Trucker bereits komplette ULDs angeliefert. Diese werden nach dem Entladen direkt zwischengelagert bzw. zum Frachtausgang an der „air side“ transportiert. Diese fertigen Einheiten werden BUPs (Bulk Unitization Programm) genannt.

Die von einem Trucker angelieferte Fracht kann ferner unterschiedliche Sicherheitsstatus aufweisen, je nachdem, welchen Sicherheitsstatus der Versender nach den EU-Vorschriften zur Luftfrachtsicherheit hat (bekannter Versender oder nicht). Auch eine Unterbrechung der sicheren Lieferkette bei einem bekannten Versender, wie unverschlossene Ladeeinheiten oder Beschädigung von Verpackungen, kann zu einer Verschlechterung des Sicherheitsstatus führen (Bernecker & Grandjot 2017, S. 153ff). Je nach Status wird die Fracht noch in der Frachtannahme überprüft. Zur Wiederherstellung der Sicherheit der Fracht können verschiedene Methoden, wie bspw. die Durchleuchtung der Fracht mittels eines X-Ray-Scanners (Röntgen-Scanner), der Einsatz eines Sprengstoffdetektors oder im äußersten Fall eine Sichtkontrolle durch Öffnen der Fracht, angewandt werden. In Abbildung 2 ist dies als eigener Prozessschritt aufgeführt.

2.2.1.2 *Fracht-Zwischenlagerung im Export*

Sobald die Fracht überprüft wurde, geht sie vom Wareneingang in das Zwischenlager über. Palettierte Fracht wird dazu mittels elektrischer Hubwagen oder Gabelstaplern von den Mitarbeitern gehandhabt. Lose Güter werden meist palettiert, in Ausnahmefällen aber auch manuell getragen. Im Zwischenlager erfolgt die Lagerung der Fracht überwiegend in Palettenregalen, teilweise aber auch in einfachen Regalen oder auf dem Hallenboden. Größere Frachtstücke werden dabei tendenziell auf dem Boden und kleinere, einzelne Frachtstücke in Regalen gelagert. Bei HA 1 wird tendenziell ein größerer Anteil der Fracht auf dem Boden gelagert. Bei HA 2 werden üblicherweise nur Frachtstücke auf dem Boden gelagert, die zu groß für die Regallagerung sind, und alle Frachtstücke werden zur Lagerung palettiert. Sowohl bei HA 1 als auch bei HA 2 erfolgt die Zuweisung von Fracht zu konkreten Lagerplätzen im Zwischenlager nach dem Prinzip der klassenbasierten Lagerung (vgl. „class-based storage“ in De Koster et al., 1999). Dazu werden die Frachtstücke entsprechend der Fluggesellschaft, mit der sie transportiert werden sollen, in Klassen eingeteilt. Jeder Klasse ist ein ausgewiesener Bereich innerhalb des Zwischenlagers zugewiesen. Innerhalb des zugewiesenen Bereichs wird die Fracht der entsprechenden Klasse an zufälligen, gerade verfügbaren Plätzen gelagert, die von den Mitarbeitern ad hoc bestimmt werden.

Besonders zeitkritische Fracht kann auch den Schritt der Zwischenlagerung überspringen und direkt von der Warenannahme zum ULD-Aufbau übergehen. Dass bereits auf ULDs konsolidierte Fracht am Wareneingang angeliefert wird, kommt bei den Praxispartnern, wie auch bei in der Literatur beschriebenen Handling Agents, ebenfalls vor. In diesem Fall gehen die ankommenden ULDs direkt vom Wareneingang in das ULD-Zwischenlager über.

Bei Gefahrgütern und Pharmaprodukten / Kühlware müssen gesonderte Bedingungen bei der Einlagerung beachtet werden. Auch zusätzliche Sicherheitskontrollen werden gegebenenfalls nötig.

2.2.1.3 *ULD-Aufbau*

Die zwischengelagerte Fracht wird im nächsten Prozessschritt konsolidiert. Zur Konsolidierung werden, je nach Vorgaben der Fluggesellschaft, Luftfrachtpaletten (meistens vom Typ „PMC“) (vgl. Abbildung 3), Luftfrachtcontainer (vgl. Abbildung 4) oder sogenannte Belly-Wagen verwendet. Bei Luftfrachtpaletten handelt es sich um flache Aluminiumbleche, auf denen die Fracht aufgebaut werden kann. Luftfrachtpaletten sind, sobald sie beladen sind, nicht selbsttragend. Sie müssen daher immer auf sogenannte Slave-Paletten oder Dolly-Wagen, die

die Luftfrachtpaletten abstützen, aufgelegt werden. Leere Luftfrachtpaletten können auch ohne unterstehende Slave-Palette gehoben werden. Sowohl die Luftfrachtpaletten als auch die Slave-Paletten werden per Gabelstapler gehandhabt. Dolly-Wagen werden entweder mit Gabelstaplern oder kleinen Zugfahrzeugen bewegt. Sie stehen an verschiedenen Pufferlagern im Terminal zur Verfügung. Luftfrachtcontainer sind aus Aluminium und teilweise Planen bestehende Container mit der Grundform eines Quaders. Da die Container im Bauch oder Rumpf eines Flugzeugs mit abgerundetem Querschnitt transportiert werden, sind die Ecken der Container teilweise abgefast (d. h. abgeschrägt), um sie möglichst gut den Flugzeugkonturen anzupassen. Wie auch Luftfrachtpaletten sind Luftfrachtcontainer nicht selbsttragend, sobald sie beladen sind. Daher müssen sie ebenfalls auf Slave-Paletten oder Dolly-Wagen aufgelegt werden. Während HA 1 vorwiegend Slave-Paletten nutzt, um Luftfrachtpaletten und -container zu handhaben, werden bei HA 2 hauptsächlich Dolly-Wagen eingesetzt. Bei Belly-Wagen handelt es sich um Transportwagen, wie sie auch für den Transport von Passagiergepäck über das Rollfeld eines Flughafens eingesetzt werden. Basierend auf der Auswertung entsprechender Daten bei den Projektpartnern machen Luftfrachtpaletten 60 % bis 70 % aller zur Frachtkonsolidierung verwendeten ULDs aus, und jeweils 10 % bis 20 % sind Luftfrachtcontainer oder Belly-Wagen. Für den Import gelten vergleichbare Anteile.



Abbildung 3: Luftfrachtpalette



Abbildung 4: Luftfrachtcontainer

Unabhängig davon, mit welchem Gebinde die Fracht konsolidiert wird, ist der prinzipielle Ablauf des Aufbaus von ULDs ähnlich. Zunächst wird das ULD, also eine Palette, ein Container oder ein Belly-Wagen, aus dem entsprechenden Pufferlager entnommen und für den Aufbau bereitgestellt. Der Aufbau erfolgt an dedizierten Plätzen auf dem Boden des Terminals. Die Luftfrachtpaletten und -container werden dazu auf einer Slave-Palette oder einem Dolly-Wagen aufgelegt. Darüber hinaus gibt es bei HA 2 spezielle Auf- und Abbaustationen, die Luftfrachtpaletten oder -container aufnehmen können und diese nach dem Aufbau einfach auf Dolly-Wagen transferieren können. Nachdem das ULD bereitgestellt wurde, erfolgen vorbereitende Arbeiten, wie das Auslegen von Folien und anbringen von Sicherungsgurten. Im nächsten Schritt wird die Fracht aus dem Zwischenlager entnommen, zum relevanten ULD transportiert und schließlich in oder auf dieses geladen. Dabei werden die Frachtstücke teilweise direkt verladen und teilweise noch einmal kurzzeitig neben dem ULD abgestellt und erst kurze Zeit später verladen. Die Mitarbeiter entscheiden hierbei eigenständig über die Beladungsreihenfolge.

Für die Handhabung schwerer und palettierter Fracht werden Gabelstapler genutzt. Einzelne bzw. lose Frachtstücke werden händisch gehandhabt. Die Anordnung und Ausrichtung der Frachtstücke wird von den Mitarbeitern während des Aufbaus ad hoc bestimmt. Darüber hinaus baut ein Team von Mitarbeitern häufig mehrere ULDs eines Flugs simultan auf. Die Mitarbeiter entscheiden in diesem Fall während des Aufbaus eigenständig über die Zuordnung der Frachtstücke zu den ULDs. Dieses simultane Aufbauen mehrerer ULDs durch das gleiche Mitarbeiterteam wird sowohl bei HA 1 als auch HA 2 praktiziert, bei letzterem jedoch in größerem Umfang. Ferner kann bereits mit dem Aufbau von ULDs begonnen werden, bevor alle einem Flug zugehörigen Sendungen im Lager eingetroffen sind.

Nachdem sämtliche Fracht verladen wurde, wird diese auf dem ULD gesichert. Die Aufbauten auf Luftfrachtpaletten werden mit Gurten und Netzen verspannt, um die Stabilität während des Lufttransports zu gewährleisten. Bei Containern werden ebenfalls Gurte zum Verspannen eingesetzt. Weiterhin werden die Beladungsöffnungen der Container verschlossen, um das Herausfallen von Fracht zu verhindern. Abschließend werden die Paletten und Container zum Schutz vor Wasser mit Folie umwickelt. Die Frachtstücke auf Belly-Wagen werden dagegen weniger intensiv gesichert, da diese zu einem späteren Zeitpunkt von der Luftfrachtgesellschaft, äquivalent zu Passagiergepäck, lose im Flugzeugbauch eingeladen werden. Fertiggeladene Belly-Wagen werden mit einer Plane vor Nässe geschützt.

Die Information, welche Fracht mittels welcher ULDs konsolidiert werden soll, wird von einer zentralen Planungsinstanz vorgegeben und den Mitarbeitern bereitgestellt. Die mitarbeiterseitige Informationsbereitstellung und -verarbeitung erfolgt bei HA 1 papiergebunden (obwohl die Informationen auch systemseitig vorhanden sind). Bei HA 2 werden Aufbaufträge mittels Datenterminals übertragen, in seltenen Fällen liegen sie dem Mitarbeiter auch zusätzlich in Papierform vor. Die Mitarbeiter beider Unternehmen nutzen darüber hinaus Barcodescanner zum Erfassen der verladenen Fracht. Das Management der Informationen und der Informationsfluss werden in Kapitel 5 im Detail beschrieben.

2.2.1.4 ULD-Zwischenlagerung und -Wiegen im Export

Nachdem die ULDs beladen wurden, werden sie gegebenenfalls kurz zwischengelagert, bevor sie das Terminal des Handling Agents verlassen. Eine kurze Zwischenlagerung kann vorübergehend an dem Ort, an dem die ULDs beladen wurden, erfolgen. Für die eigentliche Zwischenlagerung sind jedoch dedizierte Bereiche in den Terminals ausgewiesen, zu denen die fertiggestellten ULDs transportiert werden. ULDs, die auf Slave-Paletten aufliegen, werden mit Gabelstaplern transportiert. Auf Dolly-Wagen aufliegende ULDs und Belly-Wagen werden mittels Stapler oder kleiner Zugfahrzeuge bewegt.

Für die Zwischenlagerung von Luftfrachtpaletten und -containern stehen bei HA 1 sogenannte Caster-Decks zur Verfügung. Caster-Decks sind großflächige Plattformen, die in der Horizontalen mit einer Matrix aus kleinen drehbar gelagerten Rollen oder Kugeln versehen sind. Dank der Rollen bzw. Kugeln können auf den Caster-Decks abgestellte ULDs durch manuelles Schieben und Ziehen bewegt werden. Da auch die Slave-Paletten mit Rollen versehen sind, können die ULDs von diesen auf die Caster-Decks geschoben werden. Die Caster-Decks sind mit sogenannten Truck-Docks verbunden. Dabei handelt es sich um mit Rollen versehene Ladebrücken, die die Verladung der ULDs am Warenausgang in Richtung „air side“ ermöglichen. Belly-Wagen werden an dedizierten Bereichen auf dem Hallenboden zwischengelagert. Bei HA 2 werden fertige ULDs auf Dolly-Wagen transportiert und gelagert. Die Dolly-Wagen stehen gegebenenfalls noch kurz auf der Aufbaufläche, bevor sie zur Waage im Außenbereich transportiert werden.

Bevor die ULDs verladen werden können, müssen sie gewogen und eventuell das Volumen ermittelt werden (je nach Anforderungen der Airline). Der Prozessschritt des Wiegens kann zu Beginn der Zwischenlagerung oder im Verlauf dieser erfolgen. Bei HA 1 stehen dazu eine im Hallenboden integrierte Bodenwaage und in den Caster-Decks bzw. Truck-Docks integrierte Waagen zur Verfügung. HA 2 verfügt über eine Wiegestation, die neben dem Gewicht auch das Volumen von ULDs, was insbesondere für Luftfrachtpaletten relevant ist, erfassen kann. Bei HA 2 werden die ULDs nach dem Wiegen im Außenbereich nahe des Vorfelds zur Abholung bereitgestellt.

Vereinzelte fällt die Zwischenlagerung von besonders dringlichen ULDs verschwindend kurz aus, sodass die ULDs das Caster-Deck bzw. den Abstellbereich lediglich passieren. Die übrigen Prozessschritte sind jedoch identisch.

2.2.1.5 Frachtausgang in Richtung „air side“

Der letzte Prozessschritt im Export ist der Frachtausgang in Richtung „air side“. Der Begriff „air side“ wird im Zuge dieser Arbeit lediglich als Richtungsangabe des Frachtflusses, d. h., in Richtung Flugzeug, benutzt. Folglich ist „air side“ nicht mit dem Flugvorfeld gleichzusetzen. Das Terminal von HA 1 ist nicht unmittelbar an das Flugvorfeld des Frankfurter Flughafens angeschlossen. Daher werden die ULDs am Frachtausgang auf LKW geladen, die die ULDs schließlich zum eigentlichen Flughafen transportieren. Wie auch in der Frachtannahme werden Ladebrücken genutzt, um die Verbindung zwischen Terminal und LKW herzustellen. Ein Teil der Ladebrücken ist über die bereits erwähnten Truck-Docks mit Caster-Decks ausgestattet, sodass die darauf abgestellten Luftfrachtpaletten und -container händisch in die andockenden LKW geschoben werden können. Belly-Wagen werden mithilfe sogenannter Schlepper zum Flugzeug transportiert. Schlepper sind kleine Zugfahrzeuge, welche speziell für den Transport von Belly-Wagen geeignet sind. Neben LKW, die die Fracht von den Terminals zum Frankfurter Flughafen transportieren, werden bei HA 1 auch LKW beladen, die die Fracht als road feeder service zu anderen europäischen Flughäfen transportieren. Für den Beladeprozess ist jedoch unerheblich, welchen Transportservice der zu beladende LKW bedient.

Bei HA 2 entfällt die Beladung von LKW, da das Terminal bereits mit dem Flugvorfeld verbunden ist. Hier besteht der Prozess am Frachtausgang in Richtung „air side“ lediglich im Anhängen der richtigen Dolly- und Belly-Wagen an das Transportfahrzeug, das die Wagen zum Flugzeug transportiert. Auch bei HA 2 werden LKW, die einen road feeder service anbieten, bedient.

2.2.2 Die Prozesskette im Frachtimport bei HA 1 und HA 2

Ähnlich wie bereits in der Fachliteratur beschrieben, liegt bei HA 1 und HA 2 im Frachtimport eine im Vergleich zum Frachtexport umgekehrte Prozesskette vor. Diese ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

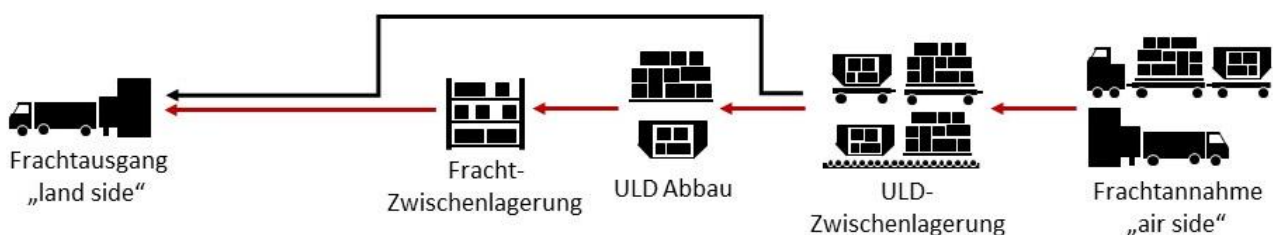


Abbildung 5: Prozesskette bezogen auf den Frachtfluss im Frachtimport bei HA 1 und HA 2

Um die nahezu spiegelbildlichen Prozessketten im Frachtimport und -export zu verdeutlichen, ist in Abbildung 5 die Prozesskette von rechts nach links, also spiegelbildlich zu der Prozesskette in Abbildung 2, dargestellt. Pfeilverbindungen zeigen abermals Frachtflüsse an, wobei rot dargestellte Pfeile die üblichen Warenflüsse und schwarz dargestellte Pfeile alternative Warenflüsse repräsentieren. Die Piktogramme zeigen die wesentlichen Prozesse der Prozesskette im Frachtimport.

2.2.2.1 Frachtannahme an der „air side“

Der erste Prozessschritt im Frachtimport ist die Annahme der Fracht am Frachteingang der „air side“. Bei HA 1 wird die Fracht, die auf ULDs konsolidiert ist, per LKW angeliefert. Zum Entladen der LKW docken diese an Laderampen an. Transportiert ein LKW Luftfrachtpaletten oder -container, so kann er, ähnlich wie beim Warenausgang der „air side“, an Truck-Docks, die mit Caster-Decks verbunden sind, andocken. Die Paletten und Container können somit händisch durch Schieben und Ziehen aus dem LKW entladen werden. Bei HA 2 ist das Caster-Deck automatisch betrieben und die Rollen werden über eine Steuerungseinrichtung bedient, sodass manuelles Schieben und Ziehen entfällt und nur in Ausnahmefällen (kaputte Steuerungsfunktion) notwendig ist. Belly-Wagen werden wiederum durch Schlepper angeliefert. Gemessen an der Stückzahl sind bei HA 1 ca. 60 % der ankommenden ULDs Luftfrachtpaletten und jeweils ca. 20% Luftfrachtcontainern und Belly-Wagen. Bei HA 2 werden die ankommenden Luftfrachtpaletten und -container auf Dolly-Wagen, die von einem Zugfahrzeug bewegt werden, angeliefert. Belly-Wagen treffen in der gleichen Weise in der Frachtannahme ein. Die Frachtübergabe erfolgt durch Abstellen der Belly- und Dolly-Wagen im Wareneingang der „air side“, der sich am Übergangsbereich von Flugvorfeld zum Terminal von HA 2 befindet. Bei HA 2 liegen leider keine Daten zur Anzahl der verwendeten Belly-Wagen vor, daher kann hier lediglich das Verhältnis importierter Luftfrachtpaletten zu Luftfrachtcontainern verglichen werden, was in etwa 3:1 entspricht.

Ähnlich wie bei der Frachtannahme im Export erfolgt auch im Import eine Sichtkontrolle der angenommenen Fracht. Das Prüfen von Frachtstücken mittels X-Ray-Scan ist dagegen nicht erforderlich.

2.2.2.2 ULD-Zwischenlagerung im Import

Die importierten ULDs werden nach ihrer Annahme zwischengelagert. Die Zwischenlagerung von Luftfrachtpaletten und -containern erfolgt bei HA 1 auf Caster-Decks. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den Caster-Decks, die zur Zwischenlagerung von importierten ULDs dienen, und bei den Caster-Decks, die zur Zwischenlagerung von zu exportierenden ULDs dienen, um separate Plattformen handelt. Die Zwischenlagerung von Belly-Wagen erfolgt auf dedizierten Stellflächen auf dem Hallenboden nahe des Wareneingangs der „air side“. Bei HA 2 erfolgt die Zwischenlagerung durch das Abstellen der Belly- und Dolly-Wagen im Wareneingang der „air side“. Bei zeitkritischer Fracht kann die Zwischenlagerung auch verschwindend kurz ausfallen. Üblicherweise schließt sich an die Zwischenlagerung der ULDs deren Abbau an. Lediglich fertige BUP-Einheiten müssen nicht zerlegt werden und können über das Caster-Deck direkt zum Weitertransport verladen werden, sobald der zuständige Trucker eintrifft.

2.2.2.3 ULD-Abbau

Für den Abbau werden die ULDs aus dem Zwischenlager entnommen und zu dedizierten Plätzen auf dem Hallenboden transportiert. Bei HA 1 müssen die Luftfrachtpaletten und -container hierbei wieder mittels Slave-Paletten gestützt werden. Dazu werden Paletten vom Caster-Deck direkt auf Slave-Paletten geschoben. Außerhalb des Caster-Decks werden die ULDs und die Slave-Paletten mit Gabelstaplern befördert. Bei HA 2 befinden sich die Luftfrachtpaletten und -container bereits auf Dolly-Wagen. Diese können mittels Zugfahrzeugen oder Gabelstaplern direkt aus dem Wareneingang abgeholt werden. Während des Abbaus befinden sich die ULDs weiterhin auf den Slave-Paletten bzw. Dolly-Wagen. Bei HA 2 werden die Luftfrachtpaletten und Container zum Abbau auch teilweise von den Dolly-Wagen auf spezielle Auf- und Abbaustationen transferiert, die auch für den ULD-Aufbau genutzt werden.

Der grundlegende Ablauf des eigentlichen ULD-Abbaus ist für alle Typen von ULDs recht ähnlich. Zunächst muss die Sicherung des ULDs entfernt werden. Dies beinhaltet das Entfernen der Schutzfolie, der Sicherungsgurte und der Sicherungsnetze. Anschließend werden die auf oder in dem ULD geladenen Frachtstücke einzeln von oder aus diesem entladen. Größere und schwere Packstücke werden per Gabelstapler gehandhabt und nach der Entnahme von oder aus dem ULD direkt in ein Zwischenlager transportiert. Kleinere und lose Packstücke werden per Hand entladen und gegebenenfalls palettiert. Fertig beladene Paletten werden schließlich per Gabelstapler in das Zwischenlager transportiert.

2.2.2.4 *Fracht-Zwischenlagerung im Import*

Nachdem die importierten Frachtstücke von oder aus den ULDs entnommen wurden, werden sie zwischengelagert. Sowohl bei HA 1 als auch bei HA 2 erfolgt die Zwischenlagerung in Regalen und mittels Bodenlagerung in Lagerbereichen, die klar von denen im Zwischenlager im Export abgegrenzt sind. Nur bei relativ selten auftretenden Kapazitätsproblemen werden die Lager vermischt. Wie auch im Export werden größere Frachtstücke tendenziell auf dem Boden gelagert und kleinere und palettierte Fracht in Regalen. Die Lagerplatzzuweisung erfolgt bei beiden betrachteten Handling Agents zufällig (vgl. „random storage“ in De Koster et al., 1999). D. h., die Fracht wird an einem zufälligen, gerade verfügbaren Lagerplatz eingelagert. Die Lagerplätze der eingelagerten Fracht werden bei beiden betrachteten Handling Agents mittels Barcodescanner systemseitig erfasst.

2.2.2.5 *Frachtausgang in Richtung „land side“*

Der letzte Prozessschritt ist der Frachtausgang in Richtung „land side“. Am Frachtausgang sind, äquivalent zum Frachteingang, Ladebrücken verfügbar, an die die LKW der Trucker andocken können. Angedockte LKW werden mit Hilfe von Gabelstaplern und elektrischen Hubwagen beladen, wobei die zu beladene Fracht auftragsbezogen aus dem Zwischenlager entnommen wird. Leichtere Frachtstücke werden auch manuell getragen. Nachdem ein LKW beladen wurde, schließt der Prozess mit dem Sichern der Fracht ab.

Vereinzelt kann der beschriebene Prozessschritt entfallen. Stattdessen geht die zwischengelagerte, importierte Fracht in den Export über und wird dort äquivalent zur übrigen Exportfracht weiterbearbeitet. Laut der wissenschaftlichen Literatur ist diese Prozesskette insbesondere an Flughäfen, die als Hub in einem Hub-and-Spoke-Netzwerk dienen, relevant (vgl. Kapitel 2.1.3). Obwohl der Frankfurter Flughafen einen führenden europäischen Fracht-Hub darstellt (Fraport AG, 2018), hat diese Prozesskette für die Praxispartner nur sehr geringe Relevanz.

2.3 **Beschreibung des Personalmanagements bei HA 1 und HA 2**

Die Personal- und Schichtplanung erfolgen bei den Praxispartnern auftragsbasiert. Für entsprechende Optimierungsmodelle, die die Planung unterstützen können, sei auf die wissenschaftliche Literatur in Kapitel 2.12.1.2 verwiesen. Der genaue Personal- und Schichtplanungsprozess steht jedoch nicht im Fokus dieser Arbeit und wird daher nicht weiter analysiert. Die Personal- und Schichtpläne werden daher nachfolgend als gegeben angesehen. Stattdessen liegt der Fokus auf der Analyse des operativen Personaleinsatzes.

Die Prozesse bei den Praxispartnern weisen eine hohe Personalintensität auf und sind, zumindest bezogen auf die Frachthandhabung, nahezu nicht automatisiert. Darüber hinaus erfordern die verschiedenen Prozessschritte unterschiedlich qualifiziertes Personal. Für den Aufbau von ULDs benötigen Arbeiter eine spezielle Schulung, die für die anderen Prozessschritte nicht notwendig ist. Dies führt zu asymmetrischen Einsatzprofilen der Arbeiter.

Höher qualifiziertes Personal kann zur Bearbeitung sämtlicher Prozessschritte eingesetzt werden. Geringer qualifizierte Arbeiter können alle Prozessschritte, ausgenommen den ULD-Aufbau, bearbeiten. Ferner werden insbesondere zum Bearbeiten der Prozessschritte, die eine geringere Qualifikation benötigen, auch Leiharbeiter eingesetzt. Die Unterscheidung, ob angestelltes oder fremdbezogenes Personal zur Bearbeitung der Prozessschritte eingesetzt wird, kann im Allgemeinen eine Auswirkung auf den operativen Personaleinsatz haben. So sind angestellte Arbeiter oft erfahrener und vertrauter mit den Arbeitsabläufen und arbeiten damit tendenziell effizienter und weniger fehleranfällig (Hirsch & Mueller, 2012). Da die bei den Praxispartnern eingesetzten Leiharbeiter jedoch in der Regel über mehrere Jahre bei den beiden Unternehmen tätig sind, ist dieser Effekt von geringerer Relevanz. Da ferner die Untersuchung der Personalstruktur nicht im Fokus dieser Arbeit liegt, werden im Folgenden die Arbeiter lediglich anhand ihrer Qualifikation, nicht jedoch anhand ihres Anstellungsverhältnisses, unterschieden.

Eine weitere Besonderheit, die einen starken Einfluss auf die Personaleinsatzplanung ausübt, ist die vergleichsweise schwierige Prognostizierbarkeit und starke Fluktuation der Auftragslast bei Handling Agents. So überwiegt je nach Tageszeit und Wochentag der Frachtimport oder Frachtexport. Das kumulierte Frachtaufkommen ist von der Tageszeit, dem Wochentag, der Jahreszeit und zufälligen Schwankungen abhängig. Zusätzlich führen verspätete Lieferungen und Flüge sowie kurzfristige Expressfracht zu unvorhergesehenen Engpässen und Personalbedarfen. Zur Bewältigung dieser Problematik verwenden HA 1 und HA 2 vergleichbare operative Personaleinsatzkonzepte, die nachfolgend beschreiben werden.

2.3.1 Personalmanagement bei HA 1

Bei HA 1 wird der operative Personaleinsatz von einem Schichtleiter gesteuert. Dieser hat ausschließlich koordinierende Aufgaben, bearbeitet die in Kapitel 2.2 beschriebenen Prozesse also nicht selbst. Die zu bearbeitenden auftragsbezogenen Prozessschritte und deren späteste Fertigstellungszeitpunkte werden dem Schichtleiter von einer übergeordneten Planungsinstanz vorgegeben. Dabei können auch während einer laufenden Schicht neue Aufträge hinzukommen. Der Schichtleiter überwacht die Auftragslage und teilt die Arbeiter unter Berücksichtigung von Auftragsprioritäten und Qualifikationen den verschiedenen Prozessen zu. Dabei werden Arbeiter für alle Prozessschritte eingesetzt, für die sie ausreichend qualifiziert sind. Höherqualifiziertes Personal wird priorisiert für den Aufbau von ULDs eingesetzt. Falls das geringer qualifizierte Personal jedoch nicht zur fristgerechten Bearbeitung der übrigen Prozessschritte ausreicht, werden höherer qualifizierte Arbeiter auch für diese Tätigkeiten eingesetzt. Ferner wird bei der Personaleinsatzplanung beachtet, dass Expressfracht eine höhere Bearbeitungspriorität als reguläre Fracht hat und dass Exportfracht eine höhere Priorität als Importfracht aufweist. Letzteres ist dadurch bedingt, dass die Exportfracht an strikte Abflugzeiten gebunden ist. Bei der Abfertigung von Importfracht, die mit individuellen LKW weitertransportiert wird, sind Verzögerungen weniger kritisch.

Planmäßig bearbeiten Mitarbeiter einen zugewiesenen, auftragsbezogenen Prozessschritt vollständig und ohne Unterbrechung. In Situationen, in denen kurzfristig ein oder mehrere kritisch(e) Prozessschritt(e) eines höher priorisierten Auftrags bearbeitet werden müssen, ohne dass dafür andere Arbeitskräfte verfügbar sind, kann es jedoch auch zu Unterbrechungen bei der Bearbeitung von Prozessschritten von niedriger priorisierten Aufträgen kommen. Dies stellt jedoch die Ausnahme dar. Eine Sonderrolle nimmt jedoch der Aufbau von Luftfrachtpaletten und -containern im Export ein. Hier wird häufig lediglich der eigentliche Aufbau von hochqualifiziertem Personal ausgeführt, während die Sicherung der aufgebauten ULDs mittels Spanngurten, Netzen und Folie regelmäßig von geringem qualifiziertem Personal übernommen wird.

Durch die wechselnden Aufgaben arbeiten die Arbeiter nicht in festen Gruppen zusammen, sondern bilden allenfalls temporäre Teams zur Bearbeitung eines auftragsbezogenen Prozessschritts. Es kommt jedoch häufig vor, dass diese temporären Teams, oder Untergruppen davon, auch über mehrere Prozessschritte oder Aufträge bestehen bleiben. Viele Prozessschritte können auch von einem einzelnen Arbeiter bearbeitet werden. Das Hinzuziehen von weiteren Arbeitern zur Bearbeitung kann die Bearbeitungsdauer jedoch verkürzen. Für den Auf- oder Abbau der ULDs eines Auftrags werden bei HA 1 üblicherweise ein bis zwei Arbeiter eingesetzt.

2.3.2 Personalmanagement bei HA 2

Der Personaleinsatz bei HA 2 wird von einem Einsatzleiter koordiniert. Ähnlich wie der Schichtleiter bei HA 1 weist der Einsatzleiter das Personal verschiedenen auftragsbezogenen Prozessschritten zu, bearbeitet diese jedoch nicht selbst. Abweichend von HA 1 ist bei HA 2 das ausführende Personal zusätzlich hierarchisch gegliedert. Jedem ULD-Aufbau- und -Abbauprozess steht ein als Export- bzw. Import-Checker bezeichneter Arbeiter vor. Dieser koordiniert die dem jeweiligen Prozess zugewiesenen Arbeiter und trägt die Verantwortung für die Durchführung und das Ergebnis des Prozessschritts. Gleichzeitig ist der Export- bzw. Import-Checker jedoch auch an der operativen Prozessausführung beteiligt. Fallweise kann ein Export- oder Import-Checker einen Prozessschritt auch alleine, also ohne unterstelltes Personal, bearbeiten. Diese zusätzliche Strukturierung des für den ULD-Aufbau- und ULD-Abbau zuständigen Personals kann damit begründet werden, dass der Umfang eines einzelnen Auftrags bei HA 2 im Mittel größer ausfällt als bei HA 1. So umfasst ein Export-Auftrag bei HA 2 den Aufbau von häufig drei bis zehn und teilweise mehr als 20 ULDs, während bei HA 1 pro Auftrag in etwa ein bis drei ULDs aufgebaut werden müssen.

Die Rolle eines Export-Checkers kann nur von höher qualifiziertem Personal ausgeführt werden, das für den Aufbau von ULDs entsprechend geschult ist. Die dem Export-Checker unterstellten Arbeiter benötigen diese Qualifikation nicht notwendigerweise. Fehlt einem unterstellten Arbeiter diese Qualifikation, kann er allerdings nur Aufgaben übernehmen, für die keine höhere Qualifikation notwendig ist, wie bspw. der Transport von Fracht und ULDs oder die Sicherung von fertig aufgebauten ULDs mittels Gurten, Netzen und Folie. Import-Checker benötigen keine besonderen Qualifikationen, sind jedoch in der Regel erfahrenere oder höher qualifizierte Mitarbeiter. Bei der Einsatzplanung werden höher qualifizierte Mitarbeiter priorisiert der Rolle eines Export-Checkers zugewiesen. Je nach Auftragslage übernimmt das höher qualifizierte Personal auch die Aufgabe eines Import-Checkers. Das geringer qualifizierte Personal wird bedarfsorientiert Aufgaben zugewiesen. Die Arbeiter bearbeiten damit wechselnd in Einzelarbeit und temporären Teams verschiedene Prozessschritte.

Die Aufträge werden bei HA 2 ähnlich wie bei HA 1 priorisiert. Express-Aufträge haben eine höhere Bearbeitungspriorität als reguläre Aufträge. Exportprozesse gehen üblicherweise Importprozessen vor.

3 Identifikation von Schwachstellen, Engpässen und körperlich belastenden Aktivitäten in der Prozesskette mittels semi-strukturierter Interviews

Prozessbeobachtungen liefern einen Überblick über die relevanten Prozesse eines Unternehmens und erlauben bereits erste Schlussfolgerungen über mögliche Schwachstellen oder Engpässe einer Prozesskette. Beobachter können einen Prozess jedoch immer nur von einer externen Perspektive erfassen. Wichtige Parameter, wie die

mentale Informationsverarbeitung oder von Mitarbeitern als kritisch empfundene kognitive und körperliche Belastungen können mittels Beobachtungen kaum erfasst werden. Im Zuge dieser Arbeit wird die Prozessanalyse daher durch Mitarbeiterbefragungen mittels semi-strukturierter Interviews ergänzt.

Im nachfolgenden Unterkapiteln wird zunächst kurz der Nutzen und Zweck, der mit der Durchführung semi-strukturierter Interviews verfolgt werden soll, beleuchtet. Im Anschluss werden der Aufbau, die Durchführung und die Auswertung der Interviews erläutert. Kapitel 3.3 stellt schließlich die aus den Interviews gewonnenen Ergebnisse dar.

3.1 Nutzen und Zweck semi-strukturierter Interviews

Semi-strukturierte Interviews sind eine bewährte Methode der Datenerhebung in der qualitativen Forschung (Ayres, 2008). Sie eignen sich insbesondere für die Erhebung von personenindividuellen Daten, die von der externen Perspektive eines Beobachters nicht, oder allenfalls indirekt, erfassbar sind. Dazu zählen unter anderem mentale Informationsverarbeitungsprozesse, persönliche Empfindungen, wie z. B. als körperlich oder kognitiv belastend empfundene Tätigkeiten oder als (de-)motivierend empfundene Faktoren, sowie verhaltensbezogene Daten und Denkmuster (Ayres, 2008; Fontana & Frey, 2000).

Anders als bei strukturierten Interviews, werden bei semi-strukturierten Interviews die Fragen nicht starr vorgegeben. Semi-strukturierte Interviews basieren stattdessen auf einem nach Themen gegliederten Fragenkatalog, der als Orientierungshilfe für einen möglichst freien Dialog zwischen Interviewer und Interviewtem dient. Die Fragen sollten dabei immer offen formuliert sein, um dem Interviewten die Möglichkeit zu geben, Sachverhalte möglichst frei zu erklären (Irvine et al., 2013). Zu spezifisch formulierte Fragen bergen die Gefahr, die Antwort des Interviewten bereits durch die Fragestellung zu sehr einzuschränken, sodass dem Interviewer wesentliche Informationen vorenthalten bleiben.

Innerhalb dieser Arbeit werden semi-strukturierte Interviews genutzt, um die durch Prozessbeobachtungen erhobenen Daten zu ergänzen. Das vornehmliche Ziel, das mit der Durchführung der semi-strukturierten Interviews verfolgt wird, ist die Identifikation von Schwachstellen, Engpässen und körperlich belastenden Aktivitäten in der Prozesskette aus Sicht der am Prozess beteiligten Mitarbeiter. Bei Schwachstellen oder Engpässen in der Prozesskette kann es vorkommen, dass diese durch zielgerichtete Maßnahmen der Mitarbeiter ausgeglichen werden, sodass diese von externen Beobachtern nur schwer zu erkennen sind. Semi-strukturierte Interviews können helfen, solche verdeckten Schwachstellen zu identifizieren (Lune & Berg, 2016). Darüber hinaus ist es mit semi-strukturierten Interviews möglich, diejenigen Aktivitäten zu identifizieren, die Mitarbeiter als besonders anstrengend oder belastend empfinden.

3.2 Aufbau, Durchführung und Auswertung der semi-strukturierter Interviews

Der Aufbau der in dieser Arbeit durchgeführten Interviews orientiert sich an der Arbeit von Grosse et al. (2016), die einen Leitfaden für die Konzeptionierung und Durchführung semi-strukturierter Interviews mit dem Ziel der Analyse menschlicher Faktoren in der Kommissionierung entwickelt. Da die Kommissionierung gewisse operative Ähnlichkeiten mit der manuellen Materialhandhabung bei Handling Agents aufweist, stellt der Leitfaden auch für den vorliegenden Analysegegenstand eine valide Orientierungshilfe dar.

3.2.1 Aufbau der Interviews

Wie bereits eingangs erwähnt, zielen semi-strukturierte Interviews darauf ab, einen geleiteten Dialog zwischen Interviewer und Interviewtem zu erzeugen. Der Interviewer nutzt für die Strukturierung dieses Dialogs und zur Verbesserung der Vergleichbarkeit mehrerer Interviews einen Interviewbogen, der verschiedenen Fragen umfasst. Der im Zuge dieser Arbeit entwickelte Interviewbogen wird nachfolgend ausschnittsweise erläutert.

Die Fragen des Interviewbogens sind in Themenbereiche untergliedert. Auf oberster Untergliederungsebene werden im entwickelten Interviewbogen allgemeine und spezifische Fragen unterschieden. Die allgemeinen Fragen unterteilen sich ferner in „einführende Fragen“ und eine „allgemeine vertiefende Frage“ zu Beginn sowie „abschließende Fragen“ am Ende des Interviews und bilden damit dessen Rahmen. Die „einführenden Fragen“ dienen der Einleitung des Interviews und haben den Zweck, einen anfänglichen Rapport zwischen Interviewer und Interviewtem herzustellen. Sie sind unspezifisch und einfach zu beantworten, sodass sich der Interviewte allmählich in das Interview einfinden kann. Zwei beispielhafte „einführende Fragen“ aus dem entwickelten Fragenkatalog lauten „Wie alt sind Sie?“ und „Wie lautet Ihre Stellenbezeichnung“. An die „einführenden Fragen“ schließt sich die „allgemeine vertiefende Frage“ „Was können Sie uns von Ihren Arbeitsbedingungen berichten?“ an. Die „allgemeine vertiefende Frage“ stellt damit den Übergang von der Einleitung des Interviews zu dessen Hauptteil dar. Sie ist bewusst sehr offen formuliert, sodass der Interviewte angeregt wird, zunächst von den von ihm als besonders relevant empfundenen Sachverhalten zu berichten. An die „allgemeine vertiefende Frage“ schließen sich die spezifischen Fragen an, die nachfolgend näher beschreiben werden. Das Interview endet schließlich mit „abschließenden Fragen“, wie z. B. „Möchten Sie zu einem bestimmten Thema noch etwas ergänzen?“ oder „Wurden bestimmte Themen, die Sie für wichtig erachten, nicht im Interview angesprochen?“. Diese sollen einerseits sicherstellen, dass keine relevanten Punkte unberücksichtigt bleiben, und andererseits dem Interviewten vermitteln, dass seine Meinungen und Ansichten respektiert und geschätzt werden.

Die spezifischen Fragen sind in Themenfelder entsprechend der Fragestellungen, die mit den semi-strukturierten Interviews näher beleuchtet werden sollen, untergliedert. Diese sind „ablaufbezogene und informationsverarbeitungsbezogene Aspekte“, „fehler- und fehlerquellenbezogene Aspekte“ und „belastungs- und arbeitslastbezogene Aspekte“. Die Fragen über „ablaufbezogene und informationsverarbeitungsbezogene Aspekte“ dienen dazu, den Arbeitsprozess und dessen Engpässe aus Sicht des Interviewten zu erfassen und zu erfahren, wie Informationen im Arbeitsprozess erfasst und verarbeitet werden. Beispielhafte Fragen dieses Themenfelds sind „Können Sie uns bitte Schritt für Schritt Ihren Arbeitsablauf erklären?“, „Welche Gegebenheiten verlangsamen Sie?“ oder „Werden Sie manchmal von computergestützten oder anderen Technologien unterstützt oder verlangsamt?“. Letztere Frage bezieht dabei bereits die Beobachtung mit ein, dass bei HA 1 und HA 2 mitunter computergestützten Technologien, wie z. B. Barcodescanner, Verwendung finden. Darüber hinaus soll den Interviewten ermöglicht werden, eigene Lösungsvorschläge einzubringen, was über Fragen wie z. B. „Was sind Ihre Vorschläge für computergestützte oder andere Technologien, von denen Sie glauben, dass sie Ihnen helfen können?“ sichergestellt wird. Die Fragen unter dem Themenfeld „fehler- und fehlerquellenbezogene Aspekte“, wie z. B. „Welche Fehler können bei Ihrer Arbeit auftreten?“ oder „Welche Vorschläge haben Sie, um die Fehler zu vermeiden?“, haben zum Ziel, fehleranfällige Schwachstellen des Prozesses aufzudecken und die relevanten Fehlerquellen zu ergründen. Das Themenfeld „belastungs- und arbeitslastbezogene Aspekte“ bündelt Fragen über die körperliche und kognitive Belastung der Interviewten, wie z. B. „Über welche Arbeitssituationen können Sie berichten, in denen Sie eine besonders hohe körperliche Belastung empfunden haben?“ und Fragen über die

allgemeine Arbeitsbelastung, wie z. B. „Wie schätzen Sie das Belastungslevel Ihrer Arbeitstätigkeit ein?“. Auch in diesem Themenfeld werden die Verbesserungsvorschläge von Interviewten mit Fragen, wie beispielsweise „Wie könnte die körperliche oder geistige Belastung reduziert werden?“, berücksichtigt.

Ferner werden für einige der spezifischen Fragen sogenannte Spezifikationen bereitgestellt. Dabei handelt es sich um Stichpunkte oder Vorschläge für Nachfragen. Diese sollen den Interviewer unterstützen, die initiale Antwort, die ein Interviewter zu einer Frage gegeben hat, durch Rückfragen weiter zu präzisieren und zu spezifizieren (Rubin & Rubin, 2011). Die Spezifikationen der Frage „Über welche Arbeitssituationen können Sie berichten, in denen Sie eine besonders hohe körperliche Belastung empfunden haben?“ sind beispielsweise die Stichpunkte „Lasten Heben/ Senken“, „Tragen von Lasten“ und „Erreichen/ Greifen von Gütern“, um die Nachfragen des Interviewers auf bestimmte Bewegungsabläufe bzw. Teiltätigkeiten zu lenken. Die Spezifikationen sollen dabei lediglich die Nachfragen des Interviewers unterstützen, sind aber keineswegs obligatorisch (Rubin & Rubin, 2011).

3.2.2 Durchführung der Interviews

Bei semi-strukturierte Interviews sollten bevorzugt nur eine oder wenige Interviewte gleichzeitig interviewt werden. Dies ermöglicht allen Interviewten, ausreichend zu Wort zu kommen, und soll vermeiden, dass Interviewte Informationen zurückhalten, die sie gegenüber (größeren Gruppe von) Dritten, z. B. Vorgesetzten oder Kollegen, nicht gerne preisgeben möchten (Ayres, 2008; Fontana & Frey, 2000). Im Zuge dieser Arbeit wurden daher ausschließlich Einzel- und Doppelinterviews geführt. Die Teilnahme an den Interviews erfolgte auf freiwilliger Basis und mit Einverständnis der Betriebsräte von HA 1 und HA 2. Alle Interviews wurden vom selben Mitglied des Projektteams geführt, um die Vergleichbarkeit zwischen den geführten Interviews zu erhöhen. Die Interviews fanden bei den Praxispartnern vor Ort in getrennten Räumen statt. Die Interviews wurden zunächst akustisch aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Alle Daten wurden entsprechend geltender Datenschutzrichtlinien erfasst und gespeichert. Personenbezogene Daten wurden dabei zu keinem Zeitpunkt erfasst oder gespeichert, sodass kein Rückschluss auf involvierte Personen möglich ist.

Bei HA 1 wurden zwei höher qualifizierte Mitarbeiter in einem Doppelinterview und ein Schichtleiter in einem Einzelinterview befragt. Bei HA 2 wurden ein Doppelinterview mit zwei höher qualifizierten Mitarbeitern (sogenannte Export-Checker) geführt.

3.2.3 Auswertung der Interviews

Das angewandte Vorgehen zur Auswertung der semi-strukturierten Interviews orientiert sich an dem von Grosse et al. (2016) vorgeschlagenen Ansatz, der als induktiver Ansatz bezeichnet wird (Thomas, 2006). Die Grundidee dieses Vorgehens ist es, den transkribierten Interviewtext iterativ zu codieren. Das bedeutet, dass der Text zur Analyse in Segmente oder Abschnitte untergliedert wird, die mittels Stichpunkten oder Überbegriffen kategorisiert werden (Creswell, 2009). Die Codierung erfolgt dabei in mehreren Schritten, die die Daten fortlaufend aggregieren.

Der erste Schritt wird als offene Codierung bezeichnet. Dazu wird der ursprüngliche Text sorgfältig und satzweise gelesen (Strauss, 1987). Während dieses Schrittes identifiziert der Auswertende zusammenhängende Textsegmente und versieht diese mit stichpunktartigen Bezeichnungen, die in diesem Kontext auch Codes genannt werden (Gioia et al., 2013; Miles & Huberman, 1994). Die Segmentierung und Codierung des Textes sollte dabei immer in Hinblick auf die verfolgten Forschungsfragen vorgenommen werden. Sie erfolgt jedoch keineswegs

linear. Stattdessen werden die Themen wiederholt aufgegriffen, angepasst und verfeinert. Am Ende dieses iterativen Prozesses sollten nicht mehr als 25 bis 30 Codes resultieren (Gioia et al., 2013). Zum Ende des ersten Analyseschrittes werden die identifizierten Codes vom ursprünglichen Text abstrahiert und nach Ähnlichkeit gruppiert. Die resultierenden Code-Gruppen werden als Konzepte bezeichnet.

Die Konzepte bilden den Analysegegenstand für den zweiten Auswertungsschritt. In diesem gilt es, die Codes zu konsolidieren, indem Verknüpfungen zwischen den Codes eines Konzepts hergestellt werden (Gioia et al., 2013). Mögliche Beziehungen zwischen den Codes, die für die Verknüpfungen genutzt werden können, sind Ursache-Wirkung- oder Aktion-Reaktion-Beziehungen (Grosse et al., 2016). Das Ziel dieser Konsolidierung ist es, ein Thema, das heißt, einen Überbegriff, eine Kurzbeschreibung oder einen „gemeinsamen Nenner“, für jedes Konzept zu entwickeln. Das Thema sollte ein Konzept jedoch nicht ausschließlich beschreiben, sondern bereits den übergeordneten Zusammenhang oder die zugrundeliegende Ursache identifizieren (Gioia et al., 2013).

Im dritten und letzten Schritt werden die Themen miteinander zu sogenannten aggregierten Dimensionen verknüpft. Eine aggregierte Dimension fasst mehrere Themen unter einem Überbegriff zusammen (Gioia et al., 2013). Konzepte, Themen und aggregierte Dimensionen werden zusammen auch als Datenstruktur bezeichnet. Die Datenstruktur der in dieser Arbeit ausgewerteten Interviews ist in Abbildung 6 im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

3.3 Ergebnisse der semi-strukturierter Interviews

Während der Auswertung der Interviews konnten nur wenige Unterschiede zwischen den Aussagen der Mitarbeiter beider Praxispartner identifiziert werden. Ein signifikanter Unterschied besteht jedoch darin, dass bei HA 1 die Informationen, welche Fracht auf welchen ULDs konsolidiert werden soll, mittels Bauzetteln in Papierform bereitgestellt wird. Bei HA 2 erfolgt die Bereitstellung dieser Informationen elektronisch durch das IT-System. Die Aussagen, die sich auf die Verwendung von Bauzetteln in Papierform beziehen bzw. damit in Zusammenhang stehen, wurden in der nachfolgenden Datenstruktur mit „[HA 1]“ gekennzeichnet. Die Datenstruktur der Interviewauswertung ist in Abbildung 6 dargestellt. Die aggregierten Dimensionen orientieren sich an den Themenfeldern, die in dieser Arbeit untersucht werden. Diese sind die Ergonomie, die Prozessqualität und -effizienz sowie die Prozess- und Arbeitsgestaltung.

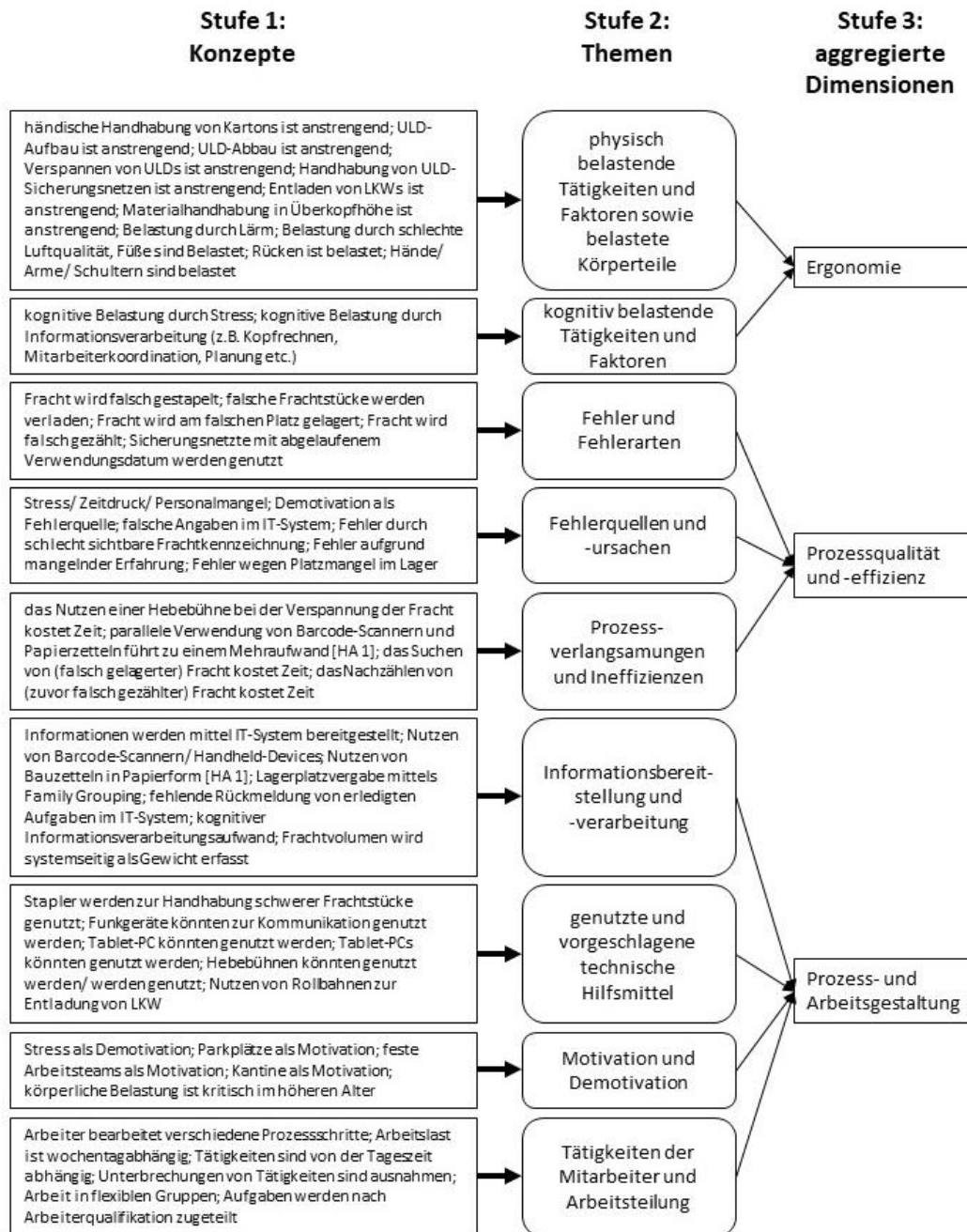


Abbildung 6: Datenstruktur der Interviewauswertung

3.3.1 Ergonomie

Bei der aggregierten Dimension „Ergonomie“ können zwei Themenfelder unterschieden werden, „physisch belastende Tätigkeiten und Faktoren sowie belastete Körperteile“ und „kognitiv belastende Tätigkeiten und Faktoren“. Der Fokus dieser Arbeit und der Analyse in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**4 liegt auf ersterem Themenfeld. Die Auswertung der Interviews zeigt jedoch, dass auch der kognitive Aspekt der Ergonomie von Relevanz sein kann.

3.3.1.1 *Physisch belastende Tätigkeiten und Faktoren sowie belastete Körperteile*

Bei der Auswertung der Interviews zeigt sich, dass die Arbeiter zwei Tätigkeiten als physisch belastend empfinden. Diese sind zum einen die manuelle Handhabung nicht-palettierter Fracht und zum anderen die Sicherung und Verspannung der auf ULDs geladenen Fracht. Die manuelle Handhabung von nicht-palettierter Fracht umfasst unter anderem das Heben, Tragen, Absenken und Umsetzen der Fracht. Insbesondere beim Abbau von ULDs werden Frachtstücke auch über kürzere Distanzen geworfen und von einem zweiten Arbeiter gefangen. Die Handhabung nicht-palettierter Fracht ist bei den Prozessschritten der Entladung von LKWs im Export, des ULD-Aufbaus und insbesondere des ULD-Abbaus relevant. Beim ULD-Aufbau ist der Anteil der Fracht, die manuell gehandhabt wird, stark von der Frachtstruktur abhängig. Größere, sehr schwerere und palettierte Frachtstücke können mittels Gabelstapler gehandhabt werden. Kleinere Frachtstücke, die nach Aussage der Arbeiter bis zu 25 kg schwer sein können, werden manuell gehandhabt. Je nachdem, wie sich die Fracht zusammensetzt, kann damit der ULD-Aufbau weniger oder stärker physisch belastend ausfallen. Im Frachtimport sind die Frachtstücke nur selten per Gabelstapler handhabbar und müssen daher wesentlich häufiger manuell gehandhabt werden. Besonders negativ wird die manuelle Frachthandhabung im Überkopfbereich empfunden, die beim Auf- und Abbau hoher ULDs anfällt.

Die Sicherung und Verspannung der auf ULDs konsolidierten Fracht fällt ausschließlich beim Prozessschritt des ULD-Aufbaus an. Die Arbeiter empfinden hier einerseits die Handhabung der Sicherungsnetze, die über die aufgebaute Fracht gespannt werden müssen, als physisch belastend. Andererseits wird auch das Verspannen selbst als belastend empfunden, da hierbei hohe Zugkräfte aufgebracht werden müssen.

Als belastete Körperteile identifizieren die Arbeiter die Füße, Hände, Schultern und insbesondere den Rücken. Darüber hinaus stellt ein Arbeiter (ein Schichtleiter) fest, dass der Lärm und die schlechte Luftqualität aufgrund der Nähe zum Flughafen belastende Faktoren sein können.

3.3.1.2 *Kognitiv belastende Tätigkeiten und Faktoren*

Neben der physischen Belastung empfinden die Arbeiter auch eine kognitive Belastung während ihrer Arbeit. Als wesentlicher Faktor für die kognitive Belastung führen die Arbeiter wiederholt Stress an. Dieser wird den Arbeitern zufolge durch eine zeitweise hohe Arbeitslast in Kombination mit Personalmangel ausgelöst. Es wird dabei jedoch auch deutlich, dass Stress nicht kontinuierlich empfunden wird, sondern auf Phasen, in denen besonders viele Aufgaben anfallen, beschränkt ist.

Darüber hinaus empfinden Arbeiter bisweilen eine kognitive Belastung durch mentale Informationsverarbeitungsprozesse. Zu diesen zählen die Berechnung des kumulierten Gewichts der Fracht, die bereits auf einem ULD konsolidiert wurde, die Koordination von Mitarbeitern und mit Kollegen und die Planung, welche Fracht in welcher Weise auf welche ULDs verladen werden soll. Den Arbeitern fällt es hierbei bisweilen schwer, den Überblick zu behalten. Vor diesem Hintergrund ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass die interviewten Arbeiter alle ein höheres Qualifikationsniveau aufweisen und daher vorwiegend die Aufgabe eines Checkers übernehmen. Ob geringer qualifizierte Arbeiter in ähnlicher Weise kognitiv belastet werden, wurde nicht untersucht.

3.3.2 Prozessqualität und -effizienz

Die aggregierte Dimension „Prozessqualität und -effizienz“ untergliedert sich in die drei Themen „Fehler und Fehlerarten“, „Fehlerquellen und -ursachen“ und „Prozessverlangsamungen und Ineffizienzen“. Zwischen den drei Themen bestehen verschiedene Interdependenzen, die nachfolgend erläutert werden.

3.3.2.1 Fehler und Fehlerarten

Die Auswertung der Interviews legt nahe, dass die Exportprozesskette wesentlich fehleranfälliger ist, als die Prozesskette im Frachtimport. Sämtliche genannten Fehler beziehen sich auf erstere. Bereits in der Frachtannahme können dabei Fehler auftreten, die weitere Fehler und Ineffizienzen in der Prozesskette bedingen. Ein von den Interviewten mehrfach genannter Fehler ist das falsche Zählen und Erfassen der angenommenen Frachtstücke. Fehlerhaft erfasste Frachtstücke werden entsprechend falsch in das IT-System eingetragen und können damit zu weiteren Fehlern oder Verlangsamungen bei Folgeprozessen führen. Ein anderer Fehler, von dem die Interviewten berichten, ist, dass Fracht bei der Einlagerung im Zwischenlager an den falschen Lagerplätzen deponiert wird bzw. dass die tatsächlichen Lagerplätze nicht mit den systemseitig erfassten Lagerplätzen übereinstimmen. Besonders kritisch kann dies bei Gefahrgütern sein, die auf falschen Lagerplätzen abgestellt werden.

Ebenfalls anfällig für Fehler ist der Prozess des ULD-Aufbaus. Ein erster möglicher Fehler beim Frachtaufbau ist, dass die falsche Anzahl an Frachtstücken verladen wird. Dieser Fehler kann unter anderem durch die zuvor genannten Zählfehler in der Frachtannahme bedingt sein. Ferner kann es vorkommen, dass falsche Frachtstücke verladen werden. Ein weiterer Fehler, von dem berichtet wurde, besteht in der falschen Stapelung von Fracht bei der Konsolidierung. Bestimmte Frachtstücke dürfen aufgrund von Sicherheits-, Gewichts- oder Stabilitätskriterien nicht auf anderen Frachtstücken gestapelt werden, was mitunter von Arbeitern missachtet werden kann. Ein letzter genannter Fehler liegt in der Verwendung nicht mehr verwendungsfähiger Sicherungsnetzte. Diese besitzen ein maximales Verwendungsdatum, das die Nutzung des Netzes nach dessen Überschreiten verbietet.

3.3.2.2 Fehlerquellen und -ursachen

Als eine wesentliche Fehlerquelle geben die Interviewten Stress, Zeitdruck und Personalmangel an. Dabei handelt es sich, den Aussagen zufolge, um eine universale Fehlerquelle, die sämtliche zuvor genannten Fehler begünstigen kann. Kontrollierende Aufgaben, wie das Nachzählen von Fracht und Überprüfen von Sicherungsnetzen, werden jedoch besonders von Stress begünstigt. Als weitere Fehlerquelle wurde von den Interviewten die fehlende Motivation, eine Aufgabe ordentlich auszuführen, genannt, wobei diese nur anderen Arbeitern, nicht aber sich selbst, attestiert wurde. Eine andere mögliche Fehlerquelle, die bereits zuvor angesprochen wurde, sind systemseitig fehlerhafte Daten.

Für den Fehler der falschen Stapelung von Fracht wurde zum einen schlecht sichtbare Frachtkennzeichnungen und mangelnde Erfahrung angeführt. Die Lagerung der Fracht an falschen Lagerplätzen wird von den Arbeitern mitunter auf temporär auftretenden Platzmangel im Lager zurückgeführt.

3.3.2.3 Prozessverlangsamungen und Ineffizienzen

Fehler können nicht nur die Qualität der Arbeit negativ beeinflussen, sondern auch direkt zu Ineffizienzen im Prozess führen. Die interviewten Arbeiter geben in diesem Zusammenhang zwei Prozessverlangsamungen an. Einerseits können falsche Angaben im IT-System über die Anzahl von Frachtstücken zu einem zusätzlichen Nach-

zählaufwand bei der Konsolidierung führen, wobei die Aufklärung und Bereinigung der Diskrepanz einen zusätzlichen Zeitaufwand darstellt. Andererseits führt die fehlerhafte Zuweisung von Fracht zu Lagerplätzen zu Suchaufwand bei der Frachtkonsolidierung.

Ferner empfinden die interviewten Arbeiter den Vorgang des Verspannens und Sicherns von beladenen ULDs als ineffizient. Besonders das Überspannen der Fracht mittels eines Sicherungsnetzes, für das ein Arbeiter mittels einer Hebebühne das Netz auf der Fracht aufbringt, wird als ineffizient empfunden.

Bei HA 1, der neben dem IT-System auch papiergebundene Bauzettel nutzt, empfanden die Arbeiter einen Zusatzaufwand bei der Verbuchung der konsolidierten Fracht, da sie diese sowohl auf dem Bauzettel abhaken als auch mittels Barcode-Scanner im IT-System verbuchen müssen. Bei HA 2 ist dies nicht relevant.

3.3.3 Prozess- und Arbeitsgestaltung

Die aggregierte Dimension „Prozess- und Arbeitsgestaltung“ umfasst die Themen „Informationsbereitstellung und -verarbeitung“, „genutzte und vorgeschlagene technische Hilfsmittel“, „Motivation und Demotivation“ und „Tätigkeiten der Mitarbeiter und Arbeitsteilung“. Aufbauend auf Prozessbeobachtungen wurde die „Tätigkeiten der Mitarbeiter und Arbeitsteilung“ bereits in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben. Da sich die Aussagen der interviewten Arbeiter mit den Beobachtungen decken, wird auch eine erneute Darlegung dieses Themas verzichtet. Das Thema der „Informationsbereitstellung und -verarbeitung“ wird in Kapitel 5 im Detail behandelt und daher an dieser Stelle aus selbigem Grund nicht näher ausgeführt.

3.3.3.1 Genutzte und vorgeschlagene technische Hilfsmittel

Das zentrale technische Hilfsmittel, das derzeit von beiden Praxispartnern genutzt wird und von den interviewten Arbeitern hervorgehoben wurde, ist der Gabelstapler. Gabelstapler werden für den intralogistischen Transport der Fracht und zum Verladen von Fracht auf ULDs eingesetzt, solange die Frachtstücke ausreichend groß und stabil sind, um sie mittels Gabelstapler zu handhaben. Insbesondere palettierte Fracht wird nahezu ausschließlich mittels Gabelstapler bewegt. HA 2 nutzt darüber hinaus im Boden versenkbare Hebebühnen, auf denen ULDs auf- und abgebaut werden können. Die interviewten Arbeiter von HA 2 berichten, dass solche Hebebühnen zwar sinnvoll sein können, jedoch in zu geringem Umfang vorhanden sind. Die Mitarbeiter von HA 1 können sich den Einsatz von Hebebühnen als eine sinnvolle Maßnahme vorstellen. Für das Entladen von LKWs werden Rollbahnen eingesetzt.

Die Mitarbeiter beider Unternehmen berichten, dass sie Handheld-Devices bzw. Barcode-Scanner zur systemseitigen Verbuchung der Fracht nutzen. Sie zeigen sich insgesamt zufrieden mit dieser Technologie. Auf den Vorschlag der zusätzlichen Nutzung von Tablet-PCs zur Darstellung und Verwaltung weiterer relevanter Daten zeigen die Arbeiter gemischte Reaktionen. Einerseits wird dieses Hilfsmittel als potenziell hilfreich eingestuft. Andererseits haben die Arbeiter Vorbehalte gegenüber der vergleichsweise komplexen Bedienung dieser Geräte.

Ein von den Arbeitern hervorgebrachter Vorschlag ist die Nutzung von Funkgeräten, um die Kommunikation innerhalb der Arbeitsteams, die teilweise räumlich über das Terminal verteilt arbeiten, zu verbessern.

3.3.3.2 Motivation und Demotivation

Als mögliche Motivationen für die Arbeit nennen die interviewten Arbeiter Annehmlichkeiten im Arbeitsumfeld. Konkret wird der Wunsch nach einer Kantine bzw. Vergünstigung bei den Kantinen benachbarter Unternehmen

genannt. Positiv werden die den Mitarbeitern zur Verfügung stehenden Parkplätze hervorgehoben. Ein Mitarbeiter äußert darüber hinaus den Wunsch, mehr Mitbestimmung bei der Arbeitsteambildung zu haben und generell weniger Mitarbeiterfluktuation in den Teams zu haben.

Demotivierend empfinden die Mitarbeiter Stress und das Gefühl einer hohen Arbeitslast. Darüber hinaus äußern die interviewten Arbeiter mehrfach Bedenken, dass die körperliche Belastung ihrer Arbeit im höheren Alter negative Auswirkungen haben kann bzw. dass die Arbeiter ihre derzeitige Arbeit in höherem Alter nicht mehr ausführen können.

4 Prozessanalyse aus ergonomisch-belastungsbezogener Perspektive

Nachfolgend werden die bei Handling Agents anfallenden Prozesse aus ergonomisch-belastungsbezogener Perspektive analysiert. Die International Ergonomic Association definiert Ergonomie als „die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Interaktion von Menschen untereinander und mit anderen Systemelementen auseinandersetzt, sowie der Anwendung von Theorie, Prinzipien, Daten und Methoden bei der Gestaltung [von Systemen] mit dem Zweck das menschliche Wohlbefinden und die gesamte Systemleistung zu optimieren“ (frei übersetzt nach IEA, 2020). Die nachfolgende Prozessanalyse beschränkt sich jedoch vornehmlich auf den Teilaspekt der Identifikation und Bewertung von physischer Belastung (und damit einhergehenden Auswirkungen auf das Wohlbefinden) der Arbeiter bei der Ausführung von manueller Arbeit.

Der Fokus der ergonomischen Analyse dieser Arbeit liegt auf den Prozessschritten, die spezifisch bei Handling Agents anfallen. Diese sind die in Kapitel 2.2 identifizierte Prozessschritte „ULD-Aufbau“ und „ULD-Abbau“. Die Interviewauswertung in Kapitel 3.3 legt zudem nahe, dass diese Prozessschritte von den Arbeitern als besonders physisch belastend empfunden werden, was die Fokussierung auf diese Prozessschritte weiter rechtfertigt. Neben dem „ULD-Aufbau“ und dem „ULD-Abbau“ empfanden die Arbeiter die Entladung von LKWs als physisch belastend. Da es sich hier jedoch um keinen Prozessschritt handelt, der spezifisch bei Handling Agents anfällt, wird er nachfolgend nicht weiter analysiert. Stattdessen sei hierzu auf Untersuchungen in der Literatur, wie z. B. die Arbeiten von Van der Beek et al. (1993), Schneider et al. (1997) oder Shibuya et al. (2010), verwiesen.

Für die nachfolgende Analyse wird ferner ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Die erste Stufe soll als Screening der Prozessschritte dienen und eine erste gröbere Einschätzung der physischen Belastung ermöglichen. Der Analysegegenstand dieser Stufe sind daher die Prozessschritte „ULD-Aufbau“ und „ULD-Abbau“, wobei zwischen den verschiedenen ULDs, also Paletten und Containern, differenziert wird. Die Be- und Entladung von Belly-Wagen wird nicht untersucht. Ein jeder Prozessschritt wird dazu als Gesamttätigkeit betrachtet und mittels eines Ampel-Schemas hinsichtlich der körperlichen Belastung, die er für ausführende Arbeiter darstellt, klassifiziert. Auf der zweiten Stufe erfolgt eine detaillierte Analyse der verschiedenen kritischen Bewegungen von besonders kritische eingestuft Prozessschritten.

4.1 Bewertung physischer Belastungen

Zur ergonomischen Bewertung von körperlicher Arbeit schlägt die Literatur vier generelle Ansätze vor. Diese sind erstens Expertenevaluationen, zweitens die Studie epidemiologischer Daten (d. h. die Auswertungen statistischer Daten über den Zusammenhang von bestimmten körperlichen Tätigkeiten und muskuloskelettalen Leiden), drittens die Ermittlung von kritischen biomechanischen, physiologischen und/ oder psychophysischen Grenzwerten und viertens Kombinationen der zuvor genannten Möglichkeiten (Moore & Garg, 1995; Glock et

al., 2017). Während Expertenevaluierungen schwer formalisiert werden können und die Gewinnung epidemiologischer Daten sehr zeit- und kostenaufwändig ist, bietet die Ermittlung von kritischen Grenzwerten eine vergleichsweise einfach anwendbare und objektive Alternative.

Die Ermittlung kritischer Grenzwerte beruht auf der Beobachtung, dass die häufige und/ oder deutliche Überschreitung dieser Grenzwerte mit der Entwicklung verschiedener muskuloskelettaler Leiden korreliert ist. Je deutlicher die Überschreitung der Grenzwerte ausfällt, desto wahrscheinlicher ist die Entwicklung muskuloskelettaler Leiden. Bewertungsverfahren, die auf biomechanischen Grenzwerten aufbauen, fokussieren die Kräfte und/ oder Momente, denen verschiedene Körperstrukturen, wie z. B. die Wirbelsäule oder Schultergelenke, ausgesetzt sind. Der physiologische Ansatz betrachtet den Energieumsatz, also die kardiovaskuläre Belastung, eines Arbeiters während der Ausführung manueller Arbeit als kritischen Grenzwert. Psychophysische Ansätze ziehen die von einem Arbeiter subjektiv empfundene Belastung als Bewertungskriterium heran (Dempsey, 1998).

Während es möglich ist, bestimmte kritische Kenngrößen direkt zu messen – der Energieumsatz eines Arbeiters kann beispielsweise über spezielle Masken an der Atemluft gemessen werden (Levine, 2005) und auf Gelenke wirkende Kräfte können über operativ eingesetzte Sensoren bestimmt werden (Wilke et al., 1999) –, ist die direkte Messung häufig aufwändig, umständlich, risikobehaftet und beeinflusst gegebenenfalls die Bewegungsausführung. Für die Anwendung wird daher häufig auf Modelle zurückgegriffen, die die entsprechenden Kenngrößen anhand von tätigkeitsbezogenen Merkmalen, wie der Bewegungsausführung oder der Last, und anthropometrischen Merkmalen, wie das Geschlecht oder die Körpergröße der ausführenden Person, berechnen (Dempsey, 1998).

Der Aggregationsgrad, anhand dessen Basis ergonomische Bewertungsmodelle manuelle Tätigkeiten bewerten, kann stark variieren. Auf der einen Seite existieren Modelle, in denen Bewegungen, Körperhaltungen und Lasten exakt nachgebildet und damit analysiert werden können. Hierzu zählt auch das biomechanische Modell 3DSSPP (Center for Ergonomics, University of Michigan, 2020), das nachfolgend noch näher vorgestellt und angewandt wird. Dieser Typ von Modellen erlaubt sehr präzise und detaillierte Analysen. Nachteilig ist jedoch, dass die Modellierung sehr zeitaufwändig und teilweise vergleichsweise kompliziert ist. Für ein erstes Screening, das evaluiert, welche Arbeitsprozesse ein erhöhtes Belastungspotenzial aufweisen, sind solche Verfahren eher ungeeignet. Daher stehen diesen präzisen Modellen auf der anderen Seite Modelle gegenüber, die Bewegungen, Körperhaltungen und Lasten auf einem aggregierten Niveau erfassen. Das heißt, dass beispielsweise die Körperhaltung des Arbeiters während einer Tätigkeit nur als aufrecht oder gebeugt erfasst wird, darüber hinaus aber keine weitere Präzision erfolgt. Als Ergebnis liefern solche Verfahren häufig keinen direkt berechneten kritischen Grenzwert, sondern eine davon abstrahierte Belastungs- oder Verletzungsrisikoeinschätzung. Die Leitmerkmal-methode (Steinberg et al., 2011) und das darauf aufbauende Multiple-Lasten-Tool (Schaub et al., 2010), die nachfolgend im Detail vorgestellt und als Screening-Verfahren angewandt werden, zählen zu diesem Modelltyp. Das Spektrum der Aggregationsgrade der Modelle verläuft fließend zwischen schwächer und stärker aggregierten Modellen.

4.2 Bewertung der physischen Belastung auf Prozessebene

Die Bewertung der physischen Belastung auf Prozessebene erfolgt mittels des Multiple-Lasten-Tools. Dieses wird im Folgenden kurz vorgestellt und dessen Anwendung erläutert. Anschließend wird die Belastungsbeurteilung der Prozessschritte vorgestellt.

4.2.1 Das Multiple-Lasten-Tool und dessen Anwendung

Das Multiple-Lasten-Tool ist ein Screening-Verfahren zur Bewertung der physischen Belastung bei manueller Arbeit. Es basiert auf den von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin entwickelten Leitmerkmalmethoden Heben, Halten, Tragen (BAuA, 2001) sowie Ziehen und Schieben (BAuA, 2002). Diese wurden aus der Kombination verschiedener biomechanischer, physiologischer, psychophysischer und teilweise epidemiologischer Bewertungsansätze angeleitet und abstrahieren die physische Belastung, bzw. das mit der Belastung verbundene Risiko, mittels einer Punkteskala (Schaub et al., 2010).

Die Bewertung einer Tätigkeit mit der Leitmerkmalmethode erfolgt, indem die Tätigkeit hinsichtlich ihrer Leitmerkmale untergliedert wird. Diese sind das Lastgewicht, die Körperhaltung bei der Tätigkeitsausführung, die Häufigkeit, Dauer oder Wegstrecke, die Ausführungsbedingungen sowie beim Ziehen und Schieben Anforderungen an die Positioniergenauigkeit (Schaub et al., 2010). Für jedes Leitmerkmal wird anhand einer diskreten Skala, z. B. einer Tabelle, die verschiedenen Körperhaltungen Punktgewichte gegenüberstellt, ein Punktgewicht bestimmt. Die Bewertung der Tätigkeit erfolgt schließlich anhand einer kumulierten Punktzahl, die mit einer Risikoskala abgeglichen werden kann (BAuA, 2001; BAuA, 2002).

Die Leitmerkmalmethode ist für repetitive Tätigkeiten mit vergleichsweise einfachen Bewegungsabläufen konzipiert. Für Tätigkeiten, die abwechselnde Bewegungen und eine größere Bandbreite an Gewichten umfassen, wie sie auch bei den hier untersuchten Prozessschritten auftraten, ist sie dagegen weniger geeignet, weshalb hierfür das Multiple-Lasten-Tool entwickelt wurde. Das Multiple-Lasten-Tool nutzt eine Microsoft Excel-Tabelle (online frei verfügbar unter <https://kobra-projekt.de/download/multiple-lasten-tool>), in der für jede während einer Tätigkeit gehandhabte Last die Leitmerkmale entsprechend der Leitmerkmalmethode eingetragen werden können. Das Multiple-Lasten-Tool berechnet anschließend das resultierende Punktgewicht der gesamten Tätigkeit, indem Punkte für jede Lasthandhabung entsprechend der Leitmerkmalmethode bestimmt und zeitgewichtet kumuliert werden (Schaub et al., 2010).

Am Ende der Tätigkeitsbewertung gleicht das Multiple-Lasten-Tool die berechnete Gesamtpunktzahl mit einer hinterlegten Ampelskala ab, um eine Einschätzung des Belastungsniveaus der Tätigkeit und der Notwendigkeit von Verbesserungsmaßnahmen zu geben. Die Ampelskala ist identisch mit der Ampelskala der Leitmerkmalmethode. Die folgenden Belastungsstufen werden dabei unterschieden (Schaub et al., 2010):

- Grün (< 25 Punkte): „Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.“
- Gelb (25 bis < 50 Punkte): „Wesentlich erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt.“
- Rot (\geq 50 Punkte): „Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich.“

Bei einem roten Skalenwert sollte immer eine ergonomische Verbesserung der Tätigkeit erfolgen. Bei einem gelben Skalenwert sollten Verbesserungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Die exakte Punktzahl kann dabei als Orientierung dienen, in welchem Maße diese angezeigt sind. Die körperliche Belastung von grün bewerteten Tätigkeiten wird als gering eingestuft und muss in der Regel nicht reduziert werden.

Zum Screening, welche der in Kapitel 2.3 unterschiedenen Prozessschritte eine besondere körperliche Belastung hervorrufen, wird das Multiple-Lasten-Tool eingesetzt. Zu beachten ist dabei, dass sowohl der Leitmerkmalmethode als auch dem Multiple-Lasten-Tool die Annahme zu Grunde liegt, dass sich die bewertete Tätigkeit über die Dauer eines achtstündigen Arbeitstages erstreckt. Die Ausführungsdauern der nachfolgend bewerteten Prozessschritte werden daher auf die Zeitdauer von acht Stunden extrapoliert. Auch wenn ein Arbeiter typischerweise nicht acht Stunden den gleichen Prozessschritt ausführt (vgl. Kapitel 2.3), erlaubt dieses Vorgehen, die Prozessschritte getrennt voneinander zu bewerten. Da es sich bei dieser Bewertung um ein Screening handelt und die relevanten Prozessschritte in Kapitel 4.3 noch einmal im Detail bewertet werden, wird das Vorgehen an dieser Stelle als ausreichend aussagekräftig erachtet.

Ferner müssen Annahmen über die Gewichte der gehandhabten Frachtstücke getroffen werden, da diese Informationen systemseitig nicht vorliegen und bei den Praxispartnern keine praktisch durchführbare Möglichkeit besteht, die einzelnen Frachtstücke vor oder während dem ULD-Auf- oder -Abbau zu wiegen. Als Lösung dieser Problematik werden für die Auswertungen konstante Gewichte für alle gehandhabten Frachtstücke angenommen. Jede Tätigkeitsauswertung wird daher für drei verschiedene Gewichtsklassen durchgeführt: leichte Gewichte (Klasse L) mit 5 kg, mittlere Gewichte (Klasse M) mit 12,5 kg und schwere Gewichte (Klasse S) mit 20 kg. Die Gewichtsklassen basieren auf Schätzungen der Arbeiter über die Bereiche, in denen die typischerweise gehandhabten Gewichte liegen. Dieses Vorgehen bietet dabei gleichzeitig den Vorteil, dass die Auswertung verallgemeinert wird, da auch für nicht explizit untersuchte Gewichte durch Interpolation und Extrapolation der durchgeführten Auswertungen Aussagen über den Grad der Belastung möglich sind.

Schließlich können mit dem Multiple-Lasten-Tool nicht alle Bewegungsabläufe ausgewertet werden, da dieses auf Umsetz-, Hebe-, Trage-, Schub- und Zugtätigkeiten beschränkt ist. Dieses Problem haben nahezu alle Screening-Verfahren, sodass auch die Wahl einer anderen Bewertungsmethode keine Abhilfe schaffen kann. In der nachfolgenden Auswertung werden daher alle Bewegungen und Lastenhandhabungen, die nicht bewertet werden können, vernachlässigt. Das betrifft insbesondere das Sichern und Verspannen der auf Luftfrachtpaletten geladenen Fracht mit Netzen und Gurten, was von den Arbeitern als anstrengende Tätigkeit hervorgehoben wurde (vgl. Kapitel 3.3.1), aber nicht in der Auswertung berücksichtigt werden kann. Das bedeutet, dass insbesondere die Belastungskennzahlen bei der Tätigkeit des Aufbaus von Luftfrachtpaletten zu niedrig angesetzt sind.

4.2.2 Belastungsbewertung des ULD-Auf- und Abbaus mittels Multiple-Lasten-Tool

Die Belastungsbewertung des ULD-Auf- und Abbaus erfolgte entsprechend der zuvor beschriebenen Annahmen und Vorgehensweise. Die Ergebnisse des Screenings sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefasst, wobei erstere die Auswertung von Aufbau- und letztere die Auswertung von Abbauvorgängen darstellt. Für die Auswertung wurden jeweils möglichst repräsentative Videoaufnahmen der entsprechenden Tätigkeiten verwendet. Die in den Tabellen verwendeten Kopfzeilen „HA 1“ und „HA 2“ bedeuten, dass die in der zugehörigen Spalte stehende Auswertung aus Beobachtungen, d. h. Videoaufnahmen, beim entsprechenden Praxispartner

gewonnen wurde. Ist die Spalte unter „HA 1“ oder „HA 2“ weiter aufgeteilt, bedeutet dies, dass mehrere Arbeiter am Prozess beteiligt waren, wobei jede Spalte der ergonomischen Auswertung der Tätigkeit einer der Arbeiter entspricht. Für die meisten untersuchten Prozessschritte ist die Bearbeitung durch ein bis zwei Arbeiter repräsentativ. Dies schließt jedoch nicht aus, dass gegebenenfalls auch mehr als zwei Arbeiter einen Prozess bearbeiten können (vgl. Kapitel 2.3). Die Abkürzung „MW“ steht für „Mittelwert“. In der zugehörigen Spalte wird zusammenfassend die gemittelte Belastungskennzahl aller am Prozess beteiligten Arbeiter berechnet. Zu beachten ist hierbei, dass dies lediglich einen schnellen Überblick ermöglichen soll. Die durchschnittliche körperliche Belastung wird durch die Mittelwertbildung tendenziell unterschätzt. Bei einigen Tätigkeiten liegen nur Aufnahmen und Auswertungen bei einem der beiden Praxispartner vor. Die Spalten der Tabellen, bei denen bei einem Praxispartner keine Auswertungen vorliegen, sind grau hinterlegt.

Die Belastungskennzahlen selbst werden in Tabelle 1 bis Tabelle 2 entsprechend der Ampelskala des Multiple Lasten Tools und der Leitmerkalmethode codiert. Ein hinter einem Belastungskennwert stehender Asterisk („*“) deutet zudem an, dass es bei dem Prozess zu biomechanisch kritischen Lastfällen kommt. Ein biomechanisch kritischer Lastfall liegt dann vor, wenn ein Arbeiter in einer kritischen Haltung (z. B. mit stark gebeugtem oder verdrehtem Oberkörper oder weit nach vorne ausgestreckten Armen) Lasten handhaben muss. Da sich die Lasthandhabung in diesen Haltungen besonders negativ auswirkt, sollten biomechanisch kritische Lastfälle vermieden werden. Nachfolgend werden die Auswertungen vorgangsbezogen erläutert.

Tabelle 1: Ergonomische Belastung nach dem Multiple Lasten Tool beim Aufbau von Luftfrachtpaletten und -containern

Gewichts- klasse	Aufbau einer „lower deck“ Luftfrachtpaletten					Aufbau einer „main deck“ Luftfrachtpaletten					Aufbau eines Luftfrachtcon- tainers				
	HA 1		HA 2		MW	HA 1		HA 2		MW	HA 1		HA 2		MW
L (5 kg)	18,8	28,8	0	21,2	17,2	0	24,7	-	-	12,4	-	-	42,4	42,4	
M (12,5 kg)	22,6*	33,2*	0	23,5	19,8	0	27,7*	-	-	13,9	-	-	45,5*	45,5	
S (20 kg)	30,4*	41,1*	0	27,4*	24,7	0	33,1*	-	-	16,6	-	-	50,4*	50,4	

Tabelle 2: Ergonomische Belastung nach dem Multiple Lasten Tool beim Abbau von Luftfrachtpaletten und -containern

Gewichts- klasse	Abbau einer „lower deck“ Luft- frachtpaletten				Abbau eines Luftfrachtcontai- ners				
	HA 1		HA 2		HA 1		HA 2		MW
L (3 kg)	71,1	85,1	0	51,8	-	-	56,9	56,9	
M (11 kg)	80,7	94,9	0	58,1	-	-	60,7*	60,7	
S (19 kg)	97,1	110,6*	0	68,8	-	-	66,9*	66,9	

4.2.2.1 Aufbau von Luftfrachtpaletten

Für die ergonomische Analyse werden zwei Typen von Luftfrachtpaletten unterschieden, die in Tabelle 1 als getrennte Prozesse analysiert werden. Luftfrachtpaletten, die für das untere Deck eines Flugzeugs bestimmt

sind, sogenannte „lower deck“ Luftfrachtpaletten, sind auf eine maximale Aufbauhöhe von 1,60 m beschränkt und unterscheiden sich damit von für das Hauptdeck bestimmten Luftfrachtpaletten, die auch über 2 m Aufbauhöhe aufweisen können. Im Wesentlichen werden die Paletten nach dem gleichen Schema aufgebaut: zunächst werden schwere und große Frachtstücke verladen. Anschließend werden kleinere und leicht Frachtstücke darauf gestapelt. Die großen Frachtstücke sind nahezu immer palettiert und werden daher mit dem Gabelstapler verladen. Sofern ein Arbeiter ausschließlich den Gabelstapler bedient, resultiert für ihn bei der ergonomischen Bewertung ein Punktwert von 0. Die wesentliche Belastung resultiert beim Paletten-Aufbau aus dem manuellen Verladen der kleineren Frachtstücke. Tendenziell ist hierbei bei „lower deck“ die Arbeitshöhe, d. h. die Höhe, auf der die Fracht abgestellt werden muss, in einem ergonomisch günstigeren Bereich, nämlich zwischen Hüft- und Kopfhöhe. Bei „main deck“ Paletten muss die Fracht auch in Überkopfhöhe verladen werden. Dass die Belastungskennzahlen bei den ausgewerteten „main deck“-Paletten geringer ausfallen als bei den „lower deck“-Paletten liegt an der Frachtstruktur. Bei den bewerteten „lower deck“-Paletten mussten insgesamt mehr Frachtstücke manuell gehandhabt werden. Dies ist jedoch keine allgemeine Beobachtung, weshalb anzunehmen ist, dass der Aufbau von „main deck“-Paletten, entgegen der Auswertung, insgesamt stärker belastend ist.

Für beide Paletten-Typen ergeben sich je nach angenommenem Frachtgewicht Belastungskennzahlen im grünen oder gelben Bereich, was andeutet, dass Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll sein können, insbesondere, wenn das bei der Auswertung vernachlässigte Sichern und Verspannen der Fracht mitberücksichtigt wird. Ferner treten wiederholt kritische biomechanische Lastfälle auf, die durch das Handhaben von Fracht in der Mitte der Palette mit weit ausgestreckten Armen bedingt sind.

4.2.2.2 *Aufbau von Luftfrachtcontainern*

In der Luftfracht werden viele verschiedene Typen von Containern eingesetzt. Eine Gemeinsamkeit der gängigen Container ist ihre Höhe, die etwa 1,6 m beträgt. Der Beladungsvorgang gestaltet sich bei den gängigen Containertypen ähnlich – weshalb in Tabelle 1 nur ein verallgemeinerter Containeraufbauprozess analysiert wurde – und ist in etwa vergleichbar mit dem Aufbau von Luftfrachtpaletten. Zunächst wird schwere, palettierte Fracht mittels Gabelstapler verladen und anschließend werden kleinere und leichtere Frachtstücke darauf gestapelt. Im Gegensatz zu Paletten sind die Container jedoch schwerer zugänglich, da sie lediglich über eine frontale Öffnung beladen werden können. Die Öffnungen ist unabhängig vom Containertyp üblicherweise ausreichend breit, schränkt den beladenen Arbeiter jedoch bezüglich der Höhe stark ein, sodass dieser häufig eine gebeugte Haltung annehmen muss, die zu biomechanisch ungünstigen Belastungsfällen führt. Aufgrund dieser ungünstigen Ausführungsbedingungen gestaltet sich die Beladung von Containern bei in etwa gleicher Frachtkomposition ungünstiger als bei Luftfrachtpaletten, was sich in Bewertungskennzahlen im gelben Bereich widerspiegelt, die bei schweren Lasten teilweise schon nahe dem roten Bereich liegen. Da Container jedoch nicht mit Netzen verspannt werden müssen, entfällt dieser Schritt im Vergleich zur Beladung von Luftfrachtpaletten. Zusammenfassend sind also auch bei der Beladung von Luftfrachtcontainern Gestaltungsmaßnahmen angezeigt.

4.2.2.3 *Abbau von Luftfrachtpaletten*

Der Abbau von Luftfrachtcontainern verläuft im Wesentlichen umgekehrt zu deren Aufbau und wird in Tabelle 2 ergonomisch analysiert. Zunächst wird die Sicherung der Fracht gelöst. Anschließend werden die Frachtstücke von oben nach unten entladen, wobei leichtere Frachtstücke händisch auf Paletten umgeladen werden und größere und palettierte Fracht per Gabelstapler entladen wird. Prinzipiell kann auch beim Abbau zwischen „lower

deck“- und „main deck“-Paletten unterschieden werden, wobei bei Letzteren der Aufbau höher ist und damit Frachthandhabung in Überkopfhöhe stattfindet. Bei HA 1 und HA 2 werden jedoch nur sehr selten „main deck“-Paletten abgebaut, sodass es nur möglich war, den Abbau von „lower deck“-Paletten ergonomisch zu bewerten. Die Belastungskennzahlen für den Abbau von „lower deck“-Paletten liegen für alle Frachtgewichtsklassen im roten Bereich, was anzeigt, dass hier dringend Gestaltungsmaßnahmen ergriffen werden sollten. Dass die Entladung von Luftfrachtpaletten derart mehr belastend ist als deren Beladung ist vornehmlich durch die Frachtstruktur begründet. Während im Export vergleichsweise viele große und palettierte Frachtstücke per Gabelstapler verladen werden können, ist die Fracht im Import kleinteiliger und muss häufig komplett händisch entladen werden. Diese Diskrepanz ist nach Meinung der Praxispartner auf den Standort in Deutschland zurückzuführen. Die Exportfracht umfasst häufiger palettierte Maschinen und Maschinenkomponenten, während die Importfracht tendenziell eher aus kleinen paketgebundenen Frachtstücken besteht. International kann diese Gegebenheit daher durchaus abweichen. Dass die Frachtstücke bei der Entladung kleiner sind, begründet auch, warum hier keine kritischen Lastfälle vorkommen. Da der Aufbau Stück für Stück abgetragen werden kann, ist seltener ein weites Vorbeugen des Oberkörpers nötig.

Weiterhin sei angemerkt, dass der ausgewertete Abbau in sehr kurzer Zeit erfolgt ist und dass daher die Extrapolation des Vorgangs auf einen Zeitraum von 8 Stunden (s. o.) stärker von der Realität abweichen kann als bei anderen bewerteten Tätigkeiten. Mit erhöhter Wahrscheinlichkeit handelt es sich daher bei dem in Tabelle 2 gegebenen Wert um eine Überschätzung. Nichtsdestotrotz besteht für den Abbau von Paletten entsprechend des vorgenommenen Screenings eine sehr große Notwendigkeit zur Reduzierung der Belastung, was sich insgesamt auch gut mit den Aussagen der Arbeiter in den Interviews deckt (vgl. Kapitel 3.3.1).

4.2.2.4 Abbau von Luftfrachtcontainern

Wie auch bei den Luftfrachtpaletten verläuft der Abbau von Luftfrachtcontainern umgekehrt zu deren Aufbau. Nachdem die Sicherungsgurte entfernt wurden, werden in der Regel zunächst die kleineren Frachtstücke, die oben auf dem Aufbau aufliegen, manuell entladen und auf Paletten umgesetzt. Dabei kann die geringe Höhe des Containers abermals Arbeiter dazu zwingen, ungünstige Körperhaltungen einzunehmen, was zu biomechanisch kritischen Belastungssituationen führt. Bei gleicher Frachtkomposition sind die Be- und Entladung in etwa gleichermaßen ergonomisch belastend. In der in dieser Arbeit durchgeführten Auswertung war die Fracht bei der Entladung jedoch kleinteiliger, was sich in den höheren Bewertungskennzahlen in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** widerspiegelt, die für alle Frachtgewichtsklassen im roten Bereich liegen. Die Eigenschaft, dass importierte Container, die es abzubauen gilt, tendenziell kleinteiliger beladen sind als zu exportierende Container, konnte wiederholt bei den Praxispartnern des Projekts beobachtet werden und wird auf ähnliche Gründe wie bei der auf Luftfrachtpaletten konsolidierten Fracht zurückgeführt. Insgesamt ist hier die Diskrepanz der Frachtkomposition in Export und Import jedoch geringer als bei den Luftfrachtpaletten. Ferner kann diese Beobachtung abermals international variieren.

4.3 Bewertung ausgewählter Prozesse und Tätigkeiten mittels biomechanischer Modellierung

Das zuvor durchgeführte Screening deutet bereits stark darauf hin, dass verschiedene ULD-Auf- und -Abbauprozesse zu erhöhten körperlichen Belastungen führen können und damit ein gesundheitliches Gefahrenpotenzial bergen. Die Validität des Screenings ist jedoch begrenzt, weshalb an dieser Stelle ausgewählte Prozesse und Tätigkeiten zusätzlich mittels biomechanischer Modellierung analysiert werden.

4.3.1 Biomechanische Modellierung mittels 3DSSPP

Für die biomechanische Modellierung wird das von der Universität Michigan entwickelte Computerprogramm 3DSSPP (Center for Ergonomics, University of Michigan, 2020) verwendet. Das Programm erlaubt es, mittels eines dreidimensionalen Menschmodells Bewegungen, Tätigkeiten oder Prozesse zu modellieren. Ein Arbeitsprozess, z. B. der Aufbau von ULDs, wird dazu zunächst in einzelne Tätigkeiten, d. h. einzelne Hebe-, Trage-, Haltetätigkeiten etc., unterteilt, die anschließend einzeln analysiert werden. Dazu wird die zu analysierende Tätigkeit in diskrete Momentaufnahmen, sogenannte Frames, aufgeteilt und mittels eines dreidimensionalen Menschmodells nachgebildet. Ein Frame entspricht dabei etwa einer Dauer von 0,04 Sekunden. Die gesamte Tätigkeit wird dann vom Programm aus den eingegebenen Frames als kontinuierliche Bewegung approximiert. Zusätzlich zu den Frames müssen die an den Händen des Arbeiters wirkenden Kräfte und deren Richtung angegeben werden. Im Fall einer Hebetätigkeit ist dies bspw. die Gewichtskraft der gehobenen Last. Außerdem müssen die anthropometrischen Daten des ausführenden Arbeiters spezifiziert werden. Auf Basis der eingegebenen Daten berechnet das Programm schließlich die während der Tätigkeit in jedem Frame wirkenden Kräfte auf verschiedene Gelenke, wie z. B. Schultern, Ellenbogen oder Knie. Als zentraler Kennwert zur Beurteilung der Belastung wird allerdings die auf das L4/L5-Gelenk der unteren Lendenwirbelsäule wirkende Kraft ausgegeben, die mit empfohlenen Limits verglichen werden kann, um das ergonomische Risikopotenzial einzuschätzen. Dabei können sowohl maximale Kräfte als auch kumulierte Kräfte zur Bewertung herangezogen werden, was nachfolgend weiter ausgeführt wird. Die Bewertung eines gesamten Prozesses ergibt sich aus der Zusammenführung der Bewertungen der Tätigkeiten, aus denen sich ersterer zusammensetzt.

Es sei angemerkt, dass 3DSSPP ausschließlich eine (quasi) statische Belastungsanalyse durchführt. Das bedeutet, dass Trägheitskräfte, die bei der Beschleunigung oder Abbremsung einer Bewegung wirken, vernachlässigt werden, was tendenziell zu einer Unterschätzung der Belastung führen kann (Dempsey, 1998). Während zwar durchaus auch Modelle bzw. Programme existieren, die dynamische Modellierungen ermöglichen, erfordern diese eine höhere Datenqualität (Dempsey, 1998), die im Zuge dieser Arbeit aufgrund der Datenerfassung im laufenden Betrieb bei den Praxispartnern nicht erreicht werden konnte. Da es jedoch auch in der Fachliteratur üblich ist, dynamische Bewegungsabläufe mittels statischer Modellierung zu bewerten (Garg et al., 1982), wird das Vorgehen innerhalb dieser Arbeit angemessen erachtet.

Wie bereits erwähnt wurde, kann das ergonomische Risikopotenzial eines Prozesses sowohl über die Betrachtung von maximalen Kräften als auch von kumulierten Kräften, die auf das L4/L5-Gelenk der unteren Lendenwirbelsäule wirken, eingestuft werden. Insgesamt ist die Betrachtung von maximalen Kräften in der Literatur weit verbreitet. Zur Bewertung eines Arbeitsprozesses wird hierfür die während des Prozesses wirkende Maximalkraft bestimmt und mit kritischen Grenzwerten verglichen (Norman et al., 1998). Die zugrundeliegende Überlegung ist, dass körperliche Strukturen und Gewebe eine gewisse Toleranz gegenüber Belastungen in Form von Kräften haben. Werden diese Toleranzen überschritten, kann das Gewebe geschädigt werden, was sich letztlich in muskuloskelettalen Leiden oder Verletzungen manifestiert. Erste Grenzwerte für maximale Kräfte wurden mittels *in vitro* Experimenten an Kadavern bestimmt und über epidemiologische Studien, welche maximale Kräfte mit einem erhöhten Verletzungsrisiko abgleichen, validiert und angepasst (Dempsey, 1998). Als weit verbreitete Grenzwerte können in diesem Zusammenhang das vom US-amerikanischen National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 1981) herausgegebene action limit (AL) von 3400 N und das maximum permissible limit (MPL) von 6400 N angeführt werden. Überschreiten die Kräfte auf das L4/L5-Gelenk das

AL, besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür, dass Mikrorisse im Gewebe der Bandscheiben entstehen, die bei einem Teil der Arbeiter muskuloskelettale Leiden bedingen können (Marras, 2000). Das MPL gibt eine Grenze an, ab der es bei den meisten Arbeitern mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Verletzungen kommt (NIOSH, 1981). Wird das AL bei einem Prozess überschritten, besteht Handlungsbedarf zur Reduktion der physischen Belastung. Sollten auf das L4/L5-Gelenk wirkenden Kräfte sogar das MPL überschreiten, ist einer Reduktion der physischen Belastung dringend notwendig.

Neben den Spitzenbelastungen können ferner die kumulierten Kräfte auf das L4/L5-Gelenk zur Risikobewertung herangezogen werden. Die zugrundeliegende Denkweise ist dabei, dass eine auf Dauer hohe (aber zunächst nicht direkt kritische) Belastung die Belastungsfähigkeit von Körperstrukturen und Gewebe negativ beeinflusst. Langfristig können damit auch für gesunde Gewebe unkritische Kräfte für vorbelastete Gewebe zu kritischen Verletzungen führen (Marras, 2000). Im Gegensatz zu den Grenzwerten für maximale Belastungen gibt es jedoch keine verallgemeinerte kritische Grenze für kumulierte Kräfte (Marras, 2000). Diese Arbeit orientiert sich daher am Vorgehen und den Ergebnissen von Norman et al. (1998). Hierzu müssen zunächst die kumulierten Kräfte, die über die Dauer eines Arbeitstages anfallen, bestimmt werden. Norman et al. (1998) bestimmen zunächst für jede Tätigkeit die maximale Kraft auf das L4/L5-Gelenk und multiplizieren diese mit der Dauer der Tätigkeit und der Häufigkeit der Tätigkeit über einen achtstündigen Arbeitstag. Für die Dauer, in der ein Arbeiter keine Tätigkeiten ausführt, wird eine neutrale aufrechte Haltung angenommen und die entsprechende Kraft auf die Lendenwirbelsäule bestimmt. Die kumulierte Kraft ergibt sich schließlich aus der Summe der zeitgewichteten Kräfte aller Tätigkeiten und der zeitgewichteten Kraft, während ein Arbeiter keine Tätigkeit ausführt. Entsprechend dieses Vorgehens stellen Norman et al. (1998) in ihrer epidemiologischen Studie in der Automobilindustrie fest, dass Arbeiter, die unter Rückenbeschwerden leiden, einer durchschnittlichen kumulierten Kraft von 21,0 MNs ausgesetzt sind, während Arbeiter, die nicht unter muskuloskelettalen Beschwerden leiden, nur 19,5 MNs pro Arbeitstag ausgesetzt sind. Diese Werte werden daher auch innerhalb dieser Arbeit als Richtwerte herangezogen.

4.3.2 Bewertung des Auf- und Abbaus von Luftfrachtpaletten sowie spezieller Tätigkeiten mittels 3DSSPP

Wie bereits in Kapitel 2.2 ausgeführt wurde, sind sowohl im Export als auch im Import Luftfrachtpaletten die am häufigsten verwendete Variante von ULDs mit jeweils einem Anteil zwischen 60% bis 70%. Hiervon stellen „lower deck“-Paletten den größten Anteil. Da sich darüber hinaus die grundlegenden Tätigkeiten beim Aufbau verschiedener ULDs bzw. beim Abbau von ULDs nur geringfügig unterscheiden, werden im Folgenden der Aufbau einer „lower deck“-Luftfrachtpalette und der Abbau einer „lower deck“-Luftfrachtpalette stellvertretend für alle ULDs mit 3DSSPP ausgewertet. Die Auswertung der beiden Prozesse wird ergänzt durch die Auswertung ausgewählter Tätigkeiten, die bei anderen ULD-Auf- und -Abbauprozessen vorkommen, und potenziell zu erhöhten Belastungen führen können. Konkret sind dies die Frachthandhabung in Überkopfhöhe, wie sie z. B. bei „main deck“-Luftfrachtpaletten vorkommt, und die Frachthandhabung bei stark nach vorne gebeugtem Oberkörper, wie sie z. B. bei Luftfrachtcontainern vorkommt.

Für die Auswertung wurden, wie auch im vorangegangenen Screening, abermals Gewichtsklassen von 5 kg, 12,5 kg und 20 kg für alle Frachtstücke angenommen und für jede der Gewichtsklassen eine separate Analyse durchgeführt. Darüber hinaus sei noch angemerkt, dass von den anthropometrischen Daten der ausführenden Arbeiter abstrahiert wurde und stattdessen Daten verwendet wurden, die einem durchschnittlichen (US-amerikanischen) Mann entsprechen, um die Auswertung besser verallgemeinern zu können.

4.3.2.1 Bewertung des Aufbaus einer „lower deck“-Palette mit 3DSSPP

An dem ausgewerteten Aufbau der „lower deck“-Palette waren zwei Arbeiter beteiligt. Während ein Arbeiter, nachfolgend als Mitarbeiter 2 bezeichnet, von Beginn an kleinteilige Frachtstücke manuell gehandhabt hat, hat der andere Arbeiter, nachfolgend als Mitarbeiter 1 bezeichnet, zunächst palettierte Fracht per Gabelstapler verladen. Erst nachdem alle größeren Frachtstücke verladen waren, ist auch letzterer zur manuellen Frachthandhabung übergegangen. Abbildung 7 zeigt für beide Arbeiter die während des Aufbauprozesses erfassten maximalen Kräfte auf das L4/L5-Gelenk.

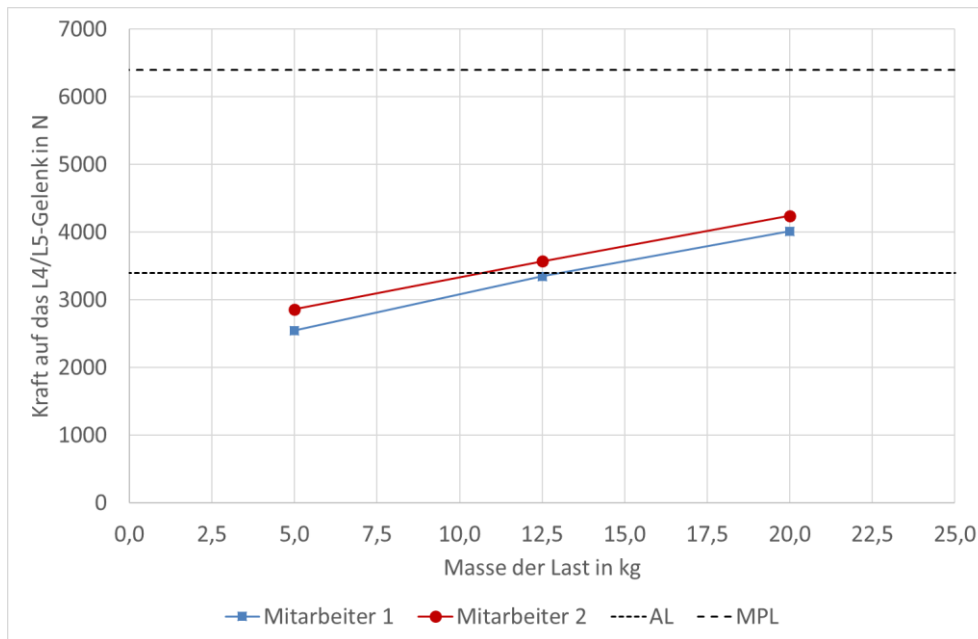


Abbildung 7: Maximale Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Aufbau von Luftfrachtpaletten

Bei Mitarbeiter 1 fällt diese bei der einhändigen Handhabung eines Frachtstücks ungefähr auf Schulterhöhe bei weit nach vorne gebeugtem Oberkörper an. Bei Mitarbeiter 2 tritt die maximale Belastung beim Heben eines Frachtstücks aus der Hocke mit nach vorne gebeugtem Oberkörper auf. Es ist ferner zu erkennen, dass die Kraft auf das L4/L5-Gelenk in guter Näherung linear mit der Masse der gehandhabten Fracht ansteigt. Ab einer Masse der Fracht von ca. 10,5 kg übersteigt die maximale Kraft auf das L4/L5-Gelenk bei Mitarbeiter 2 das AL. Bei Mitarbeiter 1 ist dies ab ca. 13 kg Frachtgewicht der Fall. Bei einer Frachtmasse von 20 kg wird das L4/L5-Gelenk bei Mitarbeiter 2 mit einer maximalen Kraft von 4242 N belastet und bei Mitarbeiter 1 mit 4014 N. Das MPL wird nicht erreicht.

Abbildung 8 zeigt die kumulierte Kraft auf das L4/L5-Gelenk von beiden Mitarbeitern für alle angenommenen Gewichtsklassen. Da nach dem Vorgehen von Norman et al. (1998) die kumulierte Kraft über einen gesamten Arbeitstag erfasst wird, wird der untersuchte Aufbauprozess auf die Dauer einer achtstündigen Arbeitsschicht extrapoliert. Hierbei werden drei Fälle untersucht, bei denen die Arbeiter entweder 50 %, 70 % oder 90 % des Arbeitstages mit dem Aufbau von Luftfrachtpaletten beschäftigt sind und den übrigen Teil der Zeit mit einer Tätigkeit in einer neutralen, aufrechten Haltung verbringen. Dieses Vorgehen erlaubt es, Abschätzungen der kumulierten Kraft für unterschiedlich hohe Arbeitsaufkommen zu gewinnen. Auch wenn die Annahme, dass Arbeiter einen gesamten Arbeitstag lediglich einem Prozessschritt, in diesem Fall der Aufbau von „lower deck“ Paletten, nachgehen, nicht der Realität entspricht, erlaubt dies ferner die gesonderte Bewertung des Prozessschrittes, ohne vom Einfluss anderer Prozessschritte überlagert zu werden.

Wie Abbildung 8 zeigt, liegen die kumulierten Kräfte auf das L4/L5-Gelenk bei beiden Mitarbeitern und bei allen Gewichtsklassen und Arbeitsaufkommen unter der von Norman et al. (1998) beobachteten unkritischen Grenze. Zu beachten ist dabei allerdings, dass diese Grenze weniger validiert ist als das AL und MPL für die maximal auftretenden Kräfte. Außerdem ist das Ergebnis der Extrapolation der Tätigkeit auf eine achtstündige Schicht stark von der Ausführungsdauer der Tätigkeit abhängig und daher nur eine Abschätzung.

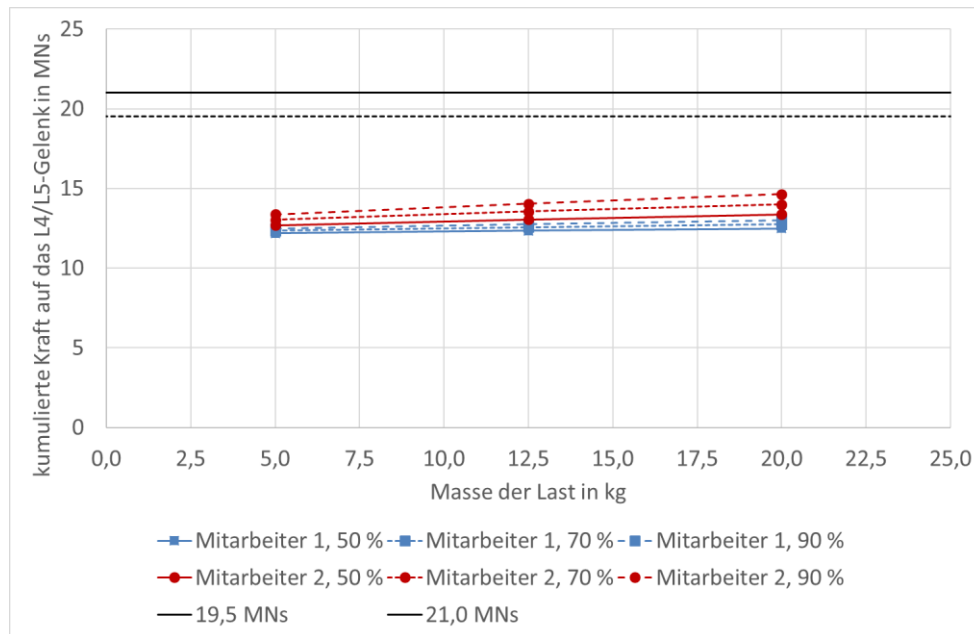


Abbildung 8: Kumulierte Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Aufbau von Luftfrachtpaletten

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen der Auswertung geschlussfolgert werden, dass die beim Aufbau von „lower deck“-Paletten anfallenden kumulierten Kräfte auf das L4/L5-Gelenk unkritisch sind. Allerdings können durchaus maximale Kräfte auftreten, die mitunter deutlich über dem AL liegen und damit potenziell zu Schädigungen des Muskel-Skelett-Systems führen können. Es besteht damit also Handlungsbedarf, wobei es insbesondere maximal aufkommende Kräfte zu reduzieren gilt.

4.3.2.2 Bewertung des Abbaus einer „lower deck“-Palette mit 3DSSPP

Für den Abbau von „lower deck“-Paletten werden die gleichen Analysen wie für den Aufbau durchgeführt. Auch hier waren zwei Arbeiter am Prozess beteiligt. Ein Arbeiter, nachfolgend Mitarbeiter 1 genannt, hat den Abbauprozess zunächst alleine begonnen, indem er ein Frachtstück nach dem anderen händisch von der Luftfrachtpalette auf eine Lagerpalette verladen hat. Nach kurzer Zeit hat sich ein zweiter Arbeiter, nachfolgend Mitarbeiter 2 genannt, am Prozess beteiligt. Fortan hat Mitarbeiter 2 Frachtstücke von der Luftfrachtpalette entnommen und diese über eine kurze Distanz zu Mitarbeiter 1 geworfen, der sie aufgefangen und auf der Lagerpalette abgestellt hat. Ein Gabelstapler kam für den Abbau nicht zum Einsatz. Es ist dabei anzumerken, dass es sich insbesondere beim Fangen und Werfen um sehr dynamische Tätigkeiten handelt, bei denen die resultierenden Kräfte in 3DSSPP vermutlich (deutlich) unterschätzt werden, da das Programm nur statische Modellierungen ermöglicht.

Abbildung 9 zeigt für beide Arbeiter die maximal auf das L4/L5-Gelenk wirkenden Kräfte während des Abbauprozesses. Bei Mitarbeiter 1 wird das AL bereits bei der Handhabung einer Last von ca. 6,7 kg überschritten. Bei

einer Last von 20 kg beträgt die maximale Kraft 4769,5 N bei Mitarbeiter 1. Sie tritt bei einer Tätigkeit auf, bei der der Arbeiter ein Frachtstück fängt und mit vorgebeugtem Oberkörper auf dem Boden der Lagerpalette absetzt. Bei Mitarbeiter 2 überschreitet die maximale Kraft, die auf das L4/L5-Gelenk wirkt, erst bei einer Last von ca. 18,3 kg das AL und liegt bei 20 kg Last bei 3543,0 N. Die Spitzenbelastung tritt bei einer Tätigkeit auf, bei der der Mitarbeiter einhändig ein Frachtstück wirft, während er ein weiteres in der anderen Hand hält. Der Zusammenhang zwischen Masse der Fracht und maximal auf das L4/L5-Gelenk wirkenden Kräften ist bei beiden Mitarbeitern abermals linear. Das MPL wird nicht überschritten.

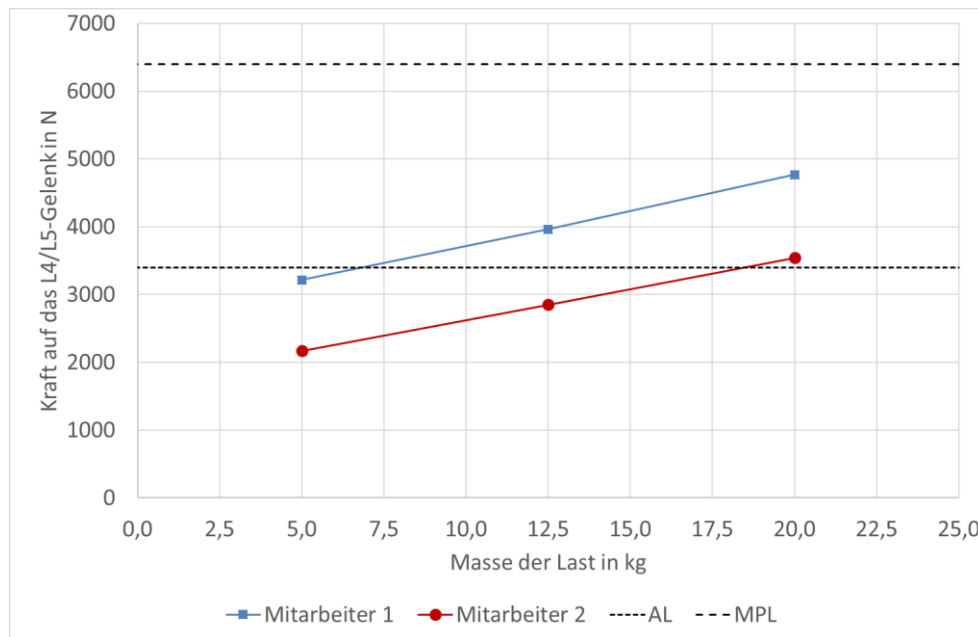


Abbildung 9: Maximale Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Abbau von Luftfrachtpaletten

In Abbildung 10 sind für beide Arbeiter die kumulierten Kräfte auf das L4/L5-Gelenk dargestellt. Bei Mitarbeiter 1 liegen diese für alle Gewichtsklassen und alle Arbeitsaufkommen deutlich über der Grenze von 21,0 MNs und zeigen damit deutlichen Handlungsbedarf zur Reduktion der Belastung an. Bei Mitarbeiter 2 ist das Resultat etwas differenzierter. Bei einer angenommenen Gewichtsklasse von 5 kg liegen die kumulierten Kräfte bei allen Arbeitsaufkommen unter der Grenze von 19,5 MNs. Bei höheren Lasten wird diese Grenze jedoch überschritten, wobei dies abhängig vom Arbeitsaufkommen kleinerer oder größerer Lasten geschieht. Bei Arbeitsaufkommen von 70 % und 90 % wird bei 13,8 kg bzw. 8,3 kg Lastgewicht auch die Grenze von 21,0 MNs überschritten. Abhängig von den Lasten und dem Arbeitsaufkommen zeigt die Auswertung der kumulierten Kräfte also auch für Mitarbeiter 2 einen Handlungsbedarf an.

Die Auswertung zeigt, dass Arbeiter beim Abbau von „lower deck“-Paletten (sehr) hohen Belastungen ausgesetzt sind. Es besteht folglich ein deutlicher Handlungsbedarf zur Reduktion der Belastung.

4.3.2.3 Bewertung ausgewählter Tätigkeiten mit 3DSSPP

Die beim Auf- bzw. Abbau verschiedener ULDs anfallenden Tätigkeiten sind im Wesentlichen vergleichbar. Die bisherigen biomechanischen Auswertungen legen in Verbindung mit dem Screening nahe, dass es bei sämtlichen ULD-Auf- und -Abbauprozessen zu hohen physischen Belastungen kommen kann. Entscheidender als der Typ des ULDs scheint dabei die Frachtstruktur, das heißt die Anzahl, die Größe und das Gewicht der Frachtstücke, zu

sein. Da diese sehr individuell sein kann und nicht oder nur bedingt vom Typ des ULDs abhängt, wird der zusätzliche Erkenntnisgewinn durch die Auswertung weiterer vollständiger ULD-Auf- und -Abbauprozesse als gering eingeschätzt und daher an dieser Stelle nicht weiterverfolgt. Stattdessen werden nachfolgend lediglich ergänzend einzelne Tätigkeiten, die beim Auf- und Abbau von „lower deck“-Paletten nicht oder nur selten vorkommen, biomechanisch analysiert. Konkret handelt es sich hierbei um Frachthandhabung in Überkopfhöhe, wie sie bei „main deck“-Paletten notwendig ist, und um Frachthandhabung bei gebücktem, stark nach vorne gelehntem Oberkörper, wie sie bei Luftfrachtcontainern notwendig ist.

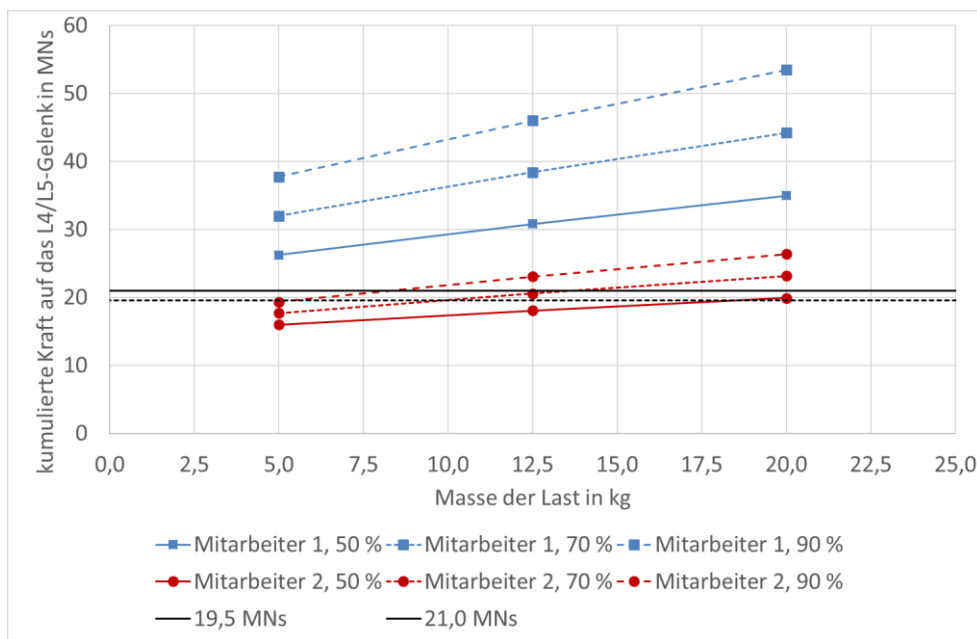


Abbildung 10: Kumulierte Kräfte auf das L4/L5-Gelenk beim Abbau von Luftfrachtpaletten

Abbildung 11 zeigt die während den beiden Tätigkeiten maximal auf das L4/L5-Gelenk wirkenden Kräfte bei Frachtmassen von 5 kg, 12,5 kg und 20 kg. Bei der ausgewerteten Überkopfarbeitstätigkeit greift der Arbeiter ein Frachtstück auf ca. 2 m Höhe mit leicht verdrehtem und nach leicht vorne geneigtem Oberkörper und setzt es in etwa auf Brusthöhe ab, wobei er beim Absenken der Fracht seinen Oberkörper in eine neutrale Position bewegt. Es ergeben sich bei dieser Tätigkeit Spitzenkräfte auf das L4/L5-Gelenk, die bei einer Last von ca. 16,5 kg das AL überschreiten und bei einer Last von 20 kg 3704,5 N betragen. Überkopfarbeiten können damit ein erhöhtes Verletzungsrisiko bergen, sind allerdings, zumindest für die untere Wirbelsäule, weniger belastend als Hubtätigkeiten aus der Hocke, wie die Auswertung des Aufbaus der „lower deck“-Palette im Vergleich zeigt. Anzumerken ist dabei allerdings, dass Überkopfarbeiten für die oberen Extremitäten und insbesondere die Schultergelenke stark belastend sein können, was jedoch in dieser Arbeit nicht weiter untersucht wird.

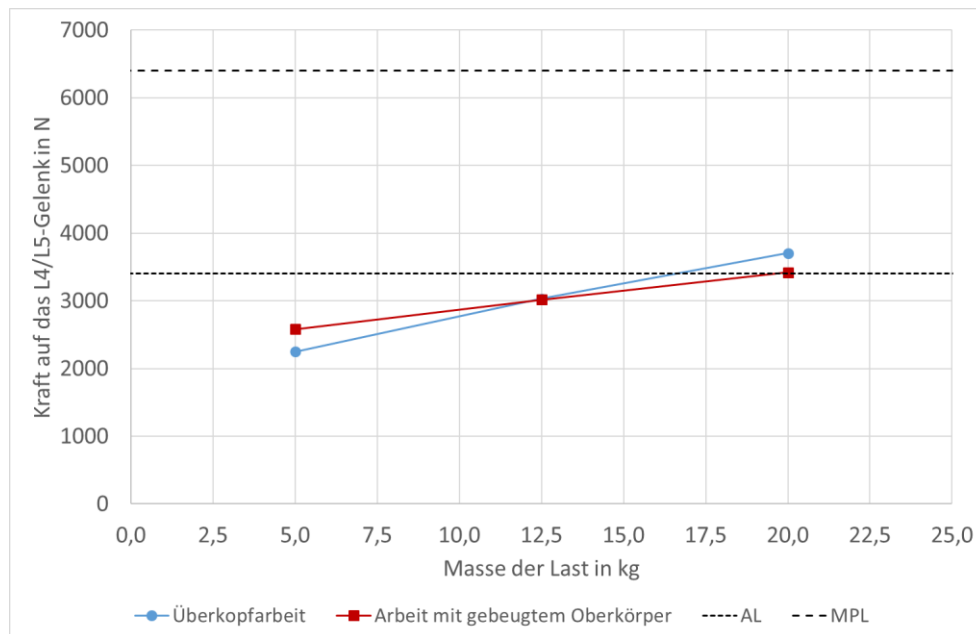


Abbildung 11: Maximale Kräfte auf das L4/L5-Gelenk bei ausgewählten Bewegungsabläufen

Für die Tätigkeit der Frachthandhabung mit stark nach vorne gebeugtem Oberkörper wurde eine Tätigkeit ausgewertet, bei der der Arbeiter einen Karton in einem Container verlädt. Er greift den Karton zunächst in Kniehöhe und hebt ihn auf Hüft- bis Brusthöhe an. Anschließend verstaut er diesen mit etwas verdrehtem und stark nach vorne gebeugtem Oberkörper in einer hinteren Ecke des Containers, wobei er den Karton in etwa auf Knie- bis Hüfthöhe absetzt. Die Spitzenkraft auf das L4/L5-Gelenk beträgt bei einem Lastgewicht von 20 kg 3418,64 N und überschreitet damit knapp das AL. Für Lastgewichte von weniger als 20 kg liegt die Spitzenbelastung unter dem AL.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Frachthandhabungstätigkeiten in Überkopfhöhe oder mit stark gebeugtem Oberkörper Kräfte auf das L4/L5-Gelenk bedingen, die das AL überschreiten können. Allerdings sind die Spitzenkräfte geringer als die beim Auf- und Abbau von „lower deck“-Paletten erfassten Spitzenkräfte während des Hebens aus einer niedrigen Position oder dem Werfen und Fangen von Frachtstücken. Frachthandhabungstätigkeiten in Überkopfhöhe oder mit stark nach vorne gebeugtem Oberkörper sind damit nicht belastender. Es kann also geschlussfolgert werden, dass der Auf- und Abbau von Containern und „main deck“-Paletten keine höheren Spitzenbelastungen bedingt, sondern die Spitzenbelastungen in etwa vergleichbar sind.

5 Prozessanalyse aus ökonomischer Perspektive

5.1 Herausforderung Informationsaustausch entlang der Luftfracht-Transportkette

Wie bereits aus Kapitel 2 hervorging, sind viele Akteure an der Luftfracht-Transportkette beteiligt und stehen in unterschiedlichen Vertragsverhältnissen zueinander, was den Informationsaustausch entlang der Transportkette verkompliziert. Relevante Informationen zum richtigen Zeitpunkt allen Akteuren zur Verfügung zu stellen, ist daher bis heute eine große Herausforderung und fehlende Transparenz wird häufig zum Problem (Windisch, 1996, S. 23ff). Im Vergleich zu anderen Transportsektoren (wie Straßentransport und Personentransport) scheint

die Digitalisierung in der Luftfrachtindustrie langsam voranzuschreiten. Eine erweiterte Nutzung der Digitalisierungsmöglichkeiten ist dringend erforderlich, da dies vor allem im Hinblick auf den komplexen Aufbau der Luftfracht-Transportkette große Potenziale birgt (Sia Partners, 2018). Eine zunehmende Digitalisierung des Datenaustauschs zwischen den Akteuren sowie die Schaffung einheitlicher Plattformen, mittels derer Informationen jederzeit zugänglich sind, können helfen, die Bodenprozesse insgesamt zu beschleunigen und damit zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit aller Akteure beitragen (Kahl, 2016). Im Rahmen des IATA E-Freight und E-Cargo-Konzepts wird daher versucht, papiergebundene Dokumentation soweit wie möglich abzuschaffen und durch elektronischen Datenaustausch zu ersetzen. Durch die Schaffung und Vereinheitlichung geeigneter Informations- und Kommunikationssysteme an den Schnittstellen der Akteure, sollen alle Bereiche rund um das Luftfrachtgeschäft weitestgehend digitalisiert werden. Hierzu zählt einerseits die Digitalisierung der Transportbegleitdokumente, die jeder Luftfrachtsendung beiliegen müssen (Bernecker & Grandjot 2017, S. 138ff). Das wichtigste Dokument ist hierbei der Luftfrachtbrief (engl. air waybill (AWB)), welcher in digitaler Form als E-AWB bezeichnet wird. Er stellt den Beförderungsvertrag zwischen Versender und Spediteur dar und enthält alle relevanten Informationen zur Sendung:

- Start- und Zielort sowie ggf. vorgesehene Zwischenlandungen,
- Gewicht der Sendung,
- ein Hinweis auf die bestehenden Haftungsbeschränkungen des Luftfrachtführers nach dem Montrealer Übereinkommen;

Und gegebenenfalls auch:

- Flugzeiten,
- Handlingsanweisungen,
- Inhalt der Packstücke,
- Fracht und Frachtnebenkosten,
- Vor- und Nachlauf.

Aber auch andere Elemente des Luftfracht-Abwicklungsprozesses können digitalisiert werden, wie beispielsweise die Rechnungsabwicklung zwischen den Akteuren und die Zollabwicklung. Wichtig ist auch die Nutzung digitaler Qualitätsmanagementsysteme zur einheitlichen Planung und Überwachung der Performance entlang der Luftfracht-Transportkette. Zu diesem Zweck rief die IATA 1997 „Organisation Cargo iQ“ ins Leben. Über das zugehörige System findet ein ständiger Datenaustausch zwischen den Luftfracht-Akteuren statt und die Erreichung wichtiger Meilensteine im Luftfrachtprozess wird dokumentiert und entlang der Transportkette übermittelt (Bernecker & Grandjot 2017, S. 130-145).

5.2 Prozessbeschreibung der Frachtabwicklung bei HA 1 und HA 2

5.2.1 Exportprozess bei HA 1 und HA 2

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 erwähnt, ist das Ziel des Exportprozesses bei HA 1 und HA 2 die fristgerechte Bereitstellung der Fracht für den Lufttransport und Übergabe an den Kunden (die Fluggesellschaft). Um diesen Zielstatus zu erreichen, müssen die Handling Agents gewährleisten, dass die Fracht gemäß der EU- & IATA-Richtlinien als sicher für den Lufttransport eingestuft wird. Dies beinhaltet sowohl die physische als auch die dokumentarische Frachtabfertigung, welche teilweise simultan erfolgen und in diesem Kapitel als Gesamtprozess beschrieben werden. Die Handling Agents sind bei der Abfertigung auf den Informationsaustausch mit anderen Akteuren

der Transportkette (vor allem mit der Airline als ihrem Kunden) angewiesen, was in der Prozessbeschreibung ebenfalls dargestellt wird. Die Abwicklungsprozesse von HA 1 und HA 2 sind in großen Teilen sehr ähnlich, weshalb sie gemeinsam betrachtet werden. Auf individuelle Unterschiede wird im Text hingewiesen. Die Prozessbeschreibung beruht auf Gesprächen mit Verantwortlichen der Projektpartner sowie auf vor Ort Beobachtungen der Prozesse.

5.2.1.1 *Vorgelagerte Benachrichtigungen*

Typischerweise startet der Exportprozess bei HA 1 und HA 2 mit dem Eintreffen der FWB-Nachricht (Full Air Waybill Data) über das interne IT-Handling-System der Projektpartner. Die FWB-Mitteilung ist eine Voranmeldung der Fracht durch die Airline beim Handling Agent, also die Nachricht, dass Fracht eintreffen wird. Der Umfang der in dieser Benachrichtigung enthaltenen Informationen kann sehr unterschiedlich sein und kann vor Beginn bzw. im Laufe des eigentlichen Frachtannahmeprozesses jederzeit von der Airline ergänzt werden, bis alle Daten des AWB vollständig vorhanden sind. So kann es sein, dass der Handling Agent zwar weiß, dass eine Lieferung ankommt, nicht aber in welchem Umfang, welche Fracht oder zu welchem Zeitpunkt. Manchmal treffen die AWB-Daten auch gar nicht im Voraus ein und können erst bei Ankunft des Truckers ins System eingepflegt werden.

Idealerweise liegt auch die Buchungsliste (engl. Flight Booking list (FBL)) vor der physischen Ankunft der Fracht vor. Dies ist eine flugspezifische Liste aller gebuchten Sendungen, die von der Airline als Fracht auf einem Flug transportiert werden (Flugnummer, Abflugort und -zeit, Auflistung aller AWBs, etc). In der Regel wird ein Flug von nur einem Handling Agent abgefertigt. Nur in Ausnahmefällen kommt es vor, dass mehrere Handling Agents an der Abfertigung beteiligt sind, wenn die Fracht beispielsweise einen Anschlussflug mit einer anderen Airline hat und diese wiederum von einem anderen Handling Agent bedient wird. Die FBL muss je nach Flugzeugtyp und Beladungszeitpunkt einige Stunden vor Abflug vorliegen.

5.2.1.2 *Dokumentarische und physische Frachtannahme*

Der Frachtannahmeprozess beginnt mit der Ankunft des LKW-Fahrers bei der Frachtannahme des Handling Agents. Bei HA 1 ist hier zu beachten, dass die dokumentarische Frachtannahme räumlich vom Büro getrennt ist. Die Frachtannahme ist nur für die Entgegennahme und Überprüfung der Dokumente zuständig, die weitere Bearbeitung der Daten und Verarbeitung der Dokumente im späteren Prozess erfolgt durch ein separates Büro. Der Fahrer meldet sich sowohl bei HA 1 als auch bei HA 2 zunächst über einen Anmelde-Kiosk in der Frachtannahme an. Dort gibt er personenbezogene Daten wie Name, ID-Nummer und Telefonnummer ein und macht Angaben zu LKW-Typ, Kennzeichen und Spedition. Diese Daten werden dann in das Handling-System übertragen und der Zeitpunkt der Ankunft des Fahrers wird festgehalten. Anschließend gibt der Fahrer die Frachtdokumente bei der Dokumentenannahme ab. Dort wird der Security Check der Dokumente durchgeführt. Dieser dient zur Überprüfung der Richtigkeit und Vollständigkeit der Dokumente und der Einhaltung der sicheren Lieferkette. Die Fracht kann nach dem Security Check als „secured“ oder „unsecured“ eingestuft werden, entladen wird sie aber in jedem Fall. Es folgt die Eingabe der AWB-Daten im Handling-System (Vorerfassung). Wenn bereits Informationen in Form eines E-AWBs übermittelt wurden gilt es, die Informationen abzugleichen und zu vervollständigen. Liegen bisher keine FWB-Daten vor, muss die Eingabe der AWB-Daten komplett manuell erfolgen. Hierdurch ändert sich der Status der Sendung zu ACD (Acceptance Documents). Sobald der Security Check und die Vorerfassung erfolgreich abgeschlossen sind, ist die dokumentarische Frachtannahme beendet. Dem Fahrer

wird spätestens jetzt eine Rampe für das Abladen seiner Fracht zugewiesen. Bei HA 2 können Speditionen bereits im Voraus einen Zeit-Slot zum Abladen ihrer Fracht über ein Rampenmanagementsystem buchen. Sollte dies nicht der Fall sein, wird dem Fahrer nach der Überprüfung der Dokumente ein Slot für die Abladung zugewiesen. Bei HA 1 besteht diese Möglichkeit noch nicht. Fahrer werden erst bei der Ankunft registriert und bekommen nach der dokumentarischen Frachtannahme ein Tor zugewiesen. Sobald dem Fahrer eine Rampe und ein Zeitpunkt für die Abladung seiner Fracht zugewiesen ist, erhält er diese Informationen per SMS und kann nun zur Rampe fahren.

Die physische Frachtannahme darf erst beginnen, sobald ein Koordinator des Handling Agents mit dem Entladeticket (engl. Unloading Advice) vor Ort an der Rampe ist. Vorher darf der LKW nicht geöffnet werden, da sonst die sichere Lieferkette unterbrochen wird. Das Büro erstellt einen Entladeauftrag. Dieser wird an die Einsatzleitung im Lager übermittelt. Bei HA 2 erhält der Koordinator der Rampensteuerung das Entladeticket vom Büro. Dieser teilt die Mitarbeiter zur Bearbeitung der Anlieferungen ein. Bei HA 1 erhält der Frachtannahmekoordinator der Unloading Advice und übernimmt die Entladungsüberwachung anschließend entweder selbst oder delegiert einen Mitarbeiter. Die Reihenfolge der Frachtannahme verschiedener LKW richtet sich nach den jeweils zugeteilten Slots für die Anlieferung bzw. der Torzuweisung. Bei beiden Projektpartnern wird der Unloading Advice in Papierform übermittelt. Laut Aussage der Partner geschieht das zum einen, weil dem Fahrer des LKW die Entgegennahme der Sendung und die Durchführung der Verschlusskontrolle quittiert wird. Zum anderen hat der zuständige Koordinator sofort einen Überblick, welche Entladeaufträge ankommen. Die Informationen auf dem Entladeticket (AWB-Nummern, Anzahl der Packstücke, Gewicht, etc.) sind aber auch im System verfügbar.

Sobald der Koordinator bzw. Mitarbeiter an der Rampe eingetroffen ist und den korrekten Verschluss des LKW überprüft hat, kann die Entladung beginnen. Sie wird in der Regel vom LKW-Fahrer durchgeführt, kann aber bei HA 2 gegen Aufpreis auch durch Mitarbeiter des Handling Agents erfolgen. Die Fracht wird mithilfe elektronischer Hubwagen entladen und im Wareneingangsbereich, sortiert nach Sendungsnummern, aufgereiht. Die Aufgabe des Frachtannahmekoordinators ist dabei die Kontrolle der Fracht auf Vollständigkeit (anhand der AWB-Daten) und Unversehrtheit (äußere Schäden). Die nötigen AWB-Daten zur Überprüfung hat der Koordinator bzw. Mitarbeiter sowohl auf seinem Handheld-Terminal (HHT) als auch auf dem Entladeticket in Papierform vorliegen. Zunächst überprüft er die Sicherheit der Packstücke (äußere Beschädigung, unsachgemäßer Verschluss, etc.). Falls Packstücke beschädigt sind, oder die Fracht bereits vom Büro als unsecured im System gekennzeichnet wurde, muss ihre Sicherheit durch geeignete Überprüfungsmaßnahmen wiederhergestellt werden (siehe Kapitel 2.2.1) und es wird gegebenenfalls eine elektronische CDS-Nachricht (engl. Cargo Damage Survey) an die Airline übermittelt. Der Mitarbeiter checkt nach der Sicherheitsüberprüfung jede einzelne Sendung über sein HHT im Handling-System ein und vergibt einen internen Barcode für die Weiterverfolgung der Sendung im Lager. Bei Ladungsträgern mit mehreren Sendungen, müssen diese gegebenenfalls voneinander separiert und auf einzelne Paletten umgelagert werden, um die Vollständigkeit sicherstellen zu können und jeder Sendung einen eigenen Barcode zuzuordnen. Sobald alle Sendungen vollständig eingecheckt sind, wird im System automatisch der Zeitstempel FOH (engl. Freight on Hand) gesetzt und an die Airline kommuniziert. Dieser bestätigt den vollständigen Eingang der Sendungen beim Handling Agent.

5.2.1.3 Zwischenlagerung der Sendungen

Im Normalfall ist die Fracht nach dem Einchecken fertig zur Einlagerung. Auf Kundenwunsch wird in wenigen Fällen die Fracht zuvor noch gewogen. Die Einlagerung der Fracht erfolgt mithilfe von Gabelstaplern und elektrischen Hubwagen, mit welchen die Mitarbeiter die Frachtstücke in den Exportbereich des Lagers bringen. Dort gibt es gesonderte Lagerbereiche für jede Airline. Die Fracht wird im richtigen Regalbereich willkürlich auf einen freien Platz gestellt. Durch Abscannen des Barcodes der Sendung und dem des Lagerplatzes wird der Lagerplatz im Handling-System hinterlegt. Bei HA 2 wird Fracht ausschließlich palettiert eingelagert, während bei HA 1 auch kleine Einzelpackstücke ohne Palette in Regale gestellt werden. Bei Pharmaprodukten oder Gefahrgut gibt es besondere Einlagerungsbedingungen und es müssen ggf. zusätzliche Kontrollen durchgeführt werden.

Nachdem alle Packstücke eingecheckt und die Sendung im System als FOH gekennzeichnet wurde, kann parallel zur physischen Einlagerung die Vervollständigung der Frachtdokumente im Büro erfolgen, sofern bei Eintreffen der Fracht noch nicht alle Daten vollständig vorlagen. Wie bereits erwähnt, können Daten zum Full AWB Input jederzeit noch kurzfristig bis zum Zeitstempel RCS (engl. Received Shipment) von der Airline eintreffen. Bei HA 2 kann zudem jeder Sendung während des Full AWB Inputs eine Priorität zur Abarbeitung durch das Büro zugewiesen werden (unter Beachtung der Airlinevorgaben), sofern die FBL bereits von der Airline übermittelt wurde. Andernfalls kann die Priorität auch später noch im System geändert werden. Sobald alle Informationen angekommen sind, die Dokumente vervollständigt (Full AWB Input) sowie auch alle Sicherheitschecks beendet wurden, sind die dokumentarische und physische Frachtannahme abgeschlossen und die Sendung wird im System automatisch als RFC (engl. ready for carriage) gekennzeichnet. Eine RCS-Nachricht (engl. Received Shipment) wird an die Airline verschickt.

Eine Ausnahme zum eben beschriebenen Prozess der physischen Frachtannahme stellen die BUP-Einheiten dar (siehe Kapitel 2). Diese werden bereits als fertige Luftfrachtpaletten angeliefert und müssen nicht zerlegt werden. Ihre Anlieferung erfolgt bei HA 2 direkt über das außenliegende Caster-Deck, an welches die LKW andocken können. Über spezielle Slave-Entladerampen werden die BUPs auf das Caster-Deck befördert, wo sie direkt gewogen werden. Hier müssen nun die speziellen Aufbaubedingungen überprüft werden, welche für ULDs gelten (Höhe, Gewicht, Anordnung, Zustand von Netz, Ösen und Folie, etc.). Die Fracht wird zusätzlich auf äußere Schäden untersucht. Ein Mitarbeiter von HA 2 überprüft alle Anforderungen anhand eines Kontrollblatts. Die dokumentarische Frachtannahme erfolgt genauso, wie bei der normalen Anlieferung. Sind alle Bedingungen erfüllt, kann die BUP vom Caster-Deck auf einen Dolly-Wagen befördert und auf der „air side“ für die Abholung durch die Bodenabfertigung bereitgestellt werden. Bei HA 1 passieren hingegen auch fertige BUPs das Lager. Sie werden über ein Truck-Dock mit spezieller Laderampe für Slave-Paletten abgeladen und gelangen von dort direkt auf das angeschlossene Caster-Deck im Hallen-Innenraum. Dort werden sie zwischengelagert, bis sie nach der erfolgreichen Durchführung der RFC-Checks für die Verladung und den Weitertransport durch einen LKW auf der „air side“ wiederum auf einem der Caster-Deck bereitgestellt werden.

5.2.1.4 Auslagerung und ULD-Aufbau

Sobald die Sendungen im Handling-System als RFC gekennzeichnet wurden, wird dieser Status den Mitarbeitern im Büro angezeigt und bedeutet für sie, dass sie die Sendungen nun manifestieren, d.h. physisch zusammenstellen können. Bei HA 2 gibt es im Handling-System eine spezielle Ansicht, die Flugübersicht, anhand derer die

Mitarbeiter im Büro regelmäßig die Status der Sendungen überprüfen. Wenn Sendungen als RFC markiert wurden, ändert sich ihr Bearbeitungsstatus und die Mitarbeiter im Büro wissen, dass diese Sendung nun zum Manifestieren bereit ist. Sie können zudem sehen, welche Sendungen eines Fluges bereits als RFC gekennzeichnet sind und welche noch fehlen. Danach entscheiden sie, wann sie mit dem Manifestieren der Sendungen beginnen. Bei HA 2 erfolgt die Benachrichtigung noch physisch, indem die als RFC gekennzeichneten AWBs in dafür vorgesehene Fächer im Lager gelegt und von dort an das Büro weitergegeben werden. Alle Informationen liegen auch hier im System vor, da der RFC-Status systemseitig vergeben wird. Jedoch ist das Eintreffen des Papier-AWB ausschlaggebend für die (Pre-)Manifestierung im Büro.

Für diesen Vorgang muss spätestens die FBL von der Airline vorliegen. Die Erstellung eines Manifests bedeutet die Zuordnung der Sendungen zu einem Flug. Auf dem Manifest sind alle AWBs eines Fluges aufgelistet mit den zugehörigen Sendungen, der Anzahl der Packstücke, ihrem Gewicht und weiteren relevanten Daten zum Flug. Bei HA 1 erstellt das Büro zunächst ein Pre-Manifest, eine Art Bauanleitung für den ULD-Aufbau, welches an die Einsatzleitung im Lager weitergegeben wird. Eventuell vorliegende Prioritäten einzelner Sendungen (von der Airline übermittelt), werden hier vom Büro auf dem Papier-Pre-Manifest vermerkt. Eine Festlegung von Sendungsprioritäten im Handling-System ist laut Aussage von HA 1 systemseitig nicht möglich. Über das Pre-Manifest teilt das Büro dem Lager mit, welche Sendungen zusammen auf einen Flug verladen werden sollen und welche ULDs dafür zu verwenden sind. Diese Rahmenbedingungen werden von der Airline vorgegeben. Das Pre-Manifest wird bei HA 1 in Papierform an die Einsatzleitung im Lager gegeben. Dies geschieht, weil das Handling-System keine Benachrichtigungsfunktion enthält. Das bedeutet: Wenn eine Sendung manifestiert wurde und somit bereit zum Aufbau ist, können die Lagermitarbeiter nicht direkt durch eine systemseitige Benachrichtigung darauf aufmerksam gemacht werden. Es wird allerdings bereits an der Einführung von HHTs mit Benachrichtigungsfunktion gearbeitet, welche über das Handling-System sofort eine Benachrichtigung (mit Ton) senden sollen, sobald ein neuer Aufbauauftrag vorliegt. Momentan erhält die Einsatzleistung die Pre-Manifeste in Papierform und vergibt daraufhin Aufbauaufträge an die Lagermitarbeiter entsprechend ihrer Dringlichkeit (ebenfalls in ausgedruckter Form). Zusätzlich stehen alle Informationen auch systemseitig zur Verfügung und können von den Mitarbeitern dort jederzeit abgefragt werden.

Bei HA 2 werden die RFC-Sendungen ebenfalls im Büro den Flügen zugeordnet (manifestiert). Die fertig manifestierten Buchungslisten für einen Flug (FBL) werden hier über das Handling-System direkt an die Mitarbeiter im Export weitergeleitet. Auch dieser Schritt erfolgt systemseitig. Manchmal werden jedoch die FBLs zusätzlich auch physisch an den Mitarbeiter weitergegeben. Dies kann laut Aussage von HA 2 hilfreich für die Vorausplanung der Abarbeitung der Aufträge sein. Zu Schichtbeginn teilt die Einsatzleitung den Export-Mitarbeitern Flüge zu, für deren Abfertigung sie im Laufe des Tages verantwortlich sind. Die Export-Mitarbeiter sehen dann eine Liste der ihnen zugewiesenen Flüge auf ihrem HHT und bekommen dort auch direkt angezeigt, welche Sendungen bereits manifestiert und bereit für den Aufbau sind. Bei der Abarbeitung der FBLs müssen die Mitarbeiter die Prioritäten der Sendungen beachten, welche diesen vom Büro im System zugewiesen wurden. Sendungen mit hoher Priorität sollten zuerst verbaut werden.

Sobald ein Export-Mitarbeiter bzw. ein Team einen Aufbauauftrag erhalten hat (systemseitig oder auf Papier), kann er mit den Vorbereitungen beginnen. Zunächst überprüft er, welche und wie viele Ladungsträger für den Auftrag verwendet werden sollen. Dann bereitet er die ULDs vor, indem er sie aus dem entsprechenden Pufferlager zum Aufbaubereich im Export bringt und dort auf den gekennzeichneten Flächen abstellt. Dabei werden

Luftfrachtpaletten als häufigster Ladungsträger mit Staplern transportiert und bei HA 1 auf einer Slave-Palette zur Bebauung abgestellt, bei HA 2 überwiegend auf Dolly-Wägen. Slave-Paletten werden mit speziellen Staplern transportiert, Dolly-Wägen entweder ebenfalls per Stapler oder mit Zugfahrzeugen. Beim Einsatz von Belly-Wägen und Luftfrachtcontainer als ULDs werden diese ebenfalls mittels Stapler oder Transportfahrzeugen zur Aufbaufläche gebracht (vgl. Kapitel 2.2.1). Sobald die Ladungsträger an ihrem Bestimmungsort sind, werden sie für den Aufbau vorbereitet, was das Auslegen von Folien, das Anbringen von Sicherungsgurten und Netzen sowie gegebenenfalls die Stabilisierung von Luftfrachtpaletten mit Holzbalken zur gleichmäßigen Lastverteilung bei besonders schweren Sendungen beinhaltet. Bei HA 1 werden die ULDs eines Auftrags meist nacheinander aufgebaut, manchmal erfolgt aber auch der simultane Aufbau von mehreren ULDs durch ein Team (siehe Kapitel 2.2.1). Bei HA 2 kommt dieser simultane Aufbau noch häufiger vor. Am Aufbauprozess eines ULDs sind meist zwei Mitarbeiter (manchmal auch nur einer) beteiligt.

Nach der Vorbereitung des Ladungsträgers kann der Mitarbeiter, beziehungsweise das Team, mit dem Aufbau beginnen. Hierfür wird das Pre-Manifest/ die Buchungsliste (entweder in Papierform oder digital) überprüft, um zu sehen, welche Sendungen aus dem Lager benötigt werden. Bei HA 2 muss der Mitarbeiter die vom Büro vergebenen Prioritäten der Sendungen beachten und dringende Sendungen zuerst verbauen. Bei HA 1 sind ebenfalls händisch notierte Prioritäten auf den Pre-Manifesten zu beachten, sofern sie vorliegen. Der Mitarbeiter holt die Sendungen mit dem Gabelstapler aus dem Zwischenlager und bringt sie zum bereitgestellten Ladungsträger. Der Lagerplatz wird durch Abscannen nach Auslagerung wieder freigegeben. Bei HA 1 werden nicht palettierte Packstücke auch per Hand aus den Regalen entnommen. Der Mitarbeiter findet die Sendungen im Lager anhand des im System hinterlegten Lagerplatzes. Für den Aufbau von Luftfrachtpalette und anderen ULDs gibt es Airline-spezifische Aufbauanweisungen zu Höhe Gewicht und Konturen des Ladungsträgers, welche der Mitarbeiter für den Aufbau sowohl bei HA 2 als auch bei HA 1 ausgedruckt vorliegen hat. Unter Einhaltung dieser Vorgaben und gemäß dem Aufbauftrag beginnt der Mitarbeiter nun damit, die Packstücke auf die Luftfrachtpalette zu stapeln. Bei palettierter Fracht erfolgt dies mithilfe des Gabelstaplers. Kleine und einzelnen Packstücken müssen händisch aufgebaut werden. Beim Aufbau von ULDs ist der Mitarbeiter in der Anordnung der Packstücke frei und entscheidet selbstständig, welche Packstücke wie zusammen verbaut werden können. Dabei prüft er die äußeren Maße und das Gewicht der Packstücke und holt sich eigenständig neue Teile der Sendung aus dem Lager, sobald er diese benötigt. Erfolgt der Aufbau in einem Team aus zwei Mitarbeitern, bleibt bei HA 1 einer der Mitarbeiter bei der Palette, überwacht die Einhaltung der Aufbaubedingungen und bucht die Sendungen im System auf die Palette (der „Checker“ genannt). Der andere Mitarbeiter holt die Packstücke aus dem Lager und verbaut sie auf der Palette (der „Bauer“ genannt). Bei der Konsolidierung von Fracht in Luftfrachtcontainer oder auf Belly-Wägen müssen alle Packstücke händisch verladen werden, da es sich ausschließlich um Einzelpackstücke handelt. Alle Sendungen, die verbaut werden, müssen im System dem entsprechenden ULD zugeordnet werden (Abscannen der Packstücke). Falls sich im Laufe des Prozesses herausstellt, dass nicht alle Sendungen auf die geplante Anzahl an Ladungsträgern verbaut werden können, das heißt Gewichts- oder Größenbeschränkungen insgesamt überschritten werden, muss der Mitarbeiter bei HA 1 gegebenenfalls Rücksprache mit dem Office halten, um zu besprechen, wie und in welcher Reihenfolge die Sendungen verbaut werden können, falls die Priorisierung nicht eindeutig ist. Bei HA 2 werden die zuvor vom Büro eingetragenen Prioritäten beachtet, auch hier kann es aber zu Rücksprachebedarf kommen. Wenn ein ULD fertig aufgebaut bzw. befüllt ist und alle verbauten Sendungen im System bestätigt sind, sichern die Mitarbeiter den Ladungsträger je nach ULD-Typ unter Anwendung von Klebeband, Spanngurten, Netzen und Folie (siehe Kapitel 3). Sobald ein Flug

komplett bearbeitet wurde (alle ULDs aufgebaut) überprüft der Mitarbeiter erneut über sein HHT, ob alle zugehörigen Sendungen des Pre-Manifests/ der FBL verbaut wurden, also im HHT entsprechend einem ULD zugeordnet wurden. Bei HA 2 wird das ULD im System nun als geschlossen, markiert und das Büro kann ab sofort mit der weiteren Datenbearbeitung beginnen (siehe unten Export-Doku). Bei HA 2 werden Sendungen, welche bereits einem ULD zugeordnet sind, automatisch als manifestiert im System gekennzeichnet. Die Mitarbeiter im Büro können also auch hier den Prozess über das Handling-System verfolgen und zu gegebener Zeit mit der Export-Dokumentation beginnen.

5.2.1.5 Wiegen und Bereitstellen der Fracht zur Übergabe

Ein fertig beladenes ULD muss im nächsten Schritt gewogen werden. Die geschlossenen bzw. manifestierten ULDs stehen eventuell noch kurz auf der Aufbaufläche, bevor sie von einem Mitarbeiter zur Waage gebracht werden, wo das Gewicht ermittelt und im System hinterlegt wird. Zusätzlich wird bei manchen Luftfrachtpaletten das Volumen ermittelt, falls die Airline dies wünscht. Bei HA 2 befindet sich die Waage für Luftfrachtpaletten außerhalb des Gebäudes. Ein Mitarbeiter bringt das fertige ULD mit einem Stapler oder Transportfahrzeug (je nach Ladungsträger) zur Wiegestation. Nach dem Wiegen werden die fertigen ULDs im Hof (nahe der Wage) zur Abholung durch die Bodenabfertigung bereitgestellt. Bei HA 1 werden Luftfrachtpaletten und Container nach dem Aufbau auf dem Export- Caster-Deck zwischengelagert, über welches sie später in den LKW verladen werden. Im Truck-Dock, welches direkt an das Caster-Deck anschließt, ist eine Waage integriert, mit deren Hilfe das Gewicht der Luftfrachtpaletten vor der Abholung ermittelt wird. Belly-Wagen werden mittels in den Boden integrierter Wagen gewogen und auf dezidiert gekennzeichneten Flächen im Lager für die Abholung bereitgestellt. Bei Belly-Wagen wird manchmal auch einfach das Gewicht aller verladenen AWBs addiert, da der Wagen im Flugzeug nicht mit verladen wird. Wenn ein Flug fertig bearbeitet wurde (alle ULDs aufgebaut und gewogen), markiert der Mitarbeiter diesen im System als „build complete“. Eine automatisierte Mail geht daraufhin an die entsprechende Stelle im Büro, welches nun die Tags für die Kennzeichnung des ULDs vorbereiten kann. Diese Tags werden am ULD angebracht und zeigen Gewicht, ULD-Nummer, Flugnummer, Zielort und andere ULD-bezogene Informationen. Alle Gewichtsinformationen werden auch über das HHT im System gespeichert.

5.2.1.6 Übergabe der Exportfracht

Sobald die Fracht zur Abholung bereit ist, wird bei HA 2 über das Handling-System eine Nachricht generiert, welche direkt an die Bodenabfertigung übermittelt wird. Diese kann nun die Abholung der Fracht einplanen und zu gegebener Zeit durchführen. Bei HA 2 erfolgt die Abholung von Luftfrachtpaletten auf Dolly-Wagen, Belly-Wagen und Containern mit Luftfrachtfahrzeugen, welche die Fracht direkt auf die Luftseite des Flughafens (also über das Vorfeld) zum Flugzeug bringen. Bei HA 1 werden die ULDs zunächst mit LKW zu einem neutralen Frachtübergabepunkt (NFÜP) gebracht, da HA 1 keinen direkten Vorfeld-Zugang hat. Belly-Wagen werden mit sogenannten Schleppern zum NFÜP transportiert. Den Transport übernimmt HA 1 selbst. Am NFÜP wechselt die Fracht von der Land- zur Luftseite und wird von hier an mit Luftfrachtfahrzeugen zum Flugzeug transportiert.

Parallel zur Abholung der Fracht läuft im Büro des Handling Agents die Export-Dokumentation. Bei beiden Partnern verfolgen die Mitarbeiter im Büro die Statusänderungen der Sendungen über das Handling-System und sehen somit, wann die Sendungen durch das Lager als fertig verbaut gekennzeichnet wurden. Daraufhin können sie mit der Export-Dokumentation beginnen. Es wird geprüft, ob alle Sendungen richtig verbaut und alle sendungsspezifischen Daten korrekt eingepflegt wurden. Anschließend werden die Exportsdokumente vorbereitet.

Die Exportinformationen werden über das Handling-System an die Airline übermittelt. Die Exportdokumente müssen zudem ausgedruckt an die Bodenabfertigung übergeben werden. Erst nach der Übergabe der physischen Exportdokumente an den Dokumentenführer und dem Transport der Dokumente zum Flugzeug, kann die Verladung abgeschlossen werden und der Flug kann starten (Zeitstempel engl. Departure (DEP)). Sobald der Zeitstempel DEP gesetzt wurde, wird die Ladeliste (FFM, engl. Flight File Manifest) über das Handling-System vom Büro des Handling Agents automatisch an die Airline übermittelt und von dort aus an Handling Agent der Importabwicklung am Zielflughafen.

5.2.2 Importprozess bei HA 1 und HA 2

Der Handling Agent ist im Importprozess dafür verantwortlich, die Fracht von der Bodenabfertigung entgegenzunehmen, ULDs zu entpacken und für den Weitertransport durch die Spedition zur Verfügung zu stellen.

5.2.2.1 Frachtannahme

Der Importprozess beginnt für den Handling Agent des Ankunftsflughafens dort, wo er für den verantwortlichen Abfertiger am Abflughafen geendet hat, mit dem Erhalt der FFM-Benachrichtigung. Das Flight Manifest wird von der Airline an den Handling Agent elektronisch über dessen Handling-System übermittelt. Es enthält alle Angaben zu sämtlichen AWBs der eintreffenden Fracht auf einem bestimmten Flug (siehe Kapitel 5.2.1). Ebenso werden von der Airline die Sendungsdaten (AWB-Daten) über das System übermittelt (Full AWB Data (FWB-Nachricht)). Die physischen Frachtdokumente werden vom Dokumentenführer an die Mitarbeiter in der Frachtannahme der Praxispartner übergeben. Bei HA 2 treffen die Frachtdokumente gemeinsam mit der ersten Sendung eines Flugzeugs ein, bei HA 1 werden sie getrennt von der Fracht vom Dokumentenführer überbracht. Von der Frachtannahme gelangen die Dokumente ins Büro. Sie sind ausschlaggebend für den Datenabgleich mit den im System hinterlegten Sendungsdaten. Sobald das Büro die Importdokumente erhalten hat, werden diese überprüft und eingesehen. Hierbei werden beispielsweise die Angaben auf den AWBs (Gewicht, Anzahl Packstücke, etc.) mit jenen auf dem Manifest verglichen. Es wird auch überprüft, welche Sendungen im Import der Praxispartner bearbeitet werden und welche beispielsweise in ein Abfertigungszentrum für Frischeprodukte (engl. Perishable Center) transportiert werden. Bei HA 2 wird wie im Exportprozess eine Priorisierung der Sendungen durch das Büro vorgenommen, die bei der Bearbeitung der Importsendungen beachtet werden muss. Diese Priorisierung erfolgt unter Beachtung der Airlinevorgaben und eventuell vorliegender Special Handling Codes (SHC). Bei beiden Praxispartnern werden elektronisch übermittelten Manifeste auch an die an die Einsatzleitung im Lager weitergegeben, damit dort die Kapazitäten für die Abarbeitung der Importaufträge geplant werden können.

Sobald das Flugzeug gelandet ist, werden die ULDs von der Bodenabfertigung entladen. Der Transport der Fracht zum Handling Agent unterscheidet sich bei den Praxispartnern. Bei HA 2 erfolgt der Transport direkt mit einem Luftfrachtfahrzeug auf dessen Hof, wo die Fracht von der Bodenabfertigung in dem entsprechend gekennzeichneten Importbereich abgestellt wird. Für die physische Annahme der Fracht ist ein Mitarbeiter im Hof verantwortlich, welcher die ankommenden ULDs anhand der Priorität ihrer Sendungen abarbeitet. An ihn werden auch die physischen Importdokumente übergeben. Über sein HHT überprüft er, welche Sendungen ein Ladungsträger enthält und bearbeitet die dringlichsten ULDs zuerst. Dazu bestätigt er im System die Ankunft der Fracht im Lager, die Palette wird als angenommen gekennzeichnet und die Statusnachricht engl. Arrived (ARR) wird über

das Handling-System an die Airline übermittelt. Der Ladungsträger wird zudem auf äußerliche Schäden überprüft, welche gegebenenfalls im System vermerkt werden müssen. Außerdem wird dem Ladungsträger ein interner Barcode für die weitere Bearbeitung im Lager zugewiesen. Der Mitarbeiter bringt das ULD anschließend mittels Stapler oder Transportfahrzeug in die Halle, wo er ihn auf der ausgewiesenen Importfläche abstellt.

Bei HA 1 muss die Fracht analog zum Export zunächst den NFÜP passieren, wo sie von der Bodenabfertigung für die Abholung bereitgestellt wird. HA 1 wird über das Handling-System benachrichtigt, woraufhin das Unternehmen einen LKW zur Abholung der Fracht schickt. Belly-Wagen werden wiederum mithilfe von Schleppern transportiert. Sobald der LKW oder Schlepper das Lager erreicht hat, werden Luftfrachtpaletten und Container dort über das Truck-Dock auf das Caster-Deck entladen und die Ankunft der Fracht wird systemseitig bestätigt (ARR). Auch hier wird der Ladungsträger auf äußere Schäden geprüft. Von der Einsatzleitung werden Mitarbeiter für die Entladung eingeteilt.

5.2.2.2 Break-Down

Nach der Ankunft der ULDs im Lager des Handling Agents folgt der Abbau, das heißt die Auflösung derselben. Hierfür werden interne Ladungsträger (Paletten) von den Praxispartnern bereitgestellt, auf die die Fracht abgeladen werden kann. Bei HA 2 erfolgt der Abbau der ULDs wiederum anhand der im System hinterlegten Prioritäten. Es muss kein Auftrag generiert werden. Die Mitarbeiter bearbeiten ULDs einfach, wenn sie auf der Importfläche ankommen. Bei HA 1 koordiniert die Lagerleitung die Break-Down-Aufträge bzw. teilt Mitarbeiter für den Break-Down ein. Auch hier müssen die Luftfrachtpaletten zum Abpacken zunächst vom Caster-Deck, auf welchem sie bei Frachtannahme zwischengelagert wurden, auf eine Slave-Palette geladen werden. Hierfür bringt ein Mitarbeiter eine Slave-Auflage mithilfe eines Slave-Staplers zum Caster-Deck. Von dort aus schiebt und zieht der Mitarbeiter die Luftfrachtpaletten über die Rollen des Caster-Decks auf die Slave-Palette. Nun kann er die Luftfrachtpalette zum Breakdown in den dafür vorgesehenen Bereich im Import bringen. Bei HA 2 wurde die Palette bereits im vorherigen Schritt im Importbereich abgestellt.

Bei HA 2 findet zunächst der reine Break-Down statt. Der Mitarbeiter sortiert die Sendungen anhand ihrer AWB-Nummern auf die bereitgestellten Ladungsträger und kann dabei über sein HHT überprüfen, wie viele Packstücke zu der jeweiligen AWB gehören. Bereits palettierte Fracht wird mithilfe eines Staplers entladen, während kleinere Packstücke per Hand auf Paletten gestapelt werden (bei allen Containern und Belly-Wagen sowie manchen Luftfrachtpaletten). In der Regel werden hier alle Sendungen (auch bereits palettierte) auf unternehmenseigene Ladungsträger zur Einlagerung im Regal umgeladen. Dies bedeutet für palettierte Sendungen lediglich, dass die Palette mithilfe eines Staplers auf einen unternehmenseigenen Ladungsträger gestellt wird, da sie nur so ins Regal eingelagert werden können. Sendungen mit entsprechendem Volumen können aber auch im Block, das heißt gesammelt auf dem Boden im Export-Lagerbereich, gelagert werden und müssen in diesem Fall nicht extra auf eigene Ladungsträger umgeräumt werden. Bei HA 1 werden lose Packstücke während des Abbaus auf sogenannte Großraum-Paletten abgestellt, auf denen sie anschließend in das Import-Regal eingelagert werden. Bereits palettierte Fracht muss hier nicht extra auf einen unternehmenseigenen Ladungsträger gestellt werden, sondern kann einfach eingelagert werden.

Nachdem ein Ladungsträger aufgelöst wurde, folgt das Einchecken der Sendungen. Bei HA 2 erfolgt dies häufig durch einen zweiten, erfahreneren Mitarbeiter, den sogenannten Checker. Dieses Einchecken in einem zweiten

Schritt erfolgt laut Aussage von HA 2, weil es in der Vergangenheit häufig zu Fehlern gekommen sei, wenn unerfahrene Mitarbeiter oder Leiharbeiter die Fracht eingecheckt hätten. Für das reine Abpacken von ULDs könnten hingegen auch gering qualifizierte Arbeitskräfte eingesetzt werden. Manchmal wird das Einchecken der Fracht aber auch durch denselben Mitarbeiter durchgeführt, der den Ladungsträger abgepackt hat. Dazu prüft der Mitarbeiter, ob alle AWBs vollständig sind, indem er die Anzahl der Packstücke im System über sein HHT abrufen und die Vollständigkeit der Sendung bestätigt. Er achtet dabei auch auf eventuelle Beschädigungen an den Packstücken, welche ebenfalls im System vermerkt werden. Falls die Fracht beschädigt ist, muss eine CDR-Nachricht (engl. Cargo Damage Report) an die Airline verschickt und die Fracht bis zur Behebung des Schadens separiert werden. Der Checker ist auch dafür verantwortlich, dass die Sendung anschließend richtig eingelagert wird, das heißt, dass auch Kühlfracht und andere Sonderfracht an ihren Bestimmungsort im Lager weitergeleitet wird. Für jede AWB wird außerdem ein interner Barcode zur weiteren Verfolgung der Sendung im Lager vergeben und die Sendungen werden beschriftet (pro Ladungsträger) mit Stückzahl, Flug-Nr., Datum und den letzten vier Ziffern der AWB. Sobald alle Teile einer Sendung eingecheckt sind, gilt die Sendung als bestätigt und es wird eine RCF-Nachricht (Received Freight) generiert und an die Airline geschickt, sofern die dokumentarische Frachtaufnahme ebenfalls erfolgreich beendet werden konnte.

Bei HA 1 erfolgt das Einchecken der Fracht idealerweise in einem Schritt mit der Entladung (Packstück nur einmal anfassen). Dies ist allerdings von der Art der Sendung und vom bearbeitenden Mitarbeiter abhängig. Aus Übersichtlichkeitsgründen werden Sendungen mit vielen Einzelpackstücken manchmal erst vollständig abgepackt, damit das Zählen und Einchecken im Anschluss leichter erfolgen kann. Ansonsten findet das Einchecken der Fracht analog zum oben beschriebenen Prozess statt, mit dem Unterschied, dass hier die Überprüfung der Vollständigkeit der Sendung zusätzlich auf Papier durchgeführt wird. Die AWB-Nummern werden nach Überprüfung abgehakt und anschließend per Fax an das Büro von HA 1 geschickt. Daraufhin beginnt das Büro mit der Weiterbearbeitung der Dokumente (siehe unten). Sobald die Fracht komplett eingecheckt ist, wird die Sendung im System als „flight checked in completely“ markiert. Zusätzlich werden die Sendungen über ein HHT im Handling-System bestätigt. Laut Aussage von HA 1 soll der Prozess bald dahingehen umgestellt werden, dass die Bestätigung auf Papier entfällt.

5.2.2.3 Zwischenlagerung und Vorbereitung der Dokumente

Die eingecheckten und palettierten Sendungen werden nun bis zu ihrer Abholung zwischengelagert. Ein Importmitarbeiter bringt die Sendungen mit einem Stapler in den Import-Lagerbereich, wo sie auf einen freien Lagerplatz im Regal zufällig eingelagert werden. Der Lagerplatz der Sendung wird durch Abscannen des Barcodes am Lagerplatz sowie des intern vergebenen Barcodes der Sendung im Handling-System des Handling Agents hinterlegt.

Gleichzeitig werden im Büro die Frachtdokumente vervollständigt und die Zollanmeldung wird vorbereitet. Bei HA 2 sieht das Büro gleich, wenn eine Sendung fertig eingecheckt ist. Dies geschieht durch Überprüfen einer Übersicht im Handling-System, welche den Status der Sendungen anzeigt. Über die Flugmonitor-Übersicht kann zudem geprüft werden, wie viel Prozent der Sendungen eines Fluges bereits eingecheckt sind. Die Mitarbeiter im Büro führen dann die Zollanmeldung durch. Bei HA 1 ist das Eintreffen der fertig eingecheckten Sendungen auf Papier ausschlaggebend für den Beginn der Zollanmeldung durch die Mitarbeiter im Büro. Die Bestätigung über die eingecheckten Sendungen und alle sendungsrelevanten Daten befinden sich auch hier im System, so dass der Status der Sendung dort jederzeit von den Mitarbeitern im Büro eingesehen werden kann und eine

Weiterbearbeitung auch anhand des Systemstatus veranlasst werden könnte. Zusätzlich zur Zollanmeldung erfolgt im Büro auch die Eingabe aller relevanten Daten des Spediteurs und des Empfängers. Daraufhin wird automatisch die NFD- und die AWD-Nachricht verschickt. Die NFD (engl. Notify to delivery) Nachricht bestätigt dem Spediteur, dass die Sendung zur Abholung bereit ist. Die AWD (engl. AWB delivered) teilt dem Spediteur mit, dass die Frachtdokumente ebenfalls zur Abholung bereitliegen. Nun kann der Spediteur mit der Einplanung der Abholung der Fracht und der Dokumente beginnen.

5.2.2.4 Auslagerung und Abholung der Fracht

Der Spediteur ist für die Zollabfertigung verantwortlich und veranlasst diese nach Abholung der entsprechenden Dokumente beim Handling Agent. Sobald die Sendung den korrekten Zollstatus erhalten hat, kann die Fracht abgeholt werden. Der LKW des Spediteurs trifft bei den Handling Agents ein und legt dort bei der Anmeldung im Büro die erforderlichen Dokumente zur Abholung der Fracht vor. Bei HA 2 hat er zudem die Möglichkeit, zuvor über das Rampenmanagementsystem einen Slot für die Abholung zu buchen. Im Büro werden die Dokumente des Fahrers geprüft. Der Luftfrachtbrief, der Zollstatus und der Auslieferungsantrag müssen korrekt und vollständig sein. Wenn die Überprüfung positiv verläuft, kann die Auslagerung daraufhin veranlasst werden. Der Fahrer des LKW bekommt bei HA 2 spätestens jetzt einen Slot für die Abholung der Fracht zugewiesen und fährt zum gegebenen Zeitpunkt an die entsprechende Rampe. Bei HA 1 erfolgt die Zuweisung einer Rampe wie im Export per SMS.

Bei HA 2 erhält die Rampensteuerung im Lager das physische Ticket zur Auslagerung und priorisiert die Aufträge entsprechend der gebuchten Slots. Die Auslagerungsaufträge werden an die Lagermitarbeiter verteilt. Bei HA 1 wird der Auslagerungsauftrag bei der Anmeldung des LKW-Fahrers im Lager an die Koordinatoren weitergegeben (auf Papier), welche die Auslagerung veranlassen. Der Mitarbeiter sieht auf dem Auslagerungsauftrag in Papierform, sowie auf seinem HHT, welche AWBs ausgelagert werden sollen, an welchem Stellplatz im Lager sie sich befinden und an welche Rampe die Packstücke gebracht werden müssen. Er lagert die entsprechenden Packstücke mithilfe eines Staplers aus und bestätigt die Auslagerung im System. Durch eine Unterschrift des LKW-Fahrers wird bestätigt, dass dieser die Ware in vollem Umfang und unbeschädigt erhalten hat. Das Transfer-Manifest wird dann wieder an das Büro zur Ablage übergeben. Sobald alle Teile der Sendung vollständig verladen wurden, wird die Statusnachricht DLV (engl. Delivered) über das Handling-System an die Airline übermittelt. Sie bestätigt die Übergabe der Sendung an die Spedition. Der LKW kann nun die Rampe verlassen und der Importprozess ist damit beendet.

6 Hilfsmittel und Technologien zur Verbesserung der Ergonomie

Im vorangegangenen Teil der Arbeit wurden die Prozesse bei den Handling Agents erfasst, beschrieben und analysiert. Es zeigt sich, dass der Auf- und Abbau von ULDs zu hohen körperlichen Belastungen führen kann und daher Handlungsbedarf besteht. In diesem Kapitel werden daher am Markt vorhandene technische Hilfsmittel aufgeführt und bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeiten bei Handling Agents zur Unterstützung der manuellen Materialhandhabung im ULD-Auf- und Abbau untersucht. Das Kapitel gliedert sich dazu in zwei Unterkapitel. Kapitel 6.1 beschränkt sich auf die Recherche von technischen Hilfsmitteln und stellt diese und deren Eigenschaften kurz vor. In Kapitel 6.2 werden anschließend die recherchierten Hilfsmittel mit den Anforderungen beim ULD-Auf- und Abbau verglichen, um zu fundierten Vorschlägen für den Einsatz geeigneter Hilfsmittel zu gelangen.

6.1 Überblick über mögliche Hilfsmittel

Unter technischen Hilfsmitteln kann eine Vielzahl an möglichen Technologien, Apparaten oder Instrumenten verstanden werden (Glock et al., 2020). Es gilt daher zunächst zu definieren, was an dieser Stelle unter technischen Hilfsmitteln verstanden werden soll, um eine sinnvolle Recherche durchzuführen. Als wesentliche Kriterien für die Beachtung eines technischen Hilfsmittels im wurden daher die folgenden Kriterien festgelegt:

- Das Hilfsmittel muss in irgendeiner Weise Kräfte oder Lasten aufnehmen können oder einen Arbeiter bei der Erbringung von Kräften unterstützen.
- Das Hilfsmittel muss der Handhabung, d. h. Bewegung, von Lasten oder Fracht dienen.
- Das Hilfsmittel muss einen Nutzen Erbringen, der über die Konsolidierung von Fracht hinausgeht.
- Das Hilfsmittel darf die Fracht nicht verändern, umwandeln oder in irgendeiner Weise verarbeiten.
- Das Hilfsmittel muss im intralogistischen Kontext anwendbar sein.

Das erste Kriterium schließt Informationstechnologien, wie z. B. Datenbrillen, aus. Diese werden in Kapitel 7 jedoch noch näher betrachtet. Das zweite Kriterium schließt Hilfsmittel aus, die Ausschließlich zur Lagerung von Fracht dienen, wie z. B. Regale. Mit dem dritten Hilfsmittel werden Gebinde, wie Paletten oder Behälter, aus der Recherche ausgenommen. Um Fertigungswerkzeuge und -maschinen auszuschließen, wird das vierte Kriterium definiert. Das fünfte Kriterium schließt abschließend alle Hilfsmittel aus, die nicht im intralogistischen Kontext eingesetzt werden, wie z. B. LKWs oder Bagger.

Um ein breites Spektrum an Hilfsmitteln zu berücksichtigen und damit die Wahrscheinlichkeit zu minimieren, dass wichtige Alternativen übersehen werden, wurde einen zweistufigen Ansatz angewandt. Zunächst wurden Geräte/Hilfsmittel recherchiert, die grundsätzlich für die Materialhandhabung in der Intralogistik eingesetzt werden. Die untersuchten Hilfsmittel wurden anschließend dahingehend überprüft, ob diese auch für die Anwendung beim Auf- und Abbau von ULDs geeignet sind.

Für die Recherche der Hilfsmittel wurde ebenfalls ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Einerseits erfolgt die Recherche auf Basis von ausschließlich wissenschaftlicher Literatur, das heißt auf Artikeln, die in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert wurden. Andererseits wird eine Recherche auf Basis von praxisnahen Fachzeitschriften aus dem Bereich der Intralogistik durchgeführt. Die Recherche der wissenschaftlichen Fachliteratur basiert auf der Arbeit von Glock et al. (2020), die technische Hilfsmittel für Materialhandhabungsprozesse in der Lagerhaltung systematisiert. Diese Arbeit wurde als Grundlage gewählt, da bei der Lagerhaltung viele Materialhandhabungsprozesse anfallen, die mit denen bei Handling Agents vergleichbar sind, die Literatur zur Lagerhaltung jedoch wesentlich umfangreicher ist. Diese wird um eine Recherche von Hilfsmitteln für den intralogistischen Kontext in praxisnahen Fachzeitschriften ergänzt. Dazu wurden die Zeitschriften „Logistik heute“, „Logistra“, „Fördern und Heben“, „Produktion“, „ident“ und „Best in Procurement (BIP)“ der Jahre 2018, 2019 und 2020 (bis Mai) nach technischen Hilfsmitteln durchsucht, die aktuell in der Praxis vermehrt Einsatz finden.

Tabelle 3 und Tabelle 4 stellen die innerhalb der Recherche gefunden Hilfsmittel geordnet dar. Die Tabellen geben dabei auch an, welche Bewegungsabläufe von den Hilfsmitteln aktiv „A“, passiv „P“ und mit Einschränkungen „(A)“/ „(P)“ unterstützt werden können. Eine aktive Unterstützung bedeutet dabei, dass das Hilfsmittel

unter Energieverbrauch (z. B. Stromverbrauch) selbst Arbeit leistet, während ein passiv unterstützendes Hilfsmittel lediglich (Last-)Kräfte aufnimmt und diese gegebenenfalls wandelt oder umleitet. Eine eingeschränkte Unterstützung („(A)“/ „(P)“) liegt vor, wenn die Tätigkeit nur sehr situationsbedingt oder in geringem Maße unterstützt werden kann.

Tabelle 3: Bewegliche Hilfsmittel für die manuelle Materialhandhabung

Hilfsmittel	unterstützte Bewegungsabläufe			
	Heben/ Senken	Tragen	Schieben/ Ziehen	Umsetzen
eklektischer Hubwagen	A	A	A	
Exoskelett (aktiv)	A	A		A
Exoskelett (passiv)	P	P		P
Gabelstapler	A	A	A	
Handgabelhubwagen	P	P		
Handkarren/ Handwagen		P		
Hochregalstapler	A	A		
Kommissionierer		A	A	
Kran (stationär)	A			A
Palettenwender				A
Schlepper/ Routenzug		A		
Vertikalkommissionierer		A	A	

Tabelle 4: Ortsgebundene Hilfsmittel für die manuelle Materialhandhabung

Hilfsmittel	unterstützte Bewegungsabläufe			
	Heben/ Senken	Tragen	Schieben/ Ziehen	Umsetzen
Arbeitsbühne/ Hubtisch	A			A
Drehteller	(P)			(P)
Kettenzug	A	A		A
Kran (stationär)	A			A
Manipulator/ Cobots	A	A		A

Im Folgenden werden ausgewählte Technische Hilfsmittel vorgestellt, deren Einsatz beim Auf- und Abbau von ULDs prinzipiell sinnvoll sein könnten. Für detaillierte Beschreibungen der übrigen Hilfsmittel sei auf Glock et al. (2020) verwiesen.

6.1.1 Arbeitsbühne/ Hubtisch

Arbeitsbühnen, auch Hubtische oder Hebebühnen genannt, sind in ihrer Höhe verstellbare Plattformen, die zum Heben und Senken von Gütern und/ oder Personen dienen. Sie existieren in unterschiedlichen Ausmaßen und

Ausführungen und sind in der Regel stationär. Es gibt jedoch auch auf Rollen gelagerte, bewegliche Hubtische. Der Hubvorgang erfolgt üblicherweise hydraulisch oder mechanisch, also durch aktive Kraftaufbringung ohne Aufwand eines Arbeiters. Die Bedienung erfolgt dabei meistens mittels Hand- oder Fußpedale. Die Plattform selbst hat häufig keine weiteren Funktionen. Es existieren jedoch auch mit Rollen oder Drehtellern ausgestattete Varianten (Martin, 2009).

Hubtische sind in der Intralogistik und der Produktion weit verbreitet. Dabei können Arbeitsbühnen zwei grundlegende Funktionen erfüllen. Einerseits ermöglichen sie den Ausgleich zwischen unterschiedlichen Höhenniveaus, z. B. beim Be- und Entladen von LKWs. Andererseits werden Sie eingesetzt, um die relative Höhendifferenz zwischen Arbeitern und Gütern anzupassen, um deren Handhabung oder Bearbeitung zu ermöglichen oder zu vereinfachen (Ten Hompel et al., 2018). Ein Beispiel ist das Anheben von Paletten bei manuellem Umlagern von Waren, wobei diese auf eine ergonomisch voreilhafte Höhe (in etwa Hüfthöhe, vgl. Petersen et al., 2005) angehoben werden (Ten Hompel et al., 2018). Es besteht dabei auch die Möglichkeit, Hubtische abgesenkt im Boden zu installieren, um damit besonders hohe (Paletten-)Aufbauten auf eine besser erreichbare Höhe abzusenken. Dies wird z. B. in Kommissioniersystemen eingesetzt (Martin, 2009).

Die Materialhandhabung auf einer vorteilhaften Höhe kann sich positiv auf die Arbeitsgeschwindigkeit auswirken (Petersen et al., 2005). Ferner sind damit ergonomische Vorteile verbunden. In einer Fallstudie im Handwerk konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der regelmäßige Einsatz von Hubtischen die Wahrscheinlichkeit eines Arbeiters, Schulterleiden zu entwickeln, um 32 % und, Rückenleiden zu entwickeln, um 34 % im Vergleich zum Basisniveau (ohne den Einsatz von Hubtischen) senken konnte (van der Molen et al., 2009).

6.1.2 Exoskelett (aktiv und passiv)

Exoskelette sind tragbare (im Sinne von anziehbar) mechanische Strukturen, die die Kraft oder Leistungsfähigkeit des Trägers steigern können (de Looze et al., 2016, Stelzer et al., 2017, Theurel et al., 2018). Es können passive und aktive Exoskelette unterschieden werden. Aktive Exoskelette werden über elektrische, pneumatische, hydraulische oder andere Aktuatoren angetrieben und unterstützen die Bewegungen des Trägers durch aktives Aufbringen von Kräften bzw. Leisten von Arbeit (Gopura & Kiguchi, 2009). Passive Systeme sind nicht selbstangetrieben. Stattdessen nutzen sie mechanische Strukturen, wie Feder- und Dämpfersysteme, um Energie und Kräfte aus den Bewegungen des Trägers zu speichern und/ oder umzuleiten, um damit kritische Haltungen oder Bewegungen zu unterstützen. Ein Beispiel wäre ein Exoskelett, das beim Vorbeugen des Trägers Energie speichert (beispielsweise über einen Federmechanismus) und diesen in der gebeugten Haltung und während des Aufrichtens mit einer Kraft unterstützt (de Looze et al., 2016).

Ferner können Exoskelette anhand der unterstützten Körperregion differenziert werden. Typischerweise werden Ober-, Unter- und Ganzkörperexoskelette unterschieden (de Looze et al., 2016). Schließlich ist eine Differenzierung anhand der Gestalt der Exoskelette möglich. Anthropomorphe Exoskelette sind in ihrer Bauform stärker an den menschlichen Körper angepasst, sodass z. B. die Gelenke des Exoskeletts mit denen des menschlichen Körpers übereinstimmen. Nicht-anthropomorphe Exoskelette weichen stärker von der menschlichen Körpergeometrie ab. Letztere sind weniger restriktiv in der Gestaltung und können daher für spezielle Aufgaben besser optimiert werden. Anthropomorphe Exoskelette haben dagegen den Vorteil, dass sie den Träger in seiner Bewegungsfreiheit weniger einschränken (de Looze et al., 2016).

Während das traditionelle Einsatzgebiet von Exoskeletten im medizinischen und bisweilen militärischen Bereich zu finden ist, gewinnt in jüngerer Vergangenheit auch der Einsatz im industriellen Kontext an Relevanz (Bogue, 2015, de Looze et al., 2016). Bei den meisten industriell eingesetzten Exoskeletten handelt es sich um Oberkörperexoskelette, die die Arme, Schultern und/ oder den Rücken des Trägers unterstützen können. Es werden jedoch auch Unter- und Ganzkörperexoskelette im industriellen Kontext eingesetzt (de Looze et al., 2016). Dabei sind sowohl aktive als auch passive Modelle verbreitet, wobei anthropomorphe Bauweisen sehr stark dominieren (de Looze et al., 2016).

Bei passiven Exoskeletten, die auf die Unterstützung von Heben und Senktätigkeiten mit gebeugtem Oberkörper ausgelegt sind, konnte in Studien eine Reduktion der Belastung der unteren Wirbelsäume um 23 % - 29 % festgestellt werden, während die Aktivität der Rückenmuskulatur um 10 % - 40 % abnahm (Abdoli-Eramaki, 2007). Bei statischen Haltevorgängen in gebeugter Haltung wurde mit passiven Exoskeletten eine Reduktion der Belastung der unteren Wirbelsäume um 23 % - 29 % festgestellt (Ulrey & Fathallah, 2013a). Parallel mit der Entlastung der Wirbelsäule kann jedoch eine Mehrbelastung anderer Körpereigenen einhergehen, da passive Exoskelette Kräfte nicht selbst erzeugen, sondern diese lediglich umleiten. So konnte in Studien eine Zunahme der Beinmuskulaturaktivität festgestellt werden (Ulrey & Fathallah, 2013b). Ferner kann die Belastung der Körperregionen, an denen das Exoskelett Kräfte ein- und ausleitet, sehr punktuell und damit unangenehm sein (de Looze et al., 2016). In ähnlicher Weise konnte für ein passives Exoskelett, das die oberen Extremitäten beim Heben entlasten soll, festgestellt werden, dass die beim Heben aktive Muskulatur entlastet, dafür aber die entgegen gerichtete Muskulatur stärker belastet wird, was mit einer Veränderung der Körperhaltung und -kinematik einhergeht (Theurel et al, 2018).

Aktive Exoskelette bieten das Potential, Bewegungen über ein breites Spektrum an Haltungen zu unterstützen und die Kraft des Trägers über dessen eigene Körperkraft hinaus zu steigern. Eine statistisch validierte Studie konnten zeigen, dass damit die Aktivität verschiedener Arm- und Schultermuskeln bei verschiedenen Hebe- und Haltetätigkeiten (auch im Überkopfbereich) um 20 % - 70 % gesenkt werden kann (Muramutsu et al. 2011). In Experimenten mit nur wenigen Teilnehmern konnte für verschiedene Modelle aktiver Exoskelette bei unterschiedlichen Hebe- und Haltetätigkeiten eine Aktivitätsreduktion der Rückenmuskulatur um 29 % - 60% festgestellt werden (de Looze et al., 2016). Die Auswirkung auf die Belastung der unteren Wirbelsäume wurde nicht untersucht; es kann jedoch auch hier von einer signifikanten Reduktion ausgegangen werden. Ein wesentlicher Mangel von aktiven Exoskeletten ist zum derzeitigen Entwicklungsstand ihre vergleichsweise langsame Steuerbarkeit und Reaktionsgeschwindigkeit. In Verbindung mit ihrer Größe und ihr Gewicht führt dies zu einem relativ trägen und weniger dynamischen Verhalten (de Looze et al., 2016).

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es sich bei Exoskeletten, sowohl aktiven als auch passiven, um eine neuartige Technologie handelt, die sich derzeit noch weitestgehend in der Entwicklung befindet und bisher nur vereinzelt (siehe z. B. Ford, 2017) in der industriellen Praxis eingesetzt wird (de Looze et al., 2016). Für den praktischen Einsatz mangelt es zudem häufig noch an ausgereiften und validierten Sicherheitskonzepten. Ferner können zum jetzigen Zeitpunkt etwaige negative Langzeitfolgen, wie z. B. Fehlhaltungen oder -belastungen, des Einsatzes von Exoskeletten noch nicht abgeschätzt werden (de Looze et al., 2016).

6.1.3 Gabelstapler

Gabelstapler zählen zu den grundlegenden Hilfsmitteln in der Intralogistik. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung und allgemeinen Bekanntheit wird an dieser Stelle auf die Beschreibung des Hilfsmittels verzichtet. Stattdessen liegt der Fokus auf Implikationen, die mit dem Einsatz von Gabelstaplern verbunden sind, und neueren Technologien, die Stapler ergänzen können.

Während Gabelstapler Werker bei physischer Arbeit und dem Warentransport entlasten und damit dem Risiko der Entwicklung von muskuloskelettalen Leiden entgegenwirken können, stellt ihr Einsatz selbst ein hohes Sicherheitsrisiko dar. Schätzungen gehen z. B. davon aus, dass es in den USA jährlich zu 110.000 Unfällen mit Staplern kommt (Bostelman, 2009), von denen ca. 20.000 mit schweren Verletzungen und 100 mit Todesfolge enden (Horberry et al. 2004). Neben Arbeitsplatzgestaltungsmaßnahmen (vgl. z. B. Horberry et al. 2004) wird dieser Problematik auch durch technologische Entwicklungen begegnet.

Neuere Entwicklungen zielen daher darauf ab, den Einsatz von Gabelstaplern sicherer zu gestalten. Besonders im Fokus stehen dabei Technologien, die Kollisionen mit Fußgängern verhindern sollen. Neben Systemen, die Fußgänger über optische oder akustische Signale auf sich nähernde Stapler aufmerksam machen, existieren Systeme, die Fußgänger mittels Radiofrequenz-Technologie oder optischer Sensorik in Verbindung mit dreidimensionaler Bilderkennung erkennen können und den Gabelstapler bei drohender Kollision abbremsen oder dessen Fahrer warnen (Bostelman, 2009; Bostelman & Shackelford, 2010).

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Bildschirme an den Gabelstaplern anzubringen, um dem Fahrer damit zusätzliche Informationen bereitzustellen (Olsson et al., 2020). Abschließend sei auf die Möglichkeit der Vollautomatisierung von Gabelstaplern hingewiesen (Le-Anh & De Koster, 2006), die jedoch im Zuge dieser Arbeit nicht weiter vertieft werden soll.

6.1.4 Kran (mobil und stationär)

Kräne in der Intralogistik sind üblicherweise als Ausleger-, Portal- oder Brückenkränen ausgeführt und dienen damit zum Anheben und Transportieren von Lasten. Sie können stationär oder beweglich, frei oder schienengebunden, ausgeführt sein. Stationäre Kräne ermöglichen nur den Transport innerhalb der Reichweite ihres Auslegers bzw. ihrer Brücke, bewegliche Kräne können hingegen Lasten über weitere Distanzen transportieren (Chu et al., 1995). Während der Hebevorgang bei Kränen in der Regel komplett aktiv, das heißt durch eigene Kraftaufwendung, erfolgt, wird der vertikalen Transport nur in manchen Ausführungen unterstützt und erfolgt ansonsten durch Zieh- und Schiebetätigkeiten des bedienenden Arbeiters.

Ein Vorteil von Kränen ist, dass sie auch unförmige Lasten heben und transportieren können (Chu et al., 1995). Zum Greifen der Lasten kommen dabei Haken, Gurte, Schlingen, Zangengreifer, Magnete oder Vakuumgreifer zum Einsatz (Häkkinen, 1993; Miettinen et al., 2019), wobei bestimmte Greifer nur für bestimmte Gegenstände geeignet sind. Eine derzeit erforschte, vergleichsweise universelle Alternative stellen adhäsionsbasierte Greifer dar (Miettinen et al., 2019). Ferner ermöglichen Kräne die Handhabung von Ware im Überhang, solange dieser den Ausleger nicht übersteigt (Chu et al., 1995).

Ein signifikanter Nachteil von Kränen gegenüber alternativen Hilfsmitteln ist ihr vergleichsweise großer Platzbedarf (Chu et al., 1995). Ferner neigen insbesondere bewegliche Kräne zum Umfallen und stellen damit ein erhöhtes Unfall- und Verletzungsrisiko dar (Safarzadeh et al., 2011). Während Kräne zwar relativ hohe Lasten

handhaben können, sind ihre Bewegungen vergleichsweise träge. Kräne eignen sich daher eher für die Handhabung schwerer Lasten in geringer Stückzahl (Cho & Egbelu, 2005).

6.1.5 Manipulator/ Cobots

Bei einem Manipulator handelt es sich um den Teil eines Roboters, der Bewegungen ausführt, mit Gegenständen interagiert und damit physische Arbeit leistet (Lewis et al. 2003). Ein Beispiel für einen klassischen Manipulator stellt z. B. der Arm eines Industrieroboters dar. Neben diesen vollautomatisierten Manipulatoren, die im Wesentlichen bei stark standardisierten und automatisierten Produktions- und Logistikprozessen eingesetzt werden (Forge & Blackman, 2013), existieren Manipulatoren, die aktiv von Arbeitern gesteuert werden. Letztere werden auch als Cobots (eine Abbeviation von engl. collaborative robot) bezeichnet (Krüger et al., 2009) und sollen nachfolgend näher vorgestellt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass es auch alternative Definitionen von Cobots (z. B. in der Form automatisierter Transportfahrzeuge) gibt, die jedoch innerhalb dieser Arbeit nicht gemeint sind.

Cobots gleichen in ihrem Aufbau häufig Kränen oder Roboterarmen die ähnlich wie Kranausleger gestaltet sind. Der Greifer kann dabei auf ähnliche Weise wie bei einem Kran gestaltet sein. Der Werker bedient den Cobot unmittelbar am Greifer oder nahe des Greifers, indem er eine Bewegung vorgibt, den Greifer also führt. Der Cobot erfasst die Bewegungsvorgabe über eine Sensorik und unterstützt die Bewegung durch aktive Kraftaufbringung in die vorgegebene Bewegungsrichtung (Peshkin et al., 2001; Krüger et al., 2009). Damit kann die vom Arbeiter zum Bewegen einer Last benötigte Kraft um den Faktor zehn und mehr reduziert werden (Krüger et al., 2009). Cobots können so ausgelegt sein, dass sie Bewegungen in alle drei Raumdimensionen unterstützen. Sie sind in der Regel jedoch ortsgebunden, weshalb ihre Reichweite durch die Länge ihres Auslegers beschränkt ist. Dank der intuitiven Steuerung sind sie jedoch weniger träge als Kräne, was mit einer geringeren Reduktion der Produktivität oder sogar einer Produktivitätssteigerung einhergehen kann (Gil-Vilda et al., 2017).

6.2 Diskussion und Auswahl geeigneter Hilfsmittel

Derzeit werden von HA 1 und HA 2 als wesentliches Hilfsmittel beim Auf- und Abbau von ULDs Gabelstapler eingesetzt. Die Nutzung von Gabelstapler wird auch entsprechend der Ergebnisse des Kapitels 6.1.3 als äußerst sinnvoll eingestuft. Gabelstapler ermöglichen die flexible Handhabung großer und palettierter Fracht. Dies schließt auch den Transport der Fracht zwischen Lager und ULD-Auf- und Abbaustation ein. Dabei entlasten sie die Arbeiter bei der Materialhandhabung und beim -transport vollständig. Sie sind ein etabliertes Hilfsmittel und in ihrer Grundfunktion technisch ausgereift.

Ein signifikanter Nachteil von Gabelstaplern ist jedoch die hohe Unfallgefahr. HA 1 und HA 2 wirken dieser derzeit durch optische Warnsignale und gekennzeichnete Wege entgegen. Für die Zukunft sollte die Integration von aktiven Unfallvermeidungssystemen in Erwägung gezogen werden. Insbesondere auf Radiofrequenz-Technologie basierende Systeme bieten eine günstige und einfach nachrüstbare Option. Das Anbringen von (Touch-)Displays an den Gabelstaplern, was ebenfalls als Nachrüstvorgang erfolgen kann, unterstützt die voranschreitende Digitalisierung der internen Kommunikation, die in Kapitel 7 als zentraler Verbesserungsvorschlag empfohlen wird.

Während große und palettierte Frachtstücke belastungsarm und effizient mittels Gabelstaplern gehandhabt werden, ist vor allem die manuelle Handhabung mittelgroßer und kleiner Fracht problematisch und verursacht

eine hohe physischen Belastung (vgl. Kapitel 4). Von den begutachteten Hilfsmitteln könnten prinzipiell Exoskelette, Kräne und Cobots für die Unterstützung der Handhabung kleiner und mittelgroßer Fracht eingesetzt werden. Kräne ermöglichen zwar Frachtstücke (nahezu) belastungsfrei anzuheben und innerhalb der Reichweite ihres Auslegers oder ihrer Brücke (je nach Bauart) zu transportieren, sind in ihrer Bedienung und Bewegungsausführung aber vergleichsweise träge. Da häufig viele Frachtstücke mit hohem Umsatz bewegt werden müssen, würde der Einsatz von Kränen enorme Effizienzeinbußen bedeuten, weshalb dieses Hilfsmittel nicht empfohlen wird.

Cobots bieten in etwa die gleichen Handhabungsmöglichkeiten wie Kräne, sind jedoch viel intuitiver zu steuern und ermöglichen damit eine effizientere Materialhandhabung. Für den erfolgreichen Einsatz von Cobots ist es jedoch wichtig, einen geeigneten Greifer auszuwählen. Als tendenziell sinnvoll werden Zangengreifer, Vakuumbreifer, und Adhäsionsgreifer erachtet. Zangengreifer können eine Vielzahl unterschiedlich geformter Frachtstücke greifen, bergen jedoch die Gefahr, fragile Fracht zu beschädigen. Außerdem sind sie vergleichsweise langsam in der Handhabung. Vakuumbreifer können ausschließlich Frachtstücke mit einer ebenen, nichtporösen Oberfläche, wie z. B. Pakete, greifen. Sie sind entsprechend auf die Handhabung dieser Fracht beschränkt. Da jedoch ein signifikanter Anteil der Fracht in Paketen verpackt ist, stellen sie eine sinnvolle Option dar. Sie reagieren darüber hinaus schneller als Zangengreifer. Adhäsionsgreifer benötigen saubere, staubfreie Oberflächen, um Fracht greifen zu können. Sie sind jedoch hinsichtlich der Form und Beschaffenheit der Fracht flexibler. Ferner befinden sie sich derzeit noch weitestgehend in der Entwicklung und technischen Erprobung. Sie stellen damit für die Zukunft eine mögliche Option dar. Auch wenn Cobots insgesamt ein schnelleres Arbeiten als Kräne ermöglichen, ist zu erwarten, dass deren Einsatz zumindest beim Abbau von ULDs zu mäßigen Effizienzeinbußen führt. Eine genaue Abschätzung der Auswirkungen auf die Arbeitseffizienz ist jedoch nur experimentell möglich. Ferner sind Cobots beim Be- und Entladen von Containern aufgrund der beengten Platzverhältnisse tendenziell weniger gut geeignet. Die umfangreiche Nutzung von Cobots wird daher aktuell eher nicht empfohlen. Aufgrund ihrer generellen Potentiale könnte es jedoch sinnvoll sein, einzelne Cobots zur experimentellen Erprobung einzusetzen. Sollte sich dabei zeigen, dass die Vorteile die Nachteile überwiegen, wäre auch ein Einsatz in größerem Umfang denkbar.

Als am meisten geeignete Hilfsmittel zur Unterstützung der manuellen Materialhandhabung bei Handling Agents werden passive Exoskelette eingestuft. Sowohl passive als auch aktive Exoskelette können die physische Belastung des Trägers deutlich reduzieren (vgl. Kapitel 6.1.2). Passive Exoskelette bieten zwar eine etwas geringere Unterstützung als aktive Modelle, sind jedoch kompakter, flexibler und besitzen nicht das träge Reaktionsverhalten letzterer. Wird die in der Literatur in Laborstudien beobachtete Reduktion der Kräfte auf die untere Wirbelsäule von ca. 25 % angenommen, so liegen fast alle in der ergonomischen Auswertung berechneten maximalen Kräfte auf das L4/L5-Gelenk selbst bei 20 kg Lastgewicht unter dem kritischen AL (vgl. Abschnitt 4.3). Lediglich beim Abbau von Luftfrachtpaletten überschreitet die Maximalkraft bei 20 kg Lastgewicht noch geringfügig das AL. Passive Exoskelette sind im Vergleich zu aktiven Modellen technisch ausgereifter und günstiger in der Anschaffung und Wartung, weshalb sie an dieser Stelle bevorzugt empfohlen werden. Im Gegensatz zu Cobots reduzieren passive Exoskelette die Belastung eines Arbeiters lediglich, anstatt diese (nahezu) gänzlich zu negieren. Die Reduktion stellt trotzdem eine erhebliche Verbesserung der Belastungssituation dar. Da ein passives Exoskelett einen Arbeiter allerdings (nahezu) nicht in seinen Bewegungsmöglichkeiten einschränkt, erlauben sie eine viel höhere Prozessflexibilität und gehen nicht mit Effizienzeinbußen einher. Im Gegenteil,

möglicherweise ist sogar eine Effizienzsteigerung aufgrund der geringeren Ermüdung der Arbeit zu erwarten. Ferner unterstützen Exoskelette auch manuelle Handhabungstätigkeiten bei Handling Agents, die nicht direkt mit dem Auf- und Abbau von ULDs verbunden sind, wie z. B. bei der Frachtannahme. Nichtsdestotrotz handelt es sich bei passiven Exoskeletten um eine neuartige Technologie, die noch wenig in der Praxis erprobt ist. Es wird daher empfohlen, zunächst nur eine kleine Gruppe ausgewählter Arbeiter mit passiven Exoskeletten (möglicherweise auch unterschiedlichen Modellen) auszustatten, um entsprechende Erfahrungen zu sammeln. Bei positivem Abschneiden der passiven Exoskelette (etwa in Bezug auf Tragekomfort und Mitarbeiterakzeptanz) kann im Anschluss die Ausstattung größerer Teile des ausführenden Personals nachgeholt werden. Es sei ferner darauf hingewiesen, dass der parallele Einsatz von Cobots und Exoskeletten nicht empfohlen wird. Zum einen sind keine positiven Rückkoppelungen zwischen beiden Technologien zu erwarten. Zum anderen kann der gemeinsame Einsatz sogar ein erhöhtes Sicherheitsrisiko darstellen, da sich Exoskelette in Cobots möglicherweise verfangen können.

Während Gabelstapler als Hilfsmittel zur Handhabung größere Frachtstücke geeignet sind und passive Exoskelette (und mit Einschränkungen Cobots) zur Handhabung kleinerer Fracht empfohlen werden, können in den Boden absenkbare Hebebühnen, auf denen die ULDs abgestellt werden, universelle Vorteile beim Auf- und Abbau von ULDs bieten. Durch Erhöhen und Absenken der Hebebühne während des Auf- oder Abbaus kann durchgehend das Arbeiten auf idealer Höhe, in etwa Hüft- bis Brusthöhe, ermöglicht werden. Dies ist insbesondere auch beim Verspannen der fertig aufgebauten Luftfrachtpaletten mit Netzen von Vorteil, zumal dieser Vorgang von den Arbeitern als ineffizient und physisch belastend empfunden wird. Überkopfarbeiten, die ohne Hebebühne z. B. bei „main deck“ Paletten nötig sind, entfallen damit. Dies bewirkt sowohl eine Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit als auch eine Reduktion der körperlichen Belastung. Der erhöhten Arbeitsgeschwindigkeit steht die Zeit, die für die Höhenverstellung der Hebebühne benötigt wird, gegenüber. Da deren Steuerung über Fuß- oder Handschalter intuitiv ist und die Hub- und Absenkgeschwindigkeit der Hebebühne angemessen ist, wird angenommen, dass die erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit die Zeitverluste wettmacht. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Prozesseffizienz durch Hebebühnen insgesamt nicht oder leicht positiv beeinflusst wird, während die körperliche Belastung deutlich reduziert werden kann. Problematisch beim Einsatz von Hebebühnen ist allerdings, dass diese im Boden versenkt installiert werden müssen. Dies ist bei nachträglicher Installation gegebenenfalls aufwändig, teuer oder sogar unmöglich. Bei der Errichtung neuer Terminals von Handling Agents sollte die Integration von absenkbaren Hebebühnen berücksichtigt werden. Ferner kann der Einsatz von Hebebühnen ohne zusätzliche Sicherheitsbedenken mit der Nutzung von Exoskeletten oder Cobots kombiniert werden.

7 Vorschläge zur Verbesserung des ökonomischen Prozessablaufs

7.1 Digitalisierung der Luftfracht-Transportkette

Wie bereits in Kapitel 5.1 erläutert wurde, ist eine fortschreitende Digitalisierung der Luftfracht-Transportkette von größter Bedeutung für eine effiziente Zusammenarbeit der Akteure. Die digitale Informationsübertragung, am besten in Echtzeit, sorgt für mehr Transparenz entlang der Supply Chain, wodurch Durchlaufzeiten enorm beschleunigt und die Kapazitätsplanung effizienter durchgeführt werden können (Kahl, 2016).

Die flächendeckende Etablierung und Standardisierung des e-freight-Konzepts der IATA, insbesondere der papierlose Austausch von Luftfrachtdokumenten (wie die Nutzung von e-AWBs), sind ein entscheidender Bestandteil der Luftfracht-Digitalisierung. Laut IATA werden durch eine Luftfracht-Sendung bis zu 30 Papierdokumente generiert, welche bei einem papierlosen Frachttransport ersetzt werden könnten (IATA 2018). Abbildung 12 zeigt eine Übersicht wichtiger Luftfracht-Dokumente, welche im Rahmen einer papierlosen End-to-end-Kommunikation digitalisiert werden sollten. Die Durchsetzung von e-AWBs gegenüber Papier-AWBs erreichte in Frankfurt zuletzt 68,7 % (Februar 2020), eine Steigerung um etwas über zehn Prozentpunkte im Vergleich zum Vorjahr (IATA 2020).

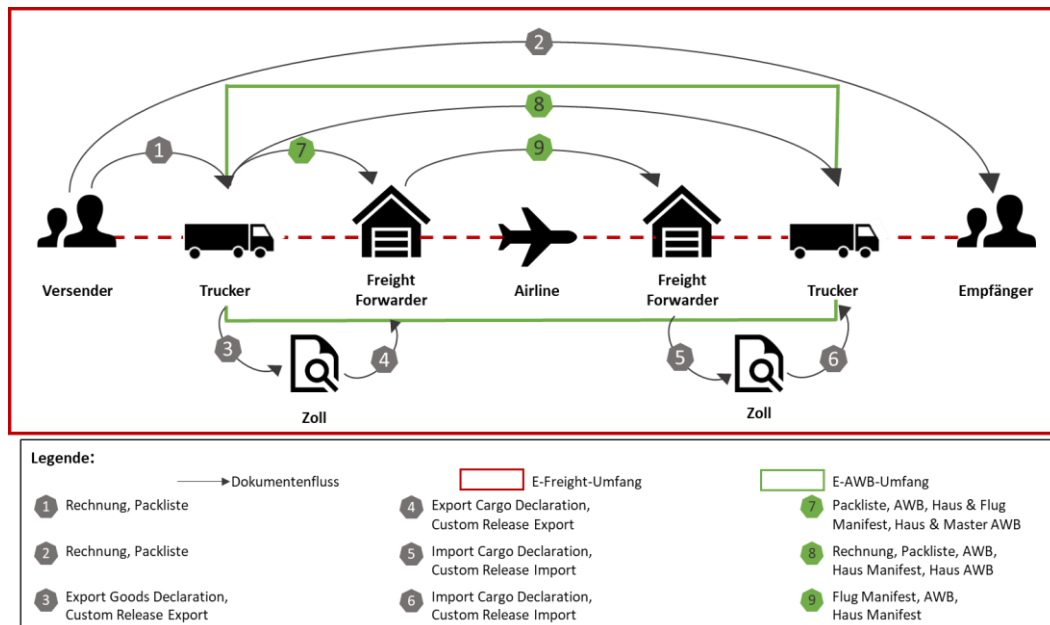


Abbildung 12: Dokumentenumfang e-freight und e-AWB (eigene Darstellung nach Sia Partners, 2018 und Kahl, 2016)

Von der digitalen Dokumentenübertragung profitiert die gesamte Luftfracht-Transportkette durch die Steigerung der Effizienz, Datenqualität, Standardisierung, Nachhaltigkeit und Kosteneinsparungen (IATA 2018). Vor allem für die Handling Agents bringt die Voranmeldung von Fracht über e-AWBs und die elektronische Übermittlung aller anderen Dokumente große Vorteile. Sie können eine effizientere Kapazitätsplanung (Personal, Lager- und Abfertigungskapazitäten) durchführen. Es wird Zeit bei der Dokumentenannahme gespart und da Daten nicht mehr händisch ins System eingepflegt werden müssen, können Fehler vermieden werden. All das steigert die Effizienz und spart Kosten (Bierwirth & Schocke, 2017).

Im Zuge einer umfassenden und effizienten Digitalisierung des Datenaustauschs zwischen allen Akteuren der Transportkette sind auch die Schaffung übergreifender Kommunikationsplattformen und einheitlicher Kommunikationsstandards von hoher Wichtigkeit. Die Verbreitung einheitlicher Standards wird von „One Record“, einer IATA-Initiative als Erweiterung des e-freight-Konzepts vorangetrieben. Kern des Konzepts ist ein zentraler Datenaustausch mit einheitlichen Standards für alle Akteure, welcher den klassischen Peer-to-Peer-Austausch von Daten zwischen einzelnen Teilnehmern der Luftfracht-Transportkette ersetzen soll (Urquhart, 2019). Übergreifende Kommunikationsplattformen für den Datenaustausch zwischen Teilnehmern der Luftfrachttransportkette können bspw. für eine bessere Abstimmung zwischen Spedition und Handling Agent, indem ein Rampenmanagementsystem etabliert wird. Wie Untersuchungen zeigten, entfällt ein großer Anteil der Servicezeit, welche eine Export-Sendung beim Handling Agent verbringt, auf die Wartezeit des anliefernden LKW an der Rampe

(Kahl 2016). Dies geschieht, weil in Peak-Zeiten viele LKW gleichzeitig Fracht anliefern, was ohne vorherige Ankündigung zu einer Überlastung der Laderampen führen kann. Die Nutzung eines Rampenmanagementsystems durch die Handling Agents und die anliefernden bzw. abholenden Speditionen ist hier sehr zu empfehlen. Die Speditionen können dabei vorab über „Fair@Link“ einen Slot an der Rampe des Handling Agents buchen, wodurch die Auslastung der Rampen besser gesteuert und Peaks geglättet werden können. HA 2 hat mit der Nutzung des Rampenmanagementsystems große Erfolge erzielt und die Slot-Buchung weitestgehend verpflichtend für alle Speditionen gemacht (Dobos, 2018). Durch die Slot-Buchung können die Wartezeiten um bis zu 50 % reduziert werden, was die Servicezeiten bei den Handling Agents und damit das Service-Level verbessert und den Prozess insgesamt viel effizienter macht (Kahl, 2016). Auch hinsichtlich der Kapazitätsplanungsmöglichkeiten bringt die Einführung eines Rampenmanagementsystems große Vorteile.

Die fortschreitende Digitalisierung der Luftfrachttransportkette birgt große Potenziale für mehr Transparenz und eine effizientere Gestaltung der Zusammenarbeit aller Akteure. Vor allem für die Handling Agents ergeben sich dadurch Einsparungsmöglichkeiten für Zeit und Kosten durch verbesserte Kapazitätsplanung, geringere Durchlaufzeiten und eine Steigerung der Servicequalität. Die bessere Planbarkeit von Personalkapazitäten stellt hier einen wichtigen Faktor dar, welcher, neben der Kostenreduktion, auch entscheidend dazu beitragen kann, dass Stresslevel der Arbeiter zu senken, wie die Interviews in Kapitel 3.3 ergaben. Laut Aussage einiger Mitarbeiter entsteht Stress bei der Arbeit vor allem durch Personalmangel in Peak-Zeiten, woraus wiederum Fehler resultieren, welche für Verzögerungen sorgen und somit die Durchlaufzeiten in die Höhe treiben.

Während die Durchsetzung von e-freight/ e-AWB und „One Record“ stark von der Mitarbeit aller beteiligten Akteure abhängt, können Handling Agents die Nutzung von Rampenmanagementsystemen selbst aktiv vorantreiben bzw. einführen, indem etwa die Nutzung von Kommunikationsplattformen wie „Fair@Link“ in die IT-Prozesse integriert wird und Speditions-Partnern Services, wie die Slot-Buchung, zur Verfügung gestellt bzw. diese sogar verpflichtend gemacht wird.

7.2 Effizienzsteigerung durch schlankere Prozesse

Die Prozessaufnahme bei HA 1 und HA 2 hat grundlegende Schwachstellen offengelegt, aus denen sich allgemeingültige Verbesserungspotenziale für die Prozessabläufe im Luftfrachthandling ableiten lassen. Hier sind generelle Grundsätze gemeint, welche im Rahmen der Lean-Philosophie zu einer effizienteren Prozessgestaltung führen und überwiegend ohne große Aufwände seitens der Handling-Agents umgesetzt werden können.

7.2.1 Papier abschaffen

Bei der Betrachtung der Ex- und Importprozesse fiel auf, dass bei den Projektpartnern trotz Anwendung eines internen Handling-Systems, welches alle relevanten Sendungsinformationen enthält, die interne Informationsübertragung bei einigen Prozessschritten noch auf Papier stattfindet. Zum Teil ist die Übermittlung papiergebundener Informationen ausschlaggebend für den nächsten Prozessschritt (beispielsweise bei der Übermittlung von Entladetickets) und erfolgt laut Aussage der Projektpartner aus Übersichtlichkeits- und/oder aus Dokumentationsgründen. Bei anderen Prozessschritten wird die papiergebundene Information lediglich als Begleitdokument zu den digital einzusehenden Informationen genutzt (z. B. bei ULD-Aufbauaufträgen oder beim Einchecken von Importsendungen).

In jedem Fall verlangsamt die physische Informationsübermittlung den Prozess, da die Aufträge, Informationen oder Listen erst manuell zu den Empfängern im Lager gebracht werden müssen. Unnötige Laufwege halten die Weiterbearbeitung des Prozesses auf und kosten sowohl Zeit als auch Personalkapazitäten. Im Zuge einer effizienten Prozessgestaltung nach dem Lean-Prinzip sollten die hierbei entstehenden Verschwendungen in Form von Wartezeiten im Prozess eliminiert werden (Bertagnolli 2018, S. 26ff). Ein wesentlicher Grundsatz für eine schlankere Prozessgestaltung im Luftfrachthandling besteht daher in der Abschaffung ersetzbarer, papiergebundener Kommunikation. Besonders einfach gestaltet sich dies in den Fällen, in denen neben der Informationsübermittlung auf Papier, der Prozessschritt auch systemseitig durchgeführt wird. Als Beispiel ist hier das Einchecken von Sendungen im Importprozess von HA 1 zu nennen. Der Mitarbeiter hakt die vollständigen Sendungen auf dem AWB ab und schickt die fertige Liste dann per Fax ins Büro. Gleichzeitig wird die Vollständigkeit aber auch im System bestätigt. Der Papierweg ist somit vollkommen überflüssig und es entsteht eine klassische Verschwendung in Form der Überbearbeitung nach Lean (engl. Overprocessing) (Bertagnolli 2018). Diese „doppelte Arbeit“ wird von den Mitarbeitern als unnötig und zeitraubend angesehen, wie die Interviews ergaben. Sie sorgt für vermeidbaren Stress bei der Arbeit. Da die weitere dokumentarische Bearbeitung der Sendung durch das Eintreffen des Faxes angestoßen wird, entstehen hier Prozessverzögerungen. Wenn die Information dagegen ausschließlich systemseitig übermittelt wird, kann beim Einchecken Zeit gespart werden und auch der weitere Prozessfluss kann ohne Wartezeiten verlaufen. In diesem Beispiel ist die Anpassung des Prozesses einfach umzusetzen, denn der überflüssige Prozessschritt kann einfach eliminiert werden. Es muss lediglich die Auslösung des Folgeprozessschritts angepasst werden, sodass diese durch eine systemseitige Benachrichtigung erfolgt (bspw. per E-Mail oder Erstellen einer entsprechenden Übersichtsansicht im Handling-System).

In anderen Fällen müssen unter Umständen umfangreichere systemseitige Anpassungen vorgenommen werden, um die papierlose Informationsübertragung zu ermöglichen. So bspw. im Fall der Übergabe der „Unloading Advices“ vom Büro zur Rampe. Auch hier sind alle Informationen auf dem Entladeticket bereits heute im System vorhanden. Es fehlt nur eine übersichtliche Benachrichtigungsfunktion, mit deren Hilfe der empfangende Koordinator sofort mitgeteilt bekommt, wenn ein Auftrag eintrifft. Die Umstellung auf papierlose Kommunikation kann durch Erstellung einer geeigneten Übersicht im Handling-System umgesetzt werden, gegebenenfalls kombiniert mit einer zusätzlichen Push-Benachrichtigung. An vielen Stellen läuft die Benachrichtigung auf diese Art bereits erfolgreich. Das Büro wird somit immer über die Änderung des Sendungsstatus durch Aktivität in der physischen Frachtbearbeitung informiert und kann daraufhin die dokumentarische Weiterbearbeitung anstoßen (vgl. Kap. 5.2.1 & 5.2.2). Dies zeigt auch, dass das eingesetzte Handling-System bei HA 1 und HA 2 für entsprechende Benachrichtigungen und Übersichten geeignet ist und die Prozessanpassung somit voraussichtlich keiner technischen Aufrüstungen bedarf. Etwas komplexer wird es, wenn Dritte in die Prozessanpassung involviert sind. So muss der LKW-Fahrer bei Wegfall der papiergebundenen Entladeaufträge seine Quittung nach erfolgreichem Entladen der Fracht im angepassten Prozess digital erhalten. Eine digitale Unterschrift bzw. die systemseitige Bestätigung der Vollständigkeit bedarf also einer Abstimmung mit den Speditionen, sollte aber kein technisches Problem darstellen, da bereits viele Informationen über das Handling-System digital ausgetauscht werden. Eine Bestätigung könnte etwa durch Versand einer entsprechenden E-Mail an die Spedition übermittelt werden.

Die Ersetzung von Papier-Kommunikation durch digitale Prozesse kann bei den Projektpartnern demnach fast gänzlich über bereits vorhandene Infrastruktur abgewickelt werden. Im Einzelfall ist zu prüfen, inwieweit Anpas-

sungen der systemseitigen Prozesse notwendig sind bzw. neue Darstellungs-/ Benachrichtigungsformen integriert werden müssen. Es kann an einigen Stellen auch sinnvoll sein, zu prüfen, ob die digital übermittelten Informationen weiterhin über das vorhandene Endgerät (hier HHTs oder Computer) empfangen werden sollten, oder ob zur besseren Übersicht eventuell andere Technologien, wie zum Beispiel Tablets mit größerem Bildschirm, besser geeignet sind. Die Interviews ergaben hier, dass die Mitarbeiter der Einführung neuer Technologie, konkret Tablets, nicht generell ablehnend gegenüberstehen, sofern sie in der Nutzung derselben ausreichend geschult werden und die Handhabung einfach gestaltet ist. Zudem muss bei einer Prozessumgestaltung geprüft werden, ob andere Akteure der Transportkette davon betroffen sind. In diesem Fall müssen Digitalisierungsmaßnahmen, wie bspw. die Umstellung von papiergebundener auf digitale Bestätigung (Unterschrift per Mail oder Bestätigung über Handling-System), mit diesen abgestimmt werden. Generell kann aber festgehalten werden, dass die interne Informationsübertragung im Luftfrachthandling an vielen Stellen mit geringem Aufwand digitalisiert werden kann. Im Zuge einer effizienten Prozessverschlinkung sollte dies, wo immer möglich, geschehen, um Zeit und Kosten zu sparen sowie Demotivation der Mitarbeiter durch „doppelte Arbeit“ zu vermeiden. Die grundlegende Digitalisierung der Informationsübertragung ist die Basis für die Umsetzung weitergehender Digitalisierungsmaßnahmen.

7.2.2 Direkte Kommunikation

Wie bei der Prozessbetrachtung und Kapitel 5.2.1 und 5.2.2 deutlich wurde, sind an der direkten Durchführung des zentralen Ex- und Importprozesses vor allem zwei Instanzen beteiligt: Das Büro, welches die dokumentarische Abfertigung übernimmt und die operativen Mitarbeiter im Lager, welche die physische Frachtabwicklung durchführen. An einigen Stellen sind zudem Koordinatoren, Lagerleiter oder andere Steuerungsbeauftragte zwischengeschaltet, welche vom Büro kommende Aufträge und Informationen an die Mitarbeiter verteilen. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass im Zuge einer schlanken Prozessgestaltung die Prozessschritte auf das Nötigste beschränkt und so einfach wie möglich gestaltet werden sollten, ohne dass dies zu einem Qualitätsverlust führt. Eine Verringerung der Komplexität führt in der Regel zu geringeren Durchlaufzeiten. Nach dem Lean-Konzept sind alle nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, welche für die Erreichung des Zielstatus des Prozesses nicht unbedingt notwendig sind, zu vermeiden (Bertagnolli 2018). Die interne Kommunikation zwischen den verschiedenen Instanzen der Handling Agents ist keine wertschöpfende Tätigkeit. Daher gilt es zu prüfen, an welchen Stellen im Prozess der Informationsaustausch zwingend erforderlich ist und wie er möglichst effizient gestaltet werden kann.

Bei der Prozessbetrachtung bei HA 1 und HA 2 konnten Positivbeispiele direkter Kommunikation identifiziert werden, ebenso lassen sich an anderen Stellen jedoch auch Verbesserungsvorschläge anbringen. So läuft die Übermittlung der ULD-Aufbauaufträge bei den Unternehmen unterschiedlich. In einem Fall werden die Aufträge direkt über das Handling-System auf das HHT des zuständigen Mitarbeiters übermittelt, sodass dieser direkt mit dem Auftrag beginnen kann. Zu Schichtbeginn werden die Verantwortlichkeiten der Mitarbeiter für bestimmte Flüge festgelegt. Dementsprechend erhält jeder Mitarbeiter im Laufe des Tages die entsprechenden Aufbauaufträge. Die Festlegung der Verantwortlichkeiten durch die Koordinatoren erfolgt somit nur einmal pro Schicht. Während des restlichen Tages erfolgt die Kommunikation der Aufträge direkt vom Büro zum Mitarbeiter über das Handling-System, welches fertige Aufbauaufträge automatisch übermittelt. Beim zweiten Unternehmen gehen fertige Aufbauaufträge vom Büro erst an die Lagerleitung, welche die Aufträge daraufhin (auf Papier) an die

Mitarbeiter verteilt. Abgesehen von der vermeidbaren Papierkommunikation sorgt hier der indirekte Informationsfluss über die Lagerleitung für eine Verzögerung des Prozesses, also verlängerte Wartezeiten durch nicht wertschöpfende Tätigkeiten.

Ein weiteres Thema, das damit eng verbunden ist, ist die Priorisierung von Sendungen durch das Büro. Hierbei geht es darum, dass Sendungen im Export und auch im Import in ihrer Abarbeitung priorisiert werden, entsprechend der Vorgabe durch den Kunden. Die Abarbeitung der Sendungen kann dann an verschiedenen Stellen im Prozess nach diesen Prioritäten erfolgen. Als Beispiel, warum eine Priorisierung sinnvoll sein kann, kann hier ebenfalls der ULD-Aufbau angeführt werden. Bei HA 2 achtet der Mitarbeiter bei Erhalt der Aufbaufträge auf die im System hinterlegten Prioritäten und baut die ULDs entsprechend in dieser Reihenfolge auf. Dies hat den Vorteil, dass den Kundenwünschen von vornherein entsprochen wird und wichtige Sendungen zuerst bearbeitet werden. Falls die Mitarbeiter während des Aufbaus feststellen, dass die Packstücke nicht auf der vorgegebenen Anzahl ULDs aufgebaut werden können, weil Größe oder Gewicht überschritten würden, müssen zusätzliche Ladungsträger eingeplant werden. Diese werden aber unter Umständen nicht mit dem gleichen Flug versendet. Hier wird die Priorisierung wichtig. Bei HA 1 werden Prioritäten vom Büro auf dem Pre-Manifest notiert (händisch auf Papier), allerdings nur manchmal. Wenn der Aufbau nicht wie geplant umgesetzt werden kann, müssen die Mitarbeiter Rücksprache mit dem Büro halten, um das weitere Vorgehen, d. h. die Priorisierung einzelner Sendungen, zu besprechen. Gegebenenfalls müssen bereits aufgebaute ULDs nochmal anders bestückt werden, um den Kundenwünschen gerecht zu werden. Dieser Prozess des Umbaus sorgt für eine Verlängerung der gesamten Durchlaufzeit. Rückfragen während des Aufbaus können bei beiden Unternehmen vorkommen, jedoch kann eine konsequente Priorisierung helfen, den Abstimmungsaufwand zu minimieren und Nachbesserung vorzubeugen.

Beim Grundsatz der direkten Kommunikation können viele Verbesserungen ebenfalls schon durch kleine Anpassungen erreicht werden, welche von den Handling Agents voraussichtlich ohne nennenswerten Aufwand implementiert werden können. So ist die Auftragsübermittlung/-darstellung über das Handling-System in den untersuchten Fällen bereits technisch möglich. Es muss lediglich eine geeignete Darstellungs- bzw. Benachrichtigungsfunktion etabliert werden und der Prozess muss dahingehend umgestaltet werden, dass die Zuteilung der Zuständigkeiten für die Aufträge einmal vor Schichtbeginn erfolgt. Bei ungeplanten Änderungen im Betriebsablauf (bspw. verfrühte oder verspätete Ankunft von Sendungen) könnte eine Neuverteilung der Zuständigkeiten weiterhin spontan von den Verantwortlichen vorgenommen werden. Durch die Priorisierung von Sendungen können Nachbearbeitungen vermieden und die Kundenwünsche zuverlässig befriedigt werden. Direkte Kommunikation sollte nach Möglichkeit immer digital erfolgen, daher ist bei Umstellungen zu prüfen, ob die vorhandene IT-Infrastruktur und die Endgeräte dies adäquat abbilden können.

Eine Übersicht der Potenziale der Anwendung der beiden genannten Grundsätze zeigt Tabelle 5. Hier werden auch Beispiele für deren Anwendung in den beobachteten Prozessen sowie zu prüfende Voraussetzungen dargestellt. Die diskutierten Prinzipien sind allgemein für Akteure des Luftfrachthandlings anwendbar.

Tabelle 5: Grundsätze zur Gestaltung effizienterer Prozesse

Grundsatz	Beispiele	Zu prüfende Voraussetzungen	Potenzial
Papier abschaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Faxen vermeiden (v.a. intern) • Systemseitige Auftragsübermittlung (z.B.: Entladetickets) • Digitale Informationserfassung (z.B.: Einchecken von Sendungen) • Digitale Informationsdarstellung (z.B.: Aufbaufaufträge, ULD-Aufbau-Restriktionen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Liegen Informationen bereits digital vor? • Systemseitige Prozessanpassung nötig? • Geeignete Übersichten / Benachrichtigungen im System erstellen? • Sind außenstehende Akteure betroffen? • Welches Endgerät sollte zur Darstellung der Information verwendet werden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Durchlaufzeiten durch Vermeidung von Wartezeiten • Kostenersparnis (Personalkapazitäten) • Voraussetzungen für weitere Digitalisierungsmaßnahmen schaffen
Direkte Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • Aufträge direkt von Büro an operative Mitarbeiter digital übermitteln (z.B.: ULD-Aufbau) • Umwege in der Kommunikation über dritte Instanzen (z.B.: Lagerleitung) gering halten • Sendungen priorisieren (z.B.: für ULD-Aufbau) 	<ul style="list-style-type: none"> • Können Informationen direkt digital übermittelt werden mit der bestehenden Infrastruktur? • Wie kann eine effiziente Zuteilung der Zuständigkeiten erfolgen (z.B.: zu Schichtbeginn) • Wann und von wem sollten Priorisierungen verwendet werden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Durchlaufzeiten durch Vermeidung von Wartezeiten • Nachbearbeitung vermeiden (ULD-Umbau) • Erfüllung der Kundenwünsche und hohes Servicelevel

Für eine erfolgreiche Umsetzung auch kleinerer Prozessveränderungen ist ein gutes Change-Management entscheidend, damit die Änderungen die gewünschte Effizienzsteigerung bringen (Disselkamp & Heinemann, 2018, S. 95). Gerade bei der Umstellung von Papier zu digitaler Informationsverarbeitung ist es wichtig, die Mitarbeiter in den Veränderungsprozess einzubinden, um später eine breite Akzeptanz und Durchsetzung der Anpassungen zu erreichen (Winkelhaus et al., 2020). Dies gilt natürlich für alle Prozessumstellungen (Disselkamp & Heinemann, 2018, S. 95ff). Auch die Interviews aus Kapitel 3.3 ergaben, dass die Mitarbeiter sich vor allem bei der Einführung neuer Technologien (z. B. Tablets) eine umfangreiche Einweisung sowie eine vereinfachte Handhabung wünschen.

7.3 Digitale Unterstützung durch Augmented Reality und Smart Glasses

Die Verbesserung logistischer Prozesse durch den Einsatz digitaler Technologien ist in den letzten Jahren zu einer wichtigen Forschungsthematik geworden und es existieren zahlreiche Veröffentlichungen und Studien zu diesem sehr umfangreichen Thema. Viele verschiedene Technologien mit unterschiedlichen Einsatzfeldern werden unter dem Digitalisierungsbegriff zusammengefasst, wobei diese sich in unterschiedlichen Entwicklungs- und Marktreifestadien befinden (Stölzle et al., 2018). Augmented Reality (AR) und Datenbrillen, sogenannte „Smart Glasses“, gehören hierbei zu den Technologien, deren Entwicklung schon vergleichsweise weit fortgeschritten ist und deren Einsatz in der Logistik in naher Zukunft relevant wird bzw. bereits eingesetzt wird (Stölzle et al., 2018, Chung et al., 2019, Glock et al., 2020). Vor allem in der Intralogistik bieten sich viele Einsatzmöglichkeiten, welche Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher und praktischer Untersuchungen sind. Einsatzfähige Smart Glasses werden bereits von verschiedenen Anbietern in unterschiedlichen Formen hergestellt und sind für den Einsatz in der Industrie erwerblich (Kretschmer, 2018).

Auch im Luftfracht-Handling finden sich viele klassische intralogistische Tätigkeiten, welche Potenzial für den Einsatz von AR bieten. Auf spezifische Einsatzmöglichkeiten auf Basis der Prozessanalyse wird in Kapitel 7.3.2 eingegangen, nachdem die Funktionsweise von AR zuvor kurz erläutert wurde.

7.3.1 Funktionsweise

AR beschreibt die visuelle Überlagerung bzw. Ergänzung der realen Wahrnehmung mit computergenerierten Informationen (Orlosky et al., 2017) und stellt eine neue Form der Mensch-Technik-Interaktionen dar. Die Realität wird dabei durch Kameras erfasst und virtuelle Objekte werden in Echtzeit an der räumlichen korrekten Position hinzugefügt, sodass eine erweiterte Realität entsteht. Der Nutzer von AR-Technologien bekommt somit

wichtige Informationen direkt vor Ort in sein Sichtfeld eingeblendet, wodurch sie für ihn sofort nutzbar sind (Ludwig & Reimann, 2005,).

AR ist dabei von Virtual Reality (VR) abzugrenzen. Im Gegensatz zu AR generiert VR eine völlig neue, virtuelle Welt, welche in keinem Zusammenhang mit der realen Umgebung steht. Diese computergenerierte Umwelt kann sowohl Bestandteile realer Umgebungen als auch frei erfundene, fiktive Elemente abbilden (Milgram & Kishino, 1994). In jedem Fall ist die reale Umwelt, anders als bei AR, bei VR nicht sichtbar (Mehler-Bicher & Steiger, 2014). Vereinfacht lässt sich die Funktionsweise von AR als eine Kombination von vier wesentlichen Bestandteilen darstellen: dem Einfangen, der Identifikation, der Verarbeitung und der Visualisierung der Szene. Die Umgebung wird im ersten Schritt mithilfe von Kameratechnologien erfasst, anschließend werden wichtige Bestandteile identifiziert (bspw. mithilfe von GPS). Die Bestandteile der Szene werden dann mit einer Datenbank abgeglichen, um die passenden virtuellen Informationen zu erhalten, welche im Anschluss für den Nutzer visualisiert werden (Glockner et al. 2014).

Damit dies funktioniert, werden drei wesentliche Komponenten benötigt, welche in verschiedenen Ausprägungen umgesetzt werden können: Darstellung, Tracking und Interaktion (Tönnis, 2010). Diese Komponenten und die Grundzüge ihrer Umsetzungsformen werden im Folgenden kurz erläutert.

7.3.2 Darstellung

Für die Darstellung virtueller Objekte in der realen Umgebung werden im Wesentlichen zwei Elemente benötigt: die Software, welche die erfassten Umgebungsdaten verarbeitet und die entsprechenden virtuellen Elemente erstellt und die Hardware, welche die AR für den Nutzer darstellt (Tönnis, 2010). Für ein Verständnis der Einsatzmöglichkeiten von AR im Luftfrachthandling sind vor allem die verschiedenen Displays, also die Hardware, über die AR wiedergegeben wird, interessant, weshalb auf die zugrundeliegende Software hier nicht weiter eingegangen wird. Tabelle 6 zeigt einen Hardware-Überblick mit den grundlegenden Charakteristika der Technologien.

Tabelle 6: Hardware-Überblick AR-Darstellungsformen

Hardware	Charakteristika
Head-Mounted-Display (HMD) mit VST	Das HMD ist eine Kombination aus einem oder zwei brillenartigen Displays und einer Kamera. Die Kamera zeichnet die Umgebung auf, die virtuellen Elemente werden eingefügt und beides wird gemeinsam auf das Display projiziert (Glockner et al., 2014; Mehler-Bicher & Steiger, 2014). Der Betrachter bekommt ein Video seiner Umgebung mit den eingefügten virtuellen Objekten angezeigt, d. h. er sieht seine reale Umgebung nicht direkt (Video See-Through (VST)-Technologie) (Tönnis, 2010).

Smart Glasses	Smart Glasses oder auch Datenbrillen stellen eine Form von HMDs mit See-Trough Funktionalität dar (OST) (Mehler-Bicher & Steiger, 2014). Die Brille ist mit Kameras, Display(s) sowie ggf. Lautsprechern und Mikrofonen ausgestattet. Der Nutzer kann dabei die reale Umwelt durch die Brille beobachten, während ihm die virtuellen Ergänzungen über ein Display ins Sichtfeld projiziert werden. Das Display selbst kann hier ebenfalls durchsichtig oder undurchsichtig (vgl. Abb. 8) sein (Glockner et al., 2014).
Smart Lenses	Auch der Einsatz von Kontaktlinsen (Smart Lenses) zur Projektion von virtuellen Objekten in den realen Raum ist grundsätzlich möglich und wird intensiv erforscht. Die Herausforderung besteht dabei darin, die notwendige Technik (LEDs, Sensoren, etc.) auf die sehr dünne und flexible Linse aufzutragen (Glockner et al., 2014; Mehler-Bicher & Steiger, 2014). Erste Prototypen wurden bereits entwickelt (Perry, 2020).
Handheld Display	Handheld Displays sind mobile Endgeräte (meist Tablets oder Smartphones), auf welchem dem Anwender die Kombination aus Realität und virtuellen Elementen angezeigt wird. Sie werden auch als Window-into-the-World Displays bezeichnet, da der Nutzer die Realität wie durch ein Fenster sieht (Tönnis, 2010). Das verwendete Endgerät ist dabei mit Kameras ausgestattet, welche die Umgebung und den Nutzer identifizieren können (Glockner et al., 2014; Mehler-Bicher & Steiger, 2014).
(Relativ) Stationäres Display	Stationäre Displays gibt es in verschiedenen Ausprägungen, doch alle sind auf irgendeine Weise raum- oder umgebungsfixiert. Die Projektion der virtuellen Objekte erfolgt dabei über einen feststehenden Bildschirm, eine Leinwand oder andere feststehende Objekte. Relativ stationäre Displays werden auch als Head-Up Display (HUD) bezeichnet und werden bspw. in Autos verbaut (vgl. Abb. 11), in denen die virtuellen Informationen auf die Windschutzscheibe projiziert werden (Tönnis, 2010).
Spatial AR (SAR) Systems	Spatial Augmented Reality (SAR) Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass die virtuellen Ergänzungen direkt auf Objekte der realen Welt projiziert werden, wodurch diese Objekte selbst zu AR-Displays werden (Glockner et al., 2014; Leutert et al., 2013).

7.3.3 Tracking

Die Bestimmung der Position von Umgebung und Betrachter ist für die Anwendung von AR ebenso wichtig, wie die Darstellung, damit die richtigen virtuellen Objekte an der richtigen Stelle in der realen Umgebung eingeblendet werden können (Tönnis, 2010). Grundsätzlich wird zwischen visuellem und nichtvisuellem Tracking unterschieden. Das visuelle Tracking kann entweder mithilfe von optischen Markern (markerbasiertes Tracking) oder markerlos erfolgen (Tönnis, 2010). Bei der ersten Variante werden Marker in der Umgebung angebracht, damit die markierten Objekte von der Kamera der AR-Anwendung identifiziert werden können (Mehler-Bicher & Steiger, 2014). Das markerlose Tracking kommt hingegen ohne eine Veränderung bzw. Kennzeichnung der Umgebung aus und nutzt stattdessen natürliche Umgebungsmerkmale, wie Größe und Form von Objekten. Diese Form der Identifikation ist deutlich anspruchsvoller und Software-Ausprägungen reichen von der 2D-Bilderkennung bis zur Erstellung umfangreicher CAD-Modelle (Mehler-Bicher & Steiger, 2014; Tönnis, 2010). Zu nichtvisuellen Tracking-Verfahren gehört vor allem die Positionsbestimmung via GPS, aber auch magnetisches Tracking (Funktionsweise eines Kompasses) sowie die Bestimmung von Laufzeit und/ oder Entfernung mithilfe unterschiedlicher Sensoren (z.B. Ultraschall, Infrarot oder Trägheitssensoren) (Mehler-Bicher & Steiger, 2014).

7.3.4 Interaktion

Darstellung und Tracking dienen vor allem dazu, dem Nutzer von AR-Technologie wichtige Informationen zukommen zu lassen, indem am richtigen Ort, an der richtigen Stelle im Raum, die richtigen virtuellen Elemente in seine Realität eingefügt werden. Die Komponente der Interaktion hingegen beruht vor allem auch auf der Eingabe von Information in das AR-System, welche die Basis für eine erfolgreiche Interaktion zwischen System und Nutzer liefert (Tönnis, 2010).

Für die Eingabe von Information gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Marker, welche durch Scannen oder Nicht-Scannen ein Ereignis auslösen (Tönnis, 2010)
- Tangible User Interfaces (TUI): Beeinflussung virtueller Objekte durch Zustände realer Objekte (Dörner et al., 2013; Tönnis, 2010). Beispiel: das Drehen einer Kaffeetasse auf dem Schreibtisch zur Regulierung der Lautstärke des Musikplayers (Robinson, 2015)
- Motion Capturing: Eingaben im System durch Tracken von Bewegungen bestimmter Körperbereiche (z. B. Hand, Kopf oder Ganzkörper) des Nutzers (Tönnis, 2010)
- Auswahl von Objekten durch Blickverfolgung, indem der Nutzer ein Objekt für eine bestimmte Zeit fokussiert (Dörner et al., 2013)
- Spracheingabe zur Steuerung des Systems und Informationsspeicherung (Tönnis, 2010)
- Steuerung durch Gesten direkt an der Hardware über ein Touchpad (Rauh et al., 2015)

7.3.5 Einsatzmöglichkeiten im Luftfracht-Handling

AR kann in der Logistik vielseitig zur Optimierung operativer Prozesse eingesetzt werden. Durch eine interaktive Unterstützung durch AR können Tätigkeiten in der Lagerhaltung, Verpackung, Wartung sowie dem allgemeinen Handling und Transport von Ware einfacher gestaltet werden, wodurch sich Fehler reduzieren lassen (Cirulis & Ginters, 2013). Solche klassischen logistischen Tätigkeiten, wie Transport, Fracht-Handling, Lagerhaltung, Konsolidierung und Verpackung zeichnen auch die Prozessabläufe im Luftfracht-Handling aus, wie die Prozessanalyse gezeigt hat. Anhand in der Literatur genannter Einsatzmöglichkeiten von AR in der Logistik sowie den technischen Möglichkeiten und der Prozessanalyse im Import und Export von HA 1 und HA 2, wurden daher

konkrete Anwendungsmöglichkeiten für AR im Luftfrachthandling erarbeitet, welche im Folgenden vorgestellt werden.

7.3.5.1 Erfassung, Abgleich und Visualisierung von Informationen

Die Verwendung von AR-Technologie ermöglicht die Visualisierung von Informationen im Sichtfeld des Betrachters, sodass der Nutzer Prozesse beidhändig ausführen kann, während ihm die zur Ausführung benötigten Informationen direkt in seinem Sichtfeld eingeblendet werden. Somit wird eine verbesserte und angepasste Informationsdarstellung ermöglicht, indem dem Mitarbeiter ausschließlich die benötigten Informationen in einer passenden Darstellungsform angezeigt werden. Da der Mitarbeiter kein weiteres Informationsmaterial, wie beispielsweise ein HHT oder Papier benötigt, kann bei der Prozessausführung Zeit gespart und Fehler reduziert werden (Jost et al., 2015). Damit die richtigen Informationen zur richtigen Zeit gezeigt werden, müssen Umgebungsobjekte identifiziert werden. Das Erfassen von Barcodes stellt bspw. bei der Identifikation von Packstücken eine Möglichkeit dar. Packstücke können anhand ihres Barcodes identifiziert und Sendungen anhand der hinterlegten Information im System somit auf Vollständigkeit kontrolliert werden (Glockner et al., 2014).

Die Möglichkeit der schnellen Identifikation von Fracht und dem Abgleich mit systemischen Informationen ist für die beobachteten Prozesse bei den Handling Agents sehr interessant, da die Überprüfung von Sendungen auf Vollständigkeit anhand der vorliegenden AWBs hier bei verschiedenen Prozessschritten vorkommt. So könnte AR zum Beispiel bei der physischen Frachtannahme im Export eingesetzt werden. Die Informationen des Entladetickets könnten dem Mitarbeiter über ein AR-Gerät digital zur Verfügung gestellt werden. Durch Abscannen der Barcodes mithilfe von Smart Glasses, kann das Einchecken der Packstücke bequem erfolgen und dem Mitarbeiter kann über die Brille angezeigt werden, ob die Sendung vollständig ist, oder auch wenn ein falsches Packstück eingescannt wird. Der Mitarbeiter hat somit beide Hände frei, um Packstücke umzusortieren oder zu zählen, falls dies erforderlich ist. Wenn alle Barcodes eingescannt sind und die Fracht vollständig eing_checked ist, kann dies dem Mitarbeiter ebenfalls angezeigt werden. Die Vollständigkeitsüberprüfung findet außerdem beim ULD-Build-Up statt sowie beim Break-Down und Einchecken der Fracht im Import. Auch hier könnte der Prozess durch AR unterstützt werden, wodurch der Mitarbeiter bei der Verwendung von Smart Glasses (nicht Handheld Displays) beide Hände für das Sortieren der Packstücke bzw. den ULD-Aufbau und das Stapler Fahren frei hätte.

7.3.5.2 Fotos aufnehmen

Die Möglichkeit der Foto- oder Videodokumentation von Sachverhalten durch AR kann die Qualität der Dokumentation von Prozessschritten sowie die Zuverlässigkeit kommunizierter Informationen deutlich erhöhen. Beschädigungen an Objekten können so beispielsweise anschaulicher dokumentiert werden, was dabei hilft, Missverständnisse in der Kommunikation von Defekten zu vermeiden (Stoltz et al., 2017).

Bei den Handling Agents kann die Dokumentation hervorragend genutzt werden, um die Kommunikation mit den Spediteuren und der Airline bei beschädigter Fracht zu verbessern. Mitarbeiter können hier Fotos der beschädigten Fracht aufnehmen, um die CDS-Nachricht zu vervollständigen. Statt langer Textumschreibung kann ein Foto das Problem oft präziser und schneller beschreiben und dafür sorgen, dass der Adressat einer Beschädigungs-Nachricht (in der Regel die Spedition) sofort weiß, wo das Problem liegt und schnell reagieren kann. Auch für Prozesse, welche spezielle RFC-Checks erfordern, wie etwa die Überprüfung der Anforderungen an DGR und Pharma-Fracht, kann die Fotodokumentation hilfreich sein. So können bspw. Gründe für die Nichterfüllung

der Sicherheitsanforderungen ebenfalls per Foto dokumentiert und systemseitig an die anderen Akteure der Luftfrachtkette versendet werden. Bei den Handling Agents kann dadurch unter Umständen Zeit durch das Vermeiden langer Textnachrichten gespart werden, während die präzisere Dokumentation auch bei den Speditionen Missverständnisse und Rückfragen vermeiden kann.

Auch für interne Dokumentationszwecke können Fotos hilfreich sein. So wurde bspw. aus den Interviews mit den Mitarbeitern deutlich, dass beim Suchen von Packstücken oft viel Zeit verloren geht, falls diese nicht an einem im System hinterlegten Lagerplatz stehen. Nicht durch einen Barcode gekennzeichnete Standorte können auch durch ein Foto identifiziert werden, welches der Mitarbeiter beim Abstellen der Fracht über ein AR-Device erstellen und im System mit dem richtigen Packstück (Scannen des Barcodes) verknüpfen kann. Dies kann dazu beitragen, dass andere Mitarbeiter die Sendung im späteren Prozess schneller finden können.

7.3.5.3 Navigation

Die Möglichkeit über AR Navigationshinweise für das Zusammenstellen von Sendungen einzublenden bietet ebenfalls eine Möglichkeit, vor allem Kommissionierungsprozesse effizienter zu gestalten. Das AR-System kann dem Nutzer dabei eine Liste der benötigten Waren im Sichtfeld anzeigen und gleichzeitig die Navigation zu deren Lagerplätzen starten, indem Navigationshinweise angezeigt werden, während sich der Mitarbeiter durch das Lager bewegt. Am richtigen Lagerplatz angekommen, kann AR diesen beispielsweise anhand des Barcodes erkennen und für den Nutzer hervorheben, sodass dieser das benötigte Material sofort erkennt (Glockner et al., 2014; Stoltz et al., 2017). Diese Art der Kommissionierung wird auch als „Pick-by-Vision“ bezeichnet. Die verwendete Indoor-Navigation erlaubt eine optimierte Routenfindung, mit deren Hilfe der Mitarbeiter schnell und zuverlässig zu den entsprechenden Lagerplätzen geleitet wird (Glockner et al., 2014).

Die Navigationsfunktion kann auch bei den Handling Agents eingesetzt werden, wenn die Mitarbeiter Fracht auslagern müssen (beim ULD-Aufbau und bei der Auslagerung von Importsendungen). Zumindest in den beiden betrachteten Fällen scheint ein Einsatz zur Einlagerung nicht sinnvoll, da die Handling Agents willkürlich auf freie Lagerplätze einlagern und in den beobachteten Fällen immer ausreichend viele, schnell sichtbare freie Lagerplätze verfügbar waren. In sehr großen, unübersichtlichen oder vollen Lagern kann die Navigation zu einem freien Stellplatz jedoch durchaus auch nützlich sein. Navigationshinweise könnten den Mitarbeitern entweder über Smart Glasses, oder über ein am Gabelstapler befestigtes Tablet angezeigt werden, zusammen mit dem Aufbauauftrag/ Pre-Manifest bzw. dem Auslagerungsauftrag. Es muss jedoch geprüft werden, ob die Navigationsfunktion hier wirklich Effizienzvorteile bringt, denn bei den durchgeführten Prozessbeobachtungen schienen die Mitarbeiter gut vertraut mit der Kennzeichnung der Lagerplätze und konnten diese auch ohne Navigation schnell finden. Navigation könnte vor allem für die Einarbeitung neuer Mitarbeiter oder in sehr großen Lagern sinnvoll sein.

Zudem muss beachtet werden, dass die Nutzung von Anzeigesystemen wie Smart Glasses oder Tablets auch negative Effekte haben kann, wie bspw. Kopfschmerzen (Glock et al., 2020). So u.a. auch eine Studie der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (Gross, 2018) gezeigt, dass die Nutzung von Smart Glasses beim Fahren von Gabelstaplern zu einer erhöhten kognitiven Belastung der Nutzer führt. Bei der Einführung von AR im Gabelstaplerverkehr muss demnach sichergestellt werden, dass die Mitarbeiter nicht zusätzlich belastet und eventuell

bei der Fahrt abgelenkt werden. Eine Gefährdungsbeurteilung für einzelne Anwendungsfälle ist daher unbedingt erforderlich (Gross, 2018).

7.3.5.4 Prozesse digital hinterlegen

Die Möglichkeit, Prozessabläufe und Handlungsanweisungen digital zu hinterlegen und Mitarbeitern über ein AR-Gerät anzuzeigen, wird laut einer Studie von Niemöller et al. (2017) als sehr nützliche und innovative Anwendungsmöglichkeit für die Ausführung intralogistischer Prozesse angesehen. Hierzu gehört zum Beispiel auch die Abarbeitung von Checklisten (Niemöller et al. 2017). Durch das Hinterlegen von Prozessabläufen im AR-System können den ausführenden Mitarbeitern im Prozessverlauf immer automatisch die nächsten Prozessschritte angezeigt werden. Dies kann zu weniger Fehlern bei der Abarbeitung der Prozesse führen, da der Mitarbeiter sich nicht mehr alle Schritte vollständig merken muss und auch bei Ablenkung problemlos wieder an der richtigen Stelle in die Bearbeitung einsteigen kann, ohne wichtige Schritte zu vergessen. Die Notwendigkeit von Entscheidungsfindungen kann somit begrenzt werden und der Mitarbeiter kann sich voll auf die Ausführung seiner Tätigkeit konzentrieren. Hier fällt vor allem auch die ortsunabhängige Anwendbarkeit von AR eine Rolle. Indem der Mitarbeiter das AR-Gerät überall mit hinnehmen kann, ist er bei der Prozessdurchführung sehr flexibel. Da Informationen überall unterwegs abgerufen und eingegeben werden können, kann die Reihenfolge der Prozessschritte ohne Probleme eingehalten werden (Stoltz et al., 2017).

Das Hinterlegen von Prozessen im AR-System und somit die Möglichkeit, den Mitarbeitern während der Prozessdurchführung die richtigen Handlungsanleitungen zukommen zu lassen ist prinzipiell für alle intralogistischen Prozesse interessant, so auch bei den Handling Agents. Besonders bei komplexen Prozessen oder dort, wo häufig Fehler auftreten, kann AR hier maßgeblich zur Prozessverbesserung beitragen und dafür sorgen, dass die Schritte in der richtigen Reihenfolge abgearbeitet werden. Dies ist beispielsweise bei der Abarbeitung von Checklisten äußerst nützlich, wie sie im Rahmen der RFC-Checks vor allem bei Gefahrgütern (DGR) oder Pharma-Fracht anfallen. Die IATA gibt hier umfangreiche Sicherheits- Checklisten für verschiedene Ausprägungen von DGR- und Pharma-Fracht vor (bspw. IATA, 2013; IATA, 2020 (b)). Hier kann den Mitarbeitern über Smart Glasses immer der nächste Punkt der Checkliste angezeigt werden, welche sie dann in der richtigen Reihenfolge abarbeiten und bestätigen müssen. Die Abarbeitung kann zum Beispiel über Spracheingabe erfolgen, sodass der Mitarbeiter beide Hände frei hat. Auch bei festgestellten Unzulänglichkeiten, wie bspw. die Beschädigung eines Gefahrgut-Artikels, kann AR durch die vorher eingespielten Prozessmöglichkeiten helfen, den richtigen Lösungsweg einzuschlagen. Wenn der Mitarbeiter in der Liste eine Beschädigung angibt, kann das AR-System hinterlegte Auswahlmöglichkeiten zur Art der Beschädigung vorgeben und daraufhin den nächsten Prozessschritt (bspw. Ausfüllen einer entsprechenden Mitteilung an die Spedition oder Airline) einleiten. Somit wird der komplexe Prozess der Gefahrgutannahme für den Mitarbeiter erleichtert und es kann eine korrekte Abarbeitung garantiert und Fehler vermieden werden.

7.3.5.5 Voice-to-text

Die Möglichkeit der Sprachsteuerung stellt eine bequeme Art der Interaktion von Mitarbeitern mit dem AR-Gerät dar. Hierfür muss ein gewisses Vokabular in der Software des Systems hinterlegt werden. Die Steuerung kann dann über Kommandos in Form von Sprachbefehlen oder annähernd freie Sprache bedient werden (Tönis, 2010). AR-Geräte mit Voice-/ Speech-to-text Funktionalität ermöglichen die Eingabe und Dokumentation von Informationen über Spracherkennung (Ubimax, 2019). Die Sprachsteuerung durch hinterlegen einfacher

Kommandos, kann bei den Handling Agents überall dort zum Einsatz kommen, wo auch AR genutzt werden kann. So können Mitarbeiter mittels Sprachbefehl bspw. einen Prozess starten und Zusatzinformationen wie die Beschädigung von Fracht erfassen. Der Einsatz von Sprachbefehlen stellt eine Interaktionsmöglichkeit dar, welche zusätzlich oder unabhängig von den in Kapitel 7.3.1 beschriebenen Interaktionsmöglichkeiten (z. B. das Scannen von Barcodes oder die Steuerung durch Gesten) eingesetzt werden kann (Tönnis, 2010). Einen besonderen Vorteil bringt die Spracherkennung vor allem dort, wo eine komplexere Dokumentation als lediglich die Bestätigung oder die Auswahl von Alternativen nötig ist. So zum Beispiel bei der Beschreibung von Beschädigungen oder Ablehnungsgründen von Fracht. Hier könnten einerseits im System vordefinierte Gründe per Sprachbefehl ausgewählt werden, welche zusätzlich vom Mitarbeiter durch gesprochene Beschreibungen ergänzt werden könnten. Das kann Zeit sparen, da hierdurch ein manuelles Eintragen am PC oder HHT entfällt (Hüer et al., 2020).

Vor der Einführung eines AR-Systems mit Sprachsteuerung und/ oder Voice-to-text Erkennung sollte allerdings in Tests geprüft werden, ob die Spracherkennung gut funktioniert, d. h. ob Eingaben korrekt aufgenommen werden und ob es eventuell zu zeitlichen Verzögerungen bei der Erfassung kommt. Zudem ist bei der kommando- sowie bei der gestenbasierten Steuerung zu beachten, dass die Kommandos möglichst einfach gehalten werden, da sich der Mitarbeiter diese für die Interaktion merken muss (Tönnis, 2010). In lauter Arbeitsumgebung könnte es zudem verstärkt zu Problemen mit der Sprachsteuerung kommen, was durchaus auch bei den Handling Agents vorkommen kann und die Praktikabilität dieser Anwendung daher vor einer Einführung zu prüfen ist.

7.3.5.6 Visualisierung von Aufbaurestriktionen für Luftfrachtpaletten

Einen weiteren sehr interessanten, bisher allerdings noch nicht marktreifen Ansatz für den Einsatz von AR im Luftfrachthandling bietet die Visualisierung von ULD-Aufbaurestriktionen für den ULD-Build-Up. Hierbei geht es um die Möglichkeit, den Mitarbeitern beim Aufbau von Luftfrachtpaletten die Airline-spezifischen Vorgaben zu den Außenmaßen der Palette über AR anzuzeigen, sodass eine Arbeit mit dem Maßband bzw. Konturrahmen überflüssig wird. Hierzu arbeitet das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) an zwei Möglichkeiten. Einerseits, dem Contour-Check, andererseits der Digitalisierung des gesamten Build-Up-Prozesses. Bei der Konturkontrolle geht es darum, ein virtuelles Raster über die Aufbaustation des ULDs zu legen, mit dessen Hilfe die Export-Mitarbeiter überprüfen können, ob sie sich beim Aufbau der Palette im Rahmen der vorgeschriebenen Maße bewegen (Fraunhofer IML, 2020). Der Check kann z. B. per App während und nach dem Aufbau immer wieder durchgeführt werden. Das IML arbeitet hierzu gerade an einer Datenbank, in der alle Konturvorgaben von verschiedenen Airlines für unterschiedliche Paletten-Typen und die unterschiedlichen Standorte der ULDs in den verschiedenen Flugzeugtypen gesammelt werden, sodass die AR-Technologie auf diese Datenbank zugreifen kann. Durch die Anwendung des Contour-Checks könnten bei Handling Agents Fehler im Aufbauprozess frühzeitig vermieden werden, sodass die Mitarbeiter nicht erst durch Ausmessen feststellen, wenn sie die Konturangaben überschritten haben, wodurch Packstücke nochmal umgebaut werden müssten. Dadurch kann Zeit gespart werden, auch da die Mitarbeiter die Aufbaurichtlinien nicht mehr in Papierform überprüfen müssen, sondern sie sich direkt digital an der richtigen Stelle anzeigen lassen können.

Die Digitalisierung des gesamten Build-up-Prozesses ist im Vergleich zum Contour-Check viel umfangreicher, verspricht aber auch große Potenziale. Der Prozess setzt hier schon weit vor dem eigentlichen Build-Up an. Zunächst müssen Maße, Gewicht und Material der jeweiligen Sendungen für jedes einzelne Packstück mittels Kameras und Sensoren erfasst werden, da diese Informationen auf Packstück-Level heute noch unbekannt sind. Es

entsteht so ein digitaler Zwilling jedes Packstücks. Diese Daten werden dann genutzt, um durch einen Algorithmus ein Packmuster für jede Palette zu generieren, welches mithilfe der Packstückdaten sowie der ULD-Konturvorgaben eine optimierte Beladung jeder Palette erstellt. Im letzten Schritt werden dann diese optimierten ULD-Beladungen auf ein AR-Gerät übertragen, sodass der Mitarbeiter die berechnete Anordnung der Pakete sehen kann. Nun kann der Mitarbeiter diese Anordnung schrittweise nachbauen, wobei das AR-System ihm Handlungsanleitungen einblendet (Fraunhofer IML, 2020).

Durch eine solche ganzheitliche Digitalisierung des Aufbauprozesses könnten ganz neue Erkenntnisse über die Packstückstruktur bei den Handling Agents gewonnen werden, zu welchen es momentan noch keine Daten gibt, da diese bisher nur auf Sendungslevel von der Airline übermittelt werden. Der ULD-Aufbau könnte hinsichtlich der Auslastung der Ladungsträger und der Aufbau-Geschwindigkeit optimiert werden, wenn die Mitarbeiter einfach nur den Aufbauanweisungen von AR folgen können, ohne sich über die genaue Anordnung der Packstücke Gedanken machen zu müssen. Auch eine Überprüfung der Einhaltung der Paletten-Maße ist dann nicht mehr notwendig, wenn der Aufbau genau nach der berechneten optimalen Anordnung durchgeführt wird. Auch die speziellen Vorgaben für die Anordnung von Gefahrgut könnten in den digitalen Zwilling jedes Packstücks mit einfließen, sodass die Gefahrguthandhabung für die Mitarbeiter vereinfacht wird, indem das System die Gefahrgut-Vorschriften bei der Platzierung des Packstücks auf der Palette berücksichtigt. Verletzungen der Special Handling-Restriktionen von bestimmten Frachtarten (bspw. DGR) kann somit ebenfalls vorgebeugt werden. Die Analyse der neu gewonnenen Daten auf Packstückebene könnten zudem noch viele weitere Prozessoptimierungen ermöglichen, wie etwa die Auswahl geeigneter Hilfsmittel zur manuellen Lastenhandhabung auf der Basis realere Packstückdaten (Gewicht, Maße, Struktur, Inhalt, etc.).

7.3.6 Herausforderungen bei der Implementierung von AR-Systeme

Vor dem Einsatz von AR ist es zunächst wichtig, die technischen Anforderungen des Systems zu überprüfen, um dessen Funktionalität sicherzustellen. Für die Anwendung von AR-Systemen in der Logistik ist oft eine flächendeckende WLAN-Abdeckung erforderlich, vor allem um die Übertragung von Daten in Echtzeit nutzen zu können. Das AR-Gerät greift über WLAN auf die Daten des zentralen Managementsystems (etwa das Handling-System) zu, um Informationen abzurufen und umgekehrt auch an das System zurückzugeben (TUP-Redaktion, 2017). Neben der WLAN-Verfügbarkeit sollte auch geprüft werden, wie eine systemseitige Anbindung an das Lagerverwaltungssystem (WMS) bzw. das vorherrschende Handling-System aussehen kann und welchen Programmierungsaufwand dies gegebenenfalls mit sich bringt. Hinsichtlich der Software sollte zudem darauf geachtet werden, dass das User-Interface intuitiv gestaltet und auch für eventuell wechselnde Lichtverhältnisse im Lager geeignet ist (Stoltz et al., 2017).

Eine weitere Herausforderung bei einer standardmäßigen Nutzung von AR als fester Prozessbestandteil kann die Batterielaufzeit darstellen, welche in der Regel nicht einen ganzen Arbeitstag abdeckt. Dieser Nachteil kann jedoch durch das Tragen von Ersatzbatterie oder ausgeglichen werden, was jedoch umständlich sein kann. Zudem muss geprüft werden, ob das AR-Gerät für eine kontinuierliche Nutzung geeignet ist (sowohl technisch als auch aus Sicht des Komforts). Hierbei sollte auch die Qualität der Scanner beachtet werden und es ist zu prüfen, ob diese QR-Codes bzw. Barcodes ebenso zuverlässig und schnell erfassen wie herkömmliche Scanner (Stoltz et al., 2017).

Beim Einsatz von AR-Technologie spielt auch der Datenschutz eine Rolle, da diese Systeme mit Sensoren und Kameras ausgestattet sind, welche die Position der Mitarbeiter tracken können. Auch bei der Aufnahme von Fotos oder Tonaufnahmen spielt dies eine Rolle (Jost et al., 2015; Stoltz et al., 2017). Es muss daher gewährleistet werden, dass personenbezogene Daten ausreichend verschlüsselt sind und nicht zweckentfremdet werden können (Jost et al., 2015).

Die Akzeptanz der neuen Technologie bei den Mitarbeitern ist ebenfalls als Schlüssel-Herausforderung anzusehen, denn sie ist maßgeblich mit verantwortlich für den Erfolg des AR-Einsatzes. Argumente, die für eine hohe Nutzerakzeptanz sprechen, sind ein rigoroser Datenschutz (Stoltz et al., 2017), die Benutzerfreundlichkeit und der Tragekomfort des Systems, die wahrgenommene Erleichterung der Arbeit sowie ein funktionierendes Change Management sein (Jost et al 2015, S. 11).

Die Unterstützung der Mitarbeiter durch Visualisierung vorgegebener Prozessabläufe von AR kann sich zudem nicht nur positiv auf die Mitarbeiter auswirken. Neuere Untersuchungen auf dem Gebiet der kognitiven Ergonomie weisen darauf hin, dass zunehmend eintönige und stupide Tätigkeiten sich negativ auf die Psyche der Mitarbeiter auswirken könnten. Ebenso weisen Wissenschaftler daraufhin, dass weitere Erkenntnisse auf dem Gebiet der kognitiven Ergonomie benötigt werden, welche untersuchen, ob der kontinuierliche Einsatz von digitalen Hilfsmitteln (auch AR) zu einer erhöhten visuellen bzw. kognitiven Belastung des Mitarbeiters führt (Rinkenauer et al., 2017).

8 Erörterung von Gesamtkonzepten zur ergonomischen und ökonomischen Prozessverbesserung

In diesem Kapitel werden die zuvor erarbeiteten Vorschläge zur Verbesserung der Belastungssituation und Effizienzsteigerung der Prozessausführung durch technische und technologische Hilfsmittel und gestalterische Maßnahmen zu einem Gesamtkonzept zusammengefasst. Es wird dabei vor allem auf den Zeithorizont und Voraussetzungen einer Umsetzung der Maßnahmen sowie Abhängigkeiten zwischen Ihnen eingegangen.

8.1 Vorschläge für geeignete Konzepte und Hilfsmittel

Alle in dieser Arbeit ausgearbeiteten Verbesserungsvorschläge und Handlungsempfehlungen sind in Abbildung 13 in einem Gesamtkonzept übersichtlich zusammengefasst. Empfohlene Maßnahmen sind in der Darstellung unterstrichen, optionale oder bedingt empfohlene Maßnahmen sind nicht unterstrichen. Es wird zudem zwischen technischen Hilfsmitteln und generell empfohlenen Prinzipien (grau hinterlegt) unterschieden. Die Darstellung ordnet die Maßnahmen und Hilfsmittel in einer logisch-chronologischen Reihenfolge, die sich am aktuellen Ist-Zustand von HA 1 und HA 2 orientieren. Beginnend mit den bereits aktuell bei HA 1 und HA 2 eingesetzten Technologien, sind die Maßnahmen entsprechend einer kurz- bis langfristigen Umsetzbarkeit sortiert. Die Zeitfristen (insbesondere im Bereich „aktuell“ bis „mittelfristig“) sind dabei auf HA 1 und HA 2 bezogen. Nichtsdestotrotz stellt der Handlungsplan auch für Handling Agents, deren Ist-Zustand von HA 1 und HA 2 abweicht, eine Orientierungshilfe dar, wobei die Fristigkeit der Maßnahmen relativ mit dem Ist-Zustand des Handling Agents anzupassen sind. Ferner sind die erwarteten Potenziale der Maßnahmen und Hilfsmittel danach sortiert, welche entweder eine Reduktion der physischen Belastung, eine Steigerung des Digitalisierungsgrades

und der Prozesseffizienz oder einen kombinierten Nutzen beider Bereiche erwarten lassen. Abhängigkeiten in Form von Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen sind durch Pfeile dargestellt.

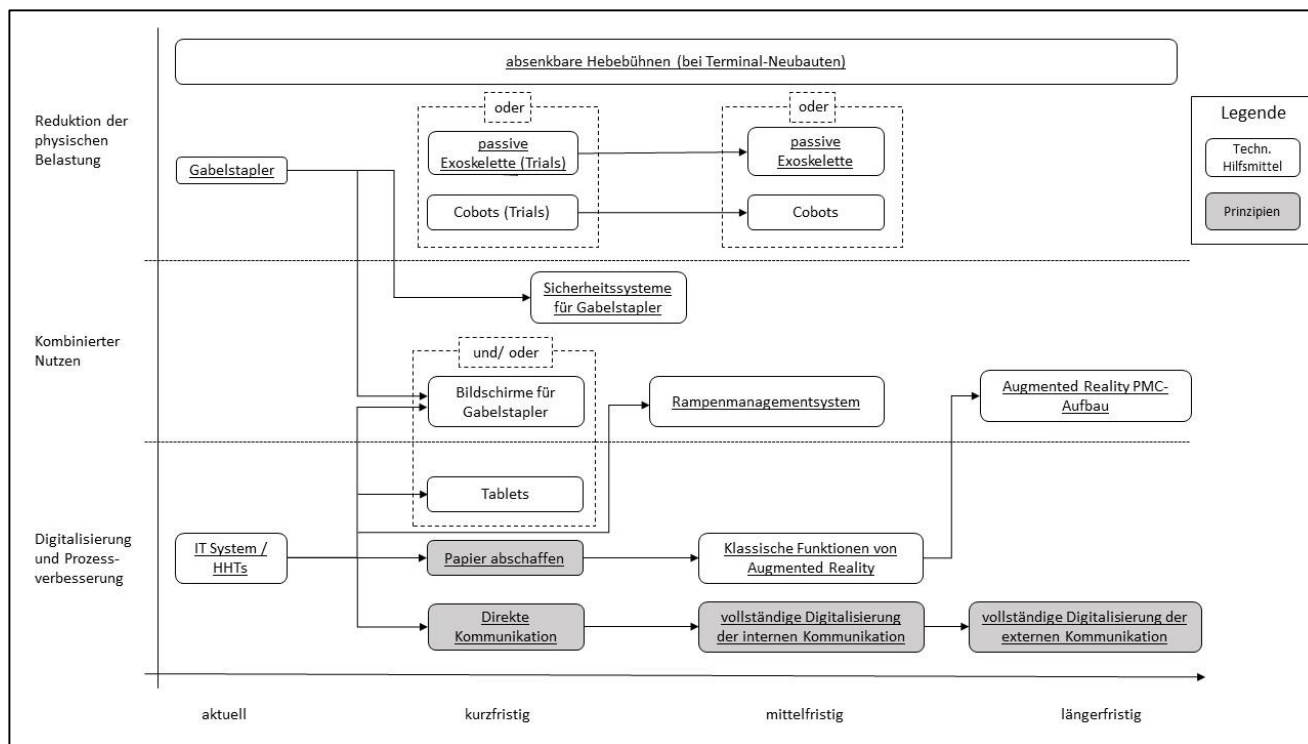


Abbildung 13: Gesamtkonzept zur ergonomischen und ökonomischen Prozessverbesserung bei Handling Agents

Die Maßnahmen der beiden Bereiche Ergonomie und Prozessverbesserung lassen sich nahezu unabhängig voneinander, und viele davon kurzfristig realisieren, da die Voraussetzungen dafür bereits geschaffen bzw. leicht zu erfüllen sind. Momentan werden bei HA 1 und HA 2 Gabelstapler als Hilfsmittel zur Lastenhandhabung eingesetzt. Es werden ein internes IT-System zur Verwaltung aller sendungsbezogenen Daten sowie HHTs zum Abruf dieser Daten durch die operativen Mitarbeiter verwendet. Gabelstapler eignen sich ausgezeichnet zur Handhabung großer und palettierter Packstücke, ihr Einsatz im Lager provoziert jedoch gleichzeitig ein hohes Unfallrisiko. Da Gabelstapler essentiell für die Lastenhandhabung in der Intralogistik sind, wird eine Ergänzung durch geeignete Sicherheitssysteme zur Unfallprävention empfohlen. Da somit das Risiko von Unfällen sinkt, die einerseits zu Verletzungen und andererseits zu Prozessverlangsamungen führen können, haben Sicherheitssysteme für Gabelstapler einen kombinierten Nutzen. Solche Systeme sind bereits auf dem Markt verfügbar, weshalb diese Maßnahme kurzfristig umgesetzt werden kann. Zuvor muss allerdings die Auswahl einer geeigneten Technologie erfolgen. Ferner könnten Bildschirme bzw. Tablets für Gabelstapler eine sinnvolle Ergänzung sein, um den Mitarbeitern Informationen, wie beispielsweise die Lagerorte der benötigten Frachtstücke, präsentieren zu können. Zurzeit stehen hierfür nur die HHTs zur Verfügung. An den Gabelstaplern befestigte Bildschirme bieten gegenüber Handheld-Devices, wie Tablets oder HHTs, den Vorteil, dass sie während der Fahrt nicht gehalten werden müssen und damit bedienfreundlicher sind, weshalb ihnen ein kombinierter Nutzen zugesprochen wird.

Die ergonomische Bewertung der manuellen Lastenhandhabungsprozesse in diesem Projekt ergab, dass Gabelstapler als technisches Hilfsmittel zur Lastenhandhabung im Luftfrachthandling nicht ausreichen, um eine akzeptable Belastung der Mitarbeiter bei der Arbeitsausführung zu gewährleisten. Es fehlt an einem geeigneten Hilfsmittel für die Handhabung kleiner Packstücke, für welche Gabelstapler nicht geeignet ist, die aber zu hohen

körperlichen Belastungen der Mitarbeiter bei den ULD-Auf- und Abbauprozessen führen können. Hierfür wurden in Kapitel 6 passive Exoskelette als das bestgeeignete technische Hilfsmittel identifiziert, da sie flexibel in die bestehenden Prozesse integriert werden können und keine bzw. nur geringe Effizienzeinbußen zu erwarten sind. Vor einer flächendeckenden Einführung wird eine Testphase mit einigen wenigen Modellen empfohlen, welche kurzfristig beginnen kann, sobald ein Modell oder mehrere vielversprechende Modelle ausgewählt wurden. Nach erfolgreicher Durchführung der Testphase könnten passive Exoskelette mittelfristig fester Bestandteil der Handling-Prozesse werden. Abhängig vom Erfolg in der Weiterentwicklung von aktiven Exoskeletten, könnten diese ebenfalls in der längerfristigen Zukunft relevant werden. Da dies aktuell aber noch nicht abzusehen ist, wurden sie im vorgestellten Gesamtkonzept nicht berücksichtigt.

Alternativ kann auch der Einsatz von Cobots kurzfristig getestet werden. Dieser ist jedoch als zweitrangige Alternative zu den Exoskeletten zu betrachten, da neben seinen ergonomischen Potenzialen auch Nachteile in Bezug auf die Prozesseffizienz sowie die Einsatzflexibilität zu erwarten sind. So sind Cobots bspw. nicht für jeden ULD-Typen geeignet. Eine gleichzeitige Einführung beider Arten von technischen Hilfsmitteln ist zu vermeiden, da hierdurch ein erhöhtes Unfallrisiko entstehen kann, und sich ihre Potenziale eher gegenseitig aufheben als zu ergänzen. Absenkbare Hebebühnen werden als sinnvolle Ergänzung zu Exoskeletten oder Cobots empfohlen, jedoch wird ihre Integration vor allem bei einer Neuplanung von Lagergebäuden relevant.

Eine effizientere Prozessgestaltung kann durch die Umsetzung der Prinzipien aus Kapitel 7.2 kurzfristig erfolgen. Sowohl die Abschaffung überflüssiger papiergebundener Informationsübermittlung als auch die direkte Kommunikation, können über das bereits vorhandene IT-System problemlos abgebildet werden. Hierfür sind lediglich marginale Anpassungen der heutigen Prozessabläufe an den Stellen nötig, an denen die Mitarbeiter Informationen bisher nicht digital überprüfen, beziehungsweise sie bisher nicht digital über den Prozessfortschritt informiert werden. Eine umfassende Umsetzung beider Prinzipien wird eindeutig empfohlen, da durch einen geringen Anpassungsaufwand Effizienzpotenziale realisiert werden können. Zudem kann Demotivation der Mitarbeiter durch doppelte Arbeit (Weitergabe von Informationen auf Papier und digital) vermieden werden. Auch bilden beide Maßnahmen Voraussetzungen für mittelfristige Ziele.

Die Einführung von Tablets als Mittel zur Informationsdarstellung für operative Mitarbeiter wird als optionale Maßnahme betrachtet, falls die vorhandenen HHTs zur Abbildung der neuen, ausschließlich digitalen Kommunikation zwischen Büro und operativen Mitarbeitern nicht ausreichend sind. So könnten z. B. Aufbaurestriktionen für Luftfrachtpaletten anschaulich über Tablets visualisiert und Kommentare zu Aufbauten (wie Überbauten) von den Mitarbeitern einfach über das Tablet in die entsprechenden Formulare eingezeichnet werden. Entsprechend kann die Einführung von Tablets und/oder Bildschirmen für Gabelstapler bei der Visualisierung einer vollständigen Digitalisierung der internen Kommunikation sinnvoll sein. Jedoch stellen beide Technologien keine zwingende Voraussetzung für diese dar und es bleibt zu prüfen, inwiefern sie gegenüber den vorhandenen HHTs zu bevorzugen sind. Falls bspw. Smart Glasses (AR) fester Bestandteil einiger Lagerprozesse werden, könnten sie Tablets und Bildschirme für Gabelstapler überflüssig machen.

Die Einführung eines Rampenmanagementsystems zur Vorab-Slot-Buchung für anliefernde und abholende LKW, wird als kurz- bis mittelfristig Maßnahme empfohlen, um Kapazitätsengpässen an den Laderampen entgegenzuwirken und Belastungsspitzen zu glätten. Durch die Vorabbuchung von Zeitfenstern für die Anlieferung und Abholung von Fracht, ist ein kombinierter Nutzen zu erwarten. So kann einerseits die Prozesseffizienz durch

Verkürzung der Wartezeiten an den Laderampen und eine gleichmäßigere Einlastung gesteigert werden, andererseits ist auch eine Reduktion der physischen Belastungsspitzen der Mitarbeiter zu erwarten. Wie die Durchführung der Interviews ergab, leiden die Mitarbeiter im derzeitigen Prozess häufig unter Stress, welcher durch unzureichende Personalkapazitäten bei hohem Frachtaufkommen verursacht wird. Durch eine Glättung der Frachtanlieferungs- und Abholungsspitzen, könnten die Personalkapazitäten besser geplant und die Mitarbeiter gleichmäßiger ausgelastet werden. Voraussetzung für die Einführung eines Slot-Buchungssystems ist die Schaffung der entsprechenden Schnittstellen zum vorhandenen IT-System. Auch ist davon auszugehen, dass eine komplette Umstellung aller anliefernden Spediteure auf die Nutzung des Buchungssystems einige Zeit dauern wird. Die Maßnahme muss daher rechtzeitig angekündigt und von den Handling Agents mit Nachdruck durchgesetzt werden, sodass nach angemessener Übergangszeit nur noch LKW mit einem gebuchten Slot für die Rampenansteuerung zugelassen werden.

Als besonders erstrebenswerter mittelfristiger Meilenstein, wird die Erreichung einer vollständigen Digitalisierung der internen Kommunikation betrachtet. Die Grundsätze von direkter Kommunikation, also vor allem die automatische Weiterleitung von Aufträgen aus dem Büro zu den entsprechenden operativen Mitarbeitern über das IT-System, sowie die Abschaffung papiergebundener Informationsweitergabe, sind wichtige Voraussetzung für eine übergreifende Digitalisierung. Hierbei geht es vorrangig um die Schnittstellen von administrativen und operativen Prozessen. Wenn alle Informationen über den Abschluss eines Prozessschritts digital gespeichert werden und dadurch sofort einen weiteren Prozessschritt anstoßen, kann ein effizienterer Prozessfluss mit geringen Wartezeiten ermöglicht werden, da alle Informationen in Echtzeit übertragen werden. Weitere Voraussetzungen für eine vollständige Digitalisierung sind aber auch entsprechende Anpassungen des IT-Systems, für eine geeignete Informationsdarstellung sowie Umstellungen der heutigen Prozessschritte. Dies erfordert vor allem auch ein effizientes Change-Management, inklusive insbesondere umfassender Erprobung und Einweisung in die korrekte Anwendung neuer Technologien, um alle Mitarbeiter erfolgreich in die neuen Prozesse einzuführen.

Die Nutzung von klassischen, heute bereits verfügbaren AR-Funktionen wird mittelfristig ebenfalls empfohlen, da diese Technologie an verschiedenen Stellen der Luftfrachthandling-Prozesse für mehr Effizienz sorgen kann. Als besonders vielversprechende Potenziale, werden hier die intuitive Abfrage und Eingabe von Informationen, die Möglichkeit einer digitalen Prozesssteuerung sowie die Fotodokumentation gesehen. Voraussetzungen hierfür sind die Konzeption entsprechender Prozesse unter Einsatz von AR, die Auswahl einer geeigneten Hard- und Software sowie die digitale Verfügbarkeit aller benötigten Informationen und die Schaffung entsprechender Schnittstellen zum IT-System. Testläufe mit einzelnen Mitarbeitern zur Prüfung der ausgearbeiteten Konzepte und der Akzeptanz der Technologie werden ebenfalls empfohlen.

Eine Ausnahme zu den klassischen Einsatzmöglichkeiten von AR im Luftfrachthandling bilden die in Kapitel 7.3.2 beschriebenen Ansätze zur Unterstützung des Aufbaus von Luftfrachtpaletten. Da weder die Visualisierung von Aufbaurestriktion noch die Errechnung einer optimierten ULD-Beladung bisher technisch realisiert wurden, werden diese eher als langfristige Maßnahmen eingestuft. Nach der Fertigstellung erster Prototypen müssen auch hier zunächst Testläufe durchgeführt werden, bevor die Technologie flächendeckend zum Einsatz kommen kann. Bei beiden Varianten ist ein kombinierter Nutzen zu erwarten. Zum einen kann die Prozesseffizienz gesteigert werden, wenn die Mitarbeiter bei der Einhaltung der Aufbaurestriktionen digital unterstützt werden (hands-free) und somit Nacharbeit reduziert werden kann. Bei der Berechnung der optimierten Beladung kann zudem

die Kapazität der zur Verfügung stehenden ULDs besser ausgenutzt werden. Durch eine Verringerung von nachträglichen Umbauarbeiten, kann außerdem die physische Belastung reduziert werden. Ferner kann die Einblendung von Gewichtsinformationen den Mitarbeitern bei der Frachthandhabung unterstützen, sodass dieser die Fracht entsprechend ihres Gewichts anders anhebt oder entsprechende Hilfsmittel verwendet. Die Voraussetzungen sind hierbei dieselben, wie für die Nutzung der klassischen AR-Funktionen. Zusätzlich wird eine entsprechende Software zur Visualisierung benötigt, welche auf eine Datenbank mit digital hinterlegten ladungsträger- und flugzeugspezifischen Aufbaurestriktionen zugreift. Für die Digitalisierung des kompletten Aufbauprozesses (Berechnung optimaler ULD-Beladungen), werden zudem Daten auf Packstückebene benötigt, welche derzeit noch nicht erfasst werden.

Abschließend kann die vollständige Digitalisierung der externen Kommunikation mit allen Teilnehmern der Luftfracht-SC als langfristiges Ziel genannt werden. Durch vollständige Transparenz und Informationsübertragung in Echtzeit zwischen den Akteuren, können Kapazitätsplanungen effizienter durchgeführt und Durchlaufzeiten für alle Teilnehmer reduziert werden. Hierzu sollten Initiativen wie „one record“ und die Durchsetzung des e-freight-Konzepts permanent unterstützt und vorangetrieben, sowie die Integration unternehmensübergreifender Kommunikationsplattformen deutlich verstärkt werden. Für eine langfristige Realisation dieses Ziels muss eine schrittweise Digitalisierung der externen Kommunikation kontinuierlich durchgesetzt und mit den anderen Akteuren abgestimmt werden.

8.2 Mitarbeiterakzeptanz der Konzepte und Hilfsmittel

Zum Abschluss des Projekts wurde das zuvor beschriebene Gesamtkonzept den Mitarbeitern der Handling Agents in einem Workshop vorgestellt, um die Akzeptanz der vorgeschlagenen Maßnahmen zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden Interviews mit jeweils drei operativen Mitarbeitern der Projektpartner geführt, welche eine Dauer von ca. 8,5 bis 19 Minuten umfassten. Ziel der Interviews war die Beurteilung der vorgeschlagenen technischen Hilfsmittel (Prinzipien aus Abbildung 13 ausgenommen) durch die Mitarbeiter. Vor allem sollte dabei geklärt werden, ob die Mitarbeiter den neuen Technologien prinzipiell offen gegenüberstehen und deren Einsatz für sinnvoll erachten bzw. bei welchen Hilfsmitteln eventuell Skepsis und Bedenken auftreten. Hierzu wurde die Funktionsweise von Exoskeletten, Manipulatoren, Hebebühnen, Sicherheitssystemen für Gabelstapler, AR und Tablets jeweils kurz erläutert und durch Bilder veranschaulicht. Anschließend wurden in einem offenen Gespräch mit dem Mitarbeiter Fragen zu dem jeweiligen Hilfsmittel gestellt. Diese umfassten die Frage nach potentiellen Einsatzgebieten der Technologie, Auswirkungen auf die Prozesseffizienz, dem erwarteten Nutzen sowie die Diskussion potentieller Probleme und Bedenken beim Einsatz des Hilfsmittels und den Voraussetzungen für eine effiziente Integration in den Prozess.

Der Einsatz von Exoskeletten zur Entlastung des unteren Rückens wird von den befragten Mitarbeitern durchweg als positiv angesehen, da vor allem dieser Bereich bei der Arbeitsausführung häufig belastet wird. Laut Einschätzung der Befragten werden Rückenprobleme besonders im Alter nach langjähriger Tätigkeitsausführung erwartet, um diese zu vermeiden sei eine Entlastung durch Exoskelette sehr sinnvoll. Als Anwendungsbereiche wird vorrangig der Import (ULD-Abbau) genannt, daneben aber auch alle anderen Lagertätigkeiten bei denen Fracht gehoben werden muss. Effizienzeinbußen werden durch die Anwendung des Hilfsmittels nicht erwartet. Die Mehrheit der Befragten geht zudem von einer spürbaren Entlastung aus, auch wenn einzelne Befragte mit Hinblick auf den Entlastungseffekt und die uneingeschränkte Bewegungsfreiheit skeptisch sind. Es wird zudem

ausdrücklich gewünscht, das jeweilige Hilfsmittel vor einer Einführung auszuprobieren, um einen möglichen Entlastungseffekt und den Komfort zu beurteilen. Als größte Einschränkung des Exoskeletts wird die Anwendung beim Stapler fahren gesehen, da befürchtet wird, dass das Gerät hierbei hinderlich sein könnte und somit vorher abgelegt werden müsse. Vereinzelt werden zudem Bedenken beim Tragen des Hilfsmittels bei hoher Außentemperatur sowie Kontakt mit Kunden geäußert. Einer der Befragten bemerkt hierzu, dass er das Hilfsmittel lieber nicht sichtbar tragen würde (stattdessen verborgen unter der Kleidung), da ihm die Reaktion von Außenstehenden unangenehm wäre und er Spott befürchte. Zudem sei ein möglichst niedriges Eigengewicht des Geräts wichtig.

Manipulatoren werden grundsätzlich als geeignetes Hilfsmittel zur Rückenentlastung angesehen. Allerdings werden hier besonders Bedenken hinsichtlich der Prozesseffizienz geäußert. Die meisten Befragten erwarten, dass der Einsatz von Manipulatoren beim Abbau von Luftfrachtpaletten den Prozess deutlich verlangsamen würde, daher bräuchte man voraussichtlich mehr als ein Gerät. Beim Einsatz mehrerer Geräte gleichzeitig gibt es allerdings Platzbedenken und einige der Befragten hält die Anwendung von Manipulatoren im aktuellen Prozess daher nicht für sinnvoll. Fast alle Mitarbeiter weisen zudem darauf hin, dass Manipulatoren für den Abbau hoher Main-Deck-Paletten eher nicht geeignet seien, da die oberen Packstücke hier schwer erreichbar wären. Bei Lower-Deck-Paletten (bis 1,60 m Höhe) sei eine Anwendung jedoch denkbar. Generell wird als sinnvoller Einsatzbereich lediglich der Import (beim Abbau von Luftfrachtpaletten) angesehen, ein Drittel der Befragten nennt zudem die Möglichkeit einer Kombination mit absenkbarer Hebebühne als sinnvolles Einsatzszenario. Vereinzelt werden zudem Bedenken im Hinblick auf die Maximallast der Frachtstücke bei Anwendung des Manipulators sowie auf die Anwendbarkeit bei unförmiger Fracht (z. B. Säcke) geäußert. Als Kritikpunkt wird auch erwähnt, dass Manipulatoren beim Abbau von Containern aufgrund der seitlichen Öffnung nicht anwendbar seien.

Die Arbeits-/ Hebebühne wird von allen Befragten als äußerst nützliches Hilfsmittel eingeschätzt und wurde von den meisten auch bereits im operativen Betrieb (u. a. bei anderen Unternehmen) getestet. Die Möglichkeit, ULDs auf eine angenehme Arbeitshöhe zum Abladen zu bringen, wird als entlastend und hilfreich empfunden. Auch dieses Hilfsmittel wird vor allem für den Einsatz im Import als sinnvoll angesehen, da hier häufiger Luftfrachtpaletten mit Einzelpackstücken händisch gehandhabt werden müssen, während beim Aufbau von Luftfrachtpaletten (Export) der Großteil der Fracht palettiert verladen und daher mit dem Gabelstapler gehandhabt wird. Hinsichtlich der Prozesseffizienz wird das Hilfsmittel als neutral bis positiv bewertet, einzelne Mitarbeiter merken jedoch an, dass der Transport von Ladungsträgern zur Hebebühne je nach Installationsort zusätzliche Zeit benötigt. Die Unfallgefahr wird von den Befragten als niedrig eingeschätzt und auch andere Bedenken werden nicht geäußert.

Ähnlich wie bei der Hebebühne wird auch die Einführung von Sicherheitssystemen für Gabelstapler überwiegend positiv bewertet. Die Aufrüstung der Stapler mit Sensoren zur Unfallvermeidung wird von den Mitarbeitern als äußerst sinnvoll angesehen, da somit vor allem beim Rückwärtsfahren und Rangieren für mehr Sicherheit im Lagerverkehr gesorgt werden könne, wenn der Staplerfahrer durch Geräusche und Lichtsignale vor Personen im Fahrbereich gewarnt würde. Die Unfallquote im Lager wird zwar nicht als hoch eingeschätzt, dennoch seien bereits Unfälle und Gefahrensituationen durch den Staplerverkehr entstanden. Lediglich einer der Befragten

steht der Einführung von Warnsystemen kritisch gegenüber, da er eine Lärmbelästigung fürchtet, wenn die Systeme bei hohem Verkehr zu häufig Alarm geben und zu sensibel auf Gegenstände und Personen in ihrer Nähe reagieren.

AR ist das am wenigsten bekannte Hilfsmittel. Vielen der Befragten war die Funktionsweise vor der Erläuterung während des Interviews nicht bewusst, auch hat keiner je Datenbrillen getestet. Der Nutzen des Hilfsmittels wird unterschiedlich bewertet. Der überwiegende Teil der Befragten gibt an, sehr offen für die Anwendung neuer Technologien zu sein und diese generell für gut zu halten. Die Möglichkeit, Informationen direkt im Sichtfeld eingeblendet zu bekommen, wird von einigen als hilfreiche Ergänzung angesehen, vor allem bei der Navigation zum Lagerort von Frachtstücken und dem Aufbau und Abbau von ULDs. Das hierdurch ermöglichte freihändige Arbeiten und der damit einhergehende Wegfall papiergebundener Information werden als relevante Vorteile angegeben. Es wird jedoch auch erwähnt, dass das Einblenden von Informationen im Sichtfeld als störend empfunden wird bzw. bei der Fahrt mit dem Gabelstapler zu sehr ablenke. Über diese Punkte herrscht Uneinigkeit bei den Befragten, denn andere schätzten diese Form der Informationsdarstellung durchaus als nicht als störend ein. Einige der Befragten betrachten Datenbrillen als sinnvolle Alternative zum HHT, während andere das HHT bevorzugen oder sich den Einsatz von AR nur für bestimmte Bereiche, wie die Tracking-und-Tracing-Abteilung, vorstellen können. Als Bedingung für eine mögliche Einführung werden eine einfache Bedienbarkeit sowie eine Testphase vor Einführung gefordert.

Unterschiedliche Einschätzungen der Mitarbeiter ergeben sich auch zur Nutzung von Tablets. Am häufigsten wird angemerkt, dass die Tablets für einen sinnvollen Einsatz portabel sein müssten und somit sowohl beim Stapler fahren als auch bei anderen Arbeitsschritten genutzt werden können. Die Hälfte der Befragten hält Tablets für eine sinnvolle Ergänzung vor allem beim Stapler fahren, also der Navigation im Lager und dem Anzeigen von AWB-Informationen während der Fahrt. Andere Befragte befürchten, dass ein im Gabelstapler befestigtes Tablet die Sicht beim Fahren behindern könnte und ablenke. Teile der Mitarbeiter betrachten die Informationsverarbeitung über ein Tablet als Fortschritt im Vergleich zu den heute genutzten HHTs, andere können hier keinen Nutzen erkennen. Bedenken werden zudem zur Batterielaufzeit und Haltbarkeit (Widerstandsfähigkeit bei Herunterfallen) geäußert. Eine Prozessverbesserung wird erwartet, falls durch die Nutzung von Tablets die Kommunikation zwischen den Prozessbeteiligten erhöht und beschleunigt werden kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Mehrheit der Befragten dem Einsatz technischer Hilfsmittel generell offen gegenübersteht. Vor allem Exoskelette, Hebebühnen und Sicherheitssysteme für Gabelstapler werden als äußerst sinnvoll und hilfreich eingeschätzt, während der Einsatz von Manipulatoren vor allem aus Effizienzsicht eher kritisch betrachtet wird. Neue Technologien, wie AR, würden die meisten Mitarbeiter gern ausprobieren, um ihre Praxistauglichkeit zu testen und auch Tablets werden nicht grundsätzlich abgelehnt, auch wenn hier mitunter die größte Skepsis in Bezug auf eine deutliche Prozessverbesserung besteht.

9 Fazit und Ausblick

Ausgehend von einer Analyse der wissenschaftlichen Fachliteratur aus dem Bereich der Luftfrachtlogistik wurden eingangs dieser Arbeit drei wesentliche Forschungslücken identifiziert. Erstens lagen bisher kaum detaillierte Beschreibungen der internen Prozesskette von Handling Agents vor: Es wurden lediglich einzelne Teilaspekte und ausgewählte Planungsprobleme untersucht. Zweitens stellt die Literatur fest, dass die Prozesse

und Kommunikation in der gesamten Luftfracht Supply Chain und speziell bei Handling Agents wenig digitalisiert sind, was ein ungenutztes Potenzial darstellt. Es lag jedoch gleichzeitig keine Analyse vor, welche Technologien, Hilfsmittel und Maßnahmen das größte Potenzial aufweisen. Drittens gilt es als gesichert, dass hohe körperliche Belastungen im Rahmen von manueller Materialhandhabungen zu Erkrankungen und Verletzungen des Muskel- und Skelettsystems führen können. Obwohl bei Handling Agents bei der Konsolidierung und Dekomposition von Luftfracht ein hohes Maß an manueller Materialhandhabung nötig ist, gab es bisher keine Untersuchungen zum tatsächlichen Grad der Belastung. Ferner existierten keine Empfehlungen, welche Hilfsmittel die Belastung reduzieren könnten. Die Zielstellung dieses Projekts bestand folglich darin, einen fallstudienbasierten Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücken zu leisten.

Zur Erreichung der Zielstellungen wurde ein mehrgliedriges Vorgehen gewählt, bei dem die Ablauf- und Effizienzorientierte Prozessanalyse und die ergonomische Analyse separat durchgeführt wurden. Die gemeinsame Ausgangsbasis bildeten dabei Kapitel 2 und 3. In ersterem wurde zunächst die gesamte Prozesskette von Handling Agents entsprechend der Beobachtungen bei zwei Handling Agents beschrieben und mit der vorhandenen Prozessbeschreibung der Fachliteratur in Bezug gesetzt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Handling Agents zwar bestimmte Besonderheiten aufweisen, insgesamt aber repräsentative Unternehmen für diese Branche darstellen, sodass die im Verlauf dieses Projekts gewonnenen Ergebnisse gut verallgemeinerbar sind. Gleichzeitig wurde damit die erste Zielstellung, die ausführliche Beschreibung der Prozesskette von Handling Agents, erfüllt. Nichtsdestotrotz könnte zukünftige Forschung auf die Validierung dieser Prozesskette oder das Aufzeigen von möglichen Abweichungen abzielen.

Das anschließende Kapitel 3 diente der ersten Identifikation von Schwachstellen, Engpässen und physischen Belastungsspitzen innerhalb der Prozesskette der Handling Agents. Dazu wurden semi-strukturierte Interviews mit den Arbeitern bei HA 1 und HA 2 durchgeführt und anschließend ausgewertet. Bei der Auswertung wurde bereits eine erste Unterteilung zwischen ablauforientierten und ergonomischen Aspekten vorgenommen. Als zentrale Prozessmängel konnten unter anderem Stress sowie fehlerhaftes und ineffizientes Informations- und Datenmanagement ausgemacht werden. Bezüglich der körperlichen Belastung war festzustellen, dass die Arbeiter die Belastung als zu hoch empfinden, dass die am meisten belasteten Körperbereiche der untere Rücken sowie die oberen Extremitäten sind und dass der Aufbau, und insbesondere der Abbau von ULDs, als sehr belastend empfunden wird. Einschränkend ist zu erwähnen, dass der Umfang der Interviews vergleichsweise gering ausfällt. Zukünftige Forschung könnte daher darauf abzielen die Ergebnisse der Interviews weiter zu validieren.

In Kapitel 4 und 5 erfolgte schließlich die detaillierte ergonomische und effizienzorientierte Analyse der Prozesse. Die ergonomische Analyse beschränkte sich dabei auf den Auf- und Abbau von ULDs, da hier die größten Belastungen zu erwarten sind. Sie erfolgte zweigliedrig zunächst mittels größerem Screening-Verfahren und anschließend mittels detaillierter biomechanischer Modellierung. Dabei wurde festgestellt, dass verschiedene Auf- und Abbauprozesse kritische Belastungskennwerte, d. h., maximale und kumulierte Kräfte, die auf die untere Wirbelsäule der Arbeiter wirken, wiederholt erreichen oder überschreiten. Außerdem wurde festgestellt, dass insbesondere die Handhabung kleinerer Frachtstücke physisch belastend ist, da größere und palettierte Fracht per Gabelstapler gehandhabt werden kann. Kritisch muss dabei angemerkt werden, dass keine detaillierten Informationen über die Gewichte der gehandhabten Fracht vorliegen. Es wurde daher die Annahmen konstanter Frachtgewichte getroffen, wobei die Auswertung für verschiedene Gewichtsklassen durchgeführt wurde. Dar-

über hinaus erfolgte die biomechanische Auswertung mittels statischer Modellierung. Dynamische Bewegungen, die vor allem beim Abbau von ULDs vorkommen, wurden damit tendenziell unterschätzt. Weitere Forschung könnte daher darauf abzielen, die ergonomische Auswertung zu verfeinern und durch die Anwendung weiterer Bewertungsmethoden zu validieren. Nichtsdestotrotz zeigte Kapitel 4 die hohe körperliche Belastung der Arbeiter bei Handling Agents auf, wodurch eine wesentliche Zielstellung des Projekts erreicht wurde.

Die effizienzorientierte Prozessanalyse in Kapitel 5 ergab, dass die im Rahmen dieses Projekts untersuchten Unternehmen zwar interne IT-Systeme zur Datenverwaltung nutzen, jedoch viele Prozessschritte gleichzeitig papierbasiert gesteuert und dokumentiert werden, was zu Mehrfachaufwand und Fehlern führen kann. Darüber hinaus findet die Kommunikation zwischen Planungsebene und operativer Ebene häufig indirekt statt, was sich ebenfalls negativ auf die Effizienz auswirken kann. Ferner kommt es mitunter zu Engpässen bei der Be- und Entladung von LKWs aufgrund von fehlendem Laderampenmanagement. Auch wenn die innerhalb des Projekts betrachteten Handling Agents repräsentativ für ihre Branche sind, sollte die weitere Forschung darauf abzielen, diese Beobachtungen zu validieren.

In Kapitel 6 und 7 wurden schließlich diverse Maßnahmen, Hilfsmittel und Technologien ausgearbeitet, die das Potenzial bieten, die in Kapitel 4 und 5 festgestellten physischen Belastungen und Prozesseffizienzen zu reduzieren. Die Grundlage beider Kapitel bildete eine umfangreiche Literaturrecherche, wobei sich die Kapitel vorwiegend auf die Beschreibung der Ergebnisse beschränkten. Kapitel 6 beschäftigte sich dabei mit Hilfsmitteln, die die Arbeiter bei der manuellen Materialhandhabung unterstützen können. Als geeignete Technologien konnten Gabelstapler, (passive) Exoskelette, in den Boden absenkbar Hebebühnen und, mit Einschränkungen, Manipulatoren/ Cobots identifiziert werden. Gabelstapler werden derzeit bereits bei HA 1 und HA 2 eingesetzt; die Integration von Unfallvermeidungssystemen für Gabelstapler bietet dennoch zusätzliches Verbesserungspotenzial. Als wesentliche Maßnahmen zur Verbesserung der Prozesseffizienz wird in Kapitel 7 die konsequente Digitalisierung der internen Kommunikation und Informationsverarbeitung und die Abschaffung von papiergebundener Kommunikation vorgeschlagen. Langfristig sollten ferner auch eine Digitalisierung und Standardisierung der externen Kommunikation, d. h. mit den anderen Mitgliedern der Luftfracht Supply Chain, angestrebt werden. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass ein Rampenmanagementsystem zur Koordination mit den Truckern Engpässen entgegenwirken kann. Schließlich wurde das Potenzial von AR-Technologien erörtert. In der mittleren Frist kann diese Technologie z. B. zur Visualisierung von Informationen, zur Unterstützung von hands-free Arbeit, zur digitalen Prozessführung und zur visuellen Dokumentation eingesetzt werden. Längerfristig wäre auch der Einsatz beim Aufbau von ULDs denkbar, indem geometrische Restriktionen oder Vorschläge für die Frachttapelung aufgezeigt werden. Diese Einsatzmöglichkeiten befinden sich aktuell aber noch in der Entwicklung und bedürfen weiterer Forschung.

Kapitel 8 bildete schließlich eine Synthese zwischen den beiden Analysegegenständen, Prozesseffizienz und Ergonomie, indem es alle erarbeiteten Maßnahmen, Hilfsmittel und Technologien in einem Aktionsplan zu einem Gesamtkonzept zusammenfasst. Hierbei wurden auch Interdependenzen und kombinierte Nutzen von Hilfsmitteln für beide Untersuchungsgegenstände beachtet. Ferner erfolgte eine interviewbasierte Evaluation der erwarteten Akzeptanz der Hilfsmittel, die überwiegend positiv ausfiel. Kapitel 6, 7 und 8 liefern damit eine Analyse von Möglichkeiten zur Reduktion der physischen Belastung der Arbeiter und zur Steigerung der Prozesseffizienz und komplettieren damit die eingangs formulierte Zielstellung. Gleichzeitig wurde damit die Ausgangsbasis für weitere Forschung geschaffen. Dieses Projekt beschränkte sich auf eine theoretische und qualitative Analyse der

Maßnahmen und Hilfsmittel. Zukünftige Untersuchungen sollten daher darauf abzielen, den theoretischen, qualitativen Nutzen, der in dieser Arbeit erörtert wurde, in der Praxis zu quantifizieren. Fallstudien, bei denen die Umsetzung von vorgeschlagenen Maßnahmen oder die Einführung von vorgeschlagenen Hilfsmitteln und Technologien untersucht wird, sind daher mögliche Anknüpfungspunkte an die Ergebnisse dieses Projekts. Einen weiteren Ausblick stellt die Entwicklung von Optimierungsmodellen für den Einsatz der vorgeschlagenen Hilfsmittel dar. Um Investitionskosten gering zu halten besteht z. B. die Möglichkeit, dass Handling Agents Hilfsmittel, wie Hebebühnen oder Cobots nur in geringer Stückzahl anschaffen. Daraus ergibt sich die Fragestellung, welche ULDs von welchen Arbeitern mit oder ohne Hilfsmittel auf- oder abgebaut werden sollen, sodass die Belastung der Arbeiter möglichst gering ausfällt und möglichst fair zwischen den Arbeitern verteilt wird.

10 Literaturverzeichnis

- Abdoli-Eramaki, M., Stevenson, J. M., Reid, S. A., & Bryant, T. J. (2007). Mathematical and empirical proof of principle for an on-body personal lift augmentation device (PLAD). *Journal of biomechanics*, 40(8), 1694-1700.
- Addo-Tenkorang, R., & Helo, P. T. (2016). Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 528-543.
- Atziori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey computer networks.
- Ayres, L. (2008). Semi-structured interview. *The SAGE encyclopedia of qualitative research methods*, 8, 811-813.
- Badura, B., Ducki, A., Schröder, H., Klose, J., & Meyer, M. (Eds.). (2016). Fehlzeiten-Report 2016: Unternehmenskultur und Gesundheit-Herausforderungen und Chancen. Springer-Verlag.
- Bednorz, N., Kinne, S., & Kretschmer, V. (2019). Ergonomieunterstützung in der Logistik - Industrieller Einsatz von Exoskeletten an Palettier- und Kommissionierarbeitsplätzen. Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019, Dortmund.
- Bernecker, T., & Grandjot, H.-H. (2017). Leitfaden Luftfracht 4. Auflage. München: Huss-Verlag.
- Bertagnolli, F. (2018). Lean management. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Bier, L., Steidel, V., & Wakula, J. (2019). Körpersegmentbezogener Beanspruchungsvergleich bei Mitarbeitern der Gepäck- und Flugzeugabfertigung eines Großflughafens. Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019, Dortmund.
- Bierwirth, B., & Schocke, K. O. (2017). Lead-time optimization potential of digitization in Air Cargo. In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment*. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 23, (S. 75-98). Berlin: epubli GmbH.
- Boeing Company. (2014). World air cargo forecast 2014–2015. Abgerufen 13.07.2020 von <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1534155/000153415516000068/ex1038boeingwacf.pdf>.
- Boeing Company. (2018). World Air Cargo Forecast: 2018-2037. Abgerufen 12.10.2020 von https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/about-our-market/cargo-market-detail-wacf/download-report/assets/pdfs/2018_WACF.pdf.
- Bogue, R. (2015). Robotic exoskeletons: a review of recent progress. *Industrial Robot: An International Journal*.
- Bortfeldt, A., & Wäscher, G. (2013). Constraints in container loading—A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, 229(1), 1-20.
- Bostelman, R. (2009, September). Towards improved forklift safety: white paper. Proceedings of the 9th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, (S. 297-302).
- Bostelman, R., & Shackelford, W. (2010, September). Advanced sensing towards improved forklift safety. Proceedings of the 10th Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop, (S. 101-106).
- Boysen, N., & Fliedner, M. (2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. *Omega*, 38(6), 413-422.
- Brandt, F., & Nickel, S. (2019). The air cargo load planning problem—a consolidated problem definition and literature review on related problems. *European Journal of Operational Research*, 275(2), 399-410.

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2001). Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben und Tragen (Version 2001). Abgerufen 12.10.2020, von <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefaehrdungsbeurteilung.html>.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2002). Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Ziehen und Schieben. Abgerufen 12.10.2020, von <http://www.baua.de/de/Themen-von-AZ/Physische-Belastung/Gefaehrdungsbeurteilung.html>.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2014). Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit 2012. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Abgerufen 12.10.2020 von www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Arbeitsunfaehigkeit/Kosten.html.
- Center for Ergonomics University of Michigan (2020). 3DSSPP Software. Abgerufen 17.08.2020, von <https://c4e.engin.umich.edu/tools-services/3dsspp-software>.
- Chan, C. K., Chow, H. K., So, S. K., & Chan, H. C. (2012). Agent-based flight planning system for enhancing the competitiveness of the air cargo industry. *Expert Systems with Applications*, 39(13), 11325-11334.
- Chan, F. T., Bhagwat, R., Kumar, N., Tiwari, M. K., & Lam, P. (2006). Development of a decision support system for air-cargo pallets loading problem: A case study. *Expert Systems with Applications*, 31(3), 472-485.
- Chen, S. C., Hallum, L. E., Suaning, G. J., & Lovell, N. H. (2007). A quantitative analysis of head movement behaviour during visual acuity assessment under prosthetic vision simulation. *Journal of neural engineering*, 4(1), 108-123.
- Cho, C., & Egbelu, P. J. (2005). Design of a web-based integrated material handling system for manufacturing applications. *International Journal of Production Research*, 43(2), 375-403.
- Chu, H. K., Egbelu, P. J., & Wu, C. T. (1995). ADVISOR: A computer-aided material handling equipment selection system. *International Journal of Production Research*, 33(12), 3311-3329.
- Chung, G., Gesing, B., Chaturvedi, K., & Bodenbenner, P. (2019). Logistics Trend Radar, Delivering insight today, creating value tomorrow. Version 2018/19. Abgerufen 11.05.2020, von <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-trend-radar-widescreen.pdf>.
- Cirulis, A., & Ginters, E. (2013). Augmented reality in logistics. *Procedia Computer Science*, 26(11), 14-20.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage publications.
- De Koster, R., Roodbergen, K. J., & Van Voorden, R. (1999). Reduction of walking time in the distribution center of De Bijenkorf. In: *New trends in distribution logistics* (S. 215-234). Springer, Berlin, Heidelberg.
- de Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59(5), 671-681.
- Dell, G. (1998). Airline baggage handler back injuries: A survey of baggage handler opinion on causes and prevention. *Safety Science Monitor*, 2(2), 1-12.
- Dempsey, P. G. (1998). A critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks. *Ergonomics*, 41(1), 73-88.
- Derigs, U., Kurowsky, R., & Vogel, U. (2011). Solving a real-world vehicle routing problem with multiple use of tractors and trailers and EU-regulations for drivers arising in air cargo road feeder services. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 309-319.
- Disselkamp, M., & Heinemann, S. (2018). Digital-Transformation-Management: den digitalen Wandel erfolgreich umsetzen. Schäffer-Poeschel.
- Dobos, L. (2018). Die Luftfracht macht Boden gut. *Logistik Heute Ausgabe Oktober*, 26–31.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2013). Virtual und Augmented Reality. Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Ek, Å., Akselsson, R., Arvidsson, M., & Johansson, C. R. (2007). Safety culture in Swedish air traffic control. *Safety Science*, 45(7), 791-811.
- Emde, S., Abedinnia, H., Lange, A., & Glock, C. H. (2020). Scheduling personnel for the build-up of unit load devices at an air cargo terminal with limited space. *Or Spectrum*, 1-30.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27.
- Feng, B., Li, Y., & Shen, Z. J. M. (2015). Air cargo operations: Literature review and comparison with practices. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 263-280.
- Fontana, A., & Frey, J. H. (2000). The interview: From structured questions to negotiated text. *Handbook of qualitative research*, 2(6), 645-672.
- Ford Motor Company. (2017). FORD PILOTS NEW EXOSKELETON TECHNOLOGY TO HELP LESSEN CHANCE OF WORKER FATIGUE, INJURY. Abgerufen 08.07.2020 von <https://media.ford.com/content/ford-media/fna/us/en/news/2017/11/09/ford-exoskeleton-technology-pilot.html>.
- Forge, S., & Blackman, C. (2010). A helping hand for Europe: the competitive outlook for the EU robotics industry (No. JRC61539). Joint Research Centre (Seville site).
- Fraport AG (2018). Europe's Leading Cargo Hub. Abgerufen 03.05.2020 von https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/documents/geschaeftsfelder/betrieb/cargocity-frankfurt/cargocity_guide_2018.pdf/_jcr_content/renditions/original./cargocity_guide_2018.pdf
- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML). (2020). Picture of the Future: AR ULD Build-Up. Abgerufen 02.06.2020 von https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b3/projektzentrum_luftverkehrslogistik/projekte/picture-of-the-future--ar-uld-build-up.html.
- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML). (2020). Picture of the Future: AR ULD Build-Up. Abgerufen 02.06.2020 von https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b3/projektzentrum_luftverkehrslogistik/projekte/picture-of-the-future--ar-uld-build-up.html.
- Garg, A., Chaffin, D. B., & Freivalds, A. (1982). Biomechanical stresses from manual load lifting: a static vs dynamic evaluation. *IIE transactions*, 14(4), 272-281.
- Gil-Vilda, F., Sune, A., Yagüe-Fabra, J. A., Crespo, C., & Serrano, H. (2017). Integration of a collaborative robot in a U-shaped production line: a real case study. *Procedia Manufacturing*, 13, 109-115.
- Gioia, D. A., Corley, K. G., & Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology. *Organizational research methods*, 16(1), 15-31.
- Glock, C. H., Grosse, E. H., Broens, M. (2017). Verbesserung der Arbeitsplatzqualität in der Lagerhaltung durch ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. In: Glock, C. H., Grosse, E. H. (Hrsg.), *Warehousing 4.0 - Technische Lösungen und Managementkonzepte für die Lagerlogistik der Zukunft*, Lauda-Königshofen: B + G Wissenschaftsverlag, (S. 257-278).
- Glock, C. H., Grosse, E. H., Abedinnia, H., & Emde, S. (2019). An integrated model to improve ergonomic and economic performance in order picking by rotating pallets. *European Journal of Operational Research*, 273(2), 516-534.
- Glock, C. H., Grosse, E. H., Feldman, A. and Neumann, W. P. (2020). Assistive devices for manual materials handling in warehouses: a systematic literature review. *International Journal of Production Research* (in Press).
- Glockner, H., Jannek, K., Mahn, J., Theis, B. (2014). AUGMENTED REALITY IN LOGISTICS. Changing the way we see logistics-a DHL perspective. Germany: DHL Customer Solutions & Innovation. Abgerufen 10.05.2020 von https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/csi_augmented_reality_report_290414.pdf:
- Google. (2016). Introducing our smart contact lens project. Google Official Blog. Abgerufen 19.05.2020, von <https://blog.google/topics/alphabet/introducing-our-smart-contact-lens/>.

- Gopura, R. A. R. C., & Kiguchi, K. (2009). Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: State-of-the-art and design difficulties. In 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (S. 178-187). IEEE.
- Grigorean, A. (2019). Möglicher Einsatz von Robotik/KI in der Flugzeugabfertigung. 7. Tage der Ergonomie, Friedrichshafen.
- Gross, B. (2018). Smart Glasses auf Gabelstaplern? Eine Studie zur kognitiven Belastung von Anzeigesystemen in der Intralogistik. In V. Kretschmer & D. Spee (Eds.), *Kognitive Ergonomie. Der Mensch - eingebunden in die Logistik 4.0*. München: Huss-Verlag, (S. 95–99).
- Grosse, E. H., Dixon, S. M., Neumann, W. P., & Glock, C. H. (2016). Using qualitative interviewing to examine human factors in warehouse order picking. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 23(4), 499-518.
- Ha, H. T. H., & Nananukul, N. (2016). Air cargo loading management systems for logistics forwarders.
- Häkkinen, K. (1993). Crane accidents and their prevention revisited. *Safety science*, 16(3-4), 267-277.
- Hall, R. W. (2001). Truck scheduling for ground to air connectivity. *Journal of Air Transport Management*, 7(6), 331-338.
- Han, D. L., Tang, L. C., & Huang, H. C. (2010). A Markov model for single-leg air cargo revenue management under a bid-price policy. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 800-811.
- Hirsch, B., & Mueller, S. (2012). The productivity effect of temporary agency work: Evidence from German panel data. *The Economic Journal*, 122(562), F216-F235.
- Horberry, T., Larsson, T. J., Johnston, I., & Lambert, J. (2004). Forklift safety, traffic engineering and intelligent transport systems: a case study. *Applied ergonomics*, 35(6), 575-581.
- Huang, K., & Chi, W. (2007). A Lagrangian relaxation based heuristic for the consolidation problem of airfreight forwarders. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 15(4), 235-245.
- Hüer, L., Zobel, B., Birkl, H., Thomas, O. (2017). State-of-the-Art von Smart Glasses zur Unterstützung von Logistikprozessen. In Thomas, O. & Ickerott, I. (Hrsg.), *Smart Glasses. Augmented Reality zur Unterstützung von Logistikdienstleistungen*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, 51-68.
- IATA. (2006). IATA economics briefing, air freight 2006 – brighter skies ahead. The International Air Transport Association, Montreal. February.
- IATA. (2013). Information Notice: IATA Standards Acceptance Checklist for Time and Temperature sensitive Healthcare Shipments Mandatory 1 July 2013. Abgerufen 26.05.2020 von <https://www.iata.org/contentassets/6d7404d9ccca4e4e9c4ce146e4a2acb1/tt-checklist-notice.pdf>.
- IATA. (2018). e-AWB Implementation Playbook. The International Air Transport Association, September 2018. Abgerufen 27.04.2020 von <https://www.iata.org/contentassets/4bc75639b37641ba88f2e81e5516a020/e-awb-implementation-playbook.pdf>.
- IATA. (2020a). e-AWB international monthly report. The International Air Transport Association, February 2020. Abgerufen 27.04.2020 von <https://www.iata.org/contentassets/6c6b8373246b4b2db532ff9c89bee5a7/e-awb-monthly-report-r17.pdf>.
- IATA. (2020b). Dangerous Goods Checklist for a Non-Radioactive Shipment. IATA. Abgerufen 26.05.2020 von https://www.iata.org/contentassets/b08040a138dc4442a4f066e6fb99fe2a/en_form_nonrad.pdf. (accessed 26.05.2020)
- International Ergonomics Association (IEA). (2020). Human Factors/Ergonomics (HF/E)-Definition and Applications. Abgerufen 12.10.2020 von <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>.
- Irvine, A., Drew, P., & Sainsbury, R. (2013). 'Am I not answering your questions properly?' Clarification, adequacy and responsiveness in semi-structured telephone and face-to-face interviews. *Qualitative Research*, 13(1), 87-106.

- Jost, J., Kirks, T., Mättig, B., Sinsel, A., & Trapp, T. U. (2017). Der Mensch in der Industrie–Innovative Unterstützung durch augmented reality. In: Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, (S. 153-174).
- Kahl, B. (2016). Digitale Verabredungen am Frankfurter Flughafen. *LT Manager* (03), 52-56.
- Khan, M. R. (2000). Business process reengineering of an air cargo handling process. *International journal of production economics*, 63(1), 99-108.
- Kretschmer, V. (2018). Packen, picken, lernen: Digitale Lösungen für das Lager haben jede Menge Potenzial. In V. Kretschmer & D. Spee (Eds.), *Kognitive Ergonomie. Der Mensch - eingebunden in die Logistik 4.0*. München: Huss-Verlag, (S. 52–60).
- Krüger, J., Lien, T. K., & Verl, A. (2009). Cooperation of human and machines in assembly lines. *CIRP annals*, 58(2), 628-646.
- Lange, A. (2019). Does cargo matter? The impact of air cargo operations on departure on-time performance for combination carriers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 214-223.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3), 345-358.
- Larco, J. A., De Koster, R., Roodbergen, K. J., & Dul, J. (2017). Managing warehouse efficiency and worker discomfort through enhanced storage assignment decisions. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6407-6422.
- Lau, H. C., Chan, T. M., Tsui, W. T., Ho, G. T., & Choy, K. L. (2009). An AI approach for optimizing multi-pallet loading operations. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4296-4312.
- Lau, H. Y., & Zhao, Y. (2006). Joint scheduling of material handling equipment in automated air cargo terminals. *Computers in Industry*, 57(5), 398-411.
- Le-Anh, T., & De Koster, M. B. M. (2006). A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 1-23.
- Leung, L. C., Van Hui, Y., Wang, Y., & Chen, G. (2009). A 0–1 LP model for the integration and consolidation of air cargo shipments. *Operations Research*, 57(2), 402-412.
- Leutert, F., Herrmann, C., & Schilling, K. (2013, March). A spatial augmented reality system for intuitive display of robotic data. In 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) (S. 179-180). IEEE.
- Levine, J. A. (2005). Measurement of energy expenditure. *Public health nutrition*, 8(7a), 1123-1132.
- Lewis, F. L., Dawson, D. M., & Abdallah, C. T. (2003). Robot manipulator control: theory and practice. *CRC Press*.
- Li, Y., Tao, Y., & Wang, F. (2009). A compromised large-scale neighborhood search heuristic for capacitated air cargo loading planning. *European Journal of Operational Research*, 199(2), 553-560.
- Liu, Y., Yin, M., & Hansen, M. (2019). Economic costs of air cargo flight delays related to late package deliveries. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 388-401.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10.
- Ludwig, C., & Reimann, C. (2005). Augmented reality: Information at focus. *Cooperative computing & communication laboratory*, 4(1), 1-12.
- Lune, H., & Berg, B. L. (2017). Qualitative research methods for the social sciences.
- Marras, W. S. (2000). Occupational low back disorder causation and control. *Ergonomics*, 43(7), 880-902.
- Martin, H. (2009). Transport und Lagerlogistik. Vieweg+ Teubner Verlag.

- Mehler-Bicher, A., & Steiger, L. (2014). *Augmented Reality: Theorie und Praxis*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Miettinen, J., Frilund, P., Vuorinen, I., Kuosmanen, P., & Kiviluoma, P. (2019). Granular jamming based robotic gripper for heavy objects. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 68(4), 421-428.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Sage publications.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Moore, J. S., & Garg, A. (1995). The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(5), 443-458.
- Muramatsu, Y., Kobayashi, H., Sato, Y., Jiaou, H., Hashimoto, T., & Kobayashi, H. (2011). Quantitative Performance Analysis of Exoskeleton Augmenting Devices-Muscle Suit-for Manual Worker. *IJAT*, 5(4), 559-567.
- Neumann, W. P., & Medbo, L. (2010). Ergonomic and technical aspects in the redesign of material supply systems: Big boxes vs. narrow bins. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(5), 541-548.
- Neumann, W. P., Wells, R. P., & Norman, R. W. (1999, May). 4D WATBAK: adapting research tools and epidemiological findings to software for easy application by industrial personnel. Proceedings of the international conference on computer-aided ergonomics and safety, Barcelona, Spain.
- Niemöller, C., Zobel, B., Berkemeier, L., Metzger, D., Werning, S., Adelmeyer, T., ... & Thomas, O. (2017). Sind Smart Glasses die Zukunft der Digitalisierung von Arbeitsprozessen? Explorative Fallstudien zukünftiger Einsatzszenarien in der Logistik.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). (1981). *Work practices guide for manual lifting* (No. 81-122). US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Biomedical and Behavioral Science.
- Nobert, Y., & Roy, J. (1998). Freight handling personnel scheduling at air cargo terminals. *Transportation Science*, 32(3), 295-301.
- Norman, R., Wells, R., Neumann, P., Frank, J., Shannon, H., Kerr, M., & Study, T. O. U. B. P. (1998). A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. *Clinical biomechanics*, 13(8), 561-573.
- Olsson, J., Larsson, T., & Quttineh, N. H. (2020). Automating the planning of container loading for Atlas Copco: Coping with real-life stacking and stability constraints. *European Journal of Operational Research*, 280(3), 1018-1034.
- Orlosky, J., Kiyokawa, K., & Takemura, H. (2017). Virtual and augmented reality on the 5G highway. *Journal of Information Processing*, 25, 133-141.
- Ou, J., Hsu, V. N., & Li, C. L. (2010). Scheduling truck arrivals at an air cargo terminal. *Production and Operations Management*, 19(1), 83-97.
- Paquay, C., Limbourg, S., & Schyns, M. (2018). A tailored two-phase constructive heuristic for the three-dimensional Multiple Bin Size Bin Packing Problem with transportation constraints. *European Journal of Operational Research*, 267(1), 52-64.
- Paquay, C., Limbourg, S., Schyns, M., & Oliveira, J. F. (2018). MIP-based constructive heuristics for the three-dimensional Bin Packing Problem with transportation constraints. *International Journal of Production Research*, 56(4), 1581-1592.
- Paquay, C., Schyns, M., & Limbourg, S. (2016). A mixed integer programming formulation for the three-dimensional bin packing problem deriving from an air cargo application. *International Transactions in Operational Research*, 23(1-2), 187-213.

- Perry, T. S. (2020). Augmented Reality in a Contact Lens: It's the Real Deal, Startup Mojo Vision unveils working prototypes of AR contact lenses. Abgerufen 19.05.2020 von <https://spectrum.ieee.org/view-from-the-valley/consumer-electronics/portable-devices/ar-in-a-contact-lens-its-the-real-deal>.
- Peshkin, M. A., Colgate, J. E., Wannasuphprasit, W., Moore, C. A., Gillespie, R. B., & Akella, P. (2001). Cobot architecture. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(4), 377-390.
- Petersen, C. G., Siu, C., & Heiser, D. R. (2005). Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Rademacher, H., Bruder, R., Sinn-Behrendt, A., & Landau, K. (2011). Identifying demographic bottlenecks for musculoskeletal risks in production areas—implications for the design of industrial workplaces and assignment of workers. International Symposium on Human Factors in Organisational Design and Management. Grahamstown.
- Rasovic, N., Vučina, A., & Obad, M. (2019, October). Stress analysis of lifting table using finite element method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 659 (1), 012012. IOP Publishing.
- Rauh, S., Zsebedits, D., Tamplon, E., Bolch, S., & Meixner, G. (2015). Using Google Glass for mobile maintenance and calibration tasks in the AUDI A8 production line. 2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA) (S. 1-4). IEEE.
- Rinkenauer, G., Kretschmer, V., Kreutzfeldt, M. (2017): Kognitive Ergonomie in der Intralogistik. Whitepaper, Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Dortmund. Abgerufen 19.11.2020 von https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/101/02_Whitepaper_Kognitive_Ergonomie_WEB.pdf.
- Robinson, S., Marsden, G., & Jones, M. (2014). There's not an app for that: Mobile user experience design for life. Morgan Kaufmann.
- Rong, A., & Grunow, M. (2009). Shift designs for freight handling personnel at air cargo terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(5), 725-739.
- Rubin, H. J., & Rubin, I. S. (2011). Qualitative interviewing: The art of hearing data. *Sage publications*.
- Safarzadeh, D., Sulaiman, S., Aziz, F. A., Ahmad, D. B., & Majzoobi, G. H. (2011). The design process of a self-propelled floor crane. *Journal of Terramechanics*, 48(2), 157-168.
- Schaub, K., Haaß, P., Bierwirth, M., Kugler, M., Steinberg, U., Kaltbeitzel, J., ... & Bruder, R. (2010). Das Multiple-Lasten-Tool: integrierte Bewertung unterschiedlicher Arten manueller Lastenhandhabung.
- Schmidberger, S., Bals, L., Hartmann, E., & Jahns, C. (2009). Ground handling services at European hub airports: development of a performance measurement system for benchmarking. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 104-116.
- Schneider, E., & Irastorza, X. (2010). Osh in Figures: Work-related Musculoskeletal Disorders in the EU—Facts and Figures. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work.
- Schneider, S., Grant, K. A., Habes, D. J., & Bertsche, P. K. (1997). Ergonomics: Lifting hazards at a cabinet manufacturing company: Evaluation and recommended controls. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 12(4), 253-258.
- Selinka, G., Franz, A., & Stolletz, R. (2016). Time-dependent performance approximation of truck handling operations at an air cargo terminal. *Computers & Operations Research*, 65, 164-173.
- Shibuya, H., Cleal, B., & Kines, P. (2010). Hazard scenarios of truck drivers' occupational accidents on and around trucks during loading and unloading. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 19-29.
- Sia Partners. (2018). How can digital transform the air cargo industry?. Abgerufen 27.02.2020 von <https://transport.sia-partners.com/20180618/how-can-digital-transform-air-cargo-industry-panorama-air-cargo-digital-initiatives>.

- Steidel, V., Wakula, J., Meissner, F., & Bier, L. (2019). Vergleich körperlicher Belastungen bei der manuellen und technisch unterstützten Gepäckabfertigung in den Gepäckhallen eines Großflughafens. Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019, Dortmund.
- Steinberg, U., Klußmann, A., Liebers, F., Gebhardt, H., Rieger, M. A., Behrendt, S., & Latza, U. Leitmerkmalmethode manuelle Arbeitsprozesse 2011, Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision. F 2195. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/Berlin/Dresden 2012.
- Stelzer, P., Kraus, W., & Pott, A. (2017). Körpergetragene Hebehilfen zur manuellen Handhabung in der Logistik, Mensch und Maschine im Einklang. In C. H. Glock & E. H. Grosse (Eds.), *Warehousing 4.0 - Technische Lösungen und Managementkonzepte für die Lager-logistik der Zukunft*. Lauda-Königshofen: B + G Wissenschaftsverlag, (S. 279-294).
- Stoltz, M. H., Giannikas, V., McFarlane, D., Strachan, J., Um, J., & Srinivasan, R. (2017). Augmented reality in warehouse operations: opportunities and barriers. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 12979-12984.
- Stölzle, W., Schmidt, T., Kille, C., Schulze, F., & Wildhaber, V. (2018). Digitalisierungswerkzeuge in der Logistik: Einsatzpotenziale, Reifegrad und Wertbeitrag. Cuvillier Verlag.
- Tang, C. H. (2011). A scenario decomposition-genetic algorithm method for solving stochastic air cargo container loading problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 520-531.
- Ten Hompel, M., Schmidt, T., & Dregger, J. (2018). *Materialflusssysteme: Förder-und Lagertechnik*. Springer-Verlag.
- Texas Instruments. (2020). Fahrzeug Chipsätze – Head-up-Display. Abgerufen 19.05.2020 von <http://www.ti.com/de-de/dlp-chip/automotive/applications/head-up-display-hud.html>.
- Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T., & Savescu, A. (2018). Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied ergonomics*, 67, 211-217.
- Thomas, D. R. (2003). A general inductive approach for qualitative data analysis.
- Tönnis, M. (2010). *Augmented reality: Einblicke in die erweiterte Realität*. Springer-Verlag.
- TUP-Redaktion. (2017). Augmented Reality in Logistik und Service. Abgerufen 27.05.2020 von <https://logistikknowhow.com/informationssysteme/augmented-reality-in-logistik-und-service/>.
- Ubimax. (2019). Ubimax rollt die Frontline Lösung auf RealWear HMT-1 Datenbrillen bei allen US-Vertrags-händlern eines Premium Autobauers aus, (Press release) 12.06.2019, Bremen. Abgerufen 26.05.2020 von <https://mk0ubimaxcomowq7qxky.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2020/04/Pressemitteilung-BMW-rollt-Ubimax-Frontline-aus.pdf>.
- Ulrey, B. L., & Fathallah, F. A. (2013a). Effect of a personal weight transfer device on muscle activities and joint flexions in the stooped posture. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 195-205.
- Ulrey, B. L., & Fathallah, F. A. (2013b). Subject-specific, whole-body models of the stooped posture with a personal weight transfer device. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 206-215
- UniteAr. (2020). Industrial Use Cases of Augmented Reality. Abgerufen 19.05.2020 von <https://www.unitear.com/blog/augmented-reality-use-cases>.
- Urquhart, D. (2019). Simplifying data-sharing. Cargo Airports & Airline Services (CAAS). Abgerufen 28.04.2020 von <https://www.caasint.com/issue-article/simplifying-data-sharing/>.
- Van Belle, J., Valckenaers, P., & Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art. *Omega*, 40(6), 827-846.
- Van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European journal of operational research*, 226(3), 367-385.

- van der Beek, A. J., Frings-Dresen, M. H., van Dijk, F. J., Kemper, H. C., & Meijman, T. F. (1993). Loading and unloading by lorry drivers and musculoskeletal complaints. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12(1-2), 13-23.
- van der Molen, H. F., Sluiter, J. K., & Frings-Dresen, M. H. (2009). The use of ergonomic measures and musculoskeletal complaints among carpenters and pavers in a 4.5-year follow-up study. *Ergonomics*, 52(8), 954-963.
- Volkswagen. (2020). Virtuelle Techniken. Volkswagen. Abgerufen 19.05.2020 von <https://www.volkswagen.com/de/group/research/virtual-technologies.html>.
- Vuzix. (2020). Vuzix M400, The Most Powerful Enterprise Smart Glasses on the Market. Abgerufen 19.05.2020 von <https://www.vuzix.com/products/m400-smart-glasses>.
- Wilke, H. J., Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T., & Claes, L. E. (1999). New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine*, 24(8), 755-762.
- Windisch, E. (2013). Marktabgrenzung von Luftfrachtleistungen: Analysen—Konzepte—Lösungsansätze. Springer-Verlag.
- Winkelhaus, S., Grosse, E.H., Bauer, M. (2020). Digitale Verzahnung in variantenreicher Fertigung - Komplexe Produktions- und Logistikprozesse mittels mobiler Apps harmonisieren. *Industrie 4.0 Management*, 36(3), 55-58. https://doi.org/10.30844/I40M_20-4_S55-58
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43.
- Wu, Y. (2008). Modelling containerisation of air cargo forwarding problems. *Production Planning and Control*, 19(1), 2-11.
- Wu, Y. (2010). A dual-response forwarding approach for containerizing air cargoes under uncertainty, based on stochastic mixed 0-1 programming. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 152-164.
- Wu, Y. (2011). Modelling of containerized air cargo forwarding problems under uncertainty. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1211-1226.
- Xu, D., Zhang, C. W., Miao, Z., & Cheung, R. K. (2014). A flow allocation strategy for routing over multiple flow classes with an application to air cargo terminals. *Computers & operations research*, 51, 1-10.
- Xue, J., & Lai, K. K. (1997). A study on cargo forwarding decisions. *Computers & industrial engineering*, 33(1-2), 63-66.
- Yan, S. Y., Chen, C. K., & Chen, C. H. (2006). Cargo terminal shift setting and manpower supplying in short-term operations. *Journal of Marine Science and Technology*, 14(2), 109-118.
- Yan, S., Chen, C. H., & Chen, C. K. (2006). Long-term manpower supply planning for air cargo terminals. *Journal of Air Transport Management*, 12(4), 175-181.
- Yan, S., Chen, C. H., & Chen, C. K. (2008). Short-term shift setting and manpower supplying under stochastic demands for air cargo terminals. *Transportation*, 35(3), 425-444.
- Yan, S., Chen, C. H., & Chen, M. (2008). Stochastic models for air cargo terminal manpower supply planning in long-term operations. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 24(3), 261-275.
- Yan, S., Shih, Y. L., & Shiao, F. Y. (2008). Optimal cargo container loading plans under stochastic demands for air express carriers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 555-575.

Kontakt:

Technische Universität Darmstadt

Heiko Diefenbach

Hochschulstraße 1

64289 Darmstadt

Tel. 06151 16-24486

E-Mail: diefenbach@pscm.tu-darmstadt.de

www.tu-darmstadt.de

Frankfurt University of Applied Sciences

Prof. Kai-Oliver Schocke

Nibelungenplatz 1

60318 Frankfurt am Main

Tel. 0 69 15 33-3870

E-Mail: schocke@fb3.fra-uas.de

www.frankfurt-university.de/verkehr

www.ReLUT.de