

FORSCHUNGSBERICHT

W.A. Günthner · J. Deuse ·
T. Rammelmeier · K. Weisner

Entwicklung und technische Integration
einer Bewertungsmethodik zur
Ermittlung von Mitarbeiterbelastungen
in Kommissioniersystemen (ErgoKom)

Forschungsbericht

zu dem IGF-Vorhaben

Entwicklung und technische Integration einer Bewertungsmethodik zur Ermittlung von Mitarbeiterbelastungen in Kommissioniersystemen (ErgoKom)

der Forschungsstellen

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml), Technische Universität München

und

Institut für Produktionssysteme (IPS), Professur für Arbeits- und Produktionssysteme (APS),
Technische Universität Dortmund

Das IGF-Vorhaben 440 ZN der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL)
wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Printed in Germany 2014

ISBN: 978-3-941702-41-7

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstr. 15

85748 Garching

Telefon: + 49.89.289.15921

Telefax: + 49.89.289.15922

www.fml.mw.tum.de

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der Realisierung einer gesunden Mitarbeiterbelastung bei Kommissioniertätigkeiten war es Ziel des Forschungsprojekts ErgoKom, eine kommissionierspezifische Methodik zur aufwandsarmen und fortlaufenden Ermittlung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung zu entwickeln sowie deren Durchführung durch den Einsatz technischer Hilfsmittel zu unterstützen.

Hierzu wurden zunächst Untersuchungen zum Auftreten physischer Belastungen in Kommissioniersystemen durchgeführt. Darauf aufbauend konnten sowohl belastungs- als auch kommissionierspezifische Einflussgrößen und deren Wirkzusammenhänge identifiziert sowie Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik abgeleitet werden. Anhand dieser erfolgte anschließend die Bewertung existierender Arbeitsanalyseverfahren zur Belastungsbeurteilung. Als Grundlage für die kommissionierspezifische Methodik wurde diesbezüglich das Multiple-Lasten-Tool ausgewählt, welches eine kombinierte und kumulative Bewertung unterschiedlicher Lastenhandhabungsvorgänge ermöglicht. Aufgrund der zentralen Bedeutung der Körperhaltung während der Lastenhandhabung wurden die Risikoklassen des Multiplen-Lasten-Tools zur Bewertung der Körperhaltung konkretisiert. Diese Arbeiten bildeten die Grundlage für die nachfolgende Spezifizierung der Wirkzusammenhänge zwischen der eingenommenen Körperhaltung und der vorliegenden Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe. Weiterhin wurden für die technische Integration der Methodik in betriebliche Abläufe verschiedene Technologien, welche die automatisierte Erfassung der erforderlichen Eingangsdaten sowie die Ausgabe belastungsrelevanter Informationen ermöglichen, untersucht und hinsichtlich deren Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kommissionierszenarien bewertet. Für ein häufig in der Praxis vorkommendes Kommissionierszenario, der konventionellen Kommissionierung nach dem Prinzip Person-zur-Ware, wurde ein Konzept zur automatisierten, fortlaufenden Belastungsermittlung erarbeitet und als Funktionsmuster umgesetzt. Das Konzept basiert auf dem Einsatz einer 3D-Kamera und Inertialsensorik zur Erfassung von Körperhaltungen. Weiterhin wird auf industrielle Sensoren, die Pick-by-Vision Technologie, und Daten aus einem Warehouse Management System zurückgegriffen.

Die entwickelte Methodik sowie deren technische Integration ermöglichen eine einfache Ermittlung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung und das zielgerichtete Ableiten ergonomischer Gestaltungsmaßnahmen. Somit stellen die Projektergebnisse insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen eine hilfreiche Unterstützung zur Realisierung einer gesunden Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung dar.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel	4
1.2.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	4
1.2.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	6
1.3	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	7
2	Stand der Technik und der Wissenschaft	13
2.1	Kommissionierung	13
2.1.1	Begriffsdefinition und Systemaufbau	13
2.1.2	Kommissionierprozess	16
2.1.3	Technologien zur Informationsbereitstellung	16
2.2	Grundlagen der Arbeitsbelastung	20
2.2.1	Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	20
2.2.2	Formen der Arbeitsbelastung	22
2.3	Verfahren zur Belastungsermittlung	28
2.3.1	Die Leitmerkmalmethoden	33
2.3.2	Das Multiple-Lasten-Tool	38
2.4	Kommissionier- und belastungsspezifische Einflussgrößen	50
3	Charakteristika manueller Kommissioniersysteme	57
3.1	Akteure der Kommissionierung	57
3.2	Manuelle Tätigkeiten in Kommissioniersystemen	58
3.3	Definition von Kommissionierszenarien	63
4	Methodik zur Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen	67
4.1	Untersuchung bestehender Arbeitsanalyseverfahren	67
4.2	Entwicklung einer kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik	74
4.3	Spezifizierung von Wirkzusammenhängen	84
5	Technische Integration der Methodik	91
5.1	Konzept der fortlaufenden Belastungsermittlung	91

5.2	Automatisierte Erfassung von Eingangsdaten	93
5.2.1	Zu erfassende Eingangsdaten	93
5.2.2	Technologien zur automatisierten Datenerfassung	95
5.2.3	Bewertung	108
5.3	Ausgabe belastungsrelevanter Informationen	111
5.3.1	Belastungsrelevante Informationen	111
5.3.2	Ausgabegeräte	114
5.3.3	Bewertung	118
6	Funktionsmuster	119
6.1	Lagerumgebung	119
6.2	Entwicklung des Funktionsmusters	121
7	Belastungsarme Gestaltung von Kommissioniersystemen	133
7.1	Organisatorische Arbeitsplatzgestaltung	135
7.2	Ergonomische Lagerfachbelegung	137
7.3	Integration technischer Hilfsmittel	139
8	Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick	141
8.1	Zusammenfassung	141
8.2	Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten	143
8.3	Ausblick	145
	Literaturverzeichnis	149
	Abbildungsverzeichnis	169
	Tabellenverzeichnis	173
	Abkürzungsverzeichnis	175

1 Einleitung

Aufgrund der demographischen Entwicklung in Deutschland stehen arbeitsbedingte körperliche Belastungen und daraus resultierende gesundheitliche Gefährdungen der Mitarbeiter zunehmend im Fokus der Wissenschaft und Industrie [Ram-2014]. Zentraler Aspekt des Forschungsprojekts ErgoKom ist in diesem Kontext die Entwicklung und technische Integration einer Bewertungsmethodik zur Ermittlung von Mitarbeiterbelastungen in Kommissioniersystemen.

Gegenstand des nachfolgenden Kapitels ist zunächst die Darlegung der aktuellen wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Problemstellungen sowie des daraus resultierenden Handlungsbedarfs und des angestrebten Forschungsziels. Abschließend wird der zur Erreichung der Forschungsergebnisse verfolgte Lösungsweg anhand der bearbeiteten Arbeitspakete beschrieben und erläutert.

1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Produzierende Unternehmen und Dienstleister verschiedener Branchen sind aktuell mit einer Vielzahl unterschiedlicher Herausforderungen konfrontiert. Infolge kürzer werdender Produktlebenszyklen, zunehmend individualisierter Kundenwünsche und der daraus resultierenden steigenden Variantenvielfalt der Produkte, streben Unternehmen fortwährend nach Rationalisierungen und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in ihren Produktions- und Logistikprozessen [Hem-2009]. Zur Wahrung ihrer Wettbewerbsfähigkeit sind Unternehmen gezwungen sowohl wirtschaftlich als auch flexibel und wandlungsfähig zu produzieren [Wie-2009]. Die Bedeutung der Logistik als eine an den Schnittstellen agierende Disziplin zur Unterstützung der wertschöpfenden Prozesse nimmt daher stetig zu. Dabei ist die flexible Anpassung der Kapazitäten sowie der Logistiksysteme und -prozesse an schwankende Auftragsvolumina bei gleichbleibender Qualität eine der zentralen aktuellen Herausforderungen des Logistikmanagements [Str-2005].

Der Kommissionierung, als eine der wesentlichen Funktionen der operativen Logistik, kommt hinsichtlich des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses eine beson-

dere Bedeutung zu. Da die Kommissionierung das letzte Glied der Wertschöpfungskette darstellt, wirken sich Störungen direkt auf die Zufriedenheit interner sowie externer Kunden aus [Rei-2009], [Wal-2011], [Gol-2008]. Saisonale Schwankungen sowie eine inhomogene Artikel- und Auftragsstruktur erfordern eine erhöhte Flexibilität der Kommissionierung bzgl. Mengenleistung und Artikelstruktur. Die Entwicklung kundenanforderungsgerechter Kommissioniersysteme ist somit ein bedeutender Wettbewerbsvorteil produzierender Unternehmen [Hom-2011].

Trotz des zunehmenden Trends der Automatisierung einzelner Teilprozesse der Logistik, sind Kommissioniersysteme nach wie vor durch einen hohen Anteil manueller Tätigkeiten geprägt. So ist der Mensch ein wesentlicher operativer Leistungsträger in der Distributionslogistik [Sti-2012]. Gründe hierfür sind insbesondere die hohen sensorischen Fähigkeiten der Mitarbeiter als auch deren hohe Einsatzflexibilität [Gol-2006]. Während der Mitarbeiter in der Lage ist, auf verschiedene, unterschiedlich ausgeprägte Eigenschaften der zu handhabende Waren, wie bspw. variierende Formen und Abmessungen, Zerbrechlichkeit, Lageabweichungen und Oberflächen, zu reagieren, benötigen (teil-)automatisierte Systeme diesbezüglich aufwendige (Spezial-)Greifer (vgl. [Lol-2003], [Jün-2000], [Röh-2001], [Gol-2006]).

Ein weiterer Vorteil des Menschen ist seine Reagibilität und Einsatzflexibilität [Lün-2004]. Aufgrund seines Problemlösungs- und Kommunikationsverhaltens sowie dem ganzheitlichen Prozessverständnis und Erfahrungswissen können auftretende Störungen und Veränderungen zumeist mit geringem zeitlichen und wirtschaftlichem Aufwand bewältigt werden [Rei-2009]. Darüber hinaus können durch den Einsatz von Menschen unterschiedliche Leistungsbedarfe realisiert werden, da dieser flexibel auf variierende Mengenleistungen, saisonale Engpässe oder veränderte Artikelstrukturen reagieren kann [Jün-2000]. Trotz der hohen Lohnkosten, sind Kommissioniersysteme mit einem hohen manuellen Anteil aufgrund der genannten Vorteile zumeist effizienter und wirtschaftlicher als hochtechnisierte und somit unflexible Systeme. Um die Effizienz und die Qualität zu erhöhen, werden die Mitarbeiter jedoch während ihrer Kommissionieraufgaben durch technische Hilfsmittel, wie zum Beispiel Barcode-Scanner, Sprachsteuerung oder mobile Datenerfassungsgeräte, unterstützt [Mar-1994], [Lol-2003].

Die Handhabungsvorgänge der Kommissionierung sind zumeist geprägt durch hohe Wiederholhäufigkeiten je Arbeitsschicht, hohe Lastgewichte sowie ergonomisch ungünstige Körperhaltungen aufgrund oftmals zu hoher oder zu tiefer Entnahme- und

Abgabestellen. Darüber hinaus führen eine erhöhte Pickleistung sowie lange Wegstrecken unter Last zu einer gestiegenen Mitarbeiterbelastung [Gol-2008].

Die Intensivierungen der Aufgaben in der Kommissionierung in Kombination mit der kontinuierlichen Eliminierung nicht wertschöpfender Tätigkeiten sowie der Trennung von Produktions- und Logistiktätigkeiten führten zu einer steigenden physischen Mitarbeiterbelastung. So bedingt die dauerhafte Ausführung manueller Kommissioniertätigkeiten eine zunehmende Belastung der Gelenke und Wirbelsäule, insbesondere der Lendenwirbelsäule, und resultiert in degenerativen Veränderungen des Muskel-Skelett-Systems [Eil-2005]. Folgen der dargestellten Wirbelsäulenbelastung für die Mitarbeiter sind u. a. Schmerzen, Erkrankungen, Schädigungen sowie eine temporäre oder dauernde Arbeitsunfähigkeit [Gol-2008], [Jäg-2001a]. Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems sind eine der Hauptursachen für das Ausscheiden der Beschäftigten aus dem Erwerbsleben (Arbeitsunfähigkeit) und demnach für eine sinkende Produktivität in den Unternehmen verantwortlich [BAu-2007a], [Bok-2006]. Aus diesem Grund wurden die anerkannten Berufskrankheiten (BK) um die BK-2108 erweitert, welche die „bandscheibenbedingte Erkrankung der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufheben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“ [BMA-1997] umfasst. In diesem Kontext wurden im europäischen Raum in der Richtlinie 90/269/EWG „Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der manuellen Handhabung von Lasten, die für die Arbeitnehmer insbesondere eine Gefährdung der Lendenwirbelsäule mit sich bringt“ definiert [EG-1990]. Die Umsetzung dieser erfolgt durch die Lastenhandhabungsverordnung und durch das Arbeitsschutzgesetz [BMA-2006a], [BMA-2006b]. Dies beinhaltet die Verpflichtung des Arbeitgebers sowohl durch eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung als auch organisatorische Maßnahmen die Gesundheitsgefährdung für den Arbeitnehmer möglichst gering zu halten [Gol-2008].

Neben der zwingenden Beachtung gesetzlicher Verpflichtungen, hat eine zu hohe physische Mitarbeiterbelastung maßgebliche wirtschaftliche Auswirkungen, welche produzierende Unternehmen und Dienstleister dazu zwingt, die ergonomische Gestaltung ihrer Arbeitssysteme zu überprüfen. Aktuell betragen die Kosten krankheitsbedingter Fehlzeiten in deutschen Unternehmen etwa 30 Milliarden Euro, wobei ca. 50% auf Muskel-Skelett-Erkrankungen zurückzuführen sind [Bop-2007]. Wirtschaftliche Folgen von erhöhten Fehlzeiten und Arbeitsunfähigkeiten sind neben einer generellen

Störung des Leistungserstellungsprozesses Qualitätsmängel und eine sinkende Produktivität [DIN 1005a].

1.2 Forschungsziel

Wie in Kapitel 1.1 dargestellt, ist die Effizienz und Effektivität der Kommissionierung stark abhängig von den Fähigkeiten und Fertigkeiten der eingesetzten Mitarbeiter. Neben der Auswirkung auf die Produktivität, welche sich in der benötigten Zeit für die Ausführung der einzelnen Prozessschritte widerspiegelt, sowie der Kommissionierqualität, die sich wiederum aus der Anzahl und Art der Pickfehler je Auftrag ergibt, führt die Vernachlässigung menschlicher Faktoren zu einem erhöhten Krankheits- und Verletzungsrisiko. Aus diesem Grund sind trotz steigender Anforderungen im Umfeld einer schlanken Logistik und den einhergehenden Randbedingungen im Zuge der fortlaufenden Optimierung von Kommissioniersystemen die Realisierung ergonomischer Arbeitsbedingungen und somit die Umsetzung einer gesunden Mitarbeiterbelastung von wesentlicher Bedeutung.

Zentrales Ziel des Forschungsprojekts ErgoKom ist in diesem Zusammenhang die methodische und technische Unterstützung bei der Reduktion des gesundheitlichen Risikos für die in der Kommissionierung tätigen Mitarbeiter auf ein Minimum. Dies beinhaltet die Vermeidung von sowohl Überbeanspruchung als auch Unterforderung der Mitarbeiter in der Kommissionierung, sodass deren Erwerbsfähigkeit langfristig erhalten bleibt.

1.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Die Bewertung möglicher Risiken für das Muskel-Skelett-System infolge von Lastenhandhabungen ist aufgrund der Vielzahl und Komplexität auftretender Risikofaktoren zumeist durch einen hohen Zeit- und Analyseaufwand gekennzeichnet. Neben der einzunehmenden Körperhaltung und den ausgeführten Bewegungen sind die auf den Menschen wirkenden Kräfte sowie das tatsächlich zu handhabende Lastgewicht entscheidende Faktoren bei der Bewertung des gesundheitlichen Mitarbeiterrisikos in der Kommissionierung [Eil-2005]. Darüber hinaus ermöglicht erst die genaue Kenntnis der Belastungshöhe und der zugehörigen Belastungsursachen eine Ableitung belastungsreduzierender Arbeitsgestaltungsmaßnahmen und die Berücksichtigung ergonomischer Gestaltungsaspekte während der Planung von Kommissioniersystemen.

Zwar existiert in der wissenschaftlichen Literatur und industriellen Praxis eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeitsanalyseverfahren zur Bewertung der körperlichen Belastung, jedoch sind diese nicht an die kommissionierspezifischen Randbedingungen angepasst (vgl. Abschnitt 2.3). Aus diesem Grund ist ein wesentliches angestrebtes Ergebnis des Forschungsprojekts die Entwicklung einer aufwandsarmen Bewertungsmethodik (Papier-Bleistift-Methode) zur Bewertung der körperlichen Belastung in der Kommissionierung auf Basis bestehender arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse.

Für eine aufwandsarme Erfassung der benötigten Eingangsdaten galt es die entwickelte Bewertungsmethodik durch technische Hilfsmittel entsprechend zu unterstützen, sodass auftretende Belastungen summarisch abgebildet werden können und eine erhöhte Transparenz bzgl. variierender Belastungen erreicht wird. Im Zusammenhang mit der technischen Integration der Bewertungsmethodik wurden verschiedene Technologien wie Motion Capturing, industrielle Sensoren und beleglose Kommissioniersysteme hinsichtlich ihrer Eignung zur automatisierten Erfassung der Eingangsdaten und Ergebnisvisualisierung untersucht. Exemplarisch war anschließend ein ausgewähltes Konzept für die technische Integration, das eine breite Anwendbarkeit in der Praxis besitzt, als Funktionsmuster umzusetzen.

Um zudem frühzeitig einer potenziellen Überbelastung des Mitarbeiters entgegenzuwirken, wurden abschließend verschiedene Handlungsmöglichkeiten und Gestaltungsmaßnahmen untersucht. Diese umfassen bspw. eine belastungsorientierte Lagerplatzbelegung oder die Möglichkeit der Auftragsklassifizierung und der darauf basierenden belastungsorientierten Zuweisung zukünftiger Kommissionieraufträge (u. a. Durchführung von Jobrotation).

Die vielfältigen, aus wissenschaftlich-technischer Sicht angestrebten Forschungsergebnisse sind nachfolgend zusammengefasst:

- Entwicklung einer aufwandsarmen Methodik zur Erfassung und Bewertung der tatsächlich vorliegenden Mitarbeiterbelastung in Kommissioniersystemen
- Erhöhung der Akzeptanz von Arbeitsanalysen bei kleinen und mittelständischen Unternehmen durch die Entwicklung der aufwandsarmen Bewertungsmethodik
- Steigerung der Transparenz bzgl. der Belastungssituation und -verläufe der Mitarbeiter durch technische Integration und Visualisierung zur Abschätzung einer langfristigen Schädigung der Mitarbeiter

- Untersuchung des Einsatzpotenzials industrieller Sensoren und Motion Capturing zur fortlaufenden Erfassung und Visualisierung der Mitarbeiterbelastung
- Identifikation von Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Arbeitsplaner zur Gewährleistung einer gesunden Mitarbeiterbelastung

1.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Aktuelle Arbeitsanalyseverfahren zur Erfassung und Bewertung der körperlichen Belastung sind zumeist für den Einsatz in der Montage ausgelegt [Wal-2011]. Die in der Kommissionierung auftretenden Belastungen des Muskel-Skelett-Systems und insbesondere der Wirbelsäule unterscheiden sich jedoch maßgeblich von der in der Montage auftretenden Belastung des Handgelenks [Ste-2007]. Existierende Bewertungsverfahren sind derzeit nicht vollständig an die Anforderungen der Kommissionierung, wie z. B. die Berücksichtigung eines breiten Spektrums an umzusetzenden Lastgewichten, variierenden Entnahmehöhen und -tiefen oder heterogenen Arbeitsabläufen, angepasst oder zu aufwendig in ihrer Durchführung [Gol-2008]. Deshalb besteht der innovative Anspruch des Forschungsprojekts darin, dem Anwender eine auf die Belastungsermittlung in der Kommissionierung angepasste und zunächst manuell durchführbare Methode zur Verfügung zu stellen. Mittels der zu entwickelnden Methode soll eine systematische, ganzheitliche und aufwandsarme Erhebung sowie Bewertung der Belastung ermöglicht werden.

Die Durchführung der Belastungsbeurteilung erfolgt heute üblicherweise anhand von stichprobenartigen Beobachtungen. Vor dem Hintergrund heterogener Arbeitsabläufe in der Kommissionierung wird im Forschungsprojekt ErgoKom zusätzlich der Ansatz verfolgt, die Belastungsermittlung zukünftig fortlaufend durchzuführen. Langfristig ist hierbei auch die Erfassung einer Erwerbslebensbelastung der Mitarbeiter vorstellbar, indem eine fortlaufende Dokumentation realisiert wird. Hierzu wurde ein Konzept zur automatisierten Durchführung der Belastungsermittlung erarbeitet. Das Konzept baut auf existierenden Technologien, wie z. B. Motion Capturing, industrieller Sensortechnik und beleglosen Kommissioniersystemen auf, die heute in verschiedenen industriellen Anwendungsfeldern zum Einsatz kommen. Zu diesem Zweck wurden die genannten Technologien hinsichtlich ihrer Eignung zur automatisierten Erfassung der für die Belastungsermittlung erforderlichen Eingangsdaten und der Visualisierung von

Belastungsinformationen untersucht. Hierdurch wird ein Anreiz gegeben, existierende Technologien im vorliegenden Anwendungsfeld der fortlaufenden Belastungsermittlung zu etablieren. Somit besteht ein weiterer innovativer Beitrag des Forschungsvorhabens in einem neuartigen Ansatz zur fortlaufenden, automatisierten Belastungsermittlung und dem hierin inbegriffenen Einsatz von existierenden Technologien.

1.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die Projektbearbeitung erfolgte anhand eines Projektplans mit zehn aufeinander aufbauenden Arbeitspaketen (AP) durch den Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fm) der Technischen Universität München und der Professur für Arbeits- und Produktionssysteme (APS) des Instituts für Produktionssysteme (IPS) der Technischen Universität Dortmund. Einen Überblick über die Vorgehensweise und die inhaltlichen Zusammenhänge zwischen den Arbeitspaketen gibt Abbildung 1-1.

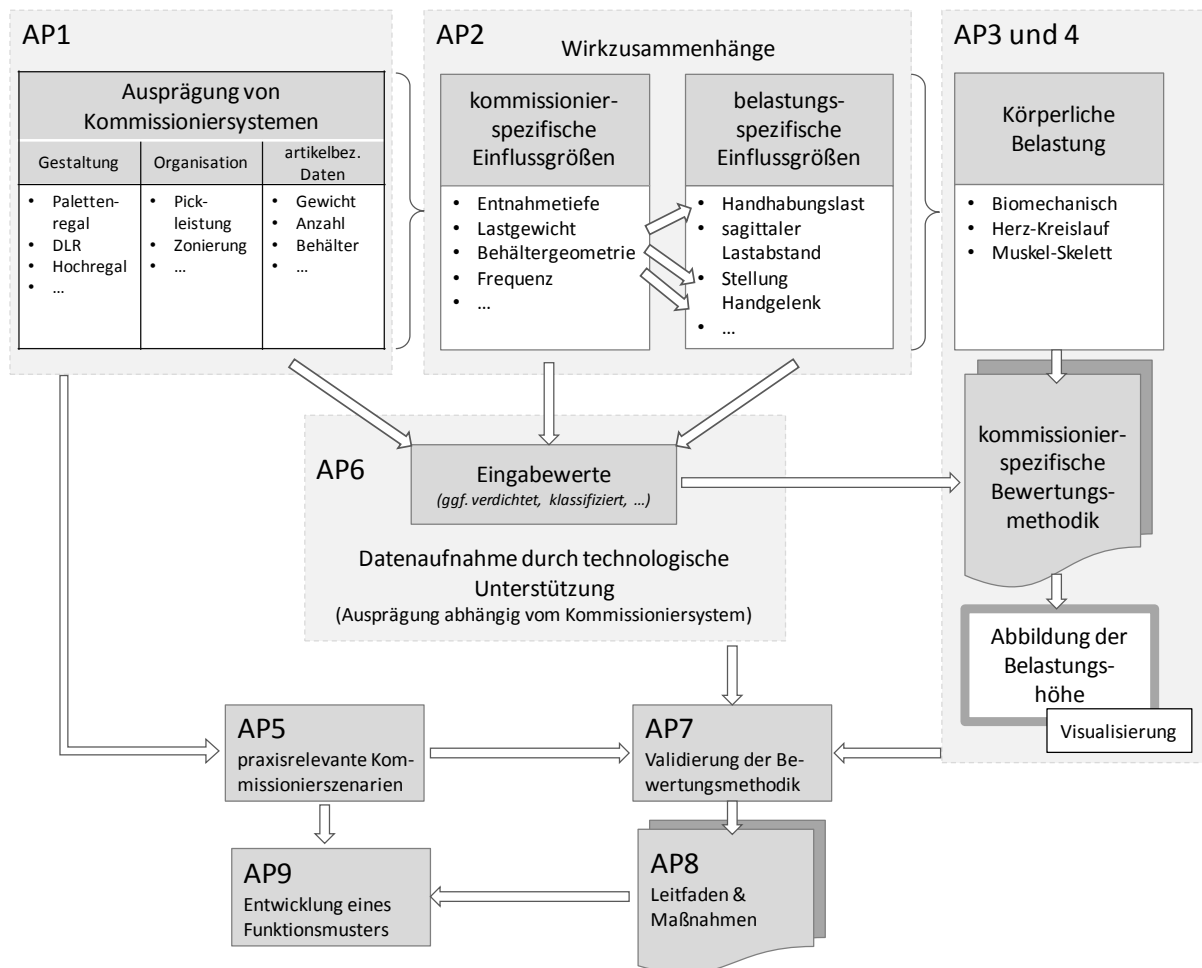


Abbildung 1-1: Inhaltliche Verknüpfung der Arbeitspakete des Forschungsprojekts ErgoKom

Nachfolgend werden die Inhalte der einzelnen Arbeitspakete beschrieben und jeweils Bezug zum Aufbau des vorliegenden Berichts genommen. Darüber hinaus wird für jedes Arbeitspaket die Arbeitsaufteilung zwischen den Forschungsstellen angegeben, wobei die jeweils für das Arbeitspaket verantwortliche Forschungsstelle zuerst genannt ist.

AP 1: Analyse der manuellen Tätigkeiten in Kommissioniersystemen (fml/APS)

Inhalt des ersten Arbeitspakets war die Ist-Analyse von Arbeitsabläufen in insgesamt 13 Kommissioniersystemen beteiligter Unternehmen sowie in der Literatur. Hierzu erfolgte u. a. im Rahmen von Prozessanalysen und Mitarbeitergesprächen die Aufnahme, Dokumentation und Klassifizierung von verschiedenen Ausprägungen manueller Kommissioniersysteme unter dem Aspekt der physischen Mitarbeiterbelastung.

AP 2: Identifikation der Wirkzusammenhänge zwischen den kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen (APS/fml)

Durch die Einordnung der in AP 1 untersuchten Kommissioniersysteme in Kommissioniersystemklassen wurden in AP 2 kommissionierspezifische Einflussgrößen abgeleitet. Weiterhin erfolgte eine Zusammenstellung belastungsspezifischer Einflussgrößen, welche die in Kommissioniersystemen auftretende körperliche Belastung beschreiben. Der Fokus hierbei lag auf der Belastung durch manuelle Lastenhandlungsvorgänge und der dabei eingenommenen Körperhaltung. Abschließend wurden Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen hergestellt, um den Einfluss der Gestaltung von Kommissioniersystemen auf die Belastung zu beschreiben.

AP 3: Untersuchung und Bewertung bestehender arbeitswissenschaftlicher Verfahren hinsichtlich kommissionierspezifischer Prozesse (APS)

Die im Rahmen von AP 4 entwickelte kommissionierspezifische Methodik basiert auf der detaillierten Analyse wissenschaftlich anerkannter Arbeitsanalyseverfahren zur Erfassung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung. Zu diesem Zweck wurden zunächst tätigkeits-, personen- und anwendungsbezogene Anforderungskriterien definiert, anhand derer nachfolgend die verschiedenen arbeitswissenschaftlichen Verfahren bewertet und hinsichtlich ihrer Eignung zur Anwendung in der Kommissionierung untersucht wurden. Ergebnis des Arbeitspakets war die Auswahl eines Verfahrens als Grundlage für die zu entwickelnde Methodik.

AP 4: Entwicklung einer kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik (APS)

Gegenstand des AP 4 war es, auf Basis der in AP 2 identifizierten Einflussgrößen und Wirkzusammenhänge sowie den in AP 3 gewonnenen Erkenntnissen eine Bewertungsmethodik für die Belastungsermittlung in der Kommissionierung zu entwickeln. Hierbei erfolgte die Anpassung und Erweiterung eines bestehenden arbeitswissenschaftlichen Verfahrens.

AP 5: Auswahl praxisrelevanter Kommissionierszenarien (fml/APS)

Die Recherchen zu Kommissioniersystemen in der Literatur sowie deren Untersuchung in Unternehmen im Rahmen von AP 1 zeigte, dass eine Vielzahl verschiedener Ausprägungen von Kommissioniersystemen existiert. Daher erfolgte die Definition von praxisrelevanten Kommissionierszenarien, die der weiteren Forschungsarbeit im Rahmen des Projekts zugrunde gelegt wurden. Dabei wurde berücksichtigt, dass die ausgewählten Kommissionierszenarien sowohl unterschiedliche Belastungsarten als auch eine Vielzahl von Kommissioniersystemen in der Praxis, insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), repräsentieren.

AP 6: Auswahl und Bewertung von Technologien zur Datenerfassung relevanter Eingangsgrößen sowie Belastungsvisualisierung (fml)

Um die in AP 4 entwickelte Bewertungsmethodik in der Praxis fortlaufend und aufwandsarm anwenden zu können, ist diese in geeigneter Weise in betriebliche Abläufe zu integrieren. Hierzu wurden technische Konzepte zur automatisierten Erfassung der erforderlichen Eingangsdaten und zur Visualisierung von belastungsrelevanten Informationen untersucht. Zudem wurden diese hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in den in AP 5 festgelegten Kommissionierszenarien bewertet.

AP 7: Validierung der Bewertungsmethodik (APS/fml)

In enger Zusammenarbeit mit Experten aus Arbeitsschutz und Arbeitssystemgestaltung wurde die in AP 4 entwickelte Bewertungsmethodik, insbesondere das entwickelte Verfahren zur Einstufung von Körperhaltungen, exemplarisch angewendet und hinsichtlich der Plausibilität der Ergebnisse diskutiert. Darüber hinaus wurden die in AP 2 aufgestellten Wirkzusammenhänge spezifiziert.

AP 8: Ausarbeitung eines Leitfadens zur Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen (APS/fml)

Die in AP 4 entwickelte Bewertungsmethodik lässt Rückschlüsse auf die Ursachen einer hohen Mitarbeiterbelastung zu und ermöglicht es dem Anwender, zielgerichtet Maßnahmen zur Belastungsreduktion abzuleiten. Gegenstand des AP 8 war es, diese Maßnahmen in Form von Handlungsempfehlungen zu dokumentieren, sodass diese bereits in der Planungsphase prospektiv zur ergonomischen Gestaltung von Kommissioniersystemen angewandt werden können.

AP 9: Entwicklung eines Funktionsmusters (fml)

Zum Nachweis der technischen Machbarkeit der fortlaufenden, automatisierten Belastungsermittlung erfolgte basierend auf den in AP 6 untersuchten Technologien die exemplarische Umsetzung in Form eines Funktionsmusters. Dabei wurde ein häufig in der Praxis auftretendes Kommissionierszenario zugrunde gelegt, um die Übertragbarkeit des Konzepts auf eine große Anzahl kleiner und mittelständischer Unternehmen zu gewährleisten.

AP 10: Dokumentation und Veröffentlichung der (Zwischen-)Ergebnisse (fml/APS)

Zur weiteren Nutzung der während des Projekts erarbeiteten Forschungsergebnisse wurden zahlreiche Transfermaßnahmen durchgeführt. So werden die Ergebnisse u. a. in Form des vorliegenden Forschungsberichts dokumentiert. Die Gliederung dieses Forschungsberichts ist an die Arbeitspakete angelehnt.

Im Anschluss an das einleitende erste Kapitel erfolgt in Kapitel 2 eine Einführung in den Stand der Technik und Wissenschaft sowie die Klärung wichtiger Begrifflichkeiten. Das Vorgehen und die Ergebnisse der Analyse von manuellen Tätigkeiten (AP 1) sowie die Auswahl praxisrelevanter Kommissionierszenarien (AP 5) sind in Kapitel 3 zusammengefasst. Kapitel 4 beinhaltet die Ergebnisse, die bei der Entwicklung und Validierung der kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik sowie durch die Identifikation von Wirkzusammenhängen zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen erarbeitet wurden, und umfasst somit die Inhalte von AP 2, AP 3, AP 4 und AP 7. Inhalt von Kapitel 5 ist die Auswahl und Bewertung von Technologien zur Datenerfassung relevanter Eingangsgrößen sowie der Belastungsvisualisierung (AP 6). Die Ergebnisse von AP 9 (Entwicklung eines Funktionsmusters)

sind in Kapitel 6 dargestellt. Kapitel 7 enthält Maßnahmen zur Belastungsreduktion und entspricht den in AP 8 erarbeiteten Handlungsempfehlungen zur Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen. Im abschließenden Kapitel 8 werden die Ergebnisse den Zielen des Forschungsvorhabens gegenübergestellt und der technische und wirtschaftliche Nutzen aufgezeigt.

Die Verantwortung für Kapitel 3, 5 und 6 sowie Abschnitt 2.1 liegt beim Lehrstuhl fml. Für die Kapitel 4 und 7 sowie die Abschnitte 2.2 und 2.3 ist die Professur APS verantwortlich. Die Kapitel 1 und 8 sowie der Abschnitt 2.4 wurden von beiden Forschungsstellen gemeinsam verfasst.

2 Stand der Technik und der Wissenschaft

Das Kapitel 2 umfasst Begriffsdefinitionen und Grundlagen mit Relevanz für die Entwicklung und technische Integration einer Methodik zur Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen. Im Anschluss an die Grundlagen zu den Themengebieten Kommissionierung sowie Arbeitsbelastung erfolgt ein Überblick über existierende Verfahren zur Belastungsbeurteilung. Darüber hinaus werden kommissionier- und belastungsspezifische Einflussgrößen sowie die zwischen diesen Parametern bestehenden Wirkzusammenhänge beschrieben.

2.1 Kommissionierung

2.1.1 Begriffsdefinition und Systemaufbau

Das Ziel der Kommissionierung ist nach der Definition des VDI (Verein Deutscher Ingenieure), „aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen“ [VDI 3590]. Ein Kommissioniersystem besteht aus den drei folgenden Teilsystemen [VDI 3590]:

- Materialflusssystem
- Organisationssystem
- Informationssystem

Für jedes der drei Teilsysteme existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Realisierungsmöglichkeiten. Im Folgenden werden ausgewählte Realisierungsformen beschrieben, die im Hinblick auf die Ermittlung der Mitarbeiterbelastung und deren technischer Integration relevant sind.

Materialflusssystem

Die grundlegenden Funktionen des Materialflusssystems sind die Bereitstellung, die Entnahme sowie die Abgabe von Gütern [Hom-2011].

Hinsichtlich der Bereitstellung wird zwischen dynamischer und statischer Bereitstellung unterschieden. Bei der dynamischen Bereitstellung werden die Artikel zum Kommissionierer bewegt (Ware-zur-Person), bei der statischen Bereitstellung erfolgt eine

Bewegung des Kommissionierers zum Lagerort (Person-zur-Ware). Die Fortbewegung des Kommissionierers ist außerdem dadurch charakterisiert, ob eine ein-, zwei- oder dreidimensionale (3D) Bewegung vorliegt, d. h. ob ein Wechsel von Gassen bzw. ein Kommissionieren über mehrere Lagerebenen stattfindet. Entscheidend für die Art der Entnahme ist der Automatisierungsgrad. Die Artikel können sowohl manuell durch den Menschen, als auch mechanisch unterstützt bzw. automatisiert entnommen werden. [VDI 3590]

Da im Rahmen des Forschungsvorhabens die Mitarbeiterbelastung bei manuellen Tätigkeiten im Vordergrund steht, werden ausschließlich Kommissioniersysteme betrachtet, bei denen die Entnahme manuell erfolgt.

Organisationssystem

Die Hauptaufgabe des Organisationssystems ist die Ordnung der Prozesse des Material- und Informationsflusses mit dem Ziel, sowohl die Kommissionierleistung als auch die Kommissionierqualität zu maximieren [Hom-2011]. Das Organisationssystem lässt sich weiterhin in Aufbauorganisation, Ablauforganisation und Betriebsorganisation einteilen [VDI 3590].

Hinsichtlich der Aufbauorganisation wird unterschieden, ob der Kommissionierprozess einstufig erfolgt oder eine Zonenaufteilung vorliegt. Die Definition von Zonen kann verschiedene Gründe, wie z. B. den Einsatz verschiedener technischer Systeme in den Zonen, die Einteilung in organisatorisch abgegrenzte Arbeitsbereiche oder eine Zonierung auf Basis einer ABC-Analyse, haben. [Hom-2011]

Durch die Ablauforganisation wird vorgegeben, wie die operativen Prozesse des Sammelns, der Entnahme sowie der Abgabe gestaltet sind. Das Sammeln der zu einem Auftrag gehörenden Artikel kann nacheinander oder gleichzeitig erfolgen. Dabei kann ein Kommissionierer jeweils einen Auftrag (auftragsorientiert) oder mehrere Aufträge gleichzeitig (artikelorientiert) bearbeiten. Durch die Kombination dieser Möglichkeiten wird festgelegt, ob die Zusammenstellung eines Auftrages einstufig oder mehrstufig erfolgt. [VDI 3590]

Informationssystem

Unter dem Begriff des Informationssystems sind nach der VDI-Richtlinie 3590 alle Informationselemente zusammengefasst, die zur Durchführung der Kommissionieraufgabe benötigt werden [VDI 3590]. Hierzu zählen der Auftrag, die Kommissionierliste

bzw. -datei sowie die jeweilige Position. Folgende grundlegende informatorische Prozesse treten bei jedem Kommissioniervorgang auf [VDI 3590]:

- Auftragserfassung
- Auftragsaufbereitung
- Weitergabe
- Quittierung

Die Gestaltung dieser informatorischen Prozesse wird maßgeblich durch den Einsatz von elektronischen Datenverarbeitungssystemen (EDV-Systemen) charakterisiert. Heutzutage spielt dabei vor allem der Einsatz von Warehouse Management Systemen (WMS) eine entscheidende Rolle, die die Abbildung, Steuerung und Optimierung des kompletten innerbetrieblichen Material- und Informationsflusses ermöglichen [Wol-2012]. Moderne WMS sind modular aufgebaut und umfassen neben den Kernfunktionen, z. B. Auftragsbearbeitung, Auftragsfreigabe oder Inventur, auch Zusatzfunktionen und Erweiterungsmodule zur Anbindung von beleglosen Kommissioniersystemen, wie z. B. Pick-by-Voice [Wol-2012].

Im Zusammenhang mit der technischen Integration der Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen sind von den vorstehend genannten informatorischen Prozessen für das Forschungsvorhaben vor allem die Weitergabe und die Quittierung relevant. Die Weitergabe des Auftrages an den Kommissionierer kann prinzipiell beleglos oder beleggebunden erfolgen [VDI 3590]. Bei der Kommissionierung mit Beleg werden die notwendigen Informationen auf einem Papierbogen in Form einer sog. Pick- oder Kommissionierliste bereitgestellt [Hom-2011]. Neben der konventionellen Kommissionierliste in Papierform werden heute verstärkt beleglose Kommissioniersysteme eingesetzt. Bei beleglosen Kommissioniersystemen erhält der Kommissionierer die relevanten Informationen entweder akustisch oder über optische Anzeigen [Gud-2010]. Beispiele für beleglose Kommissioniersysteme sind Pick-by-Voice (Sprachführung), Pick-by-Light (Führung durch Lichtsignale), Pick-by-Vision (Informationsdarstellung in einer Datenbrille) und mobile Datenterminals (vgl. z. B. [Hom-2011], [Gün-2012a]). Eine ausführliche Beschreibung der vorstehend genannten Technologien zur Informationsbereitstellung erfolgt in Abschnitt 2.1.3.

2.1.2 Kommissionierprozess

Kommissionierprozesse können allgemein in die folgenden Teilprozesse untergliedert werden [Gud-2010]:

- Bereitstellung von Ware in Bereitstellereinheiten
- Fortbewegung des Kommissionierers zum Bereitstellplatz
- Entnahme der geforderten Warenmenge aus den Bereitstellereinheiten
- Abgabe in Sammelbehälter, auf ein Fördersystem oder ein Transportgerät
- Zusammenführen der Sammelbehälter oder Waren an einem Sammelplatz
- Beschickung der Bereitstellplätze mit Nachschub

Aus den räumlichen und zeitlichen Kombinationsmöglichkeiten der Warenbereitstellung, der Entnahme und der Abgabe sowie den technischen Lösungsmöglichkeiten für die Bereitstellung, die Fortbewegung, das Greifen, die Abgabe, das Abfördern und die Informationsbereitstellung resultieren unterschiedliche Möglichkeiten, Kommissionierprozesse zu gestalten [Gud-2010]. Da die Untersuchung von unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit der physischen Mitarbeiterbelastung ein wesentlicher Untersuchungsgegenstand des Forschungsvorhabens ist, erfolgt eine ausführliche Betrachtung von Kommissionierprozessen in Abschnitt 3.2.

2.1.3 Technologien zur Informationsbereitstellung

Wie bereits in den Abschnitten 1.2.1 und 1.2.2 beschrieben, ist die Umsetzung einer automatisierten, fortlaufenden Belastungsermittlung ein zentraler Untersuchungsgegenstand des Forschungsvorhabens. Hierzu erfolgt in Kapitel 5 die Untersuchung unterschiedlicher technischer Ansätze zu deren aufwandsarmer Durchführung. Dabei werden auch verschiedene Technologien zur Informationsbereitstellung in der Kommissionierung hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in dem neuen Anwendungsfeld der Belastungsermittlung und -visualisierung bewertet. Deshalb werden nachfolgend die in Abschnitt 2.1.1 genannten Technologien zur Informationsbereitstellung systematisiert und deren Aufbau und Funktionsweise erläutert. Nach der VDI-Richtlinie 3590 sind hinsichtlich der Informationsbereitstellung beleggebundene und beleglose Kommissioniersysteme zu unterscheiden [VDI 3590], die sich entsprechend Tabelle 2-1 in weitere Arten der Informationsbereitstellung unterteilen lassen.

Tabelle 2-1: Arten der Informationsbereitstellung in der Kommissionierung (in Anlehnung an [Gün-2013])

Informationsbereitstellung		
beleggebunden	beleglos	
	mobil	stationär
<ul style="list-style-type: none"> • Kommissionierliste • Lieferschein • Etikett 	<ul style="list-style-type: none"> • Mobile Datenterminals • Terminal am Fördermittel • Pick-by-Voice • Pick-by-Vision 	<ul style="list-style-type: none"> • Stationäre Monitore • Pick-by-Light

Kommissionierliste

Die Auftragsliste aus Papier ist eine weit verbreitete Art der Informationsbereitstellung. Der Einsatz von Kommissionierlisten bietet eine hohe Flexibilität und die Abläufe sind einfach zu erlernen. Eine Kommissionierliste enthält alle relevanten Daten eines Kommissionierauftrags, d. h. den Lagerplatz und/oder die Artikelbezeichnung bzw. Artikelnummer sowie die zu entnehmende Stückzahl. Die Quittierung der einzelnen Positionen erfolgt oft durch Abhaken mit einem Stift. Nach Abschluss eines Auftrags kann dieser im WMS durch manuelle Eingabe in ein EDV-System quittiert werden. Um diesen Schritt zu vereinfachen, wird in einigen Fällen zusätzlich ein Barcode auf der Liste abgedruckt. Der Kommissionierer quittiert dann den Abschluss des Auftrags durch Scannen des Barcodes mit einem Handscanner [Gün-2009].

Ein wesentlicher Nachteil der beleggebundenen Kommissionierer ist die vergleichsweise niedrige Kommissionierleistung sowie die hohe Fehleranfälligkeit. Weiterhin erfolgt kein Datenabgleich mit dem WMS in Echtzeit, sondern die im WMS gespeicherten Daten werden erst nach Abschluss eines Auftrags aktualisiert. Sind beispielsweise Bestandskorrekturen notwendig, werden diese oft erst nachträglich vorgenommen, so dass eine Bestandskontrolle in Echtzeit nicht möglich ist [Gün-2009].

Aufgrund der Nachteile der Kommissionierung mit einer Papierliste, werden heute verstärkt beleglose Kommissioniersysteme eingesetzt. Diese ermöglichen neben der Reduzierung der unproduktiven Zeitanteile und der Reduzierung der Fehlerquote auch die Erhöhung der Flexibilität, beispielsweise bei Eilaufträgen, und die Reduzierung der

Betriebskosten, z. B. für Drucker und Papier [VDI 3311]. Nachfolgend werden die für das Forschungsvorhaben relevanten Bauarten belegloser Kommissioniersysteme beschrieben.

Mobile Datenterminals

Der Einsatz eines mobilen Datenterminals (MDT) ermöglicht die Erfassung und Speicherung von Daten, ohne dabei an einen Rechnerarbeitsplatz gebunden zu sein. Das System teilt dem Kommissionierer den nächsten zur Ausführung vorgesehenen Auftrag mit und zeigt ihm alle notwendigen Informationen (z. B. Lagerplatz, Artikelnummer, Auftragsnummer) im Display an. Welche Informationen und Arbeitshinweise im Einzelfall bereitgestellt werden, hängt von den spezifischen Randbedingungen ab. [Gün-2009]

MDTs werden entweder als Handgeräte vom Kommissionierer mitgeführt oder am Kommissionierwagen angebracht [Hom-2011].

In MDTs ist oftmals ein Lesegerät zum Scannen von Barcodes integriert. Dieses ermöglicht das Scannen beispielsweise von Produktbarcodes, eines Barcodes am Entnahmefach oder auf der Auftragsliste. Heute werden häufig sog. online-Geräte eingesetzt, die Daten in Echtzeit erfassen und über eine drahtlose Funk- oder Infrarotverbindung mit einem zentralen Informationssystem ausgetauscht werden. [Gün-2009]

Pick-by-Light

Das beleglose Kommissioniersystem Pick-by-Light (PbL) führt den Kommissionierer mittels Lämpchen und Displays. Hierzu befindet sich an jedem Lagerfach eine Fachanzeige mit einem Lämpchen und einem Ziffern- oder alphanumerischen Display. Eingaben in das System können mittels einer Quittierungstaste sowie zusätzlichen Eingabe- bzw. Korrekturtasten am jeweiligen Lagerfach getätigt werden. Während eines Kommissionierauftrags wird der Nutzer durch das Aufleuchten des Lämpchens zum jeweiligen Entnahmefach geführt. Dort angekommen, zeigt das Display die zu entnehmende Stückzahl an. Der erfolgreiche Abschluss einer Entnahme oder einer Position wird anschließend mittels einer Quittiertaste bestätigt und die Bestandsänderung in Echtzeit im WMS verbucht. [Gün-2009]

Pick-by-Voice

Bei der Arbeit mit dem Kommissioniersystem Pick-by-Voice (PbV) erhält der Kommissionierer alle relevanten Informationen aus dem WMS mittels computergesteuerter Sprachausgabe über einen Kopfhörer. Die Interaktion mit dem System, z. B. die Quittierung einer Auftragsposition oder die Eingabe von Prüfwerten, erfolgen per Spracheingabe über ein im Headset integriertes Mikrofon. Wesentliche Bestandteile des Systems sind neben dem Headset ein mobiles Sprachterminal einschließlich der zugehörigen Software und ein Datenfunksystem. [Gün-2009]

Pick-by-Vision

Das Kommissioniersystem Pick-by-Vision unterstützt den Kommissionierer durch die Einblendung visueller Informationen direkt in seinem Blickfeld. Dazu wird eine Datenbrille als ortsunabhängiges Ausgabegerät eingesetzt, über das alle für die Arbeitsaufgabe relevanten Informationen bereitgestellt werden. Das System ist per WLAN (Wireless Local Area Network) online an ein WMS angebunden. Ein wesentlicher Bestandteil des Pick-by-Vision Systems neben der Datenbrille ist ein mobiler Rechner, der die Informationen aus dem WMS in Textform oder grafischer Form für die Darstellung im HMD aufbereitet. Für Eingaben des Benutzers stehen verschiedene Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung. So kann der Kommissionierer beispielsweise mittels eines Dreh-Drückknopfes oder per Spracheingabe Prozessschritte quittieren oder Einstellungen am System vornehmen. [Gün-2009]

Der Aufbau eines Pick-by-Vision Systems und die Auswahl der Komponenten ist stark von den Anforderungen an das jeweilige Kommissioniersystem abhängig [Gün-2009]. So existieren neben der genannten Bauart weitere Varianten von Pick-by-Vision Systemen, die beispielsweise eine visuelle Unterstützung bei der Lagernavigation bieten (vgl. z. B. [Sch-2010a], [Gün-2009]) oder einen integrierten Mechanismus zur automatisierten Fehlerüberprüfung [Gün-2012a] enthalten. Die Fehlerüberprüfung kann dabei durch eine in der Datenbrille integrierte Kamera und den Einsatz von Bildverarbeitungssoftware realisiert werden. Hierzu wird unmittelbar nach der Entnahme eines Artikels dieser für eine kurze Zeitspanne in das Blickfeld gehalten, so dass die Kamera diesen – wie ein Barcodescanner – anhand eines optischen Codes identifizieren kann [Gün-2012a].

2.2 Grundlagen der Arbeitsbelastung

Der Begriff der Arbeit ist in der Arbeitswissenschaft definiert als das Zusammenwirken des Menschen mit technischen Hilfsmitteln sowie anderen Menschen unter wirtschaftlichen Zielsetzungen. Ein wesentlicher Forschungsgegenstand ist in diesem Kontext die Arbeitsphysiologie. Dabei beschreibt die physiologische Arbeit sowohl bewusst verlangte Reaktionen als auch unbewusste Regulationen des menschlichen Organismus auf vorherrschende Bedingungen während der Arbeitsausführung. Zentraler Aspekt ist somit die „innere“ Arbeit des menschlichen Körpers als notwendiger organischer Aufwand, welcher benötigt wird, um eine „äußere“ Arbeit unter spezifischen Arbeitsbedingungen abzugeben [Kru-2007], [Lan-2007].

Für die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung, sind neben den Grundlagen bzgl. Kommissionierprozessen und -systemen die wesentlichen Begriffsdefinitionen der Arbeitsbelastung zu erläutern. Aus diesem Grund werden nachfolgend zunächst die Begriffe der Belastung und Beanspruchung voneinander abgegrenzt sowie anschließend die existierenden Belastungsarten differenziert.

2.2.1 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Die Gestaltung ergonomisch günstiger Arbeitssysteme und -plätze erfordert die Kenntnis über die dort vorherrschenden Arbeitsbedingungen und die daraus resultierende Arbeitsbelastung. Während der Arbeit wirken neben dem Arbeitsgegenstand sowohl chemische, soziale und organisatorische Aspekte der Arbeitsumwelt als auch die verwendeten Arbeitsmittel auf den Mitarbeiter ein. Als Belastung wird in diesem Kontext die Gesamtheit aller erfass- und messbaren Einflüsse des Arbeitssystems auf den Menschen bezeichnet [DIN 33400]. Als Belastung, oftmals auch synonym als Ursache bezeichnet, sind demnach die Anforderungen der äußeren Arbeit an das Organsystem des Menschen definiert [Roh-1993]. Die auf den tätigen Mitarbeiter einwirkende Belastung lässt sich durch die Höhe und Dauer (Dosis) sowie die Reihenfolge, Überlagerung und zeitliche Lage einzelner Teilbelastungen beschreiben. Belastungen können sowohl durch die Arbeitsumgebung (situationsbezogen) als auch durch eine spezifische Arbeitsaufgabe (arbeitsinhaltsbezogen) auftreten [Sch-2010c].

Im Gegensatz dazu ist die Summe der organischen Funktionen während oder infolge einer Arbeit als Beanspruchung (Wirkung) definiert. Nach DIN 33400 ist die Beanspruchung die „individuelle Auswirkung der Arbeitsbelastung im Menschen in Abhängigkeit von seinen Eigenschaften und Fähigkeiten“ [DIN 33400]. Zu nennende individuelle Leistungsmerkmale sind das Alter, das Geschlecht oder auch der Trainingszustand (Disposition, Konstitution) der jeweiligen Arbeitsperson. Dies bedeutet zusammengefasst, dass bei einer Arbeitsperson mit geringer Leistungsfähigkeit eine objektiv gleiche Belastung zu einer höheren Beanspruchung als bei einer Arbeitsperson mit einer entsprechend höheren Leistungsfähigkeit führt [REF-1991]. Der beschriebene Zusammenhang zwischen den beiden Begriffen ist anhand eines mechanischen Modells in Abbildung 2-1 dargestellt.

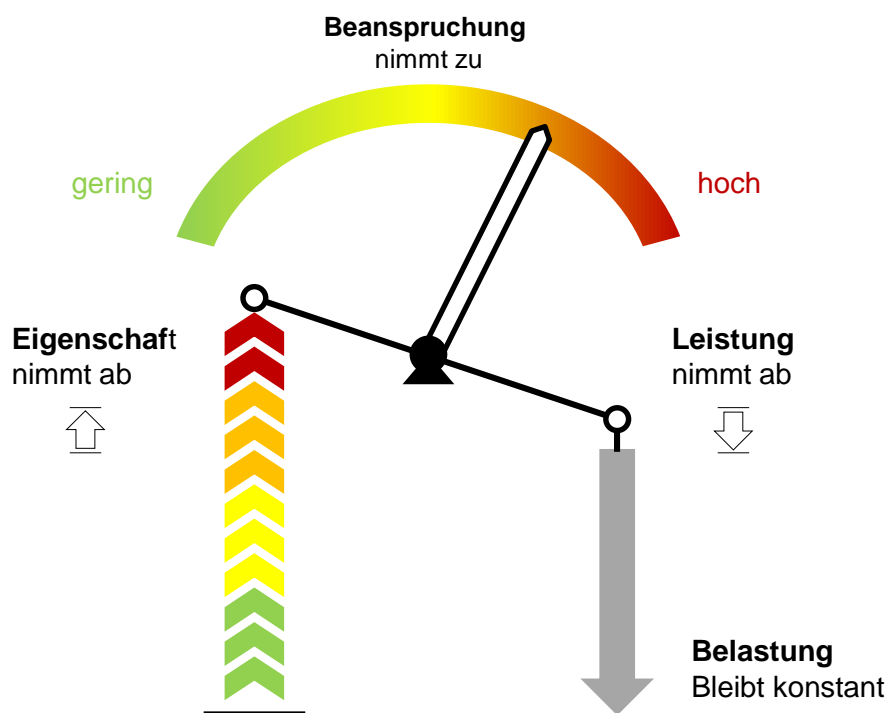


Abbildung 2-1: Belastungs-Beanspruchungs-Konzept [Lau-1992]

Die Belastung betreffend wird zwischen sogenannten Belastungsgrößen und -faktoren unterschieden. Belastungsgrößen sind durch entsprechende Methoden messbar. Mögliche Belastungsgrößen sind u. a. Umgebungseinflüsse wie Licht oder Lärm. Nicht quantifizierbare Einflüsse auf die Belastungshöhe werden hingegen als Belastungsfaktoren definiert. Ein typisches Beispiel hierfür ist die eingenommene Körperhaltung des Mitarbeiters während der Tätigkeitsausführung [Luc-1998].

2.2.2 Formen der Arbeitsbelastung

Bei der Definition des Arbeitsbegriffs ist zwischen der energetisch-effektorischen und der informatorisch-mentalen Arbeit zu differenzieren. Grundlegende Unterscheidungsmerkmale stellen hierbei der Anteil und die Verteilung der geistigen bzw. körperlichen Tätigkeiten dar. Als informatorisch-mentale Tätigkeiten sind geistige Prozesse, wie bspw. die Verarbeitung von Informationen oder auch Planungs- und Überwachungsfunktionen, definiert. Beispielhaft hierfür ist das Konstruieren oder Erfinden neuartiger Produkte bzw. Lösungsalternativen zu nennen [Lau-1992], [Sch-2010c]. Im Gegensatz dazu fokussiert die energetisch-effektorische Arbeit die Bearbeitung oder Handhabung von Objekten (z. B. Transport oder Zusammenfügen einzelner Teile). Neben der genannten energetischen und informatorischen Belastung können zusätzliche Belastungen aus der Arbeitsumwelt resultieren. Hierbei ist zwischen Belastungen aus der physikalisch-chemischen und der sozialen Umgebung zu differenzieren. Einen Überblick über die verschiedenen Formen der Arbeitsbelastung gibt Abbildung 2-2.

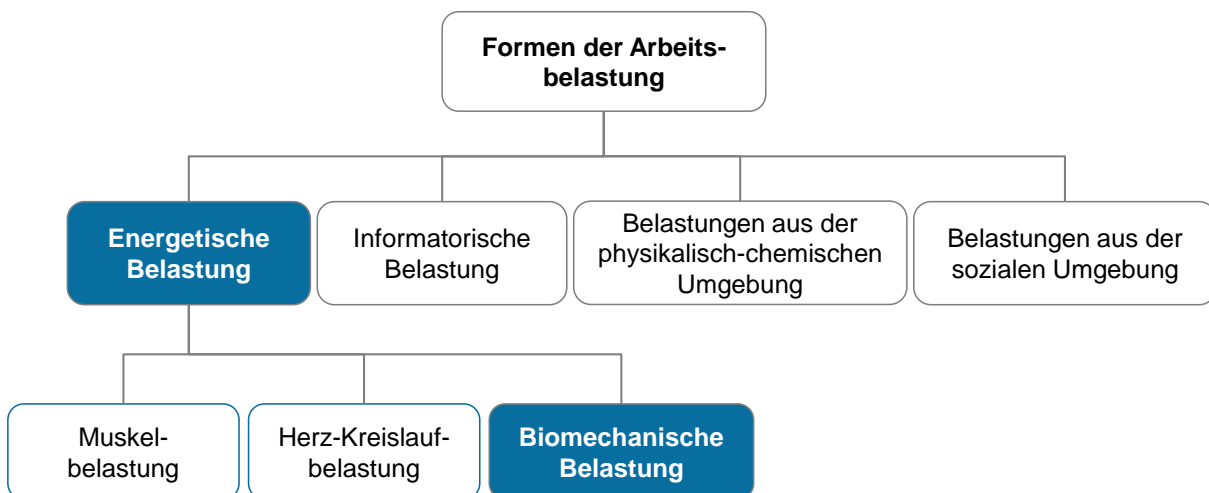


Abbildung 2-2: Formen der Arbeitsbelastung [Lau-1992], [Luc-1998]

Hauptgegenstand der wissenschaftlichen Arbeiten innerhalb des Forschungsprojekts ErgoKom ist die objektiv bewertbare Belastung des Mitarbeiters, welche aus der durchzuführenden Lastenhandhabung während der Kommissionierung resultiert. Aus diesem Grund werden nachstehend kurz die unterschiedlichen Formen der Muskelarbeit dargestellt, sowie die Herz-Kreislaufbelastung und biomechanische Belastung beschrieben.

Muskelbelastung

Muskuläre Arbeit wird physiologisch in „dynamische“ und „statische“ Muskelarbeit differenziert (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Statische und dynamische Muskelarbeit [Luc-1998]

Muskelbelastungsform	ergonomische Bezeichnung	Beispiele	biomechanische Kennzahlen	physiologische Kennzeichen der Beanspruchung
statisch	statische Halte- arbeitsarbeit	Halten des Oberkörpers beim gebeugten Stehen	Keine Bewegung von Gliedmaßen, keine Kräfte auf Werkstück, Werkzeug oder Bedienelement	Durchblutung wird bereits bei Anspannung von 15% der max. mögl. Kraft durch Muskelinnendruck gedrosselt, dadurch starke Beschränkung der max. mögl. Arbeitsdauer auf wenige Minuten
	statische Halte- arbeit	Überkopfschweißen/-montieren, Tragearbeiten	Keine Bewegung von Gliedmaßen, Kräfte an Werkstück, Werkzeug oder Bedienelement	
	Kontraktions- arbeit	Gussschleifen	Folge statischer Kontraktion	Übergang zu mit statischer Arbeit vergleichbarer Beanspruchung bei geringen Bewegungsfrequenzen
dynamisch	einseitig dynamische Arbeit	Handhebel- presse, Schere betätigen	Kleine Muskelgruppen i. a. mit relativ hoher Bewegungsfrequenz	Max. mögl. Arbeitsdauer durch Arbeitsfähigkeit des Muskels beschränkt
	schwere dynamische Arbeit	Schaufelarbeit	Muskelgruppen > 1/7 der gesamten Skelettmuskelmasse	Begrenzung durch Leistungsfähigkeit der Sauerstoffversorgung durch Herz, Kreislauf, Atmung

Als dynamische Muskelarbeit wird eine Tätigkeit bezeichnet, bei der die Kontraktion und Relaxation des Muskels in rhythmischem Wechsel erfolgen und daher der Blutbedarf durch eine erhöhte Blutzirkulation gedeckt werden kann. Dies bedingt eine bessere Durchblutung des Muskels. In Abhängigkeit von der Größe und dem prozentualen Anteil der belasteten Muskelgruppen wird zwischen einseitiger und schwerer dynamischer Muskelarbeit unterschieden [Bok-2012], [Lau-1992]. Einseitige dynamische Arbeiten sind gekennzeichnet durch eine hohe Bewegungsfrequenz und werden i. d. R. von kleinen Muskelgruppen ausgeführt. Beispielhafte Tätigkeiten sind das Betätigen von Werkzeugen oder Einlegetätigkeiten mit einer geringen Taktzeit. Hingegen wird bei schwerer dynamischer Arbeit mehr als ein Siebtel der Muskeln des Menschen

belastet, wodurch insbesondere bei einer langen Arbeitsdauer und hohen eingesetzten Körperkräften eine dauerhafte Herz-Kreislaufbelastung entsteht. Beispielhafte Tätigkeiten sind hier das Bestücken von Paletten oder das Gehen mit einer schweren Last [Bok-2012].

Bei der statischen Muskelarbeit bleibt der Muskel angespannt, die Blutzufuhr wird unzureichend und die Abfallprodukte häufen sich. Dies führt zu Schmerzempfindungen, die schließlich die Entspannung des Muskels erzwingen. Deshalb ist statische Muskelarbeit z. B. durch den Wechsel von Stehen und Sitzen oder von Stand- und Spielbein zu vermeiden. Je nach Art der Krafteinwirkung (innerlich oder äußerlich) wird zwischen statischer Halte- und statischer Haltungsarbeit unterschieden [Bok-2012]. Dabei kennzeichnet die statische Haltungsarbeit eine Belastung, welche durch das Aufrechterhalten einer bestimmten Körperhaltung entsteht. Sind während der Tätigkeitsausführung jedoch statische Kräfte aufzubringen, so wird diese Form der Muskelarbeit als statische Haltearbeit bezeichnet. Ein beispielhafter Prozess hierfür ist das Fixieren von Bauteilen bei Fügeprozessen. Letztgenannte Form der Muskelarbeit kann zu Entzündungen in Gelenken oder Erkrankungen der Bandscheibe führen [AUV-2010], [Bul-1996].

Die statische Kontraktionsarbeit ist eine Zwischenform von statischer und dynamischer Muskelarbeit. Sie beschreibt das Aufeinanderfolgen von statischen Kontraktionen bei geringfügigen oder langsamen Bewegungen, welche nur durch kurz andauernde Relaxationspausen unterbrochen werden [Bok-2012].

Herz-Kreislaufbelastung

Aufgabe des Blutkreislaufs ist die Versorgung der einzelnen Körperzellen mit Nährstoffen und Sauerstoff sowie die Abführung anfallender Stoffwechselprodukte. Im Mittelpunkt des Kreislaufsystems steht das Herz, auf veränderte Arbeitsbedingungen und resultierende differenzierte Arbeitsbelastungen mit einer Änderung der Herzfrequenz und des Schlagvolumens reagieren kann. Dies gewährleistet jederzeit die optimale Versorgung aller Körperteile und Organe mit Blut [Luc-1998].

Der zeitliche Verlauf der Pulsfrequenz kann als Indikator für die physische Mitarbeiterbelastung interpretiert werden [Gol-2008]. Die Herzschlagfrequenz in einer belastungsfreien Situation (Ruhezustand) ist je Mitarbeiter stark individuell ausgeprägt. Aus diesem Grund ist zur Ermittlung der Mitarbeiterbeanspruchung nicht der absolute

Wert, sondern der Anstieg der Herzschlagfrequenz gegenüber dem Ruhezustand ausschlaggebend [Luc-1998]. Mit Start einer Tätigkeit steigt die Herzschlagfrequenz zeitlich verzögert an und nimmt im Fall einer mittleren Höhe der Beanspruchung ein Gleichgewicht unterhalb der Dauerleistungsgrenze ein. Diese ist als höchste konstante Pulsfrequenz bei Arbeitsbeanspruchung definiert [Luc-1998]. Dies bedeutet, dass die durchgeführte Tätigkeit über einen langen Zeitraum oder gar dauerhaft ohne Ermüdung durchgeführt werden kann. Nach dem Beenden der Tätigkeit sinkt die Herzschlagfrequenz zeitlich verzögert. Bei einer kontinuierlichen Beanspruchung oberhalb der Dauerleistungsgrenze stellt sich kein Gleichgewicht in Form einer konstanten Herzschlagfrequenz ein. Stattdessen steigt die Beanspruchung stetig, was in einer fortschreitenden Ermüdung resultiert [Gol-2008]. Der beschriebene Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Pulsfrequenz über die Zeit und der Ermüdung des Mitarbeiters ist zusammenfassend in Abbildung 2-3 dargestellt.

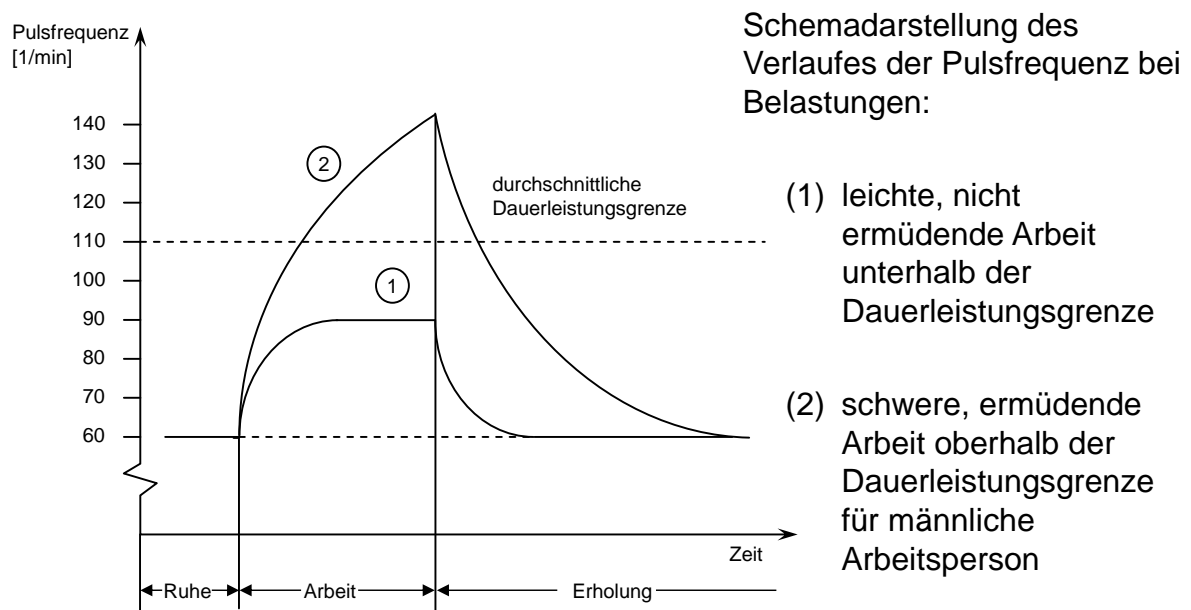


Abbildung 2-3: Pulsfrequenz in Abhängigkeit von dem zeitlichen Verlauf der Belastung [Luc-1998]

Biomechanische Belastung

Bei der Ausführung körperlicher Tätigkeiten ist das Muskel-Skelett-System hohen biomechanischen Belastungen ausgesetzt. Dabei beschreibt die Biomechanik die Wirkungen der Belastungen auf die biologische Struktur des Körpers nach den Gesetzen der Mechanik, um die eigentlich vorliegende Belastung an den Körperstrukturen abzuschätzen [Eil-2013]. Insbesondere die manuelle Lastenhandhabung, wie sie in der

Kommissionierung vermehrt auftritt, führt zu einer hohen mechanischen Wirbelsäulenbelastung [Jäg-1998]. Die Wirbelsäule besteht aus sieben Hals-, zwölf Brust-, fünf Lenden- und fünf Steißwirbeln [Fle-1997], [Het-1993]. Sie übernimmt die Stützung des Rumpfs und stabilisiert die jeweils eingenommene Körperhaltung. Darüber hinaus gewährleistet die Wirbelsäule die Dämpfung von Stößen, welche bei der Ausführung von Bewegungen anfallen können [Bon-1995].

Die auf die Wirbelsäule und Bandscheiben einwirkenden Druckkräfte sind u. a. abhängig von der eingenommenen Körperhaltung sowie der Schwere der zu handhabenden Last. So rufen Bewegungen in aufrechter Körperhaltung ohne die Handhabung von Lasten i. d. R. lediglich in einer geringen bzw. überhaupt keiner Überbelastung des Muskel-Skelett-Systems hervor. Im Gegensatz dazu führen Lastenhandhabungsvorgänge mit schweren Lasten in Kombination mit ergonomisch ungünstigen Körperhaltungen zu Erkrankungen oder gar Schädigungen des Skelett- und Bewegungsapparats [Gol-2008], [Ste-2011].

Bei Personengruppen, welche im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit vermehrt Lastenhandhabungsvorgänge durchzuführen haben, stellen Kompressionen der Wirbelsäule einen wesentlichen Anteil der Muskel-Skelett-Belastung dar [Kli-2005]. Dabei betreffen nach Jäger u. a. 95% der auftretenden Schädigungen die unteren Bandscheiben [Jäg-1998]. Aus diesem Grund wird bei der Untersuchung biomechanischer Belastungen zumeist lediglich der untere Teil der Wirbelsäule, die Lendenwirbelsäule, betrachtet [Jäg-2005]. Dabei unterliegen insbesondere der lumbo-sakrale Übergang zwischen dem vierten und fünften Lendenwirbel sowie der fünfte Lendenwirbel und der erste Kreuzbeinwirbel einer hohen biomechanischen Belastung [Fle-1997], [Jäg-2002a]. Die biomechanische Wirbelsäulenbelastung infolge einer Lastenhandhabung lässt sich mittels eines vereinfachten Modells des Hebelarmgesetzes darstellen (vgl. Abbildung 2-4).

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, erzeugt die zu handhabende Last in Kombination mit dem Lastarm, d. h. der Länge des Arms und der Beugung des Oberkörpers, ein Moment bzw. einen spezifischen Belastungsschwerpunkt, welcher durch die Haltekraft der Rückenmuskulatur und der Druckkraft auf die Bandscheiben kompensiert werden muss [Eil-2013]. Im Zuge der Gestaltung ergonomischer Arbeitsbedingungen ist demnach zu berücksichtigen, dass ein erhöhter Lastarm durch einen ausgestreckten Arm oder vorgebeugten Oberkörper zu einer höheren Wirbelsäulenbelastung führt. Ursache ist hierfür, dass die Gewichtskraft einer extern zu handhabenden Last einen

deutlich größeren Hebelarm hat, als die durch die Rückenmuskulatur aufzubringende Gegenkraft. Um ein Gleichgewicht herzustellen, muss die Gegenkraft ein Vielfaches der Gewichtskraft der Last sein [Gol-2008].

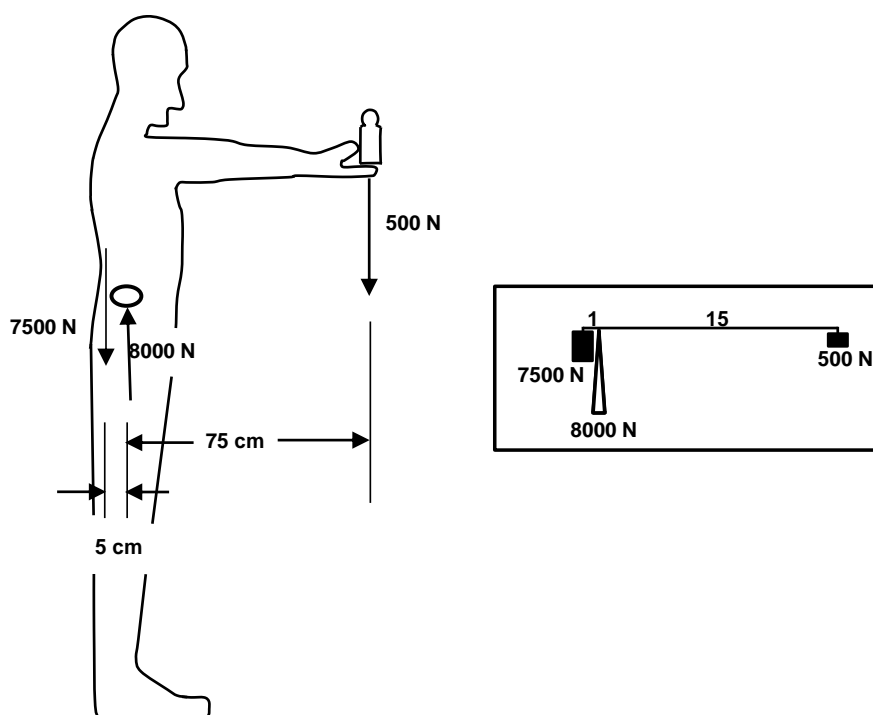


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Hebelarmwirkung an der Lendenwirbelsäule [Jäg-2001a]

Die auf die Wirbelsäule einwirkenden Druckkräfte sind nicht nur auf die Handhabung externer Lasten zurückzuführen, sondern zudem abhängig von der Gewichtskraft der oberen Extremitäten [Eil-1998]. Dabei wird die Höhe der einwirkenden Druckkraft auf die Lendenwirbelsäule maßgeblich durch die Körperhaltung bestimmt. Bei der Betrachtung der Körperhaltung, die nach DIN EN 1005-2 als die „Lage von Körper, Körperteil(en) oder Gelenk(en)“ definiert ist, sind für die Ermittlung der biomechanischen Belastung insbesondere die Beugung des Rumpfes, eine mögliche Torsion des Oberkörpers sowie die aus der Oberarm- und Unterarmbeugung zusammengesetzte Armhaltung von besonderer Bedeutung [DIN 1005b], [Jäg-1998].

Neben der Körperhaltung ist das Gewicht der zu handhabenden Last im Kontext der Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung von zentraler Bedeutung. So liegt eine besondere Gefährdung der Bandscheiben bei der Handhabung „schwerer Lasten“ vor. Der Begriff „schwere Last“ ist nach der Berufskrankheiten-Verordnung durch das Lastgewicht bzw. die aufzubringenden Aktionskräfte, die eingenommene Körperhaltung, die Häufigkeit der Tätigkeitsausübung sowie den allgemeinen Ausführungsbedingungen definiert [BMA-2006a]. Lastgewichte bzw. Aktionskräfte mit einem erhöhten Risiko für

die Verursachung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule sind in Tabelle 2-3 dargestellt. Die regelmäßige Handhabung von Lastgewichten oberhalb dieser Richtwerte über einen langen Zeitraum (ca. 10 Berufsjahre) ist mit einem erhöhten gesundheitlichen Risiko für die Mitarbeiter verbunden.

Tabelle 2-3: Lastgewichte mit einem erhöhten Risiko für die Verursachung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule [BMA-2006a]

Tätigkeit	Frauen	Männer
Beidhändiges Heben	10 kg	20 kg
Einhändiges Heben	5 kg	10 kg
Beidhändiges Umsetzen	20 kg	30 kg
Einhändiges Umsetzen	5 kg	10 kg
Beidseitiges Tragen neben dem Körper, aus den Schultern oder dem Rücken	20 kg	30 kg
Tragen vor oder einseitig neben dem Körper	15 kg	25 kg
Ziehen	250 N	350 N
Schieben	300 N	450 N

2.3 Verfahren zur Belastungsermittlung

Ziel der ergonomischen Arbeitsgestaltung ist die Berücksichtigung der Belastung sowie die Minimierung bzw. Eliminierung des gesundheitlichen Risikos der Arbeitsperson. Im Vorfeld der Belastungsreduktion sind zunächst die aus der Tätigkeit resultierende physische Fehlbelastung oder Überbelastung zu analysieren und mögliche Risiken zu identifizieren [Kug-2010]. Zwingende Voraussetzung für die Realisierung einer gesunden Mitarbeiterbelastung ist somit die Erhöhung der Transparenz bezüglich der tatsächlich vorliegenden Belastungssituation und -verläufe.

Für die Ermittlung der in Arbeitssystemen vorliegenden Mitarbeiterbelastung existiert in der wissenschaftlichen Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Bewertungsverfahren, welche sich hinsichtlich ihres Beurteilungsniveaus, Analyseaufwands sowie der zu bewertenden Belastungsarten differenzieren lassen. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal stellt die mögliche Anwendergruppe des Verfahrens dar. Sämtliche

Bewertungsverfahren weisen jedoch ein zweistufiges Vorgehen zur Belastungsermittlung auf. Der erste Schritt besteht in der Aufnahme bzw. Erfassung der Einflussgrößen für die Belastung. Anschließend werden im zweiten Schritt die ermittelten Daten anhand einer definierten Berechnungsmethodik ausgewertet und die Belastungshöhe abhängig von der Methodik entweder qualitativ oder quantitativ abgebildet. Einen Überblick über die einzelnen Bewertungsverfahren gibt Abbildung 2-5.

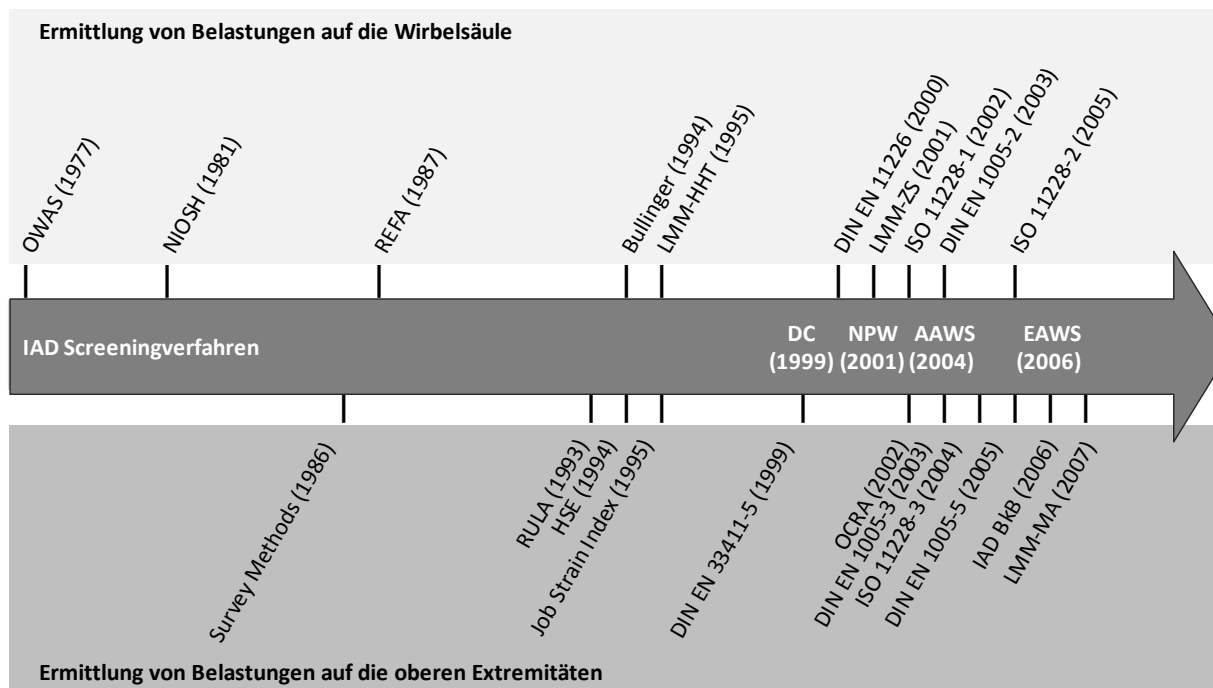


Abbildung 2-5: Exemplarischer Überblick über existierende Bewertungsverfahren [Gol-2008]

Klassische Verfahren zur Ermittlung biomechanischer Belastungen in Form der Wirbelsäulenbelastung lassen sich in

- Verfahren zur Ermittlung von Grenzlasten (NIOSH, DIN EN ISO 11228-1, DIN EN 1005-2) [Eil-2005], [Wat-1993], [DIN 1005b],
- Verfahren zur Einstufung der Belastung (OVAKO-Working-Posture-Analysing-System (OWAS) [Sto-1985], Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen sowie Ziehen und Schieben) [BAu-2001], [BAu-2003] und zur
- Ermittlung der kumulierten Wirbelsäulenbelastung (Dosisansatz nach Pangert und Hartmann, Feststellungsverfahren nach Hartung und Dupuis, Mainz-Dortmunder-Dosismodell (MDD)) [Jäg-2002b], [Har-1999]

einteilen [Gol-08].

Neben der gezeigten Klassifizierung von Arbeitsanalyseverfahren wurde im Rahmen des KoBRa-Projekts (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) eine Unterteilung der gängigen Verfahren in Grob-Screening-Verfahren, Screening-Verfahren, Detail-/Expertenverfahren und Messverfahren vorgenommen (vgl. Abbildung 2-6).

		Belastungsarten					
		Manuelle Lastenhandhabungen ¹			Körperhaltung ²	Aktionskräfte ³	Repetitive Tätigkeiten ⁴
		HHT	Z/S	Kombiniert			
Grob-Screening-Verfahren	BGI 504-46/ BGI 7011	(x)	(x)		(x)	(x)	(x)
	AWS light	(x)	(x)		(x)	(x)	(x)
Screening-Verfahren	LMM-HHT	x					
	LMM-Z/S		x				
	LMM_MAP						x
	RULA				x		(x)
	OCRA-Checkliste						x
	AAWS-upperlimbs						x
	MLT	x	x	x			
	AAWS	x	x		x	x	
	IAD-BkB	x	x		x	x	x
Detail-/Messverfahren	EAWS/ AAWS*	x	x		x	x	x
	Kraftbewertungsverfahren					x	
	NIOSH	x					
	OCRA						x
Messverfahren	CUELA/ andere Messverfahren	Kontinuierliche Messung von biomechanischen Belastungsgrößen und/ oder physiologischen Messgrößen					

1 HHT steht für Heben, Halten, Tragen, Tragen; Z/S für Ziehen und Schieben; „kombiniert“ für die kombinierte Bewertung von unterschiedlichen Lastenhandhabungsarten.
 2 durch die Tätigkeit erzwungene Körperhaltungen mit geringem äußeren Kraftaufwand
 3 erhöhte Kraftanstrengungen und/ oder Krafteinwirkungen (Ganzkörper oder Hand-Arm)
 4 Finger-Hand-Arm-Belastungen durch repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen

Abbildung 2-6: Verfahren zur Bewertung physischer Belastungen [Kug-2010]

Die abgebildete Unterteilung dient als Grundlage für die nachstehende Erläuterung der einzelnen Arbeitsanalyseverfahren und der Auswahl eines Verfahrens als Basis für die zu entwickelnde kommissionierspezifische Bewertungsmethodik.

Grob-Screening-Verfahren

Grob-Screening-Verfahren werden zur orientierenden Gefährdungsbeurteilung genutzt. Ihre Anwendung vermittelt dem Nutzer schnell einen groben Eindruck über potenzielle Risiken an Arbeitsplätzen für die dort tätigen Mitarbeiter. Aufgrund des geringen Detaillierungsgrads, welcher einhergeht mit einer eingeschränkten Aussagekraft, sind für die Anwendung von Grob-Screening-Verfahren oftmals nur wenig ergonomische Vorkenntnisse notwendig, sodass eine kurze Grundlagenschulung zumeist ausreicht. Somit sind sie schnell anwendbar und leicht durchzuführen. Sie erlauben eine Vorselektion derjenigen Arbeitsplätze, welche anschließend mit einem Detailverfahren und/oder unter Zuhilfenahme von Expertengesprächen zu untersuchen und zu verbessern sind [Kug-2010]. Beispielhaft für solch orientierende Verfahren sind insbesondere die berufsgenossenschaftliche Checkliste aus BGI 504-46/BGI 7011, die Schwellenwerttabelle vom Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt (IAD) und das Assembly Worksheet^{light} (AWS^{light}). Dabei werden bei den beiden erstgenannten Verfahren Überschreitungen von Richtwerten ausgewiesen, während beim AWS^{light} verschiedene Einstufungsskalen zu Rate gezogen werden [DGU-2007], [DGU-2009].

Screening-Verfahren

Im Gegensatz zu den beschriebenen Grob-Screening-Verfahren ermöglichen Screening-Verfahren eine detailliertere Risikobewertung und Analyse der belastenden Arbeitsprozesse. Dabei ermöglichen die Verfahren eine Identifikation möglicher Gefährdungen und erlauben zudem erste Rückschlüsse auf potenzielle Gefährdungsursachen. Mittels der Vielzahl berücksichtigter Belastungsfaktoren können gestalterische Maßnahmen abgeleitet werden, um die Belastung zu reduzieren [Kug-2010], [AWM-2008]. Als Ergebnis liefern genannte Verfahren i. d. R. Punktwerte, welche nach dem Ampelschema eingestuft werden [DIN EN 614]. Screening-Verfahren werden in Verfahren zur Bewertung einzelner bzw. mehrerer Belastungsarten (sog. Kombinationsverfahren) differenziert [Har-2008]. Typische Beispiele eines Screening-Verfahrens sind neben den Leitmerkmalmethoden und dem Multiplen-Lasten-Tool das Automotive Assembly Worksheet (AAWS) und das Rapid Upper Limb Assessment (RULA)-Verfahren.

Detail/Expertenverfahren

Detail-/Expertenverfahren sind gekennzeichnet durch einen hohen Anspruch an die ergonomischen Fachkenntnisse des Anwenders sowie durch ihren erweiterten Analyseumfang. Da jedoch auch für die korrekte Anwendung einzelner Screening-Verfahren ein erhöhter Schulungsumfang notwendig ist, ist die Abgrenzung zwischen den beiden genannten Klassen nicht ganz eindeutig. So wird beispielsweise das Ergonomic Assessment Work Sheet (EAWS-Verfahren) nach Abbildung 2-6 als Detail-/Expertenverfahren klassifiziert, während die zugehörigen Schulungsunterlagen dieses als Screening-Verfahren bezeichnen. Nach [Kug-2010] gibt jedoch die Reihenfolge, in der die Verfahren in Abbildung 2-6 aufgelistet sind, eine erste Einordnung über die Komplexität und den Umfang dieser. Detail-/Expertenverfahren sind häufig auf die Analyse und Bewertung sehr spezifischer Belastungsarten und -fälle entwickelt und abgestimmt. Auf Grundlage der Parameter des untersuchten Arbeitssystems bzw. -platzes werden über Bewertungsalgorithmen Richtwerte für maximal empfohlene Lasten bzw. Gewichte ermittelt, welche anschließend in Indizes oder Punktwerte überführt werden. Während bei einigen Verfahren (z. B. The Occupational Repetitive Actions (OCRA)-Index) direkt genannte Indizes und Punktwerte ermittelt werden, wird bei weiteren Verfahren (z. B. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)-Verfahren) erneut eine Bewertung nach dem Ampelschema vorgenommen [Kug-2010].

Messverfahren

Messverfahren erfassen gegenüber Screening- und Detail-/Expertenverfahren den zeitlichen Verlauf der Belastungen und gehen demnach über die Ebene der Beobachtungsverfahren hinaus. Sie dienen der Ermittlung von vorrangig biomechanischen Einflussgrößen wie bspw. Körperhaltungen und -bewegungen. Darüber hinaus erfolgt oftmals zusätzlich eine Analyse physiologischer Parameter (Herzschlagfrequenz, Muskelaktivität) sowie die Erfassung und Berechnung weiterer biomechanischer Größen (Aktionskräfte, Energieumsatz) [Kug-2010]. Alleinstehend liefern Messverfahren keine Bewertung von Belastungen, jedoch können die resultierenden Daten für eine Bewertung nach physiologischen oder arbeitswissenschaftlichen Kriterien genutzt werden. Der zeitliche Aufwand von Messverfahren ist sehr hoch und durch das erforderliche Fachwissen sind diese Verfahren ausschließlich von entsprechenden Experten auszuführen [Eil-2005], [Eil-2013]. Eines der bekanntesten Messverfahren ist CUELA (Computer unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems).

Anhand der dargestellten Unterschiede der einzelnen Verfahrensklassen wird deutlich, dass sich die resultierenden Ergebnisse hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades und ihrer Qualität stark unterscheiden. So erlauben Grob-Screening-Verfahren lediglich eine qualitative Aussage über die Tendenz einer potenziellen Belastung des Mitarbeiters. Auf dieser Basis kann entschieden werden, inwiefern weitere Bewertungsverfahren angewendet werden müssen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist jedoch die Aufdeckung eines konkreten Handlungsbedarfes notwendig, sodass das Verfahren, welches die Grundlage der zu entwickelnden Bewertungsmethodik bildet, mindestens der Klasse der Screening-Verfahren zuzuordnen ist. Im Gegensatz zu Grob-Screening-Verfahren liefern Detail-/Experten- und Messverfahren quantitative Ergebnisse. Jedoch sind diese mit einem deutlich höheren Arbeits- und Zeitaufwand verbunden und zudem oftmals auf spezielle Tätigkeiten und Randbedingungen zugeschnitten und somit durch einen begrenzten Anwendungsbereich gekennzeichnet [Kug-2010]. Die Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Ermittlung von Mitarbeiterbelastungen in Kommissioniersystemen erfordert die Erfassung der auftretenden Körperhaltungen während der Lastenhandhabung. Darüber hinaus ist aufgrund der beschriebenen Charakteristika der Kommissionierung (heterogenes Auftrags- und Lastspektrum, hohe Wiederholhäufigkeiten je Arbeitsschicht, hohe Lastgewichte, ergonomisch ungünstige Körperhaltungen) die kombinierte Bewertung multipler Lastenhandhabungsvorgänge notwendig. Dieses Vorgehen ermöglicht das Multiple-Lasten-Tool, welches auf den Leitmerkmalmethoden basiert. Aus diesem Grund werden sowohl die Leitmerkmalmethoden sowie das Multiple-Lasten-Tool nachfolgend beschrieben und erläutert.

2.3.1 Die Leitmerkmalmethoden

Die Leitmerkmalmethoden wurden 2006 als Umsetzung der Lastenhandhabungsverordnung von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin herausgegeben. Es existiert neben der Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen (LMM-HHT, 2001) die Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben (LMM-Z/S, 2002) sowie die Leitmerkmalmethode zur Erfassung der Belastung bei manuellen Arbeitsprozessen (LMM-MA, 2007). Ziel der genannten drei Methoden ist die engpassbezogene Analyse und Bewertung der objektiv vorliegenden Arbeitsbelastung bei jeweils einer Art der Lastenhandhabung [BAu-2001]. Bewertungsgrundlage sind physiologische, biomechanische und psychologische Bewertungsansätze, wobei der Fokus der Belastungsbe-

wertung auf den Bereich der Lendenwirbelsäule gelegt wurde [Ste-1998]. Die Bewertung der Belastung erfolgt grundsätzlich auf Basis von Teiltätigkeiten und ist auf einen Arbeitstag zu beziehen. Treten während einer Tätigkeit differenzierte Körperhaltungen oder Lastgewichte auf, so besteht die Möglichkeit der Mittelwertbildung. Zur Beurteilung der Teiltätigkeiten werden sogenannte Leitmerkmale genutzt. Diese sind [BAu-2001], [BAu-2002], [BAu-2007b]:

- das Lastgewicht,
- die Körperhaltung,
- die Häufigkeit, Dauer oder Wegstrecke,
- die Ausführungsbedingungen,
- die Positioniergenauigkeit/Bewegungsgeschwindigkeit sowie das zu bewegnede Flurförderzeug (LMM-Z/S),
- die Arbeitsorganisation und Art der Kraftausübung (LMM-MA)

Die Analyse der unterschiedlichen Lastenhandhabungsfälle anhand der genannten Kriterien erfolgt unabhängig von der angewandten Leitmerkmalmethode nach einer identischen Bewertungssystematik [Ell-2005]. Aus diesem Grund wird zum Verständnis der allgemeinen Vorgehensweise an dieser Stelle die Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen exemplarisch vorgestellt. Zur Quantifizierung der Mitarbeiterbelastung sind drei aufeinanderfolgende Schritte erforderlich. Zunächst ist die Zeitwichtung zu bestimmen. Im Anschluss daran erfolgt die Bestimmung der Wichtung der einzelnen Leitmerkmale, bevor abschließend die Gesamtbewertung der Lastenhandhabung vorgenommen wird/werden kann.

Bestimmung der Zeitwichtung

Im Rahmen der LMM-HHT werden die drei Handhabungsarten Heben (Umsetzen), Halten und Tragen unterschieden. Je nach Handhabungsart wird die Zeitwichtung basierend auf der Anzahl der Lastenhandhabungsvorgänge, der Gesamtdauer oder des zurückgelegten Gesamtwegs bestimmt. Hebe- oder Umsetzvorgänge sind in diesem Zusammenhang definiert als „Teiltätigkeiten, die durch regelmäßiges Wiederholen kurzer Hebe-, Absenk- oder Umsetzvorgänge gekennzeichnet sind“ [BAu-2001]. Für diese Teiltätigkeiten ist die Anzahl je Arbeitstag zu ermitteln. Als Haltevorgänge werden Teiltätigkeiten bezeichnet, bei denen eine statische Haltedauer von über fünf Sekunden auftritt. Entsprechend dieser Einteilung ist die Gesamtdauer je Arbeitstag zu bestimmen, welche sich aus dem Produkt der Anzahl der Haltevorgänge und der

Dauer pro Einzelvorgang ermitteln lässt [BAu-2001]. Die Teiltätigkeit Tragen kennzeichnet das Tragen eines Gegenstands über fünf Meter. Als Bewertungsgrundlage gilt in diesem Fall die Gesamtstrecke unter Last. Dabei wird von einer mittleren Gehgeschwindigkeit von vier Meter pro Sekunde ausgegangen [BAu-2001]. Die Intervalle zur Bestimmung der Zeitwichtung sind in Tabelle 2-4 zusammengefasst.

Tabelle 2-4: Bestimmung der Zeitwichtung [BAu-2001]

Hebe- oder Umsetzvorgänge (< 5 s)		Halten (> 5 s)		Tragen (> 5 m)	
Anzahl am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtdauer am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtweg am Arbeitstag	Zeitwichtung
< 10	1	< 5 min	1	< 300 m	1
10 bis < 40	2	5 min bis 15 min	2	300 m bis < 1 km	2
40 bis < 200	4	15 min bis < 1 h	4	1 km bis < 4 km	4
200 bis < 500	6	1 h bis < 2 h	6	4 km bis < 8 km	6
500 bis < 1000	8	2 h bis < 4 h	8	8 km bis < 16 km	8
≥ 1000	10	≥ 4 Stunden	10	≥ 16 km	10
<u>Beispiele:</u> Setzen von Mauersteinen, Einlegen von Werkstücken in eine Maschine, Pakete aus einem Container entnehmen und auf ein Band legen		<u>Beispiele:</u> Halten und Führen eines Gussrohrlings bei der Bearbeitung an einem Schleifbock, Halten einer Handschleifmaschine, Führen einer Motorsense		<u>Beispiele:</u> Möbeltransport, Tragen von Gerüstteilen vom LKW zum Aufstellort	

Bestimmung der Wichtungen von Last, Haltung und Ausführungsbedingungen

Die Bestimmung der Lastwichtung erfolgt in Abhängigkeit des Geschlechts der Arbeitsperson. Bei variierenden Lastgewichten besteht die Möglichkeit, einen Mittelwert zu bestimmen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass bei männlichen Arbeitspersonen die schwerste Einzellast den Wert von 40 kg nicht überschreitet. Der Grenzwert für weibliche Arbeitspersonen liegt bei 25 kg (vgl. Tabelle 2-5). Grundsätzlich ist jeweils das tatsächliche Lastgewicht zu bewerten. So kann beispielsweise ein Abkippen der Last dazu führen, dass lediglich ein reduzierter Anteil der eigentlichen Gewichtskraft auf die Arbeitsperson wirkt [BAu-2001].





Tabelle 2-5: Bestimmung der Lastwichtung [BAu-2001]

Wirksame Last ¹ für Männer	Lastwichtung	Wirksame Last ¹ für Frauen	Lastwichtung
< 10 kg	1	< 5 kg	1
10 bis < 20 kg	2	5 bis < 10 kg	2
20 bis < 30 kg	4	10 bis < 15 kg	4
30 bis < 40 kg	7	15 bis < 25 kg	7
≥ 40 kg	25	≥ 25 kg	25

1) Mit der wirksamen Last ist die Gewichtskraft bzw. Zug-/ Druckkraft gemeint, die der Beschäftigte bei der Lastenhandhabung ausgleichen muss. Sie entspricht der Lastmasse. Beim Kippen eines Kartons nur etwa 50%, bei der Verwendung einer Schubkarre oder Sackkarre nur 10% der Lastmasse.

Die Einstufung der Körperhaltung erfolgt mittels der in Abbildung 2-6 dargestellten Piktogramme. Es ist jeweils die charakteristische Körperhaltung der Lastenhandhabung für die Ermittlung der Wichtung zu bewerten. Analog zur Lastwichtung kann auch hier bei unterschiedlichen Körperhaltungen ein Mittelwert berechnet werden.

Tabelle 2-6: Bestimmung der Wichtung der Körperhaltung [BAu-2001]

Charakteristische Körperhaltung und Lastposition ²	Körperhaltung, Position der Last	Haltungswichtung
	<ul style="list-style-type: none"> - Oberkörper aufrecht, nicht verdreht - Last am Körper 	1
	<ul style="list-style-type: none"> - Geringes Vorneigen oder Verdrehen des Oberkörpers - Last am Körper oder körpernah 	2
	<ul style="list-style-type: none"> - Tiefes Beugen oder weites Vorneigen - Geringe Vorneigung mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers - Last körperfern oder über Schulterhöhe 	4
	<ul style="list-style-type: none"> - Weites Vorneigen mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers - Last körperfern - Eingeschränkte Haltungsverstabilität beim Stehen - Hocken oder Knien 	8

2) Für die Bestimmung der Haltungswichtung ist die bei der Lastenhandhabung eingenommene charakteristische Körperhaltung einzusetzen, z.B. bei unterschiedlichen Körperhaltungen mit der Last sind mittlere Werte zu bilden – keine gelegentlichen Extremwerte zu verwenden!

Bei der Ermittlung der Wichtungen für die Ausführungsbedingungen dienen die zeitlich überwiegenden Ausführungsbedingungen als Bewertungsgrundlage (vgl. Tabelle 2-7). Gelegentliche oder kurzzeitige Unwägbarkeiten ohne eine akute sicherheitstechnische Bedeutung sind nicht im Rahmen der Wichtungen zu berücksichtigen. Stattdessen sind sicherheitsrelevante Aspekte gesondert zu dokumentieren [BAu-2001].

Tabelle 2-7: Bestimmung der Wichtung der Ausführungsbedingungen [BAu-2001]

Ausführungsbedingungen	Ausführungswichtung
Gute ergonomische Bedingungen, z.B. ausreichend Platz, keine Hindernisse im Arbeitsbereich, ebener rutschfester Boden, ausreichend beleuchtet, gute Griffbedingungen	0
Einschränkung der Bewegungsfreiheit und ungünstige ergonomische Bedingungen (z.B. 1.: Bewegungsraum durch zu geringe Höhe oder durch eine Arbeitsfläche unter 1,5m ² eingeschränkt oder 2.: Standsicherheit durch unebenen, weichen Boden eingeschränkt)	1
Stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit und/oder Instabilität des Lastenschwerpunkts (z.B. Patiententransfer)	2

Bewertung

Abschließend erfolgt die Ermittlung eines Risikowertes. Zu diesem Zweck werden die zuvor ermittelten Wichtungen für die Last, die Körperhaltung und die Ausführungsbedingungen zunächst addiert. Die Summe wird dann in einem weiteren Schritt mit der Zeitwichtung multipliziert. Der so ermittelte Punktwert kann anhand der vier Risikobereiche, die in Tabelle 2-12 beschrieben sind, eingestuft und bewertet werden [BAu-2001].

Tabelle 2-8: Risikoklassen der LMM-HHT [BAu-2001]

Risikobereich	Punktwert	Beschreibung
1	< 10	Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.
2	10 bis <25	Erhöhte Belastung, eine körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen ⁴ möglich. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll.
3	25 bis < 50	Wesentlich erhöhte Belastung, eine körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbaren Personen ⁴ möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt ⁵ .
4	≥ 50	Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich ⁵ .

3) Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Belastung des Muskel-Skelett-Systems zunimmt. Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden.

4) Vermindert belastbare Personen sind in diesem Zusammenhang Beschäftigte, die älter als 40 oder jünger als 21 Jahre alt sind, „Neulinge“ im Beruf oder durch Erkrankungen leistungsgemindert sind.

5) Gestaltungserfordernisse lassen sich anhand der Punktwerte der Tabellen ermitteln. Durch Gewichtsverminderung, Verbesserung der Ausführungsbedingungen oder Verringerung der Belastungszeiten können Belastungen vermieden werden.

Die Risikobewertung stellt dabei lediglich den Grad der Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Schädigung des Muskel-Skelett-Systems dar, nicht jedoch das Maß der Schwere sowie die Art der Schädigung [Ste-2007].

Wie in Tabelle 2-8 dargestellt, bestehen zwischen den Risikoklassen sogenannte fließende Übergänge. Bei einem Punktwert kleiner 25 ist eine gesundheitliche Schädigung unwahrscheinlich. Diese Grenze orientiert sich allerdings an vermindert belastbaren Personen. Bei höher belastbaren Personen können auch Risikowerte von bis zu 35 Punkten ohne gesundheitliche Schädigung akzeptabel sein [Ste-2007]. Aus der Einstufung des Risikowertes ergeben sich Gestaltungsnotwendigkeiten und -ansätze. So sind bei hohen Zeitwichtungen die Arbeitsorganisation zu überprüfen, bei hohen Lastwichtungen das Lastgewicht zu reduzieren oder Hebehilfen einzurichten und bei einer hohen Wichtung bzgl. der Körperhaltung oder der Ausführungsbedingungen die Arbeitsplatzgestaltung zu optimieren [BAu-2001].

2.3.2 Das Multiple-Lasten-Tool

Lastenhandhabungsvorgänge, welche durch eine breite Streuung des zu handhabenden Lastgewichts, der anfallenden Häufigkeiten und auftretenden Handhabungsarten gekennzeichnet sind, lassen sich mit Hilfe der Leitmerkmalmethoden nur schwer bewerten [Kug-2010]. Die fehlende Bewertungsmöglichkeit multipler, differenzierter Lastenhandhabungsvorgänge führte zu der Entwicklung des Multiple-Lasten-Tools (MLT) im Rahmen des KoBRa-Projekts im Jahr 2010 [Kug-2010], [Sch-2010b]. Dieses dient in erster Linie der Bewertung von Logistik-Arbeitsplätzen in der Materialbereitstellung mit Schleppzügen und wird zurzeit in der aktuellen Version 1.4 in der Industrie erprobt [Kug-2010]. Über die zur Verfügung stehende Eingabemaske in Form einer Excel-Tabelle lassen sich alle relevanten Informationen zu den Umsetz- und Haltevorgängen aufnehmen, welche schlussendlich unter Berücksichtigung der Gewichte und Häufigkeiten einen Gesamtrisikowert ergeben. Zur Gewährleistung einer möglichst praxisorientierten Umsetzung wurde bei der Entwicklung auf die Verfahren LMM-HHT sowie LMM-Z/S zurückgegriffen [Sch-2012a].

Die Aufnahme und Analyse der jeweiligen Lastenhandhabungsvorgänge erfolgt unter Zuhilfenahme der Leitmerkmale und Wichtungen der LMM. Durch die Äquivalenz der ermittelten Punktwerte und der Risikobereiche wird eine Vergleichbarkeit gewährleistet. [Sch-2010b]. Anhand der Leitmerkmale erfolgt die Ermittlung eines Gesamtrisikowerts zur Ermittlung der körperlichen Belastung [IAD-2010b].

Grundlage für die kumulative und kombinierte Untersuchung differenzierter Lastenhandhabungsvorgänge bildet die Zeitwichtung. Diese ist definiert als Belastungsdauer, welche je nach Lastenhandhabungsvorgang über die Häufigkeit, Dauer oder

Wegstrecke bestimmt wird. Für eine detaillierte, automatische Berechnung bzw. Bewertung der Zeitwichtung wurden aus den sechs Zeitwichtungsstufen der LMM (vgl. Tabelle 2-4) für jeden Handhabungsvorgang des MLT stetige Funktionen interpoliert. [IAD-2010b]. Als Stützstellen wurden hierbei die jeweiligen Klassenmitten herangezogen.

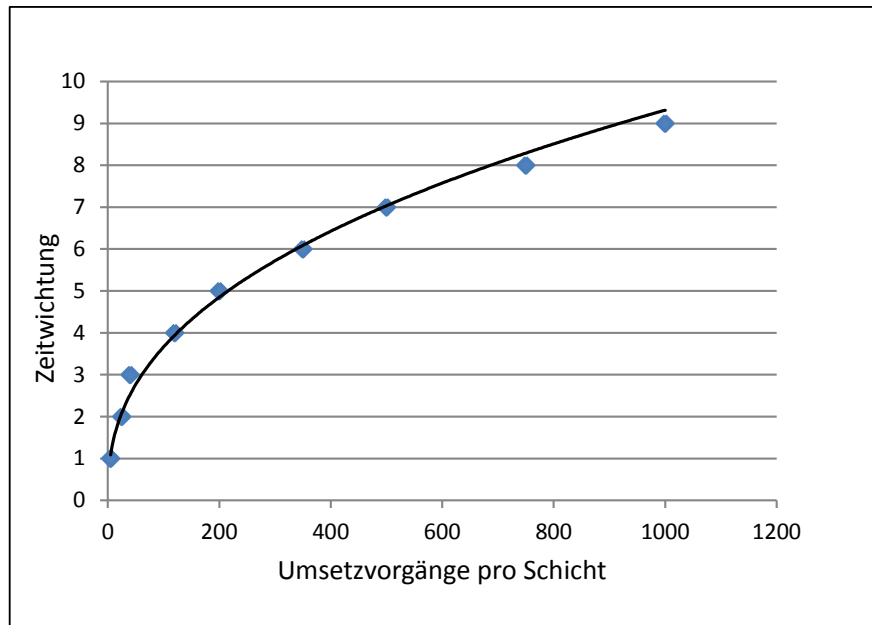


Abbildung 2-7: Interpolierte Zeitwichtung der Handhabungsart Umsetzen [IAD-2010b]

Wie in Abbildung 2-7 zu erkennen, führt der steile Anstieg der Kurve im unteren Bereich zu einer Überbewertung geringer Häufigkeiten [Sch-2012a]. Aufgrund dieser möglichen Fehlbewertung wurden die Zeitskalen der verschiedenen Handhabungsarten angepasst, sodass bspw. drei Meter Tragen einem Umsetz-/Hebevorgang entspricht [Sch-2010b].

Für die kombinierte Bewertung multipler Lastenhandhabungsvorgänge erfolgt deren Bewertung zunächst getrennt voneinander bevor sie abschließend auf eine gemeinsame Größe umgerechnet werden. Die gemeinsame Größe ist beim MLT die Anzahl der Umsetzvorgänge. So werden die Zeitwichtsmerkmale Minuten (Halten) und Meter (Tragen, Ziehen/Schieben lang) in entsprechende Anzahläquivalente (Umsetzen) überführt (vgl. Abbildung 2-8).

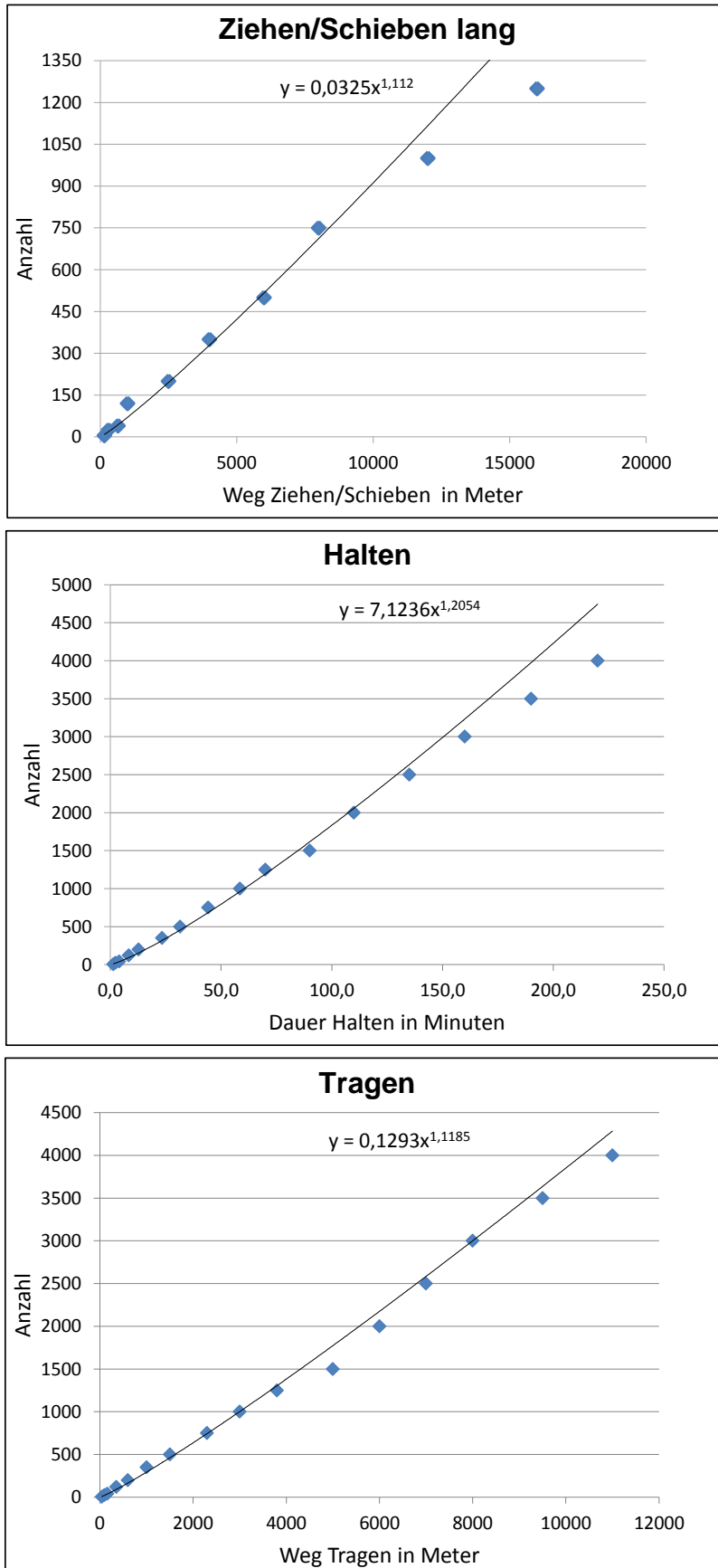


Abbildung 2-8: Berechnung der Anzahläquivalente [IAD-2010b]

Nach Überführung der Zeitwichtigkeitsmerkmale in Anzahläquivalente werden diese über die beiden Handhabungsgruppen (Umsetzen, Halten, Tragen und Ziehen/Schieben lang und kurz) summiert und dann innerhalb der jeweiligen Gruppe anteilig auf die einzelnen Handhabungsarten zurückverteilt [IAD-2010b].

Neben der Zeitwichtung ist auch die Lastwichtung von zentraler Bedeutung bei der Bewertung multipler Lastenhandhabungsvorgänge im Rahmen des MLT. Zu diesem Zweck sind analog zur Ermittlung der Zeitwichtung durch Interpolation näherungsweise beschreibende Funktionen generiert worden. Beim Umsetzen, Halten und Tragen wird eine Differenzierung nach dem Geschlecht der jeweiligen Arbeitsperson durchgeführt (vgl. Abbildung 2-9).

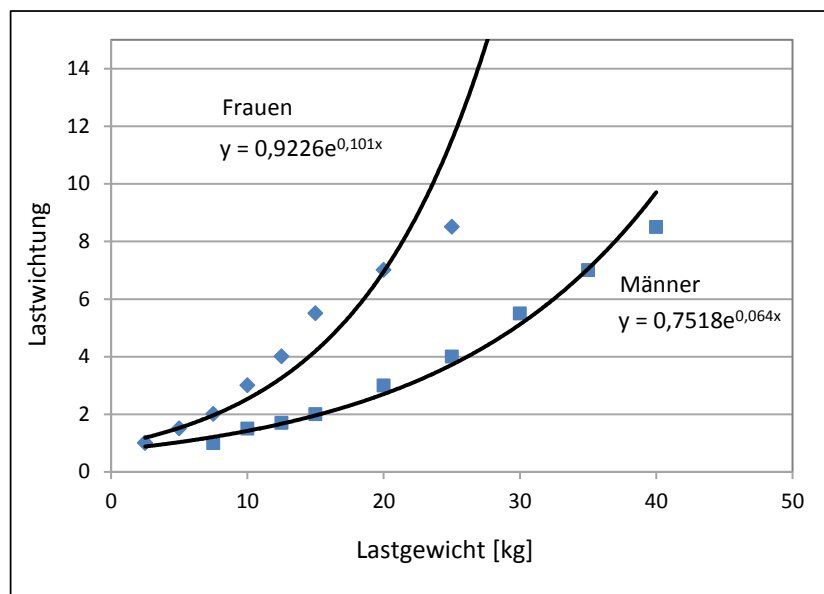


Abbildung 2-9: Lastwichtung Heben, Halten, Tragen [IAD-2010b]

Beim Ziehen und Schieben sind die Lastwichtungspunkte davon abhängig, ob der Transportwagen mit Bockrollen oder freidrehenden Rollen (Lenkrollen) ausgestattet ist (vgl. Abbildung 2-10).

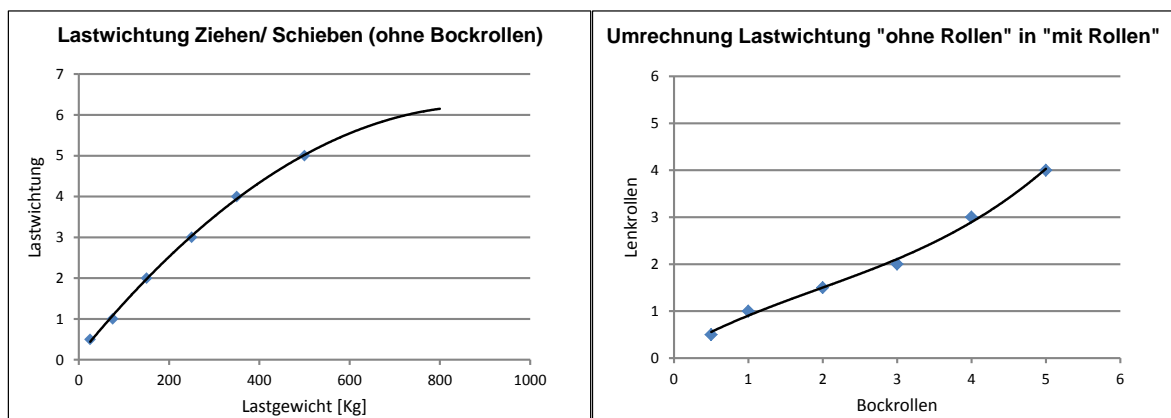


Abbildung 2-10: Lastwichtung Ziehen/Schieben [IAD-2010b]

Anhand der ermittelten Einzellastwichtungen wird im Anschluss für jede Handhabungsart ein häufigkeitsgewichteter Mittelwert zur Ermittlung der Gesamtlastwichtung berechnet [Sch-2010b]. Die Bewertung der Leitmerkmale Körperhaltung, Ausführungsbedingungen und Positioniergenauigkeit erfolgt analog zu dem zuvor beschriebenen Vorgehen.

Die Ermittlung des Gesamtrisikowertes erfolgt wie bei der LMM über die Summierung der häufigkeitsgemittelten Leitmerkmalwichtungen und deren Multiplikation mit den einzelnen zugehörigen Zeitwichtungen. Im Falle der einhändigen Ausführung der Handhabungsart Umsetzen, Halten und Tragen wird das Lastgewicht gemäß der Norm DIN EN 1005-2 mit dem Faktor 1,7 multipliziert und dafür die Lastwichtung bestimmt. Bei weiblichen Arbeitspersonen werden hingegen für die Zieh- und Schiebepvorgänge die Mittelwerte der Lastwichtung und der Haltungswichtung mit dem Faktor 1,3 multipliziert. Die Anwendung des MLT erfolgt für einen Arbeitstag bzw. eine Schicht. Bedingt durch diese kumulierte Betrachtung bleibt die Verteilung der Belastungs- und Erholzeiten über die Zeit unberücksichtigt [Eil-2005]. Der ermittelte Gesamtrisikowert wird abschließend nach dem Ampelschema bewertet (vgl. Tabelle 2-9).

Tabelle 2-9: Einstufung der körperlichen Belastung [IAD-2010b]

Risiko-bereich	Punkt-wert	Beschreibung
1	0 bis < 25	Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich. Bei 10 bis 25 Punkten kann eine körperliche Überbeanspruchung bei vermindert belastbaren Personen möglich sein. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll.
2	25 bis < 50	Wesentlich erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt.
3	≥ 50	Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich, Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich.

Anwendung des MLT zur Bewertung der physischen Mitarbeiterbelastung

Das MLT steht industriellen Anwendern als Microsoft-Excel-Tabelle zur Verfügung, in welche für jede zu handhabende Last die entsprechenden Leitmerkmale eingetragen werden. (vgl. Abbildung 2-11). Dies dient als Grundlage für die Berechnung des Ge-

samtrisikowerts, welcher anhand Tabelle 2-9 eingestuft wird. Die Excel-basierte Umsetzung des Tools besteht aus einem Tabellenkopf, einem Anmerkungsfeld, der Eingabetabelle sowie der Ergebnisdarstellung und einem zusätzlichen Button „Einstufungshilfen“ [IAD-2010a].

Multiple-Lasten-Tool											
Werkzeug zur Bewertung multipler Lastenhandhabungen											
Werk:		Kostenstelle:		Geschlecht Arbeitsperson:	männlich	Analytiker:					
Bereich:		Tätigkeit:				Datum:					
Risikobewertung	Gesamtergebnis	=	Umsetzen	+	Halten >5s	+	Tragen >5m	+	Ziehen Schieben kurz	+	Ziehen Schieben >5m
	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
Einstufungshilfen		Anzahl gesamt		Dauer gesamt		Strecke gesamt		Anzahl gesamt		Strecke gesamt	
		0		0,0 Min.		0 Meter		0		0 Meter	
Anmerkungen											

Abbildung 2-11: Tabellenkopf und Anmerkungsfeld des MLT [IAD-2010a]

Der Tabellenkopf dient der Dokumentation von Angaben bzgl. der Tätigkeit, der Arbeitsperson und der durchgeführten Analyse. Es ist empfehlenswert die entsprechenden Angaben (Werk, Bereich, Kostenstellen, Analytiker und Datum) so detailliert wie möglich zu hinterlegen [IAD-2010a]. So kann zum einem die Analyse konkret einem Arbeitssystem bzw. Arbeitsplatz zugeordnet werden und zum anderen können Auffälligkeiten oder Unklarheiten im Rahmen der Bewertung direkt mit dem durchführenden Analytiker besprochen werden. Darüber hinaus besteht aufgrund der Dokumentation des Datums die Möglichkeit, durchgeführte ergonomische Arbeitsgestaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Mitarbeiter zu analysieren. Je nach Geschlecht der ausführenden Arbeitsperson wird ein unterschiedliches Bewertungsniveau der Lastwichtung zugrunde gelegt. Aus diesem Grund ist die Angabe des Geschlechts im Rahmen des Tabellenkopfes über ein Drop-Down-Menü möglich. Spezielle Rahmenbedingungen des Arbeitssystems bzw. -platzes oder auch Besonderheiten bei der Durchführung der Analyse können im Anmerkungsfeld festgehalten werden. Dies beinhaltet auch Rückmeldungen seitens der Mitarbeiter oder Hinweise zum weiteren Vorgehen [IAD-2010a].

Die Eingabe der tatsächlichen Daten der analysierten Tätigkeit sowie die Wichtungen der Körperhaltung und Ausführungsbedingungen werden in der sogenannten Eingabemaske des MLT eingetragen (vgl. Abbildung 2-12).

Daten			Gewicht
Teilenr.	Behälter / Wagen / Transportmittel	Verwendungsort / Station	Lastgewicht [kg]

Umsetzen				Ziehen / Schieben						
ein- händig	Umsetzen Anzahl	Verladeort Haltung	Ausführungs- bedingungen	ZS kurz Anzahl	ZS lang >5m [m]	Körper- haltung	Ausführ- beding.	Positioniergenauigkeit ZS kurz	ZS lang	Wagen NUR Lenkrollen

Halten				Tragen			
ein- händig	Halten >5s [sec]	Körper- haltung	Ausführ- beding.	ein- händig	Tragen >5m [m]	Körper- haltung	Ausführ- beding.

Abbildung 2-12: Eingabemaske des MLT [IAD-2010a]

Für die kombinierte Bewertung multipler Lastenhandhabungsvorgänge sind für jede auftretende Handhabungsart die Ausprägungen der Leitmerkmale zu erfassen. Je Lastgewicht (Angabe in kg) ist dabei eine Zeile zu nutzen. Differenzierte Tätigkeiten mit demselben Lastgewicht können in dieselbe Zeile eingetragen werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit empfiehlt sich jedoch eine ablauforientierte Dokumentation der Tätigkeiten.





In den ersten drei Spalten der Eingabemaske können optional die Spezifikationen der zu handhabenden Last wie bspw. die Teilenummer, die Art des Transportbehälters oder der Verwendungsort eingegeben werden. In der vierten Spalte erfolgt die Angabe des tatsächlichen Gewichts. Dabei sind für die Handhabungsarten Umsetzen, Halten und Tragen Lastgewichte bis zu 40 kg und für die Handhabungsarten Ziehen und Schieben kurz/lang Lastgewichte von 25 kg bis 950 kg zu bewerten [IAD-2010a]. Für die einzelnen Handhabungsarten sind bei der Anwendung des MLT sowohl die Wichtungen für die Körperhaltung als auch für die Ausführungsbedingungen anzugeben. Ferner gilt es zu untersuchen, ob die Lastenhandhabung ein- oder beidhändig erfolgt. Genannte Daten sind in der Eingabemaske (vgl. Abbildung 2-12) zu hinterlegen.

Das Umsetzen von Lasten ist im Rahmen des MLT definiert als das Heben und anschließende Absetzen von Lasten über eine Distanz von bis zu fünf Metern [IAD-2010a]. Zur korrekten Bewertung dieser Handhabungsart sind die Anzahl der Umsetzvorgänge zu erfassen. Das Halten, welches das statische Halten einer Last von länger als fünf Sekunden kennzeichnet, wird über die Gesamtdauer, über welche die Last gehalten wird, erfasst und dokumentiert. Als Tragen werden hingegen Umsetzvorgänge über eine Distanz von mehr als fünf Metern definiert, sodass in diesem Fall die gesamte Wegstrecke, über welche die Last getragen wird, zu erfassen ist [IAD-2010a].

Beim Ziehen und Schieben von Lasten ist zunächst zu unterscheiden, ob die Tätigkeit über eine Distanz von bis zu fünf Metern (Ziehen und Schieben kurz) oder mehr als fünf Meter (Ziehen und Schieben lang) ausgeführt wird. Ähnlich wie bei den Handhabungsarten Umsetzen und Tragen sind für das Ziehen und Schieben kurz (Z/S kurz) die Anzahl der Handhabungsvorgänge und beim Ziehen und Schieben lang (Z/S lang) die Gesamtstrecke zu erfassen. Des Weiteren sind analog die Wichtungswerte für die Körperhaltung und die Ausführungsbedingungen zu bestimmen [IAD-2010a]. Zusätzlich gilt es zu entscheiden, ob der Transportwagen mit Lenkrollen oder mit starren Bockrollen ausgestattet ist (vgl. Abbildung 2-10) und die Positioniergenauigkeit unter Berücksichtigung der Einstufungsregeln zu analysieren [IAD-2010a].


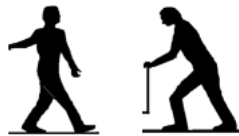
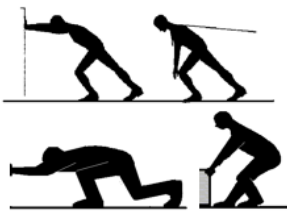

Über den Button „Einstufungsregeln“ gelangt der Anwender zu einem weiteren Tabellenblatt, in welchem anhand von Piktogrammen und Textbeschreibungen die Wichtungen bzgl. Körperhaltung, Ausführungsbedingungen und Positioniergenauigkeit vorgenommen werden können. Die Einstufung der Körperhaltung für das Umsetzen, Halten und Tragen bzw. Schieben und Ziehen kurz/lang erfolgt jeweils nach der für den Lastenhandhabungsvorgang charakteristischen Körperhaltung (Tabelle 2-10). Sollten unterschiedliche Körperhaltungen auftreten, so besteht die Möglichkeit der Mittelwertbildung für die betrachtete Tätigkeit.

Tabelle 2-10: Einstufung der Körperhaltung Umsetzen, Halten, Tragen [IAD-2010a]

Charakteristische Körperhaltung und Lastposition ²	Körperhaltung, Position der Last	Haltungswichtung
	<ul style="list-style-type: none"> - Oberkörper aufrecht, nicht verdreht - Last am Körper 	1
	<ul style="list-style-type: none"> - Geringes Vorneigen oder Verdrehen des Oberkörpers - Last am Körper oder körpernah 	2
	<ul style="list-style-type: none"> - Tiefes Beugen oder weites Vorneigen - Geringe Vorneigung mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers - Last körperfern oder über Schulterhöhe 	4
	<ul style="list-style-type: none"> - Weites Vorneigen mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers - Last körperfern - Eingeschränkte Haltungsstabilität beim Stehen - Hocken oder Knien 	8
<p>2) Für die Bestimmung der Haltungswichtung ist die bei der Lastenhandhabung eingenommene charakteristische Körperhaltung einzusetzen, z.B. bei unterschiedlichen Körperhaltungen mit der Last sind mittlere Werte zu bilden – keine gelegentlichen Extremwerte zu verwenden!</p>		

Beim Ziehen und Schieben sind die nur gelegentlich auftretenden Körperhaltungen beim Anfahren, Abbremsen oder Rangieren zu vernachlässigen (Tabelle 2-11) [IAD-2010a].

Tabelle 2-11: Einstufung der Körperhaltung Ziehen/(Schieben [IAD-2010a]

Charakteristische Körperhaltung und Lastposition ²	Körperhaltung, Position der Last	Haltungswichtung
	Rumpf aufrecht, keine Verdrehung	1
	Rumpf leicht vorgebeugt und/ oder leicht verdreht (einseitiges Ziehen)	2
	Stärkere Neigung des Körpers in Bewegungsrichtung Hocken, Knien, Bücken	4
	Kombination von Bücken und Verdrehen	8
2) Es ist die typische Körperhaltung zu berücksichtigen. Die beim Anfahren, Abbremsen und Rangieren möglicherweise deutlichere Rumpfneigung ist zu vernachlässigen, wenn sie nur gelegentlich auftritt.		

Analog zur Einstufung der Körperhaltung gilt bei der Bestimmung der Wichtung für die Ausführungsbedingungen die Annahme, dass lediglich die zeitlich überwiegenden Bedingungen zu bewerten und dokumentieren sind [IAD-2010a]. In Tabelle 2-12 sind die Ausführungswichtungen für das Umsetzen, Halten und Tragen dargestellt.

Tabelle 2-12: Einstufung der Ausführungsbedingungen Umsetzen, Halten, Tragen [IAD-2010a]

Ausführungsbedingungen	Ausführungswichtung
<p>Gute ergonomische Bedingungen z.B. ausreichend Platz, keine Hindernisse im Arbeitsbereich, ebener rutschfester Boden, ausreichend beleuchtet</p> <p>Gute Greifbedingungen Teilegeometrie bewirkt neutrale Handgelenkstellung Entnahme Kleinteile (ohne größeres Verklemmen) aus dem Großbehälter Teil liegt frei auf "Rutsche", auf Förderband oder in Roboterstation KLT steht "frei" und kann mit beiden Händen gut gepackt werden</p>	0
<p>Leichte Behinderungen bei Greifbedingungen Teilgeometrie bewirkt 1/2 Abweichung der neutralen Handgelenkstellung Ungeeignete Handschuhe (zu dick, zu groß) Entnahme Kleinteile (Teile verklemmen) aus dem Großbehälter KLT's stehen eng nebeneinander im Regal oder auf Dolly (Platz für Hände ausreichend)</p>	1
<p>Verschlechterte ergonomische Bedingungen z.B. Eingeschränkter Bewegungsfreiraum, kleinere Hindernisse im Arbeitsbereich wirken sich auf Standsicherheit aus</p> <p>Ungünstige Greifbedingungen Teilegeometrie bewirkt 2/3 Abweichung der neutralen Handgelenkstellung, Entnahme Kleinteile aus Großbehälter (Teile müssen teilweise losgebrochen werden), KLT's stehen so eng nebeneinander, dass kaum Freiraum für Hände besteht</p>	2-3
<p>wesentliche Verschlechterung der ergonomischen Bedingungen z.B. Standsicherheit eingeschränkt (Boden uneben, weich, rutschig, abschüssig), Rückwärts oder seitwärts mitlaufen bei Arbeitsausführung</p> <p>Schlechte Greifbedingungen Teilegeometrie führt zu stark abweichender Handgelenkstellung, Teile verhaken ständig ineinander, müssen ständig losgebrochen werden, KLT-Blockstapel, KLT kann nur mit Fingerspitzen gepackt werden (Kein Freiraum Hände)</p>	4-5
<p>Extrem schlechte ergonomischen Bedingungen Stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit (Stolpergefahr durch Bodenbeschaffenheit), Instabilität des Lastenschwerpunktes, Arbeitsaufgabe am Rand Ausführbarkeit, Mehrfaches Nach- und Umgreifen erforderlich</p> <p>Sehr schlechte Greifbedingungen Teilegeometrie führt zu maximal abweichender Handgelenkstellung, Kein Griff, keine "richtige" Anpackstelle</p>	6-8

Analog hierzu sind in Tabelle 2-13 die Ausführungsbedingungen für das Ziehen/Schieben aufgezeigt.

Tabelle 2-13: Einstufung der Ausführungsbedingungen Ziehen/Schieben [IAD-2010a]

Ausführungsbedingungen	Ausführungswichtung
Gut Fußboden oder andere Fläche eben, fest, glatt, trocken – ohne Neigungen – keine Hindernisse im Bewegungsraum – Rollen oder Räder leichtgängig, kein erkennbarer Verschleiß der Radlager	0
Eingeschränkt Fußboden verschmutzt, etwas uneben, weich, Schlaglöcher, starke Verschmutzung – geringe Neigungen bis 2° - Hindernisse im Bewegungsraum, die umfahren werden müssen – Rollen oder Räder verschmutzt, nicht mehr ganz leichtgängig, Lager ausgeschlagen	2
Schwierig unbefestigter oder grob gepflasterter Fahrweg, Schlaglöcher, starke Verschmutzung – Neigungen 2° bis 5° - Flurförderzeuge müssen beim Anfahren losgerissen werden – Rollen oder Räder verschmutzt, schwergängig	4
Kompliziert Stufen, Treppen, Absätze – Neigung > 5° - Kombinationen der Merkmale von „Eingeschränkt“ und „Schwierig“	8

Wie bereits erwähnt, stellt die Bewertung der Positioniergenauigkeit beim Ziehen und Schieben einen zusätzlichen Einflussfaktor dar (vgl. Tabelle 2-14).

Tabelle 2-14: Einstufung der Positioniergenauigkeit [IAD-2010a]

Positioniergenauigkeit		Bewegungsgeschwindigkeit	
		langsam (< 0,8 m/s)	schnell (0,8 – 1,3 m/s)
Gering	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Vorgabe des Fahrweges - Last kann ausrollen oder wird an Anschlag gestoppt 	1	2
Hoch	<ul style="list-style-type: none"> - Last ist exakt zu positionieren und anzuhalten - Fahrweg ist exakt einzuhalten - Häufige Richtungsänderungen 	2	4

Die Berechnung des Gesamtrisikowerts ergibt sich abschließend aus den Einträgen in den einzelnen Datenzeilen. Die Bewertung des Ergebnisses erfolgt dann nach dem

Ampelschema. Zusätzlich zur Angabe eines Gesamtrisikowerts werden besonders ungünstige Kombinationen aus Last- und Haltungswichtungen beim Umsetzen, Halten und Tragen farblich markiert (vgl. Abbildung 2-13). Bei jenen biomechanisch kritischen Lasthandhabungsvorgängen besteht unabhängig vom Gesamtrisikowert Handlungsbedarf [IAD-2010a].

Multiple-Lasten-Tool																										
Werkzeug zur Bewertung multipler Lastenhandhabungen																										
Werk: Testwerk		Kostenstelle: 4711		Geschlecht Arbeitsperson: männlich		Analytiker: Test																				
Bereich: Montage Prototyp		Tätigkeit: Logistik-Zug				Datum: 06.08.2010																				
Risikobewertung	Gesamt- ergebnis	=	Umsetzen	+	Halten >5s	+	Tragen >5m	+	Ziehen Schieben kurz	+	Ziehen Schieben >5m															
	5,5		4,8		0,0		0,8		0,0		0,0															
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> biomechanisch kritische Lastfälle </div>																										
Einstufungshilfen		Anzahl gesamt: 5		Dauer gesamt: 0,0 Min.		Strecke gesamt: 7 Meter		Anzahl gesamt: 0		Strecke gesamt: 0 Meter																
Anmerkungen																										
Daten																										
Telernr.	Behälter / Wagen / Transportmittel	Verwendungs- ort / Station	Gewicht [kg]	Umsetzen			Optional			Halten			Tragen			Ziehen / Schieben										
				ein- händig	Umsetzen Anzahl	Verladeort 1 Haltung	Ausführungs- bedingungen	Umsetzen Anzahl	Verladeort 2 Haltung	Ausführ- beding.	ein- händig	Halten >5s [sec]	Körper- haltung	Ausführ- beding.	ein- händig	Tragen >5m [m]	Körper- haltung	Ausführ- beding.	ZS kurz Anzahl	ZS lang >5m [m]	Körper- haltung	Ausführ- beding.	Positioniergenauigkeit ZS kurz	ZS lang	Wagen NUR Lenkrollen	
	KLT		10,0	2	1,0	0	1	2,0	4						ja	7,0	1,0	1								
	KLT2		20,0	1	4,0	2	1	2,0	2																	

Abbildung 2-13: Eingabemaske des MLT [IAD-2010a]

2.4 Kommissionier- und belastungsspezifische Einflussgrößen

Die Höhe und Dauer der Mitarbeiterbelastung ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu gehören bspw. die eingenommene Körperhaltung während der Bewegung, die Häufigkeit der Tätigkeitsausführung sowie das zu handhabende Lastgewicht [Gol-2008]. Die Entwicklung einer kommissionierspezifischen Methodik zur Erfassung und Bewertung der tatsächlich vorliegenden Mitarbeiterbelastung erfordert demnach die genaue Kenntnis aller belastungsspezifischen Einflussgrößen, welche für die Höhe der Druckkräfte auf die Wirbelsäule und insbesondere auf die Lendenwirbelsäule verantwortlich sind. Als belastungsspezifische Einflussgrößen wurden im Verlauf des Forschungsprojekts jene Parameter definiert, welche die Belastung des Mitarbeiters direkt beeinflussen und in ihrer Ausprägung die resultierende Belastungshöhe maßgeblich bestimmen.

Belastungsspezifische Einflussgrößen sind wiederum abhängig von sogenannten kommissionierspezifischen Einflussgrößen, welche sich aus der Gestaltung des jeweiligen Kommissioniersystems ergeben. Als kommissionierspezifische Einflussgrößen konnten bspw. das Artikelgewicht oder die Entnahme-/Abgabeposition identifiziert

werden. Der beschriebene Zusammenhang zwischen der Gestaltung eines Kommissioniersystems und der daraus resultierenden Höhe der Wirbelsäulenbelastung ist nachstehend in Abbildung 2-14 schematisch dargestellt.

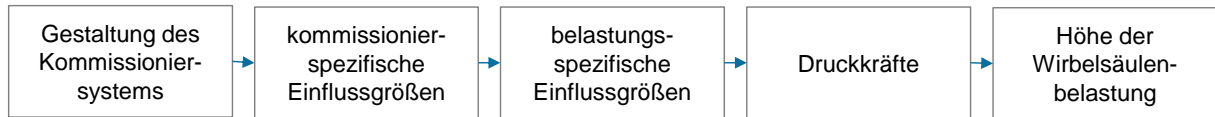


Abbildung 2-14: Zusammenhang zwischen der Gestaltung des Kommissioniersystems und der Höhe der Wirbelsäulenbelastung [Gol-2008]

Wie in Abbildung 2-14 zu erkennen, ist es zwingend erforderlich die bestehenden Wirkzusammenhänge zwischen belastungsspezifischen und kommissionierspezifischen Einflussgrößen zu identifizieren und zu analysieren. Zu diesem Zweck werden nachstehend zunächst die relevanten belastungsspezifischen und kommissionierspezifischen Einflussgrößen herausgearbeitet.

Belastungsspezifische Einflussgrößen

Auf Basis bestehender Untersuchungen, wie bspw. existierenden Dosismodellen, biomechanischen Menschmodellen, ermittelten Druckkraftverläufen sowie der in Abschnitt 2.3 dargestellten Verfahren zur Belastungsermittlung, konnten differenzierte kommissionierspezifische Einflussgrößen identifiziert werden. Eine Übersicht über die relevanten Einflussfaktoren auf die Belastungshöhe und -dauer wird in Abbildung 2-15 gegeben.

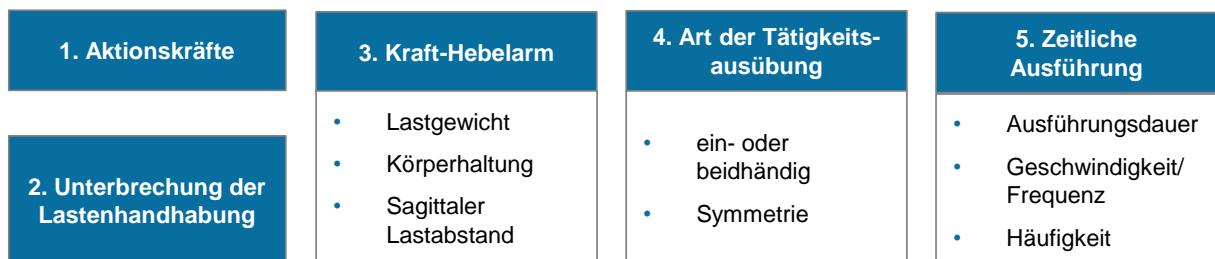


Abbildung 2-15: Belastungsspezifische Einflussgrößen

Als Aktionskraft wird eine Körperkraft bezeichnet, welche vom Menschen an seine Umgebung abgegeben wird und somit vom Körper nach außen wirkt. Sie ergibt sich aus der Massen- und/oder Muskelkraft und dient der Durchführung einer mechanischen Arbeit [Mer-2012]. Aktionskräfte können dynamisch in Form von Eigenbewegungs- oder Manipulationskräften oder statisch in Form von Halte- oder Stützkräften auftreten. Die Kräfte, welche infolge der Aktionskräfte in der Wirbelsäule auftreten, werden als Reaktionskräfte bezeichnet [Jäg-1998]. In Kommissioniersystemen sind

Aktionskräfte insbesondere beim Ziehen und Schieben zu analysieren. Diese sind vergleichbar mit den Belastungen, welche durch das Umsetzen, Halten und Tragen schwerer Lasten entstehen, und aus diesem Grund als wesentliche belastungsspezifische Einflussgröße zu identifizieren.

Neben den Aktionskräften sind mögliche Unterbrechungen der Lastenhandhabung während der Kommissionierung zu untersuchen. Diese entstehen bspw. durch ausgeführte Schritte zwischen der Entnahme- und Abgabeposition der Last oder durch mehrere Lastenhandhabungsvorgänge in Folge eines Umgreifens oder Absetzen der Last. Genannte Unterbrechungen erhöhen die Anzahl der tatsächlichen Lastenhandhabungsvorgänge, was wiederum in einer erhöhten Mitarbeiterbelastung resultiert [Gol-2008]. Ein Entnahme-/Abgabevorgang kann eine Vielzahl von Hebe- und Haltevorgängen beinhalten, welche jeweils belastungsrelevant und somit einzeln zu analysieren und zu bewerten sind.

Wie in Abschnitt 2.2.2 erläutert, sind das Lastgewicht, sowie die Körperhaltung und der sagittale Lastabstand im Rahmen des Kraft-Hebelarmgesetzes bei der Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung von zentraler Bedeutung. Hohe Lastgewichte führen zu erhöhten Druckkräften auf die Wirbelsäule. Das lumbosakrale Belastungsmoment wird neben dem Lastgewicht maßgeblich durch die Körperhaltung beeinflusst, wodurch die Betrachtung dieser von wesentlicher Bedeutung ist [Jäg-1998]. Der sagittale Lastabstand stellt den Last-Hebelarm bezüglich der Lendenwirbelsäule dar und ist abhängig von der Entnahme-/Abgabeposition sowie dem zu handhabenden Gewicht [Jäg-2001a]. Der Lastabstand wird dabei jeweils als Entfernung in sagittaler Richtung zwischen der Ferse und dem Lastmittelpunkt definiert [Jäg-2002a].

Die Körperhaltung wird entscheidend durch die Art der Tätigkeitsausübung beeinflusst. Eine ungleiche Lastverteilung (Asymmetrie) durch eine einhändige Lastenhandhabung führt bspw. zu einer höheren Belastung und potenziellen gesundheitlichen Risiken als eine beidhändige Lastenhandhabung [Jäg-1998b]. Ferner ist für die Ermittlung der Druckkräfte die Symmetrie der Körperhaltung während der Lastenhandhabung relevant. Die Druckbelastung während des Umsetzens und Hebens von Lasten mit überlagerter Körperdrehung um etwa 5 bis 10 Prozent ist höher als beim beidhändig symmetrischen Heben und Umsetzen [Jäg-2001b]. Des Weiteren führen unsymmetrische Körperhaltungen durch seitliche Lastpositionen zu deutlich höheren Druckkräften auf die Wirbelsäule [Jäg-2002b].

Darüber hinaus werden auftretende Belastungen durch die zeitliche Ausführung der Lastenhandhabung beeinflusst. Die Höhe der Druck- und Scherkräfte, welche zur Beurteilung der Wirbelsäulenbelastung herangezogen wird, ist nicht nur abhängig von dem zu handhabenden Lastgewicht sondern auch von der Geschwindigkeit, der Häufigkeit und der Dauer der Ausführung [Gol-2008]. Nach der Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2 liegt das Druckkraftmaximum einer 20 kg schweren Last bei langsamer Ausführung etwas bei 3,4 kN, während eine schnelle Ausführung zu 3,7 kN führt [Jäg-2001b].

Kommissionierspezifische Einflussgrößen

Durch die im Vorfeld durchgeführten Analysen der Kommissionierprozesse und Ausprägungen von Kommissioniersystemen konnten verschiedene kommissionierspezifische Einflussgrößen identifiziert werden. Beispiele hierfür sind Parameter wie Entnahme- und Abgabehöhen, welche die Körperhaltung und somit die Druckkräfte auf die Wirbelsäule beeinflussen. Eine Übersicht über die relevanten kommissionierspezifischen Einflussgrößen gibt Abbildung 2-16.

1. Artikel <ul style="list-style-type: none">• Zu handhabendes Gewicht (Artikelgewicht, Gewicht Transportbehälter, Schwerpunkt, Anzahl der Artikel je Entnahmeeinheit)• Artikelgeometrie• Artikelbeschaffenheit (Griffe, Sperrigkeit)	2. Bereitstellung <ul style="list-style-type: none">• Entnahme (Höhe und Tiefe)• Abgabe (Höhe und Tiefe)• Bewegungsfreiheit (Abmessungen, Möglichkeiten des Zugriffs)
3. Transport <ul style="list-style-type: none">• Zurückgelegte Wege (Entfernungen, Größe des Artikelstamms)• Technische Hilfsmittel• Beschaffenheit des Bodens	4. Sonstiges <ul style="list-style-type: none">• Schichtdauer/Pausen• Informationsdarstellung• Kommissionierzeit (Auftragsdurchlaufzeit)

Abbildung 2-16: Kommissionierspezifische Einflussgrößen

Wesentliche kommissionierspezifische Einflussgrößen resultieren aus den zu handhabenden Artikeln und deren Positionen. Das Lastgewicht setzt sich bspw. aus dem Artikelgewicht, dem Gewicht der verwendeten Transportbehälter und der Anzahl der Artikel je Entnahmeeinheit zusammen. Das Gewicht der Artikel kann nach Ten Hompel zumeist aus der Auftragsstruktur abgelesen werden und ist neben dem resultierenden

Lastgewicht entscheidend für der Art der Tätigkeitsausübung (ein-/beidhändig) [Hom-2011]. Darüber hinaus ist es sinnvoll, den Schwerpunkt des zu handhabenden Artikels zu identifizieren, um möglicherweise auftretende Kippmomente zu vermeiden. Diese können zu einer Änderung der einwirkenden Last sowie der entstehenden Druckkräften führen [Jäg-2001b]. Beim Ziehen und Schieben von Lasten ist bei der Ermittlung der Aktionskräfte zusätzlich das Gewicht eventuell verwendeter Kommissionierwagen zu berücksichtigen. Die Abmessungen des Artikels (Breite, Höhe, Tiefe) und die Artikelbeschaffenheit beeinflussen die Arm- und Handgelenksstellung sowie den sagittalen Lastabstand [Gol-2008].

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Bereitstellung der Artikel und deren Position. So sind insbesondere die Entnahmehöhe/-tiefe und Abgabehöhe/-tiefe maßgeblich verantwortlich für die eingenommene Körperhaltung und den daraus resultierenden Druckkräften auf die Wirbelsäule. Die Bewegungsfreiheit wird über Aspekte wie die Gangbreite oder Zugänglichkeit der Artikel zur Entnahme bestimmt. Diese Faktoren haben einen Einfluss auf die Art der Lastenhandhabung (ein-/beidhändig) sowie die Symmetrie während der Lastenhandhabung und sind zu erfassen und zu analysieren.

Die dem Transport zugeordneten kommissionierspezifischen Einflussgrößen sind i. d. R. maßgeblich für die Ausprägung der belastungsspezifischen Einflussgrößen „zeitliche Ausführung“ verantwortlich. Das Layout des Kommissioniersystems und die daraus resultierenden Entfernungen bedingen bspw. die Art der Lastenhandhabung (Umsetzen, Halten, Tragen bzw. Ziehen/Schieben kurz oder lang) und folglich die Ausführungsdauer bzw. Häufigkeit. Der Einsatz technischer Hilfsmittel kann das zu handhabende Lastgewicht und demnach u. U. auch die Höhe der auf die Wirbelsäule wirkenden Druckkräfte reduzieren. Die Bodenbeschaffenheit entscheidet über die Höhe der aufzubringenden Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben.

Weitere kommissionierspezifische Einflussgrößen sind die Schichtdauer und Pausen, welche einen direkten Einfluss auf die Ermüdung und mögliche Erholzeiten des Mitarbeiters haben.

Die Wirkzusammenhänge zwischen den kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen wurden im Verlauf der Forschungsarbeiten qualitativ bewertet und sind übersichtlich in Abbildung 2-17 zusammengefasst. Die getroffenen Einschätzungen basieren auf durchgeführten Interviews sowie den in der Fachliteratur zu findenden Ausführungen. Darüber hinaus wurden im Rahmen von Laborversuchen im IE-Training-Centre der Professur APS verschiedene Wirkzusammenhänge nachgestellt

2.4 Kommissionier- und belastungsspezifische Einflussgrößen

und validiert. Die grüne Färbung bedeutet, dass die jeweils kommissionierspezifische Einflussgröße einen maßgeblichen Einfluss auf die belastungsspezifische Einflussgröße hat. Bei gelber Färbung ist von einem geringer ausgeprägten Wirkzusammenhang auszugehen, während bei weißer Färbung kein offensichtlicher Wirkzusammenhang zu identifizieren war.

kommissionierspezifische Einflussgrößen			belastungsspezifische Einflussgrößen								
			Kraft-Hebelarm			zeitliche Ausführung			Art der Ausführung		Aktionskräfte
			Lassgewicht	Körperhaltung	sagittaler Lastabstand	Dauer	Geschwindigkeit	Häufigkeit	ein- oder beidhändig	Symmetrie	
Artikel	zu handhabendes Gewicht	Artikelgewicht									
		Gewicht des Transportbehälter									
		Anzahl der Artikel je Entnahmeeinheit									
		Schwerpunkt									
	Artikelgeometrie										
Artikelbeschaffenheit											
Bereitstellung	Entnahme	Entnahmehöhe									
		Entnahmetiefe									
	Abgabe	Abgabehöhe									
		Abgabentiefe									
	Bewegungsfreiheit	Abmessungen									
Möglichkeiten des Zugriffs											
Transport	zurückgelegte Wege	Entfernungen									
		Größe des Artikelstamms									
	technische Hilfsmittel										
	Beschaffenheit des Bodens										
Sonstiges	Schichtdauer/ Pausen										
	Informationsdarstellung										
	Auftragsdurchlaufzeit										

Abbildung 2-17: Wirkzusammenhänge zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen

3 Charakteristika manueller Kommissioniersysteme

Inhalt des Kapitels 3 ist die Untersuchung von Kommissioniersystemen unter ergonomischen Gesichtspunkten. Da die Berücksichtigung der Zielgruppe eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Integration der fortlaufenden Belastungsermittlung in betriebliche Abläufe ist, wird zunächst ein Überblick über relevante Akteure in Unternehmen im Zusammenhang mit der Planung und dem Betrieb manueller Kommissioniersysteme gegeben. Anschließend werden auf Basis der Untersuchung von verschiedenen Kommissioniersystemen bei Projektpartnern und Beispielen aus der Literatur unterschiedliche Ausprägungen und Tätigkeiten in manuellen Kommissioniersystemen beschrieben. Aus der Vielzahl möglicher Realisierungsformen werden abschließend zwei Kommissionierszenarien abgeleitet, anhand derer repräsentativ für eine Vielzahl realer Kommissioniersysteme die Forschungsarbeit im Rahmen des Projekts ErgoKom durchgeführt wird.

3.1 Akteure der Kommissionierung

Kommissionierer sind gemäß einer Tätigkeitsbeschreibung der Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL) verantwortlich für die Zusammenstellung von Warensendungen. Sie verbuchen darüber hinaus die Entnahme von Waren in EDV-Systemen und verpacken diese versandfertig, bevor diese in den Warenausgang weitergegeben werden. Weitere mögliche Aufgaben eines Kommissionierers sind der Transport von Waren mit Gabelstaplern oder Regalfahrzeugen das Sortieren von Paletten sowie Unterstützung beim Be- und Entladen von Fahrzeugen. [BVL-2013]

Demzufolge ist der Kommissionierer der zentrale Akteur in manuellen Kommissioniersystemen. Viele Entscheidungen, die sich auf die Belastung des Kommissionierers auswirken, werden jedoch nicht von diesem selbst, sondern von weiteren Akteuren getroffen, die in Zusammenhang mit dem Betrieb oder der Planung von Kommissioniersystemen stehen.

Hierzu zählen in erster Linie unmittelbare Vorgesetzte der Kommissionierer. Bei den untersuchten Unternehmen handelt es sich in Abhängigkeit von der Größe des Unternehmens und dessen Organisationsstruktur um Gruppenleiter, Vorarbeiter, Schichtleiter oder Lagerleiter. Ihre Aufgabe ist es, für den effizienten Einsatz von Mitarbeitern und für deren Sicherheit zu sorgen. Darüber hinaus sind sie u. a. verantwortlich für die vorschriftsgemäße und materialgerechte Lagerung der Güter, den internen Warentransport und die optimale Lagerorganisation. Bei der Durchführung ihrer Aufgaben werden sie von modernster Informationstechnologie unterstützt. [BVL-2013]

Neben Kommissionierern und deren Vorgesetzten sind auch Logistikplaner als wichtige Akteure im Zusammenhang mit Kommissioniersystemen zu nennen. Logistikplaner analysieren die stattfindenden Prozesse, erarbeiten neue Logistikkonzepte und begleiten deren Umsetzung [BVL-2013]. Außerdem bewerten sie Ansätze zur Verbesserung des Material- und Informationsflusses in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht [BVL-2013]. Bereits in der Planungsphase eines Kommissioniersystems treffen sie somit Entscheidungen, die sich auf die spätere Mitarbeiterbelastung auswirken können.

Neben Akteuren, die operative, planerische oder leitende Aufgaben im Funktionsbereich Logistik wahrnehmen, sind im Hinblick auf ergonomische Fragestellungen in der Kommissionierung auch Stabsstellen im Bereich Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin zu nennen. Die zentrale Aufgabe des Arbeitsmediziners bzw. Betriebsarztes ist es, zusammen mit einer speziell ausgebildeten Fachkraft für Arbeitssicherheit den Unternehmer, die Sicherheitsvertrauenspersonen und die Belegschaftsorgane auf dem Gebiet der Arbeitssicherheit und der menschengerechten Arbeitsgestaltung zu beraten und die Arbeitgeber bei der Erfüllung ihrer Pflichten auf diesem Gebiet zu unterstützen. Dies umfasst u. a. die Beurteilung (Gefährdungsbeurteilung gemäß Arbeitsschutzgesetz) von Arbeitsplätzen und die Ermittlung von notwendigen Maßnahmen des Arbeitsschutzes. [Bau-2013]

3.2 Manuelle Tätigkeiten in Kommissioniersystemen

Zu Beginn des Abschnitts 3.1 sind einige wesentliche Aufgaben genannt, die im Tätigkeitsfeld eines Kommissionierers vorkommen können. Welche Tätigkeiten im Einzelnen tatsächlich durchgeführt werden, hängt von den konkreten Anforderungen an

das Kommissioniersystem sowie dessen Ausgestaltung ab. Deshalb wurde im Rahmen des Forschungsprojekts auf Basis von in der Literatur beschriebenen Tätigkeiten sowie einer Untersuchung von 13 Kommissioniersystemen bei Unternehmen eine Übersicht über mögliche Tätigkeiten von Kommissionierern in verschiedenen Kommissioniersystemen erarbeitet. Nachfolgend werden diese Tätigkeiten beschrieben sowie unter dem Aspekt der physischen Belastung untersucht. Da entsprechend Kapitel 1 der Fokus des Forschungsprojekts auf der manuellen Lastenhandhabung liegt, werden dabei die in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Leitmerkmalmethoden LMM-HHT und LMM-Z/S zugrunde gelegt.

Von den in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen Prozessschritten führt der Kommissionierer in jedem manuellen Kommissioniersystem die Entnahme der geforderten Warenmenge aus den Bereitstellereinheiten sowie deren Abgabe beispielsweise in Sammelbehälter, auf ein Fördersystem oder ein Transportgerät durch. In Abhängigkeit vom einzelnen Kommissioniersystem sind darüber hinaus auch die Fortbewegung des Kommissionierers sowie der Transport der gesammelten Ware wesentliche Bestandteile der Kommissioniertätigkeit. Aufgrund der Häufigkeit ihres Auftretens werden diese Tätigkeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens als Haupttätigkeiten in der Kommissionierung bezeichnet. Nachfolgend sind unterschiedliche Varianten hinsichtlich der Ausgestaltung dieser Haupttätigkeiten beschrieben.

Die Art der Fortbewegung des Kommissionierers hängt stark von der Bereitstellung sowie den eingesetzten technischen Hilfsmitteln ab. So erfolgt bei Kommissioniersystemen nach dem Prinzip Ware-zur-Person entsprechend der Begriffsdefinition in Abschnitt 2.1.1 abgesehen von den nachfolgend als Nebentätigkeiten beschriebenen Aufgaben keine Fortbewegung des Kommissionierers. Bei der Kommissionierung nach dem Prinzip Person-zur-Ware findet hingegen eine Bewegung des Kommissionierers zum jeweiligen Entnahmeort statt. Abhängig von den jeweils eingesetzten technischen Hilfsmitteln kann die Fortbewegung zu Fuß oder durch Mitfahren in einem Stapler oder Regalbediengerät erfolgen. Eine Belastung entsprechend der LMM tritt bei der reinen Fortbewegung des Kommissionierers nicht auf, jedoch ist eine Belastung im Zusammenhang mit dem Transport der kommissionierten Ware möglich.

Manuelle Entnahmevorgänge entsprechen einem Hebe-, Halte- oder Tragevorgang. Welche Handhabungsart entsprechend der LMM-HHT im Einzelnen vorliegt, ist abhängig von der Wegstrecke und der Ausführungsdauer. Wesentliche Einflussfaktoren hierauf sind die Entfernung zwischen Entnahme- und Abgabeort sowie der Einsatz

technischer Hilfsmittel zur Fortbewegung des Kommissionierers und dem Transport der kommissionierten Ware. Weiterhin wird die Dauer eines Vorgangs auch dadurch bestimmt, ob und in welchem Umfang eine Überprüfung der Ware beim Entnahmeprozess stattfindet. Wesentlichen Einfluss auf die Belastung haben bei den genannten Handhabungsvorgängen die eingenommene Körperhaltung sowie das Lastgewicht. Entsprechend der in Abschnitt 2.4 beschriebenen Wirkzusammenhänge zwischen belastungs- und kommissionierspezifischen Einflussgrößen, wird die Körperhaltung beim Entnahmeprozess wesentlich durch die Entnahmehöhe und -tiefe beeinflusst. Die Entnahmehöhe und -tiefe resultieren u. a. aus der Lagereinrichtung und den verwendeten Lagerhilfsmitteln. So erfolgt die Entnahme bei den untersuchten Kommissioniersystemen häufig aus Paletten-, Fachboden-, Durchlauf- und Hochregalen, bei denen die Entnahmehöhe im Wesentlichen durch den Lagerplatz, beispielsweise durch die Höhe der einzelnen Fachböden vorgegeben ist. Weiterhin kommt die Bereitstellung durch sog. Shuttles der Firma Kardex und in Form von Bodenlagerung zur Anwendung. Bei diesen Varianten werden die Lagerhilfsmittel, in denen sich die Ware befindet, in der Bedienöffnung bzw. auf dem Boden und somit jeweils auf einer bestimmten, gleichbleibenden Höhe bereitgestellt. Hinsichtlich der eingesetzten Lagerhilfsmittel ist die Breitstellung auf Paletten zu hervorzuheben, da die Greifhöhe und Greiftiefe bei einem bestimmten Entnahmeprozess von der Position der Entnahmeeinheit auf der Palette, insbesondere der jeweiligen Lage, aus der die Entnahme erfolgt, abhängig ist. Eine Besonderheit unter den untersuchten Kommissioniersystemen stellt ein System dar, in dem die Kommissionierer zur Fortbewegung im Hochregallager jeweils ein Regalbediengerät nutzen. Die Steuerung erfolgt dabei durch die Kommissionierer, die mit dem Regalbediengerät beliebige Positionen anfahren können. Abgesehen von Einschränkungen durch die Kabine können die Mitarbeiter dabei die Entnahmehöhe in einem wesentlichen Umfang selbst beeinflussen. Die im Rahmen der Untersuchung von Kommissioniersystemen in der Praxis ermittelten Entnahmehöhen variieren zwischen 50 und 2100 mm, die gemessenen Entnahmetiefen zwischen 0 und 1000 mm. Neben der Körperhaltung ist aus ergonomischer Sicht auch das Lastgewicht relevant, das insbesondere von den Artikelgewichten und der Anzahl der bei einem Entnahmeprozess gleichzeitig umgesetzten Einheiten abhängt. Bei den untersuchten Kommissioniersystemen treten Lastgewichte von 0,25 bis 28 kg auf. Das durchschnittliche Lastgewicht bei der Entnahme beträgt 5,1 kg.

Auch die Gestaltung des Abgabeprozesses und die dabei auftretenden Belastungen können je nach Ausführung des Kommissioniersystems stark variieren. Wesentliche

Unterschiede bestehen hierbei v. a. hinsichtlich des Einsatzes von technischen Hilfsmitteln und Ladungsträgern sowie der jeweiligen Prozessgestaltung. So handelt es sich bei der dezentralen Abgabe auf einen Stetigförderer in Bezug auf die auftretende Belastung um Hebe-, Halte- oder Tragevorgänge, die als ein fließender Arbeitsablauf gemeinsam mit dem Entnahmevergang durchgeführt werden. Ist hingegen beispielsweise ein Sammelbehälter zum Transport der kommissionierten Ware zu verwenden, der auf einem Kommissionierwagen mitgeführt wird, bestehen verschiedene Varianten, wie die Abgabe erfolgen kann. Neben dem Stehenlassen des Wagens am Abgabeort, durch das keine Belastung des Kommissionierers entsprechend der LMM auftritt, bestehen weitere Alternativen darin, dass der Kommissionierer den vollen Sammelbehälter oder dessen Inhalt durch einen oder mehrere Hebevorgänge abgibt. Abhängig von der jeweiligen Art der Durchführung können die Lastgewichte bei Hebevorgängen im Rahmen der Abgabe deutlich höher ausfallen als bei der Entnahme. Das durchschnittliche Lastgewicht bei der Abgabe beträgt bei den untersuchten Kommissioniersystemen 12,8 kg. Dabei treten Werte von 4 bis 30 kg auf. Analog zur Entnahmehöhe und -tiefe wirken sich beim Abgabevergang die Abgabehöhe und -tiefe und somit die vorhandenen technischen Hilfsmittel und Ladungsträger auf die Körperhaltung aus. Die im Rahmen der Untersuchungen gemessenen Abgabehöhen liegen im Bereich von 0 bis 1650 mm, die Abgabebetiefen im Bereich von 0 bis 900 mm.

Eng mit der Art der Abgabe sowie der Fortbewegung des Kommissionierers ist der Transport der gesammelten Ware verbunden. So tritt beispielsweise bei der dezentralen Abgabe auf einen Stetigförderer im Zusammenhang mit dem Transport der gesammelten Ware keine Belastung entsprechend der LMM auf. Dies trifft ebenso auf Kommissioniersysteme zu, bei denen angetriebene Flurförderzeuge wie Elektrogabelhubwägen, Stapler, Hochregalstapler oder Regalbediengeräte eingesetzt werden. Abweichend von den genannten Fällen erfolgt der Transport häufig durch Kommissionierwägen oder Gabelhubwägen, die vom Kommissionierer händisch bewegt werden. Dabei tritt eine Belastung in Form von Zieh-/Schieben auf. Auch wenn üblicherweise technische Hilfsmittel zum Transport der Ware zur Verfügung stehen, kann es vorkommen, dass Kommissionierer beim Vorliegen bestimmter Voraussetzungen diese nicht nutzen. So wird beispielsweise bei geringen Entfernungen zwischen Entnahme- und Abgabeort sowie Aufträgen mit nur einer Position und einer geringen Entnahmemenge aus Zeitgründen die Ware im Einzelfall direkt zum Abgabeort getragen.

3 Charakteristika manueller Kommissioniersysteme

Neben den Haupttätigkeiten können im Aufgabengebiet eines Kommissionierers weitere Tätigkeiten auftreten, die nachfolgend als Nebentätigkeiten bezeichnet werden. In der Literatur werden folgende Nebentätigkeiten genannt [Gud-2010]:

- Vorbereitung der Aufträge
- Bereitstellen des Sortiments
- Beschicken der Bereitstellplätze
- Nachschub von Reserveeinheiten
- Einlagern der Reserveeinheiten
- Disposition von Nachschub und Beständen
- Preisauszeichnung, Kodieren und Etikettieren der Ware
- Verpacken der Warenstücke oder Gebinde
- Aufbau und Ladungssicherung der Versandeinheiten
- Kennzeichnung und Etikettieren der Versandeinheit
- Zusammenführen der Sammelbehälter oder Waren an einem Sammelplatz

Zusätzlich kann der eigentliche Entnahmeprozess die folgenden Schritte beinhalten [Gud-2010]:

- Zuschneiden
- Wiegen
- Messen

Untersuchungen bei Projektpartnern haben ergeben, dass neben den vorstehend genannten Tätigkeiten folgende weitere Nebentätigkeiten durch die Kommissionierer ausgeführt werden:

- Ausbesserungsarbeit an Gitterboxen unter Zuhilfenahme von Werkzeugen
- Abnehmen und Transportieren von herausnehmbaren Wänden oder Abdeckungen von Gitterboxen
- Entfernen und Entsorgen von Verpackungen, leeren Ladehilfsmitteln oder Schutzfolien
- Entsorgen von Etikettenrollen
- Verpacken von Kleinteilen in Kunststoffbeuteln

- Umschichten von schweren und leichten Artikeln beispielsweise innerhalb von Gitterboxen
- Portionieren von pastenförmigen Hilfsstoffen (z. B. Dichtmaterial)
- Montagevorgänge mit geringen Umfängen (z. B. Zusammenclipsen von Bauteilen)
- Berechnung der Entnahmemenge mit einem Taschenrechner
- Überprüfung der Entnahmemenge mittels einer Waage
- Drucken von Etiketten bzw. Picklisten
- Bedienung von Aufzügen, Staplern oder Regalbediengeräten
- Quittieren von Aufträgen/Erfassung von Daten in EDV-Systemen

Bei den als Nebentätigkeiten bezeichneten Aufgaben eines Kommissionierers handelt es sich um Tätigkeiten, die im Vergleich zu den Haupttätigkeiten nur sehr selten im Laufe eines Arbeitstages bzw. einer Schicht vorkommen. Weiterhin treten einige Nebentätigkeiten nur bei wenigen Kommissioniersystemen mit sehr speziellen Anforderungen auf und sind somit nicht repräsentativ für eine große Anzahl an Kommissioniersystemen in der Praxis. Einige der Nebentätigkeiten beziehen sich zudem ausschließlich auf informatorische Prozesse und rufen keine Belastung im Sinne der LMM hervor. Deshalb werden Nebentätigkeiten bei den weiteren Betrachtungen des Forschungsvorhabens nicht mehr berücksichtigt.

3.3 Definition von Kommissionierszenarien

Die Beschreibung von Kommissioniersystemen in der Literatur sowie deren Untersuchung bei Unternehmen zeigt, dass in der Praxis eine Vielzahl verschiedener Ausprägungen von Kommissioniersystemen existiert. Aus Gründen der Durchführbarkeit sind deshalb für die weiteren Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts charakteristische Kommissionierszenarien zu definieren, die eine Vielzahl von Kommissioniersystemen in der Praxis, insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen, abbilden. Weiterhin sollen sich die Szenarien insofern unterscheiden, dass sie unterschiedliche Belastungsformen widerspiegeln. Um relevante Systeme zu identifizieren, die diesen beiden Anforderungen gerecht werden, wird auf die Ergebnisse der in Abschnitt 3.2 genannten Untersuchung von Kommissioniersystemen bei Pro-

jektpartnern zurückgegriffen. Den weiteren Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die beiden folgenden Kommissionierszenarien zugrunde gelegt.

Kommissionierszenario 1:

Das Kommissionierszenario 1 entspricht einem Kommissioniersystem nach dem Prinzip Person-zur Ware. Der Kommissionierer bewegt sich zu Fuß durch ein Fachboden- oder Durchlaufregallager. Die Fortbewegung erfolgt ausschließlich in einer Ebene. Die Lageranordnung ist rechteckig, bestehend aus mehreren Regalzeilen bzw. Gassen. Die zu kommissionierende Ware wird bei einem Rundgang entnommen und auf einem Kommissionierwagen abgelegt. Die Aufträge werden nacheinander abgearbeitet. Die Abgabe des Auftrages erfolgt zentral und statisch.

Das Kommissionierszenario 1 ist charakterisiert durch Zieh-/Schiebevorgänge, die durch das Mitführen des Wagens verursacht werden, sowie häufig vorkommende Hebevorgänge, die bei der Entnahme von Artikeln aus dem Regal auftreten. Gelegentliches Tragen oder Halten ist möglich, wenn der Kommissionierer sich vom Wagen entfernt, um beispielsweise eine Entnahme zu tätigen, oder einen Artikel z. B. zur Überprüfung der Artikelnummer für eine längere Zeitdauer in der Hand hält.

Diese Form des Kommissionierens wird vielfach in der Praxis angewandt und gilt als klassische Form des Kommissionierens (vgl. z. B. [Arn-2009], [Gud-2010], [Hom-2011]).

Kommissionierszenario 2:

Im Kommissionierszenario 2 bewegt sich der Kommissionierer stehend auf einem Regalbediengerät oder Hochregalstapler durch ein Hochregallager, in dem die Ware statisch bereitgestellt wird. Die Bewegung erfolgt 2-dimensional, d. h. ohne Gassenwechsel. Die kommissionierte Ware wird in einer mitgeführten Gitterbox gesammelt. Die Aufträge werden nacheinander abgearbeitet. Die Abgabe, d. h. das Absetzen der Gitterbox durch das Regalbediengerät bzw. den Hochregalstapler, erfolgt zentral am Ende der Gasse, ohne dass vom Kommissionierer eine manuelle Tätigkeit ausgeführt wird.

Da der Bewegungsraum des Kommissionierers stark begrenzt ist, treten im Kommissionierszenario 2 nahezu ausschließlich Belastungen durch das Heben von Artikeln

im Rahmen von Entnahmevorgängen auf. Gelegentliches Halten, beispielsweise bei der Durchführung von Kontrollschritten, ist möglich.

4 Methodik zur Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen

Basierend auf den vorgenommenen Begriffsdefinitionen bezüglich der Arbeitsbelastung, der Erläuterung verschiedener Klassen von Arbeitsanalyseverfahren zur Belastungsermittlung und den Charakteristika manueller Kommissioniersysteme, wird nachfolgend die entwickelte kommissionierspezifische Methodik zur Erfassung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung vorgestellt. Dabei ist ein bereits existierendes Arbeitsanalyseverfahren an die Rahmenbedingungen der Kommissionierung anzupassen. Aus diesem Grund wurden zunächst Anforderungskriterien definiert und anschließend die Verfahren anhand dieser bewertet. Das für den Anwendungsfall geeignetste Verfahren dient nachfolgend als Basis für die Entwicklung der Methodik. Abschließend werden die zuvor identifizierten Wirkzusammenhänge zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen spezifiziert.

4.1 Untersuchung bestehender Arbeitsanalyseverfahren

Gegenstand des Forschungsprojekts war u. a. die Entwicklung einer kommissionierspezifischen Methodik zur Erfassung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung. Zu diesem Zweck sind die zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen identifizierten Wirkzusammenhänge bei der Erarbeitung der Methodik zu berücksichtigen, um eine menschengerechte und zugleich wirtschaftliche Gestaltung von Kommissioniersystemen zu gewährleisten. Die in Abschnitt 2.3 beschriebenen ergonomischen Arbeitsanalyseverfahren unterscheiden sich bezüglich ihrer Voraussetzungen, Ziele und Methoden. Die jeweilige Eignung von Grob-Screening-, Screening- sowie Detail-/Experten- und Messverfahren wird nachfolgend erläutert und diskutiert.

Grob-Screening-Verfahren sind im Allgemeinen recht schnell und einfach anzuwenden, sie dienen jedoch lediglich der orientierenden Gefährdungsbeurteilung im Rahmen einer Vorselektion. Wesentliche Ergebnisse der Anwendung von Grob-Screening-Verfahren sind qualitative Aussagen, ob gesundheitliche Risiken für den Mitarbeiter ausgeschlossen werden können, wahrscheinlich sind oder aber die Belastungs-

situation einer detaillierteren Klärung bedarf [Kug-2010]. Sie erfüllen zwar die Anforderung an die aufwandsarme Erfassung der Mitarbeiterbelastung, ermöglichen allerdings keine Ableitung von Gestaltungsempfehlungen und deren Dringlichkeit. Für die Anwendung in dem spezifischen Anwendungsfall der Kommissionierung sind sie daher nicht geeignet.

Messverfahren sind i. d. R. personenbezogene Messsysteme (z. B. CUELA), welche direkt am Menschen befestigt werden, um reale Arbeitsbedingungen aufzuzeichnen. Die auf diese Weise generierten Ergebnisse können anschließend durch weitergehende Analysen ausgewertet werden. Die Ergebnisse jener Messungen sind sehr genau und liefern detaillierte physikalische Daten bezüglich der Belastung und Körperhaltung. Die Durchführung einer solchen Aufnahme ist allerdings kostenintensiv und erfordert einen großen Vorbereitungs-, Analyse und Auswertungsaufwand. Darüber hinaus ist nicht auszuschließen, dass das Anbringen jener Messeinrichtungen an einem Menschen keinerlei Auswirkungen auf die Arbeitsweise hat und hierdurch die Ergebnisse verfälscht werden. Aufgrund der genannten Charakteristika sind Messverfahren ebenfalls nicht als Grundlage für die Entwicklung einer kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik geeignet.

Das Ergebnis der Anwendung von Detail-/Expertenverfahren ist ein quantitatives Ergebnis. Aufgrund des zumeist hohen rechnerischen Aufwands ist eine softwaretechnische Unterstützung bei der Anwendung jener Verfahren empfehlenswert. Des Weiteren erfordern Detail-/Expertenverfahren relativ hohe ergonomische Fachkenntnisse, sodass vor dem Einsatz u. U. ein gesteigerter Schulungsaufwand notwendig ist [Kug-2010]. Genannte Verfahren besitzen zumeist nur für einen begrenzten Anwendungsbereich Gültigkeit und unterliegen stark spezifischen Rahmenbedingungen. Sie ermöglichen ferner keine kumulative Bewertung der Wirbelsäulenbelastung bei starker Streuung der Lastgewichte und Körperhaltungen. Zudem ist das Geschlecht der Mitarbeiter z. T. nur unzureichend berücksichtigt. Aufgrund genannter Punkte sind Detail-/Expertenverfahren ebenfalls nicht für den vorliegenden Anwendungsfall geeignet.

Im Gegensatz dazu besitzen Screening-Verfahren weniger enge Verfahrensrestriktionen und sind zudem nicht durch solch einen hohen Analyseaufwand gekennzeichnet [Kug-2010]. Aufgrund der jeweiligen Charakteristika der Grob-Screening-, Screening- sowie der Detail-/Experten- und Messverfahren ist für die Entwicklung einer kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik demnach ein Screening-Verfahren als

Grundlage zu wählen. Für die detaillierte Untersuchung der Einsatzfähigkeit und Anwendbarkeit dieser wurden im Verlauf der Forschungsarbeiten differenzierte Anforderungen an ein entsprechendes Arbeitsanalyseverfahren definiert. Diese wurden in

- anwendungsbezogene Kriterien,
- personenbezogene Kriterien und
- tätigkeitsbezogene Kriterien

unterteilt. Die Bewertung der Verfahren anhand jener Kriterien erfolgte dabei qualitativ unter Berücksichtigung der spezifischen Fachliteratur und dem Erfahrungswissen durch den industriellen Einsatz der Verfahren. Die Ergebnisse wurden abschließend durch forschungsstelleninterne Expertengespräche validiert.

Anwendungsbezogene Kriterien

Wichtige anwendungsorientierte Anforderungen an das auszuwählende Arbeitsanalyseverfahren sind neben einem geringen Gesamtanalyseaufwand die Möglichkeit zur Anwendung in der Planung von Kommissioniersystemen sowie eine geeignete Rechnerunterstützung. Dabei lässt sich der Gesamtanalyseaufwand weiter detaillieren in den zeitlichen Aufwand bei der Verfahrensdurchführung und in den erforderlichen Aufwand bei der Analyse und der Interpretation der Ergebnisse. Die Aufgabe des Forschungsprojekts ist, auf Grundlage bestehender arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse ein aufwandsarmes Bewertungsverfahren zur ergonomischen Beurteilung von Kommissioniersystemen zu entwickeln. Aus diesem Grund sollte das auszuwählende Verfahren eher geringe ergonomische Vorkenntnisse und Erfahrung hinsichtlich der Belastungsbewertung erfordern. Darüber hinaus ist ein weiteres angestrebtes Ziel von ErgoKom die Ableitung von Handlungsmöglichkeiten bei Überschreitung zu definierender Belastungsgrenzen. Deshalb ist es erforderlich, dass das Arbeitsanalyseverfahren notwendige Gestaltungsmaßnahmen und deren Dringlichkeit aufzeigt. Die zusammengefasste Bewertung der in Abbildung 2-6 dargestellten Screening-Verfahren ist nachstehend in Abbildung 4-1 dargestellt.

	Leitmerkalmethoden	Multiples-Lasten-Tool	RULA	OCRA-Checkliste	AAWS	IAD-BKB
in der Planung anwendbar	●	●	●	●	●	●
geringer zeitlicher Aufwand bei der Durchführung	●	●	●	●	●	●
geringer Aufwand bei der Analyse/Interpretation	●	●	●	◐	●	●
geringe Vorkenntnisse/Erfahrungen notwendig	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Einstufung der Gestaltungsdringlichkeit	●	●	●	◐	●	●
Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Rechnerunterstützung	○	◐	○	○	○	○
Grenzwertvorgaben	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Kriterium voll erfüllt ● Kriterium teilweise erfüllt ◐ Kriterium nicht erfüllt ○						

Abbildung 4-1: Bewertung von Screening-Verfahren anhand anwendungsbezogener Kriterien

Wie in Abbildung 4-1 zu erkennen, wurden die ausgewählten Screening-Verfahren anhand der definierten Anforderungskriterien recht ähnlich bewertet. Aufgrund der Tatsache, dass das MLT jedoch bereits in Form einer Excel-Tabelle inklusive Berechnungsalgorithmen umgesetzt ist, kann in abgeschwächter Form von einer Rechnerunterstützung ausgegangen werden. Aus diesem Grund ist aus anwendungsorientierter Sicht das MLT als Basis für die Entwicklung der kommissionierspezifischen Methodik auszuwählen.

Personenbezogene Kriterien

Für Arbeitspersonen unterschiedlichen Geschlechts und Alters existieren für die Lastenhandhabung unterschiedliche Grenzwerte, deren Überschreitung mit einem erhöhten Risiko bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule verbunden ist. In Tabelle 4-1 sind beispielhaft für das Heben und Tragen empfohlene Richtwerte und national gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte für Lastgewichte beim Heben und Tragen unter optimalen Bedingungen zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Richtwerte und gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte für das Heben und Tragen von Lasten [LfA-2004]

Art	Geschlecht	Alter (Jahre)	Selten (<5% der Schicht (kg))	Wiederholt (5-10% der Schicht (kg))	Häufig (> 10-35% der Schicht (kg))
Heben	Männer	17-19	35	25	20
		20-45	55	30	25
		>45	50	25	20
	Frauen	17-19	13	9	8
		20-45	15	10	9
		>45	13	9	8
Tragen	Männer	17-19	30	20	15
		20-45	50	30	20
		>45	40	25	15
	Frauen	17-19	13	9	8
		20-45	15	10	9
		>45	13	9	8

Aus diesem Grund wurden im Bereich der personenbezogenen Kriterien die Anforderungen gestellt, dass sowohl das Alter der Arbeitsperson, als auch deren Geschlecht in Form von Auswahlintervallen anzugeben ist. Bei der Betrachtung der Screening-Verfahren war jedoch festzustellen, dass lediglich das Geschlecht in Einzelfällen (Leitmerkmalmethoden, MLT; AAWS-Verfahren) bei der Belastungsbewertung berücksichtigt wird. Dies führte zu einer Eingrenzung jedoch nicht zu einer endgültigen Verfahrensauswahl. Die durchgeführte Bewertung ist in Abbildung 4-2 zusammengefasst.

	Leitmerkmalmethoden	Multiples-Lasten-Tool	RULA	OCRA-Checkliste	AAWS	IAD-BKB
Alter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geschlecht	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kriterium voll erfüllt ● Kriterium teilweise erfüllt ◐ Kriterium nicht erfüllt ○						

Abbildung 4-2: Bewertung von Screening-Verfahren anhand personenbezogener Kriterien
Tätigkeitsbezogene Kriterien

Wesentliche Anforderungen an das auszuwählende Arbeitsanalyseverfahren für den Einsatz in der Kommissionierung sind die Erfassung der während der Lastenhandhabung eingenommenen Körperhaltung sowie die kombinierte, kumulative Bewertung differenzierter Tätigkeiten. Darüber hinaus sollten die für die Kommissionierung spezifischen Handhabungsarten Heben, Halten, Tragen sowie Ziehen und Schieben aufgenommen und bewertet werden. Weitere wesentliche Anforderungen sind die Abbildung sowohl statischer als auch dynamischer Belastungsdauern sowie die Erfassung der vorliegenden Greifbedingungen und deren Auswirkungen auf die Höhe der Druckkräfte auf die Wirbelsäule (vgl. Abschnitt 2.4). Die vorgenommene qualitative Bewertung der Screening-Verfahren anhand genannter tätigkeitsbezogener Kriterien ist in Abbildung 4-3 dargestellt.

	Leitmerkmalmethoden	Multiples-Lasten-Tool	RULA	OCRA-Checkliste	AAWS	IAD-BkB
Belastungsdauer (statisch)	○	●	○	○	●	●
Belastungsdauer (dynamisch)	●	●	○	●	●	●
Körperhaltung	◐	◐	●	◐	●	●
Heben, Halten	●	●	◐	◐	●	●
Ziehen und Schieben	●	●	○	○	●	●
Tragen	●	●	○	○	●	●
Belastungshäufigkeit	◐	●	◐	●	●	●
Kombinierte Tätigkeit	◐	●	◐	◐	◐	◐
Hubhöhe	○	○	○	○	○	○
Greifentfernung	○	○	○	○	○	○
Greifbedingung (ein-/ beidhändig)	◐	●	○	◐	●	●
Kriterium voll erfüllt ● Kriterium teilweise erfüllt ◐ Kriterium nicht erfüllt ○						

Abbildung 4-3: Bewertung von Screening-Verfahren anhand tätigkeitsbezogener Kriterien

Die Bewertung anhand der tätigkeitsbezogenen Kriterien zeigt, dass insbesondere das MLT sowie das AAWS-Verfahren und das Verfahren zur Bewertung körperlicher Belastungen (IAD-BKB) für die Anwendung in der Kommissionierung geeignet erscheinen. Die genannten Verfahren erfüllen insbesondere die Anforderung an die Erfassung der in der Kommissionierung auftretenden Handhabungsarten. Des Weiteren ermöglichen sie die Analyse statischer und dynamischer Belastungsdauern und die Abbildung der Belastungshäufigkeit. Die als wesentlich erachteten Anforderungen bzgl. der Aufnahme der Hubhöhe und Greifentfernung werden durch keines der betrachteten Screening-Verfahren erfüllt. Wesentlicher Vorteil des MLT ist, dass dieses

bereits für die Anwendung in der Logistik entwickelt wurde, während das AAWS-Verfahren im Umfeld der Produktion/Montage und das IAD-BkB-Verfahren in der Metall- und Elektroindustrie einzusetzen ist und an die dort gegebenen spezifischen Randbedingungen angepasst wurde.

Die Gesamtbetrachtung der Anforderungsbewertung ergibt, dass das MLT für eine Adaption zur Anwendung in der Kommissionierung zu verwenden ist. Die LMM-HHT sowie LMM-Z/S sind in ihrer Anwendung zwar relativ einfach und schnell durchzuführen, allerdings nicht geeignet für die Bewertung komplexer Bewegungsabläufe. Besonders stark wechselnde Belastungsformen während des Betrachtungszeitraums sind mithilfe der Leitmerkmalmethoden nicht valide zu bewerten. So lassen sich Aussagen bzgl. kumulierter Belastungen bei streuenden Handhabungsarten, wechselnden Körperhaltungen und Lastgewichten nicht ableiten [EII-2013]. Im Gegensatz dazu können mittels des MLT unterschiedliche Handhabungsarten mit heterogenen Ausprägungen erfasst und ergonomisch bewertet werden. Bedingt durch den Bezug zu den in der Wissenschaft und in der Praxis etablierten Leitmerkmalmethoden, ist bei der Adaption des MLT und anschließenden Anwendung in der Kommissionierung in KMU von einer hohen Validität und Akzeptanz auszugehen.

4.2 Entwicklung einer kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik

Basierend auf dem MLT ist eine aufwandsarme Methodik zur Erfassung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung zu entwickeln. Diese soll zunächst als Papier-Bleistift-Methode in klein- und mittelständischen Unternehmen Anwendung finden, um einerseits die Transparenz bezüglich der vorliegenden Belastungssituation zu erhöhen und andererseits als Handlungshilfe den Anwender bei der Gestaltung ergonomischer Kommissioniersysteme zu unterstützen. Das hierfür gewählte methodische Vorgehen ist zusammenfassend in Abbildung 4-4 dargestellt.

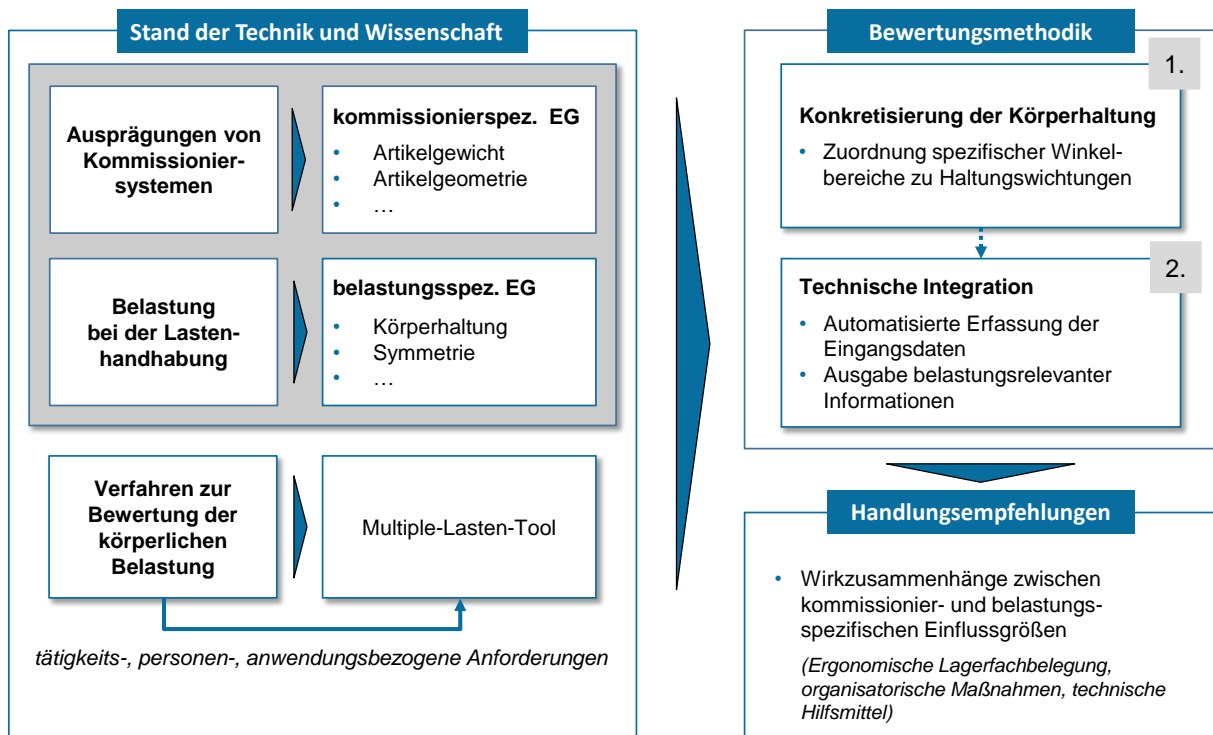


Abbildung 4-4: Vorgehensweise bei der Entwicklung der Methodik

Zunächst erfolgte im Rahmen der Forschungstätigkeiten die detaillierte und umfassende Aufbereitung des Stands der Technik und Wissenschaft hinsichtlich der Kommissionierung und der darin enthaltenen Prozesse und auftretenden Belastungen. Darauf aufbauend konnten sowohl kommissionier- als auch belastungsspezifische Einflussgrößen identifiziert und existierende Wirkzusammenhänge qualitativ bewertet werden. Die durchgeführten Analysen bildeten die Basis für die Definition von tätigkeits-, personen- und anwendungsbezogenen Anforderungen an die zu entwickelnde Bewertungsmethodik zur Erfassung der körperlichen Mitarbeiterbelastung in Kommissioniersystemen. Anhand jener Anforderungen wurden die in der wissenschaftlichen Literatur existierenden und in der industriellen Praxis angewendeten Arbeitsanalyseverfahren bewertet. Das Ergebnis jener Bewertung war die Auswahl des Multiple-Lasten-Tools als Grundlage für die Entwicklung der kommissionierspezifischen Bewertungsmethodik.

Bei der Anwendung des MLT in der Praxis konnten jedoch Probleme bei der Einstufung der Körperhaltung festgestellt werden. Wie in Abschnitt 2.3.2 dargestellt, werden die für die Bewertung der Körperhaltung genutzten Risikoklassen des MLT u. a. durch Piktogramme repräsentiert. Dabei dienen diese als grobe Einstufungshilfe. Aufgrund dessen und bedingt durch die wenig detaillierte zusätzliche Beschreibung der Risikoklassen erfolgt die Einstufung der auftretenden Körperhaltung bei der Anwendung

des MLT oftmals subjektiv. Die beschriebene Problemstellung ist in Abbildung 4-5 verdeutlicht.

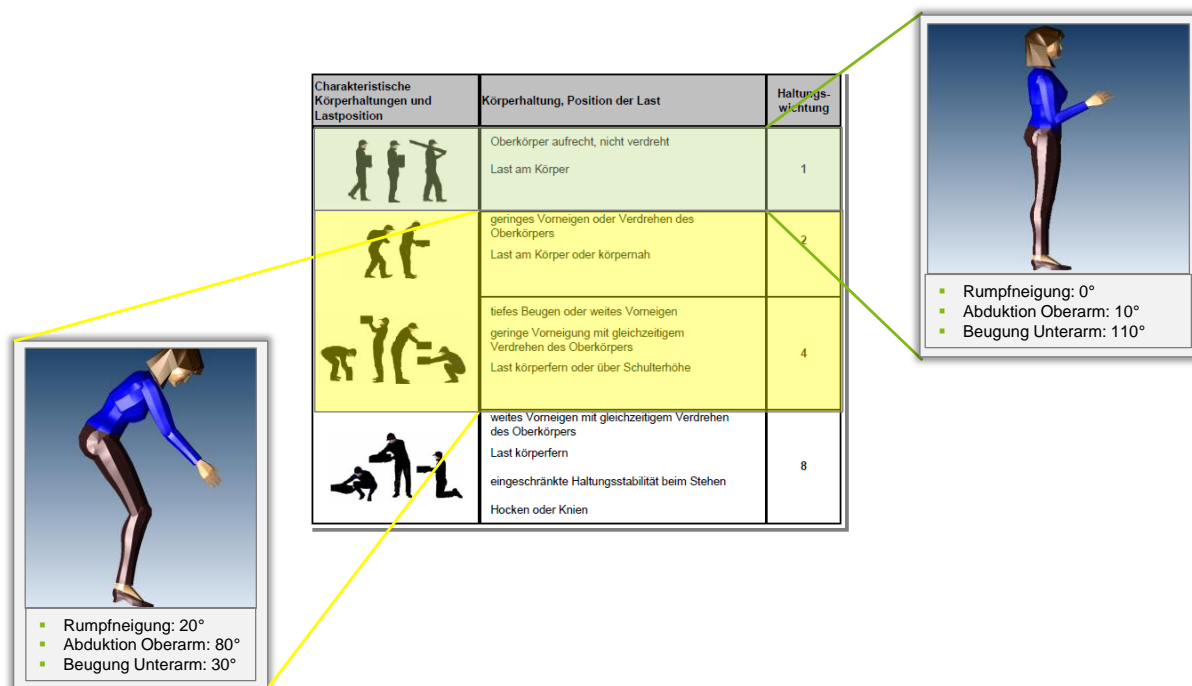


Abbildung 4-5: Subjektive Einstufung der Körperhaltung bei Anwendung des MLT

Für das bessere Verständnis der nachfolgenden Ausführungen ist zunächst eine Erläuterung und Abgrenzung der verwendeten Begriffe „Risikoklasse“ und „Haltungswichtung“ vorzunehmen. Im Rahmen des MLT werden vier Risikoklassen definiert, die jeweils durch Piktogramme und textuelle Beschreibungen repräsentiert werden. Jede dieser Risikoklassen ist eine Haltungswichtung (Punktwert) zugeordnet, welche in die Berechnung des Gesamtrisikowertes eingeht (vgl. Tabelle 2-10, S. 41). Grundsätzlich besteht bei der Anwendung des MLT allerdings auch die Möglichkeit, ganzzahlige Haltungswichtungen zwischen eins und acht für die eingenommene Körperhaltung zu vergeben.

Wie in Abbildung 4-5 zu erkennen, kann die eingenommene aufrechte Körperhaltung, welche in diesem Fall durch die Parameter Rumpfneigung (0°), Abduktion Oberarm (10°) und Beugung Unterarm (110°) definiert ist, eindeutig der Haltungsklasse eins zugeordnet werden. Bei einer Rumpfneigung von 20°, einer Abduktion des Oberarms von 80° und einer zusätzlichen Beugung des Unterarms von 30° ist jedoch die Zuordnung der Körperhaltung zu einer der Haltungsklassen nicht eindeutig. So ist sowohl eine Einordnung der Körperhaltung in Risikoklasse zwei als auch drei denkbar. Je nach

Einstufung der zuvor beschriebenen Körperhaltung führt dies zu einer Bewertung mit einem Punktwert von zwei oder drei.

Die aufgezeigte Problemstellung sowie die unzureichende Verknüpfung von belastungs- und kommissionierspezifischen Einflussgrößen (z. B. Entnahmetiefe/-höhe, Anzahl der Entnahmeeinheiten je Entnahme) erfordern die Adaption des MLT. Dabei wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten zunächst die für die Ermittlung der Druckkräfte auf die Wirbelsäule relevanten Körperbereiche identifiziert. Zu diesem Zweck wurden bestehende Arbeitsanalyseverfahren detailliert hinsichtlich der Erfassung und Bewertung der Körperhaltung untersucht. Folgende Körperteile/-regionen wurden hierbei für die Ermittlung der Höhe der Wirbelsäulenbelastung als besonders relevant erachtet:

- Rumpfneigung
- Rumpfseitneigung
- Rumpfverdrehung
- Abduktion Oberarm
- Beugung Unterarm
- Beinhaltung (Hocken/Knien)

Daran anschließend wurden für die jeweiligen Körperteile und -regionen spezifische Winkelbereiche identifiziert, die in ihrer Kombination eine eindeutige Einstufung der auftretenden Körperhaltung ermöglichen. Die Konkretisierung der Körperhaltung erfolgte dabei unter Zuhilfenahme der Software MTpro der Bosch Rexroth AG. In ihrer ursprünglichen Anwendung dient die Software der Projektierung von Montagesystemen, um den Anwender bei seinen Tätigkeiten über die Systemkonfiguration bis hin zur Bestellung der Systemkomponenten zielgerichtet zu unterstützen [Bos-2013a]. Neben der reinen Layout-Funktion verfügt die Software außerdem über eine sogenannte ManModel-Funktion, welche die Planung und Ausgestaltung ergonomischer Arbeitsplätze unterstützt. Eine wesentliche Software-Funktion ist die Simulation von Greifräumen und Blickfeldern zur optimalen Platzierung von Materialbehältern und Werkzeugen sowie zur Gewährleistung einer optimalen Körperhaltung. Eine weitere Software-Funktion ist die Durchführung von Kollisionsprüfungen. Des Weiteren ermöglicht das integrierte ManModel die flexible Gestaltung des Arbeitssystems unter Berücksichtigung der individuellen anthropometrischen Maße der Arbeitspersonen. Dabei wurden bei der Entwicklung dieser Funktion die Körpermaße nach DIN 33402

für Männer und Frauen der Altersgruppe 18-65 Jahre berücksichtigt. In Abbildung 4-6 sind die wesentlichen Eigenschaften und Funktionen des ManModels in MTpro dargestellt [Bos-2013b].

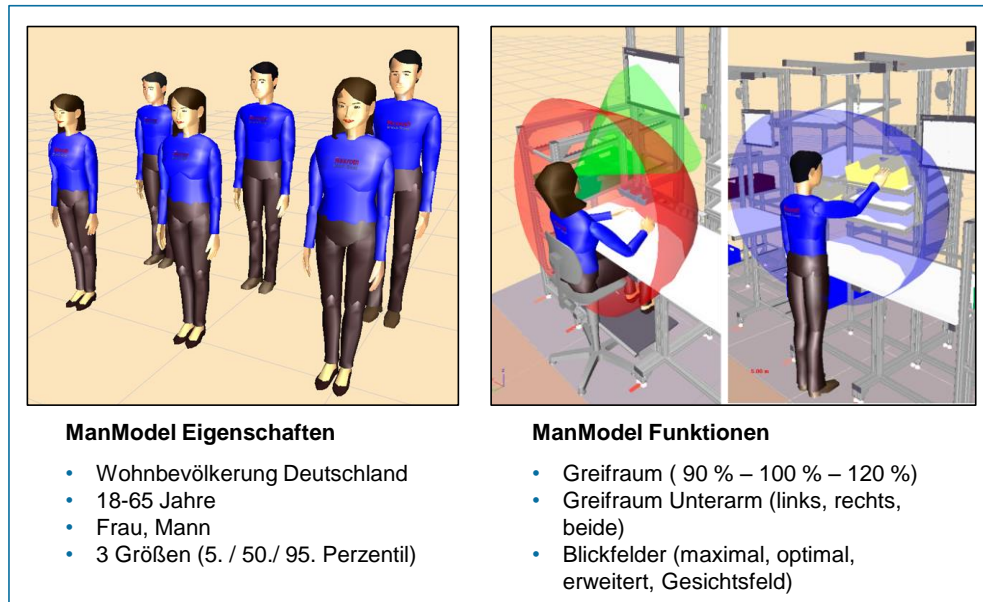


Abbildung 4-6: Eigenschaften und Funktionen des ManModels [Bos-2013b]

Für die Detaillierung der Körperhaltung im Rahmen der Adaption des MLT wurde mittels des gezeigten ManModels eine Vielzahl unterschiedlicher Körperhaltungen modelliert, welche anschließend den einzelnen Haltungsklassen zugeordnet werden konnten. Dabei wurde das 95. Perzentil Mann verwendet. Das durchgeführte Vorgehen wird nachfolgend exemplarisch für die Haltungsklasse eins detailliert erläutert.

Die für die Haltungsklasse eins charakteristische Körperhaltung und Lastposition ist durch die folgenden Merkmale im Rahmen des MLT beschrieben:

- Oberkörper aufrecht, nicht verdreht
- Last am Körper

Im Zuge der Modellierung entstanden zunächst differenzierte Körperhaltungen, von denen vier exemplarisch in Abbildung 4-7 dargestellt sind.

Die modellierten Körperhaltungen wurden zunächst durch die Projektbearbeiter anhand der Einstufungshilfen des MLT mit Risikowerten zwischen eins und acht bewertet. Im Anschluss erfolgte die Validierung der Einstufungen durch Expertenmeinungen sowie durch Gespräche mit Industrieunternehmen. Im Zuge jener Arbeiten konnten

sowohl die in Abbildung 4-7 gezeigte Körperhaltung A als auch die dargestellte Körperhaltung B als typische Beispiele für die oben beschriebene Körperhaltung der Hal- tungsklasse eins (Oberkörper aufrecht, nicht verdreht; Last am Körper) identifiziert werden. Aufgrund der eingenommenen Rumpfneigung von 25° bei Körperhaltung C wurde diese nicht der ersten Haltungsklasse zugeordnet. Das Gleiche betrifft die Kör- perhaltung D. Der Grund dafür liegt an dieser Stelle jedoch an der Abduktion des Oberarms von 45°, da diese zu einer körperfernen statt zu einer körpernahen Lasten- handhabung führt.

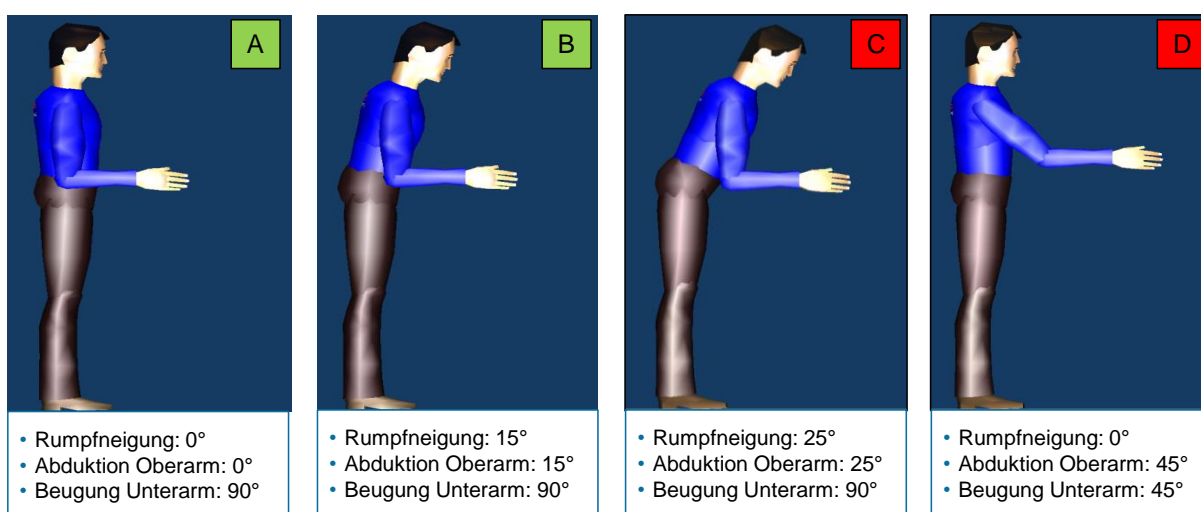


Abbildung 4-7: Modellierete Körperhaltungen zur Bestimmung der Winkelstellungen

Das Ergebnis der beschriebenen Vorgehensweise sind spezifische Winkelbereiche der für die Wirbelsäulenbelastung relevanten Körperteile und -regionen, welche zu einer Einstufung der Körperhaltung in die Risikoklasse eins führen. Die somit identi- fizierten Winkelbereiche sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Tabelle 4-2: Identifizierte Winkelbereiche (Haltungswichtung 1)

Haltungswichtung 1	
Rumpfneigung	0°-15°
Rumpfverdrehung	0°
Abduktion Oberarm	0°-20°
Beugung Unterarm	60°-120°
Hocken/Knien	nein

Einige charakteristische Körperhaltungen, die sich aus diesen Winkelstellungen ergeben, sind zudem in Abbildung 4-8 dargestellt.

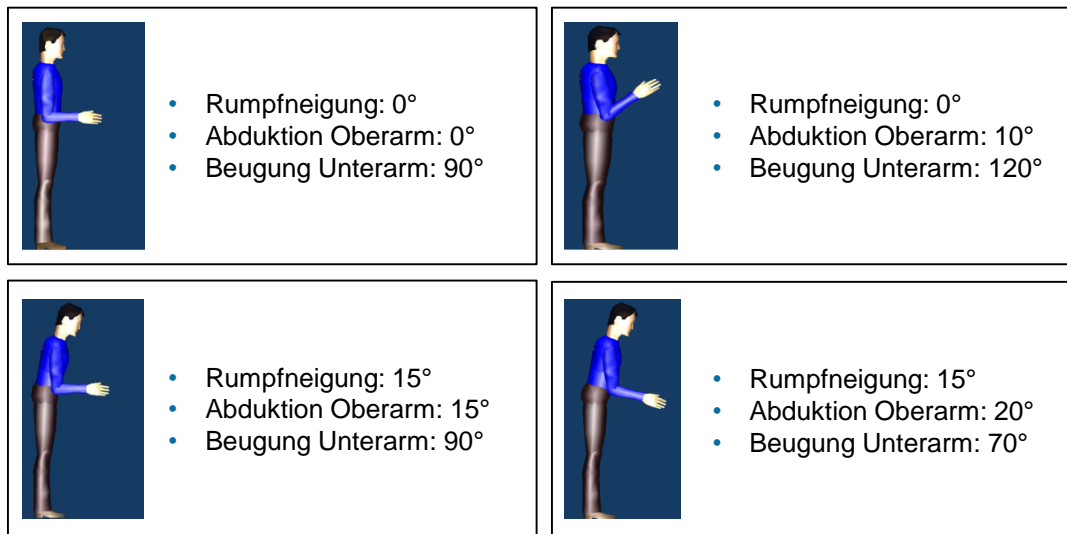


Abbildung 4-8: Charakteristische Körperhaltungen (Haltungswichtung 1)

Die beschriebene Vorgehensweise wurde für die Risikoklassen zwei und drei ebenfalls durchgeführt. In diesem Kontext konnten darüber hinaus Körperhaltungen identifiziert werden, welche eindeutig mit einem Risikowert von drei zu bewerten sind. Dies hat die Definition einer weiteren Risikoklasse (bewertet mit der Haltungswichtung drei) zur Folge. Im Gegensatz zu der bisherigen Anwendung des MLT, ist nach dieser vorgenommenen Konkretisierung eine objektive Bewertung der Körperhaltung anhand der definierten Winkelbereiche möglich. Auf die Konkretisierung der Risikoklasse vier (Haltungswichtung acht) wurde im Rahmen des Forschungsprojekts bewusst verzichtet. Es soll bereits durch Maßnahmen der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung sichergestellt werden, dass Mitarbeiter keine hockende oder kniende Körperhaltung für die Entnahme oder Abgabe von Artikeln einnehmen müssen. Darüber hinaus sind ein weites Vorneigen des Oberkörpers bei gleichzeitigem Verdrehen sowie eine eingeschränkte Haltungsstabilität während des Stehens durch genannte Maßnahmen zu vermeiden. Die identifizierten Winkelbereiche des 95. Perzentil Mann, welche zu einer Bewertung mit den Haltungswichtungen zwei, drei und vier führen, sind in Tabelle 4-3 dargestellt.

Tabelle 4-3: Identifizierte Winkelbereiche (Haltungswichtungen 2, 3, 4)

	Haltungswichtung 2	Haltungswichtung 3	Haltungswichtung 4
Rumpfnäigung	0°-35°	0°-50°	0°-90°
Rumpfverdrehung	1°-10°	11°-15°	> 15°
Abduktion Oberarm	20°-35°	36°-50°	> 50°
Beugung Unterarm	45°-120°	35°-120°	0°-120°
Hocken/Knien	nein	nein	nein

Für die Anwendung der Methodik ist zu beachten, dass die identifizierten Winkelbereiche der einzelnen Körperteile und -regionen nicht unabhängig voneinander zu einer Einstufung in eine Risikoklasse führen. Vielmehr führt die Kombination aus den angegebenen Winkelbereichen zu einer Bewertung mit der jeweils ausgewiesenen Haltungswichtung. So kann beispielsweise anhand der alleinigen Erfassung einer Rumpfnäigung von 5° keine Einstufung der Körperhaltung vorgenommen werden. Erst die Kombination mit weiteren Gelenkstellungen (z. B. Abduktion Oberarm, Beugung Unterarm) resultiert in der endgültigen Risikobewertung. Nachfolgend sind ausgewählte Körperhaltungen für die Haltungswichtungen zwei, drei und vier in Abbildung 4-9 zusammengefasst.

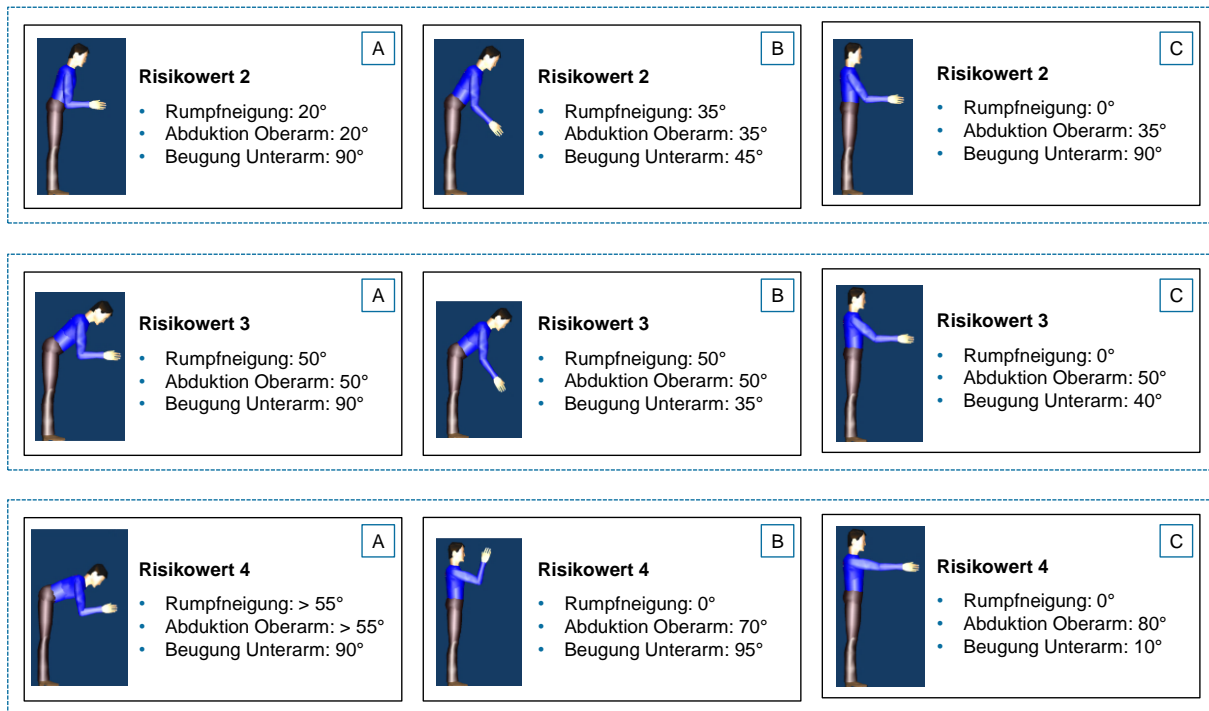


Abbildung 4-9: Charakteristische Körperhaltungen (Haltungswert 2, 3, 4)

Im Anschluss an die Identifizierung der Winkelbereiche für belastungsrelevante Körperteile/-regionen wurde der Aufnahmebogen des MLT modifiziert; die Grundstruktur wurde allerdings beibehalten. Änderungen wurden an der Erfassung der Körperhaltung vorgenommen. Diese ist nun mit spezifischen Winkelangaben hinterlegt, wodurch eine spätere Zuordnung zu den Risikoklassen und Haltungswichtungen vereinfacht wird (vgl. Abbildung 4-10). Die Methodik kann in der dargestellten Form zunächst als Papier-Bleistift-Methode in der industriellen Praxis verwendet werden.

Erfassung und Bewertung der Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung																						
Werk:		Kostenstelle:			Geschlecht Arbeitsperson:								Analytiker:									
Bereich:		Tätigkeit:			Datum:																	
Risikobewertung	Gesamtergebnis	Umsetzen		Halten (>5s)		Tragen (>5m)																
	2,2	+		+		+																
Körperhaltung (Umsetzen, Halten, Tragen)																						
Allgemeine Daten der Lastenhandhabung				Rumpfhaltung				Hand-Arm-System				Beinhaltung	Ausführungsbedingungen									
				Rumpfnäigung		Rumpfdrehung		Abduktion Oberarm		Beugung Unterarm		Hocken/Knie		Bemerkungen								
Prozess/ Artikel	Tätigkeit	Einheit	Lastgewicht [kg]	0°-15°	16°-35°	35°-50°	>90°	0°	1°-10°	11°-15°	>15°	0°-20°	21°-35°	36°-50°	>50°	0°-35°	36-45°	46-60°	60°-120°	Knie	Hocken	Sonstiges
Karton (groß)_Entnahme	U	1	[N]	x				x				x								nein	nein	Zwangshaltung
Karton (groß)_Abgabe	U	1	[N]	x						x										nein	nein	
	T		[m]																			
	H		[s]																			
	U		[N]																			
	T		[m]																			
	T		[m]																			

Abbildung 4-10: Adaptierter Aufnahmebogen zur Erfassung der körperlichen Belastung in der Kommissionierung bei den Handhabungsarten Umsetzen, Halten, Tragen

Die in diesem Bogen dargestellte exemplarische Körperhaltung ist im Fall der Entnahme mit der Haltungswichtung eins und im Fall der Abgabe als Haltungswichtung drei zu bewerten. Die Ausführungsbedingungen für die Handhabungsarten Heben, Halten, Tragen wurden gleich belassen. Für eine aufwandsarme, automatisierte Erfassung der Mitarbeiterbelastung ist die entwickelte Methodik durch technische Hilfsmittel zur Erfassung der erforderlichen Eingangsdaten sowie zur Ausgabe und Visualisierung von belastungsrelevanten Informationen zu unterstützen. Die Beschreibung und Bewertung der hierfür benötigten Technologien erfolgt in Kapitel 5.

4.3 Spezifizierung von Wirkzusammenhängen

Zusätzlich zur Detaillierung der Risikoklassen und der zugehörigen Haltungswichtungen ermöglicht die Methode die Verknüpfung kommissionier- und belastungsspezifischer Einflussgrößen. Es ist bspw. möglich das zu handhabende Lastgewicht in Abhängigkeit von Artikelgewicht, Artikelanzahl je Entnahmeeinheit sowie Gewicht des Transportbehälters anzugeben. Diese Zuordnung ist durch die technische Integration (Kapitel 5) sowohl manuell als auch automatisiert durchführbar. Bei der manuellen Eingabe besteht für den Anwender die Möglichkeit, die Abhängigkeiten in der Spalte „Bemerkung“ des Aufnahmebogens einzutragen (vgl. Abbildung 4-10). Im Rahmen der technischen Integration erfolgt die Ermittlung des Lastgewichts rechnerisch auf Basis von Stammdaten, welche im WMS vorgehalten werden.

Darüber hinaus konnten mittels des ManModels der Software MTpro die Wirkzusammenhänge zwischen der Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe und der eingenommenen Körperhaltung bestimmt werden. Die Darstellung dieser Zusammenhänge erlaubt Rückschlüsse auf die Belastungsursache und ermöglicht zugleich die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Planung und Gestaltung ergonomischer Kommissioniersysteme. Analog zur Identifizierung der Winkelbereiche zur eindeutigen Zuordnung der Körperhaltung zu einzelnen Haltungswichtungen (Abschnitt 4.2), wird die hierzu entwickelte Vorgehensweise exemplarisch für die Risikoklasse eins erläutert.

Zur Bestimmung der Ausprägung des identifizierten Wirkzusammenhangs zwischen den genannten kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen wurden zunächst typische Körperhaltungen der Risikoklasse eins modelliert. Für die Model-

lierung wurde wiederum das 95. Perzentil Mann verwendet. Daran anschließend konnten mit Hilfe spezifischer Software-Funktionen Regalelemente in die Modellierungsumgebung überspielt werden. In dem vorliegenden Anwendungsfall handelt es sich um ein Durchlaufregal. Die Positionierung des Menschmodells vor dem Durchlaufregal ermöglicht anschließend die Bestimmung der Entnahme-/Abgabehöhe und der Entnahme-/Abgabetiefe. Das beschriebene Vorgehen ist für zwei charakteristische Körperhaltungen der Risikoklasse eins in Abbildung 4-11 dargestellt.

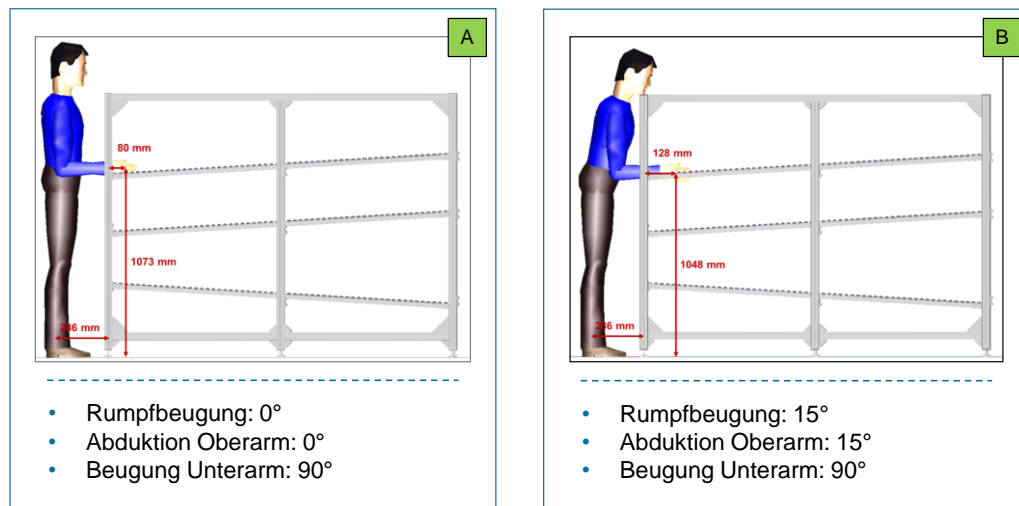


Abbildung 4-11: Zuordnung der Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe zu spezifischen Körperhaltungen (Haltungswichtung 1)

Sowohl Körperhaltung A (Rumpfbeugung 0°, Abduktion Oberarm 0°, Beugung Unterarm 90°) als auch Körperhaltung B (Rumpfbeugung 15°, Abduktion Oberarm 15°, Beugung Unterarm 90°) sind nach Tabelle 4-2 eindeutig in die Risikoklasse eins einzustufen. Der Abstand zwischen dem Menschmodell und dem Durchlaufregal wurde bei der Spezifizierung der Wirkzusammenhänge auf 286 mm fixiert. Zur Messung der Entnahme-/Abgabetiefe wurde der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Hand und der senkrechten Mittelachse des Körpers als Start- und Endpunkt definiert. Für die Entnahme-/Abgabehöhe ist der Boden, auf welchem das Durchlaufregal platziert ist, Startpunkt der Messung, während der Mittelpunkt der Hand analog als Messendpunkt definiert wurde. Wie in Abbildung 4-11 zu erkennen ist, beträgt die Entnahme-/Abgabetiefe 80 mm und die Entnahme-/Abgabehöhe 1073 mm (Körperhaltung A). Bei Körperhaltung B betragen diese Werte 128 mm (Entnahme-/Abgabetiefe) bzw. 1048 mm (Entnahme-/Abgabehöhe). Anhand dieser Ergebnisse lässt sich der Einfluss der untersuchten kommissionierspezifischen Einflussgrößen auf die resultierende Körperhaltung zweifelsfrei belegen. So führt die Erhöhung der Entnahme-/Abgabetiefe um

48 mm in Kombination mit der reduzierten Entnahme-/Abgabehöhe zu einer Zunahme der Rumpfbeugung um 15° bei einer gleichzeitig veränderten Abduktion des Oberarms um ebenfalls 15°. Dies bedeutet zusammengefasst, dass Artikel aus um 48 mm weiter unten liegenden Regalfächern entnommen werden können, ohne zu einer Einstufung in die nächst höhere Risikoklassen zu führen. Die Zuordnung der charakteristischen Körperhaltungen der Risikoklasse eins zu den jeweils spezifischen Entnahmehöhen/-tiefen und Abgabehöhen/-tiefen führte zu der Identifikation von sogenannten Entfernungsintervallen (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Zuordnung von Entnahme-/Abgabehöhe bzw. Entnahme-/Abgabetiefe zu den spezifischen Winkelbereichen der Haltungswichtung 1

Haltungswichtung 1	
Entnahme-/Abgabehöhe	970-1280 [mm]
Entnahme-/Abgabetiefe	57-205 [mm]

Bei Zuhilfenahme des abgebildeten Entfernungsintervalls zur Einstufung in die Risikoklassen im Kontext der ergonomischen Gestaltung von Kommissioniersystemen ist zu berücksichtigen, dass der zugrunde gelegte Abstand von Menschmodell zu Durchlaufregal 286 mm beträgt. Je nach vorliegendem Anwendungsfall in Unternehmen ist bei der Dimensionierung dieser Wert anteilmäßig zu der dargestellten Entnahme-/Abgabetiefe zu addieren. Wird bspw. bei einer anderen Simulation davon ausgegangen, dass das Menschmodell direkt vor dem Regal platziert wird, so sind der Wert von 286 mm und die angegebene Entnahme-/Abgabetiefe zu summieren. Analog zur Bestimmung der Entfernungsintervalle für die Risikoklasse eins wurden die Wirkzusammenhänge der Risikoklassen zwei, drei und vier spezifiziert. In Abbildung 4-12 sind verschiedene Entnahme/Abgabehöhen bzw. Entnahme-/Abgabetiefen den jeweils charakteristischen Körperhaltungen der genannten Risikoklassen zugeordnet.

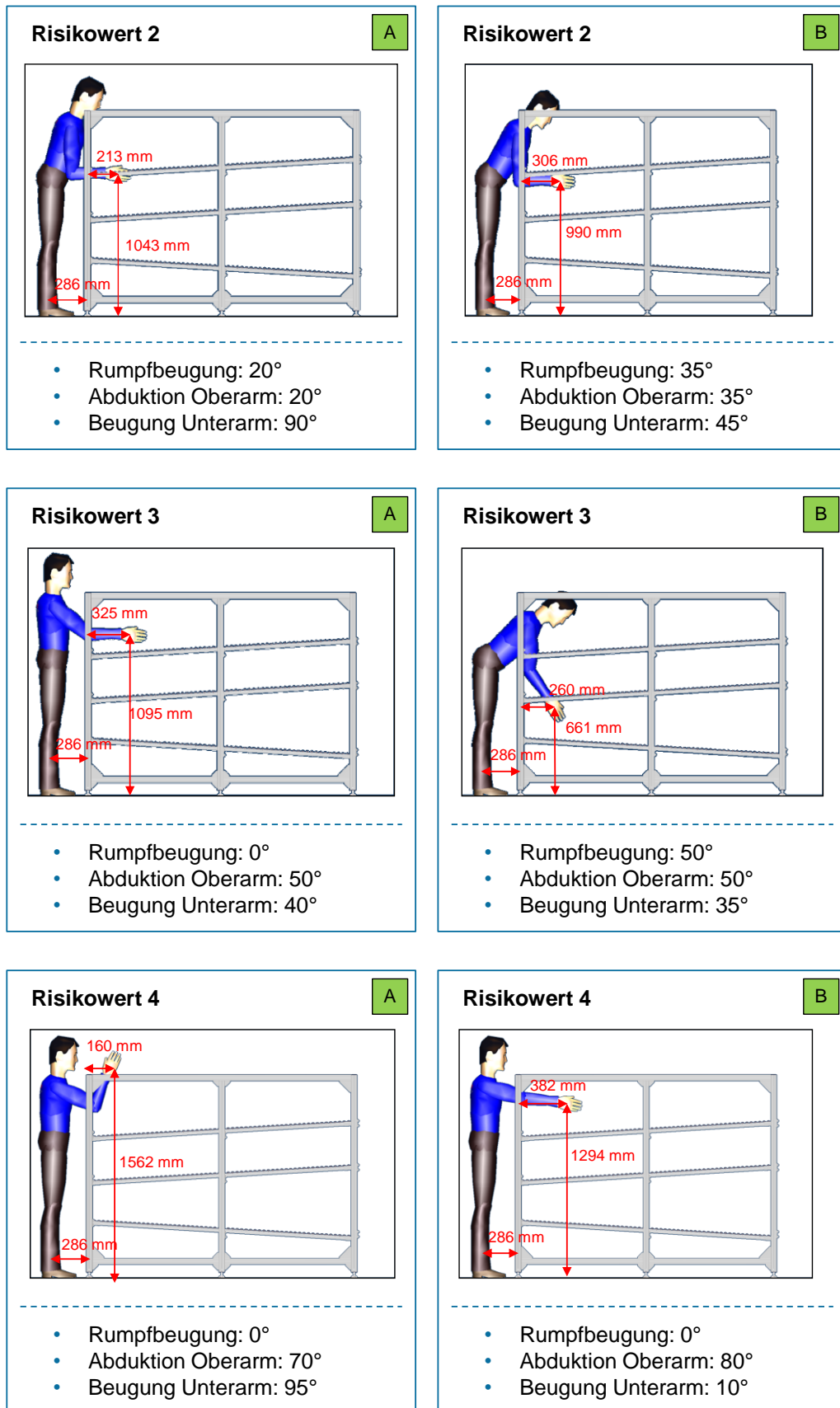


Abbildung 4-12: Zuordnung der Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe zu spezifischen Körperhaltungen (Haltungswichtung 2, 3, 4)

Anschließend konnten, wie auch für die Risikoklasse eins, zugehörige Entnahme-/Abgabehöhen sowie Entnahme-/Abgabetiefen für die vereinfachte Einstufung definiert werden. Diese sind in Tabelle 4-5 zusammengefasst.

Tabelle 4-5: Zuordnung von Entnahme-/Abgabehöhe bzw. Entnahme-/Abgabetiefe zu den spez. Winkelbereichen der Haltungswichtung 1, 2, 3

	Haltungswichtung 2	Haltungswichtung 3	Haltungswichtung 4
Entnahme-/Abgabehöhe	763-1126 [mm]	661-1095 [mm]	559-1562 [mm]
Entnahme-/Abgabetiefe	206-306 [mm]	307-392 [mm]	119-456 [mm]

Für die Nutzung der identifizierten und spezifizierten Wirkzusammenhänge ist zu beachten, dass die angegebenen Entfernungen nicht unabhängig voneinander zu einer Einstufung in eine der vier Risikoklassen führen. Vielmehr ist, analog zur Anwendung der Winkelbereiche, die Kombination aus der angegebenen Entnahme-/Abgabehöhe und der Entnahme-/Abgabetiefe entscheidend für die resultierende Körperhaltung. So kann bspw. anhand der alleinigen Angabe der Entnahme-/Abgabehöhe von 800 mm keine Aussage über die Körperhaltung getroffen werden. Erst die Verknüpfung mit einer definierten Entnahme-/Abgabetiefe (z. B. 250 mm) führt zu einer Körperhaltung, welche in diesem Fall mit einer Haltungswichtung von zwei zu bewerten ist.

Nicht jede beliebige Kombination an Entnahme-/Abgabehöhen und Entnahme-/Abgabetiefen kann direkt eindeutig mit einer Haltungswichtung bewertet werden. Eine Entnahme-/Abgabehöhe von 800 mm und eine Entnahme-/Abgabetiefe von 200 mm bedingen zunächst eine Einstufung in Risikoklasse eins und vier. Um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten, sind in einem zweiten Schritt weitere kommissionierspezifische Einflussgrößen zu berücksichtigen. So kann z. B. davon ausgegangen werden, dass bei der beschriebenen Entnahme-/Abgabehöhe von 800 mm und Entnahme-/Abgabetiefe von 200 mm das Artikelgewicht den Ausschlag für die Auswahl der Risikoklasse geben wird. Ein höheres zu handhabendes Gewicht bedingt i. d. R. ergonomisch ungünstigere Körperhaltung durch ein weites Beugen des Rumpfes, was folglich zu höheren Druckkräften auf die Wirbelsäule führt und die Einstufung in die Risikoklasse der ergonomisch ungünstigeren Körperhaltung (Klasse vier) erfordert. In-

terdependente Abhängigkeiten wie bspw. zwischen dem Artikelgewicht, der Entnahme-/Abgabehöhe bzw. Entnahme-/Abgabetiefe und der resultierenden Körperhaltung sind im Rahmen zukünftiger Forschungstätigkeiten zu untersuchen und in umfangreichen empirischen Studien zu validieren.

5 Technische Integration der Methodik

Um die in Kapitel 4 beschriebene Bewertungsmethodik in der Praxis aufwandsarm anwenden zu können, ist diese in geeigneter Weise in die betrieblichen Abläufe zu integrieren. Hierzu werden nachfolgend technische Konzepte zur automatisierten Erfassung der erforderlichen Eingangsdaten und zur Ausgabe von belastungsrelevanten Informationen vorgestellt sowie hinsichtlich deren Einsetzbarkeit in den in Abschnitt 3.3 beschriebenen Kommissionierszenarien bewertet.

5.1 Konzept der fortlaufenden Belastungsermittlung

In Abschnitt 3.2 wurde als wesentliche Eigenschaft von Kommissioniersystemen genannt, dass kommissionierspezifische Einflussgrößen wie Greifhöhen und -tiefen oder Lastgewichte sich bei jedem Handhabungsvorgang unterscheiden können. Da deshalb eine stichprobenartige Ermittlung der Belastung nicht zwangsläufig der tatsächlichen, langfristig auftretenden Belastung entspricht, wird im Rahmen des Forschungsprojekts ErgoKom der Ansatz einer fortlaufenden Belastungsermittlung verfolgt. D. h., es sind kontinuierlich alle relevanten Daten in Zusammenhang mit der körperlichen Belastung für jeden einzelnen Lasthandhabungsvorgang jedes Kommissionierers zu erfassen und zu speichern, die Belastung zu ermitteln und zu bewerten und die Ergebnisse in geeigneter Weise auszugeben, so dass Entscheidungsträger aus diesen Daten Maßnahmen zur Belastungsreduktion ableiten können.

Um diese Funktionen umzusetzen, erfolgt die technische Integration der in Kapitel 4 vorgestellten Methodik in ein System zur fortlaufenden Belastungsermittlung. Das Konzept dieses Systems ist schematisch in Abbildung 5-1 dargestellt. Das System zur fortlaufenden Belastungsermittlung lässt sich in folgende Subsysteme gliedern, die nachfolgend beschrieben sind:

- Automatisierte Erfassung von Eingangsdaten
- Rechnergestützte Auswertung und Datenhaltung
- Ausgabe von belastungsrelevanten Daten

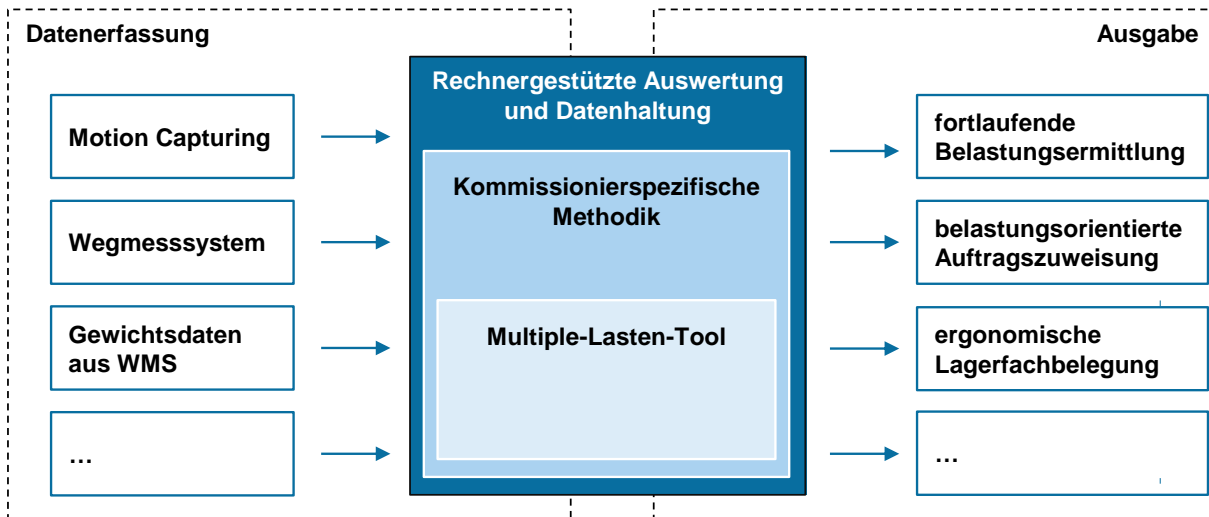


Abbildung 5-1: Konzept für ein System zur automatisierten, fortlaufenden Belastungsermittlung

Zur Belastungsbeurteilung mittels der in Kapitel 4 vorgestellten Methodik sind verschiedene Daten, wie z. B. Körperhaltungen, Wegstrecken oder Lastgewichte, zu ermitteln. Zur automatisierten Erfassung dieser Eingangsdaten existieren in verschiedenen Bereichen der Technik bereits Lösungsansätze, deren Eignung für die Kommissionierung im Rahmen des Forschungsprojekts untersucht wurde. Einige Technologien sind exemplarisch in Abbildung 5-1 dargestellt. So lassen sich beispielsweise sog. Motion Capturing Systeme dazu verwenden, Bewegungsabläufe zu erfassen. Weiterhin können beispielsweise Messsysteme zur Erfassung zurückgelegter Wegstrecken eingesetzt oder bestimmte Daten, wie z. B. Gewichtsdaten, direkt aus im Kommissionierlager vorhandenen EDV-Systemen (z. B. WMS) ausgelesen werden. Ein vollständiger Überblick über die zu erfassenden Eingangsdaten sowie eine systematische Untersuchung von hierzu geeigneten Technologien erfolgt in Abschnitt 5.2.

Die Erfassung der Eingangsdaten bildet die Basis für die rechnergestützte Auswertung. Die Auswertung umfasst primär die automatisierte Durchführung sämtlicher Berechnungsschritte gemäß der in Kapitel 4 vorgestellten Methodik, insbesondere die Berechnung von Risikowerten gemäß dem MLT. Neben der Durchführung von Berechnungen und der Risikobeurteilung kommt auch der Datenhaltung sowie dem Datenaustausch eine zentrale Bedeutung zu. So ist es zur Ursachenanalyse erforderlich, belastungsrelevante Daten zu den einzelnen Handhabungsvorgängen (u. a. Ergebnisse der Risikobewertung sowie die zur Beurteilung erforderlichen Eingangsdaten) über entsprechende Schnittstellen zu anderen EDV-Systemen, wie z. B. WMS oder Enterprise Resource Planning Systemen (ERP), mit Auftrags-, Artikel- und Mitarbeiterdaten zu verknüpfen, um Rückschlüsse auf die Ursachen eines hohen Risikowertes ziehen zu können. Um auch zu einem späteren Zeitpunkt, beispielsweise im Rahmen

einer Langzeitauswertung auf diese Informationen zugreifen zu können, werden sämtliche Daten in einer Datenbank gespeichert.

Die zentrale Aufgabe des Systems ist die Ausgabe von Informationen in Zusammenhang mit der physischen Belastung in der Form, dass Entscheidungsträger zielgerichtet belastungsreduzierende Maßnahmen ableiten können. Hierfür stehen vielzählige Ausgabemedien zur Verfügung, deren systematische Untersuchung Gegenstand von Abschnitt 5.3 ist.

Die nachfolgenden Untersuchungen zur Datenerfassung, Datenhaltung und Ausgabe belastungsrelevanter Informationen beschränken sich im Rahmen des Forschungsvorhabens auf die technische Umsetzbarkeit. Derzeitige rechtliche Rahmenbedingungen, beispielsweise Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Datenschutz, sind nicht Gegenstand der Untersuchungen.

5.2 Automatisierte Erfassung von Eingangsdaten

5.2.1 Zu erfassende Eingangsdaten

Die zu erfassenden Eingangsdaten sind im Wesentlichen durch die Auswahl des MLT als Verfahren zur Belastungsbeurteilung festgelegt (vgl. Abschnitt 2.3.2 und Abschnitt 4.1). Folglich handelt es sich bei den zu erfassenden Eingangsdaten in Abhängigkeit von der jeweiligen Art des Handhabungsvorgangs um das Lastgewicht und die Körperhaltung sowie die Zeitdauer, Häufigkeit oder zurückgelegte Wegstrecke. Darüber hinaus sind die jeweils bei einem Handhabungsvorgang vorherrschenden Ausführungsbedingungen zu berücksichtigen. Bei einem Umsetz-, Halte oder Tragevorgang ist zudem zu ermitteln, ob der Vorgang ein- oder beidhändig ausgeführt wird, während beim Ziehen/Schieben eines Kommissionierwagens Angaben zur Positioniergenauigkeit und, ob der Wagen ausschließlich Lenkrollen besitzt, erforderlich sind. Für die Belastungsermittlung auf Basis des MLT ist weiterhin das Geschlecht der jeweiligen Arbeitsperson zu bestimmen.

Einige Eingangsdaten werden im Rahmen einer konventionellen Ergonomieanalyse auf Basis der Beobachtung eines Ergonomiebewerter erfasst. So ist dieser in der Lage, intuitiv festzustellen, welcher Handhabungsvorgang gerade von der Arbeitsperson ausgeführt wird, und den Anfang bzw. das Ende des Vorgangs zu erkennen. Diese Informationen sind auch im Rahmen der automatisierten Belastungsermittlung von

zentraler Bedeutung. So wird die Information über die Art des Handhabungsvorgangs benötigt, um die vorstehend genannten Eingangsdaten wie das Lastgewicht oder die Körperhaltung einem bestimmten Handhabungsvorgang zuzuordnen. Die Registrierung des Start- und Endzeitpunktes eines Handhabungsvorgangs ist erforderlich, da zahlreiche Technologien zur Datenerfassung fortlaufend Messwerte zur Verfügung stellen, jedoch nur diejenigen Messwerte relevant sind, die während eines Handhabungsvorgangs erfasst werden. Die Registrierung von Start- und Endzeitpunkt dient also als Trigger für die Erfassung von sämtlichen weiteren Eingangsgrößen, die von der Zeit abhängig sind. Zur Automatisierung der Belastungsermittlung gilt es, anhand von objektiv messbaren Größen die Art des jeweiligen Handhabungsvorgangs zu ermitteln und den Start- und Endzeitpunkt eines Handhabungsvorgangs zu ermitteln. Diese Informationen werden im Folgenden als Art bzw. zeitliche Abgrenzung eines Handhabungsvorgangs bezeichnet und als zusätzlich zu erfassende Eingangsdaten berücksichtigt.

Eine Übersicht über die zu ermittelnden Eingangsdaten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Arten von Handhabungsvorgängen, bei denen diese jeweils relevant sind, wird in Tabelle 5-1 gegeben.

Tabelle 5-1: Zusammenfassung der zu erfassenden Eingangsdaten

Eingangsdaten	Zu bewertender Handhabungsvorgang
Art des Handhabungsvorgangs	Umsetzen/Halten/Tragen
	Z/S kurz / Z/S lang
	sonstige Vorgänge (ohne Belastung)
Zeitliche Abgrenzung (Start/Ende)	Umsetzen/Halten/Tragen
	Ziehen/Schieben
Lastgewicht	Umsetzen/Halten/Tragen
	Ziehen/Schieben
Körperhaltung	Umsetzen/Halten/Tragen
	Ziehen/Schieben
Dauer/Häufigkeit/Wegstrecke	Anzahl der Umsetzvorgänge
	Dauer des Haltens
	Wegstrecke beim Tragen
	Anzahl Z/S kurz
	Wegstrecke Z/S lang
Ein-/beidhändige Ausführung	Umsetzen/Halten/Tragen

Ausführungsbedingungen	Umsetzen/Halten/Tragen
	Ziehen/Schieben
Positioniergenauigkeit	Ziehen/Schieben
Lenkrollen	Ziehen/Schieben
Geschlecht der Arbeitsperson	Umsetzen/Halten/Tragen und Ziehen/Schieben

5.2.2 Technologien zur automatisierten Datenerfassung

In verschiedenen Bereichen der Technik und Wissenschaft existieren Technologien, die zur automatisierten Erfassung der in Abschnitt 5.2.1 genannten Daten herangezogen werden können. Nachfolgend werden diese Technologien beschrieben und Möglichkeiten sowie mögliche Probleme und Einschränkungen beim Einsatz zur automatisierten, fortlaufenden Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen aufgezeigt.

Motion Capturing

Motion Capturing bezeichnet die Aufzeichnung einer Bewegung und deren Umsetzung in ein digitales Format. Dazu wird die Bewegung definierter Punkte über die Zeit betrachtet, um daraus ein Modell des bewegten Objekts zu erstellen. [Men-2011]

Motion Capturing Systeme werden in unterschiedlichsten Bereichen genutzt, wie z. B. den folgenden:

- Entertainment: Generierung von Bewegungsabläufen virtueller Figuren [Men-2011]
- Ergonomie: Analyse und Gestaltung belastungsoptimierter Arbeitsumgebungen [Men-2011]
- Medizin: Ganganalysen [Mot-2014a]
- Sport: Bewegungsanalyse zur Leistungssteigerung [Mot-2014b]

Anhand des physikalischen Wirkprinzips, das zur Erfassung der menschlichen Bewegungen genutzt wird, lassen sich Motion Capturing Systeme in magnetisches, optisches und inertiales Motion Capturing einteilen.

Die Erfassung menschlicher Bewegungen durch den Einsatz von künstlichen Magnetfeldern wird als magnetisches Motion Capturing bezeichnet. Bei dieser Technologie werden Hall-Sensoren oder Antennen an definierten Stellen des Körpers angebracht,

die ein von außen durch Spulen erzeugtes Magnetfeld vermessen. Die Messdaten der einzelnen Sensoren werden an eine Auswerteeinheit übertragen, welche dann die Position und Ausrichtung der Sensoren ermittelt. [Kli-2006]

Das physikalische Grundprinzip optischer Motion Capturing Systeme ist die Messung und Analyse von Licht zur Bestimmung von Bewegungen. Die genutzten Wellenlängen können dabei im sichtbaren Bereich liegen, hauptsächlich wird jedoch infrarotes Licht verwendet. Kameras nehmen die Szene auf, durch eine Recheneinheit wird mittels Bildverarbeitung die Bewegung der Objekte ermittelt. Es lassen sich markerbasierte Systeme sowie Systeme ohne Marker unterscheiden. [Tön-2010]

Markerbasierte optische Motion Capturing Systeme verwenden Reflektoren (passive Marker) oder selbstleuchtende Emitter (aktive Marker), die an bekannten Stellen des Körpers verteilt sind. Aktive Marker sind zumeist Light-emitting Diodes (LEDs) die im sichtbaren Bereich leuchten. Passive Marker werden verwendet, um von außen auf die Szene emittiertes, infrarotes Licht zu reflektieren. Mehrere spezielle Kameras mit hoher Auflösung und Bildfrequenz zeichnen die Bewegungen der Marker auf. (vgl. [Met-2014], [Adv-2014])

Bei markerlosen Verfahren werden hingegen keine speziellen Marker benötigt. Markerlose System nutzen Kameras bzw. Lichtsensoren um Bewegungen von Objekten im Raum zu erfassen. Ein verbreitetes System dieser Art ist die Microsoft Kinect. Das System verfügt über einen Infrarot-Projektor sowie eine Infrarot-Kamera, um das reflektierte Infrarotlicht aufzunehmen. Ein in den Raum projiziertes Infrarot-Muster wird durch Objekte verzerrt. Mittels Bildverarbeitung wird aus diesen Verzerrungen ein Tiefenbild berechnet und daraus ein Skelett-Modell menschlicher Bewegungen erzeugt. [Zen-2012]

Inertiales Motion Capturing beruht auf dem Grundprinzip der Massenträgheit. Inertialsensoren werden sowohl zur Messung translatorischer als auch rotatorischer Beschleunigungskräfte eingesetzt, um auf die Bewegung eines Objektes zu schließen [Gün-2009]. Dazu werden sowohl Beschleunigungssensoren (Accelerometer) als auch Neigungsmesser oder Kreisel (Gyroskope) am untersuchten Objekt angebracht. Das inertielle Motion Capturing Verfahren benötigt während der Messung keinen Bezugspunkt im Raum, was jedoch eine Kalibrierung der Sensorik vor Beginn der Aufnahmen erfordert [Tön-2010]. Einige am Markt erhältliche Systeme nutzen Ganzkörperanzüge, in denen die Sensorik an definierten Stellen angebracht ist, um eine einfache Zuordnung der gemessenen Daten zu ermöglichen [Xse-2014].

Entsprechend ihres bisherigen Verwendungszwecks können Motion Capturing Systeme im Zusammenhang mit der Belastungsermittlung in der Kommissionierung primär zur Ermittlung der Körperhaltung bei sämtlichen Arten von Handhabungsvorgängen eingesetzt werden. Abgesehen von inertialen Systemen sind Motion Capturing Systeme durch eine entsprechende Kalibrierung darüber hinaus in der Lage, die Entfernung charakteristischer Punkte des menschlichen Körpers zum Sensor (beispielsweise zwischen einem Marker am Körper und der Kamera) zu bestimmen. Dadurch ist es möglich, das System auch zur Bestimmung von Wegstrecken zu verwenden, die beim Tragen und Ziehen/Schieben zu ermitteln sind. Entsprechend der in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Problematik der zeitlichen Abgrenzung ist hierzu jedoch ein zusätzliches Triggersignal erforderlich, da durch das Motion Capturing System selbst der Start- bzw. Endzeitpunkt der Wegmessung nicht ermittelt werden kann.

Probleme können sich bei magnetischen Systemen durch die begrenzte Reichweite des emittierten Feldes, sowie durch Störeinflüsse, insbesondere von Metallen auf die Messung und bei der Erfassung von mehreren Personen ergeben [Kli-2006]. Bei optischen Systemen besteht hingegen die Gefahr von Verdeckungen [Kli-2006], beispielsweise durch Regale oder Ladungsträger. Eine weitere Herausforderung stellt – abgesehen von inertialen Systemen – der Einsatz in großen Kommissionierbereichen dar, weil der Erfassungsbereich von Motion Capturing Systemen auf einige Meter begrenzt ist und hierfür eine hohe Anzahl an Sensoren notwendig ist. Bei inertialen Motion Capturing Systemen ist aufgrund der auftretenden Drift eine regelmäßige erneute Kalibrierung erforderlich, so dass dieses im Rahmen des Forschungsprojekts nur als Ergänzung eines weiteren Motion Capturing Systems eingesetzt werden kann. Ebenfalls nachteilig im Zusammenhang mit dem fortlaufenden Einsatz von Motion Capturing Systemen ist zu sehen, dass außer bei optischen markerlosen Systemen stets Mess-equipment in Form von Markern oder Sensoren am Körper erforderlich ist, da dies eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit und des Tragekomforts darstellt.

Exoskelett

Als Exoskelette werden Systeme bezeichnet, bei denen starre Strukturen (z. B. Stangen) fest am menschlichen Körper angebracht werden, um Bewegungen zu analysieren. Diese sind parallel zu den Gliedmaßen befestigt und an den Gelenken beispielsweise mit Potentiometern verbunden, die die Messung von Winkeln ermöglichen. [Gud-2009]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens können Exoskelette zur Ermittlung der Körperhaltung eingesetzt werden. Sie sind weitgehend robust gegenüber Umgebungseinflüssen und können auch bei mehreren Kommissionierern auf engem Raum problemlos eingesetzt werden. Allerdings ist, um sämtliche Gelenkwinkel gemäß Abschnitt 4.2 erfassen zu können, mit einer deutlichen Einschränkung der Bewegungsfreiheit durch das am Körper zu tragende Messequipment zu rechnen.

Goniometer/Torsiometer

Goniometer und Torsiometer sind Messgeräte zur Erfassung von Winkeln. Dabei können Goniometer für Winkelmessungen in ein oder zwei Ebenen genutzt werden, während mit Torsiometern Verdrehungen um eine Achse erfasst werden. Die Messung erfolgt mittels Dehnmessstreifen und kann elektronisch ausgewertet werden. Im Gegensatz zu starren Systemen wie Exoskeletten sind Goniometer und Torsiometer biegsam aufgebaut und können in allen Raumrichtungen verformt werden. [Bio-2002]

Durch die Anbringung am Körper ist es möglich, relevante Gelenkwinkel des Menschen zu erfassen und damit Rückschlüsse auf die Körperhaltung zu ziehen. Goniometer und Torsiometer kommen in medizinischen Untersuchungen zum Einsatz, um etwa die Belastungen des Hand-Arm-Systems zu bestimmen. [BAu-2013]

Zur fortlaufenden Belastungsermittlung in der Kommissionierung können Goniometer bzw. Torsiometer, ähnlich wie Exoskelette, zur Erfassung der Körperhaltung eingesetzt werden. Allerdings ist hierbei ebenfalls kritisch zu sehen, dass umfangreiches Messequipment am Körper anzubringen ist.

Ultraschallsensoren (Sonometrie)

Die Nutzung von Ultraschall zur Messung von Längenänderungen an Körperteilen wird als Sonometrie bezeichnet. Grundlage dafür ist die Bestimmung der Laufzeitänderung des Schalls durch das Körpergewebe. Dazu werden in definierten Abständen Emitter und Sensoren auf der Haut angebracht und deren Signale elektronisch ausgewertet. Im medizinischen Bereich kommt dieses Verfahren beispielsweise zur Erfassung der Wirbelsäulenbewegung zum Einsatz. [Got-2013]

Im Rahmen des Forschungsprojekts ist eine Verwendung dieser Technologie zur Erfassung der Körperhaltung, insbesondere der Rumpfhaltung, denkbar. Hinsichtlich des Vorbereitungsaufwands und des Tragekomforts ist jedoch die Anbringung von Messequipment auf der Haut kritisch zu beurteilen.

Wägetechnik

Waagen kommen heutzutage in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz. Sowohl im privaten (Personenwaagen, Briefwaagen, Küchenwaagen) als auch im industriellen Umfeld werden verschiedenste Bauformen eingesetzt [Dre-2008]. Auch in der Kommissionierung sind Waagen verbreitet. Speziell im Bereich der Kleinteilekommissionierung kann die Bestimmung der Stückzahl durch Wiegen erfolgen [Hom-2011].

Das naheliegende Anwendungsfeld von Waagen im Rahmen des Forschungsvorhabens ist die Bestimmung des Lastgewichts. Hierzu ist es denkbar, Wägezellen in den Regalen sowie auf dem Kommissionierwagen oder Regalfahrzeug anzubringen und die kommissionierte Ware, Sammelbehälter oder die Bereitstelleinheiten in den Regalen direkt auf die Wägezellen zu stellen. Durch die Bestimmung der Gewichtszunahme oder -abnahme durch die jeweiligen Wägezellen ist es möglich, auf das Lastgewicht bei Umsetz-, Halte- oder Tragevorgängen zu schließen. Auch beim Ziehen/Schieben eines Kommissionierwagens können Waagen eingesetzt werden, um das Gewicht der kommissionierten Ware auf dem Wagen zu bestimmen. Das Eigengewicht des Wagens ist hierbei jedoch durch ein zusätzliches System (vgl. z. B. WMS) zu bestimmen.

Neben der Gewichtsmessung kann in Abhängigkeit davon, wo die Wägezellen angebracht sind, anhand einer Gewichtsveränderung auch der Zeitpunkt festgestellt werden, an dem ein Umsetz-, Hebe- oder Tragevorgang beginnt bzw. endet. Diese Informationen können zur zeitlichen Abgrenzung der vorstehend genannten Handhabungsvorgänge herangezogen werden. Basierend auf der zeitlichen Abgrenzung ist es darüber hinaus möglich, Umsetzvorgänge zu zählen oder – vorausgesetzt, es wird sowohl der Anfangs- als auch der Endzeitpunkt eines Haltevorgangs durch den Einsatz von Waagen bestimmt – die Dauer von Haltevorgängen zu ermitteln. Neben der zeitlichen Abgrenzung ist in diesem Fall auch die Bestimmung der Handhabungsart möglich. So können anhand der ermittelten Zeitdauer eines Handhabungsvorgangs Umsetzen und Halten zuverlässig unterschieden werden.

Bei der nachfolgenden Darstellung der Einsatzmöglichkeit von WMS (vgl. S. 101), wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie auf Basis des Entnahmefachs, der Regalgeometrie und anthropometrischen Daten des Kommissionierers die Körperhaltung ermittelt werden kann. Die Anbringung von Wägezellen am Regal und unter jeder einzelnen Bereitstelleinheit, kann hierbei einen Beitrag leisten, indem anhand einer Gewichtsänderung ermittelt wird, aus welchem Regalfach die Entnahme erfolgt ist.

Eine Herausforderung im Zusammenhang mit dem Einsatz von Waagen ist, insbesondere vor dem Hintergrund von oftmals sehr unterschiedlichen Artikelgewichten, die Auswahl einer geeigneten Waage. Außerdem ist gerade beim mobilen Betrieb zu berücksichtigen, dass die Waage horizontal steht und durch Vibrationen und Stöße einer zusätzlichen mechanischen Belastung ausgesetzt ist. Die Anbringung von Wägezellen am Regal ist gerade in größeren Kommissionierlagern aus wirtschaftlicher Sicht kritisch zu betrachten. (vgl. [Gün-2012a])

Kraftmessplatten

Kraftmessplatten sind am Boden angebrachte Plattformen, welche mit Messsensoren zur ein- bis dreidimensionalen Kraftmessung ausgestattet sind. Die Technologie (Dehnmessstreifen, Piezokristalle) sowie die Ausstattung und Auflösung der Platten variiert abhängig von den erforderlichen Einsatzszenarien. Kraftmessplatten sind ein weit verbreitetes Instrument zur Gang-, Lauf- und Sprunganalyse und werden vor allem im Bereich der Sportmedizin und Biomechanik verwendet. [Gül-2013]

Eine Anwendungsmöglichkeit von Kraftmessplatten im Rahmen des Forschungsprojekts besteht in der Bestimmung des Lastgewichts. Der Mitarbeiter muss sich hierzu während der Durchführung eines Handhabungsvorgangs auf der Kraftmessplatte befinden. Durch einen Vergleich der Kräfte, die vom Kommissionierer mit bzw. ohne dem zusätzlichen Lastgewicht in die Kraftmessplatte eingeleitet werden, ist eine grobe Bestimmung des Lastgewichts beim Umsetzen, Halten und Tragen möglich.

Darüber hinaus ist es denkbar, durch die Erfassung der Zeitpunkte, an denen die Erhöhung bzw. Verringerung der eingeleiteten Kräfte stattfindet, Kraftmessplatten auch zur zeitlichen Abgrenzung der Handhabungsvorgänge Umsetzen und Halten einzusetzen. Basierend darauf können die Anzahl von Umsetzvorgängen und die Dauer von Haltevorgängen bestimmt werden. Anhand der Dauer sowie der Kraftmessung ist auch die Unterscheidung der Handhabungsarten Umsetzen, Halten sowie von Vorgängen, die keine Belastung gemäß MLT verursachen, möglich

Einige Bauarten von Kraftmessplatten bieten die Möglichkeit, neben der Kraftmessung auch die Koordinaten zur ermitteln, an denen die Krafteinleitung erfolgt. Dadurch sind diese Kraftmessplatten auch zur Wegmessung einsetzbar. Dies ermöglicht neben der Messung der Wegstrecke beim Tragen auch die zeitliche Abgrenzung von Tragevorgängen sowie die Abgrenzung von Tragevorgängen gegenüber dem Umsetzen, Halten, Tragen und Vorgängen ohne Belastung.

Nachteilig ist zu sehen, dass ein praktikabler Einsatz von Kraftmessplatten nur in kleineren Kommissionierbereichen möglich ist, in denen jeweils nur eine Person arbeitet. Weiterhin sind ausreichend hohe Lastgewichte, beispielsweise in Form von entsprechend hohen Artikelgewichten, eine notwendige Voraussetzung für die technische Umsetzbarkeit dieses Konzeptes. Dies stellt eine wesentliche Einschränkung hinsichtlich der breiten Einsetzbarkeit in den Unternehmen dar.

Kraftmesssensoren am Fuß

Anders als die ortsfesten Kraftmessplatten werden Kraftmesssensoren am Fuß mobil in Form von Kraftmesssohlen eingesetzt. Die verwendete Messtechnik verfügt meist über kapazitive oder halbleiterbasierte Sensoren. Kraftmesssohlen sind ein verbreitetes Mittel zur exakten Messung der Druckverteilungen an der Fußsohle in der Orthopädie, Sportbiomechanik und Rehabilitation. [Gül-2013]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens bieten Kraftmesssensoren hinsichtlich der Handhabungsvorgänge Halten und Tragen die gleichen Möglichkeiten wie die zuvor beschriebenen Kraftmessplatten. Da eine Wegmessung mit Kraftmesssensoren am Fuß nicht möglich ist, können diese bei Tragevorgängen lediglich zur Bestimmung des Lastgewichtes verwendet werden.

Im Gegensatz zu Kraftmessplatten ist die Anzahl der Kommissionierer oder die Größe des mit Kraftmessplatten auszustattenden Bereiches nicht relevant für den Einsatz von Kraftsensoren am Fuß, jedoch werden auch bei diesen entsprechend hohe Lastgewichte vorausgesetzt.

WMS-Daten

Wie in Abschnitt 2.1.1 beschrieben, werden heute zur Unterstützung informatorischer Prozesse üblicherweise softwarebasierte WMS eingesetzt. Moderne WMS sind modular aufgebaut und umfassen neben den Kernfunktionen, wie z. B. der Auftragsbearbeitung, Auftragsfreigabe oder Inventur, auch Zusatzfunktionen und Erweiterungsmodule, beispielsweise zur Anbindung von beleglosen Kommissioniersystemen [Wol-2012]. Eine wesentliche Aufgabe von WMS ist die Datenhaltung. Hierzu zählt u. a. die Verwaltung der Anzahl und Abmessungen der Lagerorte, von Stammdaten, sowie von Auftrags- und Bestandsdaten [Hom-2010]. Stammdaten umfassen beispielsweise die Eigenschaften von Ladehilfsmitteln oder Artikelstammdaten. Wesentliche Artikelstammdaten sind nachfolgend exemplarisch aufgeführt [Hom-2010]:

- Artikelnummer
- Bezeichnung
- Artikelgewicht
- Artikellänge, Artikelbreite, Artikelhöhe
- Art der Ladeinheit

Zum Datenaustausch mit anderen EDV-Systemen des Unternehmens, wie z. B. Warenwirtschaftssystemen (WWS) oder ERP-Systemen, verfügen WMS über gut dokumentierte Schnittstellen, da gewisse Daten sowohl für die Lagerverwaltung als auch für angrenzende Bereiche, wie z. B. Personalverwaltung, Qualitätssicherung, Speditionswesen oder Warenwirtschaft relevant sind. [Hom-2010]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ErgoKom stellt das Auslesen von WMS-Daten über entsprechende Schnittstellen eine Alternative zur messtechnischen Erfassung von Eingangsdaten für die Belastungsermittlung dar. So kann die Ermittlung des Lastgewichtes auch rechnerisch auf Basis von Stammdaten ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, dass das Artikelgewicht nicht zwangsläufig dem Lastgewicht entspricht. Abhängig von der Prozessgestaltung und dem aktuellen Prozessschritt (z. B. Entnahme, Ziehen/Schieben eines Kommissionierwagens oder Abgabe der kommissionierten Ware in einem Sammelbehälter am Ende des Auftrags) ist gegebenenfalls das Gewicht von Ladehilfsmitteln, eines Kommissionierwagens, der bisher kommissionierten Ware bzw. die Summe deren Gewichte zu berücksichtigen. Neben dem Vorhandensein der benötigten Gewichtsdaten im WMS ist es hierzu auch erforderlich, dass dem System zur Belastungsbeurteilung der aktuelle Prozessschritt bzw. Auftragsstatus mitgeteilt wird. Dies kann entsprechend der Beschreibung der Interaktionsmöglichkeiten von beleglosen Kommissioniersystemen (vgl. S. 103) beispielsweise durch Nutzereingaben in ein belegloses Kommissioniersystem erfolgen.

Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, WMS-Daten zu verwenden, um Rückschlüsse auf die Körperhaltung zu ziehen. Anhand der in Abschnitt 4.3 beschriebenen Zusammenhänge zwischen Entnahme- bzw. Abgabehöhe und -tiefe, den anthropometrischen Daten des Kommissionierers und der Haltungswichtung kann eine wahrscheinliche Haltungswichtung auch auf Basis von WMS-Daten ermittelt werden. Hierzu sind neben den bereits in heutigen WMS vorhandenen Auftragsdaten und der Lagerfachbelegung auch Angaben zur Geometrie von Regalen und Kommissionierwägen bzw. Regalfahrzeugen und somit die Erweiterung der Datenhaltung im WMS erforderlich. Alternativ ist es denkbar, eine zusätzliche Datenbank einzuführen, die

über entsprechende Schnittstellen den Zugriff auf anthropometrische Daten der einzelnen Kommissionierer ermöglicht.

Weiterhin ist es vorstellbar, auf Basis von Artikelstammdaten aus dem WMS eine Aussage zur ein-/beidhändigen Ausführung beim Umsetzen, Halten und Tragen auf Basis von Stammdaten zu treffen. Hierzu ist es allerdings erforderlich, Zusammenhänge beispielsweise zwischen Artikelgewichten bzw. -abmessungen und der ein-/beidhändigen Ausführung experimentell zu ermitteln und gegebenenfalls vereinfachende Annahmen zu treffen.

Unter Zugrundelegung eines bestimmten Kommissionierprozesses, Lagerlayouts und einer bestimmten Bewegungsstrategie sowie vereinfachender Annahmen ist es möglich, diverse weitere Informationen, wie z. B. Wegstrecken, auf Basis von WMS-Daten zu berechnen. Ein Ansatz, Belastungen vollständig auf der Basis von WMS-Daten zu ermitteln, wird in [Koc-2014] vorgestellt.

Der Vorteil dieses Konzeptes besteht darin, dass kaum zusätzliche Messtechnik erforderlich ist. Somit hängt auch die Umsetzbarkeit nicht von der Größe eines Kommissionierbereiches ab. Nachteilig ist bei dieser Variante zu sehen, dass vereinfachende Annahmen getroffen werden, d. h. beispielsweise die ermittelte Körperhaltung unter Umständen nicht mit der Realität übereinstimmt. Trotz der genannten Nachteile können auf Basis von WMS-Daten ermittelte Eingangsdaten, beispielsweise bei kurzzeitigen Störungen eines Motion Capturing Systems, als Ergänzung der messtechnischen Erfassung dienen.

Beleglose Kommissioniersysteme

Wie in Abschnitt 2.1.3 beschrieben, werden heute in der Kommissionierung verstärkt beleglose Kommissioniersysteme, wie z. B. PbV, PbL oder MDTs, eingesetzt. Im Gegensatz zur konventionellen beleggebundenen Kommissionierung liegt bei diesen Systemen meist eine online-Anbindung an übergeordnete EDV-Systeme wie WMS vor. Dadurch ist zu jedem Zeitpunkt bekannt, welcher Kommissionierer einen bestimmten Auftrag durchführt. Diese Information kann in einem weiteren Schritt u. a. dazu verwendet werden, das Geschlecht der Arbeitsperson zu ermitteln. Weiterhin bieten beleglose Kommissioniersysteme dem Kommissionierer verschiedene Möglichkeiten, mit dem System zu interagieren. So können abhängig vom jeweiligen System in Form von Spracheingaben, dem Betätigen eines Tasters oder mittels eines

Barcodescanners Nutzereingaben wie das Quittieren eines Prozessschrittes getätigt werden.

Über die online-Anbindung an das System zur fortlaufenden Belastungsermittlung können diese Quittiervorgänge erfasst und zur zeitlichen Abgrenzung von Handhabungsvorgängen genutzt werden. Gegebenenfalls kann das bestehende Interaktionskonzept eines beleglosen Kommissioniersystems auch um zusätzliche Quittiervorgänge erweitert werden, so dass beispielsweise stets der Start- und Endzeitpunkt von Handhabungsvorgängen durch eine Nutzereingabe des Kommissionierers zu bestätigen ist. Auf diese Weise kann die zeitliche Abgrenzung sämtlicher Handhabungsvorgänge sowie von Vorgängen ohne Belastung durchgeführt werden. Basierend darauf ist auch die Zählung von Umsetzvorgängen sowie kurzen Zieh-/Schiebevorgängen und die Zeitmessung beim Halten möglich. Die Ergebnisse der Zeitmessung ermöglichen darüber hinaus auch die Unterscheidung von Umsetz- gegenüber Halte- bzw. Tragevorgängen.

Als Schwachstelle bei der zeitlichen Abgrenzung ist zu sehen, dass unter Umständen die Kommissionierleistung durch die aufwendige Bedienung des Systems sinkt. Darüber hinaus ist durch die eigenverantwortlichen Nutzereingaben des Kommissionierers nicht gewährleistet, dass ein Vorgang tatsächlich zu dem Zeitpunkt quittiert wird, an dem dieser beginnt bzw. endet.

Initiatoren und Lichtschranken

Als Initiatoren werden Näherungssensoren bezeichnet, die unter Ausnutzung verschiedener physikalischer Effekte Objekte im jeweiligen Einflussbereich erkennen. Hinsichtlich des physikalischen Wirkprinzips lassen sich induktive, kapazitive, akustische und fotoelektrische Initiatoren unterscheiden. Die Sensoren arbeiten berührungslos und liefern stets ein binäres Signal. [Hes-2011]

Lichtschranken stellen eine weit verbreitete Technologie in der Prozessautomatisierung dar. Die wesentlichen Komponenten von Lichtschranken sind eine Lichtquelle, ein Empfänger sowie die zugehörige Auswerteelektronik. Prinzipiell wird durch eine Lichtschranke eine Unterbrechung der Strecke zwischen Lichtemitter und Sensor festgestellt. Durch den Einsatz mehrerer Lichtschranken in Form von Lichtgittern oder Lichtvorhängen können ganze Flächen überwacht werden. [Koc-1998]

In der Kommissionierung werden Lichtgitter eingesetzt, um die Fehlersicherheit von manuellen Kommissioniersystemen zu erhöhen, indem überprüft wird, aus welchem Fach die Entnahme erfolgt (vgl. z. B. [Leu-2013]).

Wie bereits im Zusammenhang mit dem Einsatz von Waagen in Regalen beschrieben wurde, kann durch die Information, aus welchem Fach eine Entnahme erfolgt, unter Zuhilfenahme von WMS-Daten auf die Körperhaltung geschlossen werden. Neben der Anbringung von Lichtschranken am Regal ist auch die Anbringung von Sensoren am Kommissionierfahrzeug oder dem Kommissionierwagen denkbar. So kann beispielsweise mittels eines entsprechenden Sensors am Kommissionierwagen überprüft werden, ob sich ein Sammelbehälter auf dem Wagen befindet, oder bei der Ablage in den Sammelbehälter ein darüber befindliches Lichtgitter ausgelöst wird. Durch eine geeignete Kombination der Sensoren ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur zeitlichen Abgrenzung von Umsetz-, Halte- und Tragevorgängen sowie der darauf aufbauenden Messung der Dauer von Haltevorgängen und der Zählung von Umsetzvorgängen. Die Zeitmessung ermöglicht weiterhin die Abgrenzung von Umsetzvorgängen gegenüber Halte- bzw. Tragevorgängen.

Datenhandschuhe

Datenhandschuhe sind Handschuhe, die mit Sensorik zur Erfassung der Position und Bewegungen der Hand ausgestattet sind. Die Bauarten der Sensoren unterscheiden sich dabei zwischen den Herstellern und müssen für den jeweiligen Anwendungsfall passend ausgewählt werden. Neben Piezokristallen, Glasfaserkabeln mit optischen Sensoren und mechanischen Sensoren kommen auch Dehnmessstreifen zum Einsatz. Je nach Ausprägung kann durch den Datenhandschuh die Bewegung einzelner Finger oder der ganzen Hand ermittelt werden. Zum Teil sind Datenhandschuhe zusätzlich mit Eingabesystemen zur Navigation in Virtual-Reality Umgebungen ausgestattet. (vgl. [Vir-2014], [Tön-2010])

Darüber hinaus existieren einige Bauarten von Datenhandschuhen, die mit Druck- bzw. Kraftmesssensoren ausgestattet sind [Uni-2013].

Datenhandschuhe mit entsprechender Drucksensorik bieten unter den im Rahmen des Forschungsvorhabens betrachteten Technologien die einzige Möglichkeit, messtechnisch zu erfassen, ob ein Handhabungsvorgang ein- oder beidhändig durchgeführt wurde. Durch die Erfassung von Druckverläufen an den Fingerkuppen und der

Handinnenfläche sowie der Hand- bzw. Fingerstellung ist es denkbar, mit Datenhandschuhen zu erfassen, ob und ggf. wie lange ein Objekt in der Hand gehalten wurde. Eine bislang ungelöste Herausforderung besteht hierbei jedoch in der wissenschaftlichen Untersuchung von charakteristischen Finger- bzw. Handgelenkstellungen oder Druckverläufen, um natürliche Bewegungen von Kommissionierern eindeutig den Handhabungsvorgängen gem. dem MLT zuordnen zu können. Deshalb werden weitere Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von Datenhandschuhen vorstellbar sind, im Rahmen des Forschungsprojekts nicht betrachtet.

Schrittzähler

Schrittzähler werden dazu verwendet, zurückgelegte Schritte beim Gehen oder Laufen von Personen zu ermitteln und basierend darauf zurückgelegte Entfernungen zu berechnen. Die eingesetzte Sensorik besteht aus Beschleunigungssensoren, die am Körper oder direkt am Fuß der Person angebracht werden. Die hauptsächlichen Einsatzgebiete sind der Sport- und Freizeitbereich. Einzelne Geräte sind mit Schnittstellen ausgestattet, die eine Auswertung durch Software ermöglichen. (vgl. z. B. [Jan-2013], [Dyn-2009])

Schrittzähler können im Rahmen des Forschungsprojekts verwendet werden, um zurückgelegte Entfernungen von Mitarbeitern in der Kommissionierung zu ermitteln und somit die Wegstrecke bei Trage- und Zieh-/Schiebevorgängen zu bestimmen. Da mit dem Schrittzähler selbst keine zeitliche Abgrenzung von Handhabungsvorgängen vorgenommen werden kann, ist zum Starten und Beenden der Wegmessung ein Trigger-signal eines weiteren Systems zur automatisierten Datenerfassung erforderlich. Zudem ist für die Berechnung der Wegstrecke aus der Anzahl der zurückgelegten Schritte eine durchschnittliche Schrittlänge anzugeben, die für jeden Kommissionierer zu ermitteln und in einer entsprechenden Datenbank zu hinterlegen ist.

Nachteilig am Einsatz von Schrittzählern ist die Anbringung von zusätzlichem Equipment am Körper zu sehen, ebenso sowie der Umstand, dass bedingt durch das Funktionsprinzip die bei der Wegmessung zu erwartende Genauigkeit als gering einzustufen ist.

Indoor-Ortungssysteme

Durch den Einsatz von Indoor-Ortungssystemen ist es möglich, die Position von Personen oder Objekten in umbauten Räumen zu bestimmen. Die Technik besteht dabei

aus Sendern und Empfängern die jeweils in der Umgebung (z. B. an der Decke) bzw. an den zu ortenden Objekten angebracht sind. Je nach Hersteller werden dabei verschiedene Funktechnologien oder eine Kombination aus Radio- und Ultraschallwellen genutzt, um die Entfernungen von Sendern und Empfängern und damit die Bewegung der Objekte zu bestimmen. [ind-2014]

Ein mögliches Einsatzfeld von Indoor-Ortungssystemen im Rahmen des Forschungsvorhabens ist die fortlaufende Positionsbestimmung der Kommissionierer sowie von Kommissionierwägen, mit dem Ziel, Wegstrecken beim Tragen bzw. Ziehen/Schieben zu messen. Durch die Überwachung der Zustände „Kommissionierwagen steht“ und „Kommissionierwagen wird bewegt“ kann darüber hinaus auch die zeitliche Abgrenzung von Zieh-/Schiebevorgängen und basierend darauf eine Zählung kurzer Zieh-/Schiebevorgänge durch den Einsatz eines Indoor-Ortungssystems realisiert werden. Zudem ermöglicht das System auf Basis der Wegmessung, Tragevorgänge von Umsetz- und Haltevorgängen sowie kurzes Ziehen/Schieben von langen Zieh-/Schiebevorgängen zu unterscheiden.

Messrad

Drehgeber sind Geräte zur inkrementellen oder absoluten Positionsbestimmung, bei denen vorwiegend optische oder magnetische Sensoren eingesetzt werden [Ker-2009]. Als wesentliche Komponente eines Messrades können die Signale inkrementeller Drehgeber verwendet werden, um beispielsweise zurückgelegte Entfernungen oder Geschwindigkeiten zu messen.

Das primäre Einsatzfeld im Zusammenhang mit der fortlaufenden Belastungsermittlung ist die Anbringung eines zusätzlichen Messrades am Kommissionierwagen zur Messung der bei Zieh-/Schiebevorgängen zurückgelegten Strecke. Darüber hinaus kann mit dem Messrad auch die Geschwindigkeit des Kommissionierwagens gemessen werden, insbesondere kann überprüft werden, ob der Kommissionierwagen steht oder bewegt wird. Diese beiden Zustände ermöglichen eine zuverlässige zeitliche Abgrenzung von Zieh-/Schiebevorgängen. Auf Basis der Wegmessung ist es darüber hinaus auch möglich, kurze und lange Zieh-/Schiebevorgänge voneinander zu unterscheiden. Weiterhin ist es möglich aufbauend auf der zeitlichen Abgrenzung kurzer Zieh-/Schiebevorgänge auch deren Häufigkeit zu ermitteln.

Experteneinschätzung und Datenbankeintrag

Bei dem Ansatz, dass ein Ergonomiebewerter die zur Belastungsermittlung erforderlichen Eingangsdaten auf Basis seiner Beobachtungen erfasst, handelt es sich nicht um einen Ansatz zur technischen Unterstützung bei der Datenerfassung. Vielmehr entspricht dies dem heutigen Vorgehen bei der Anwendung vieler Arbeitsanalyseverfahren, insbesondere bei Papier-und-Bleistift Methoden. Trotz der vorstehend genannten Möglichkeiten zur automatisierten Erfassung von Eingangsdaten, kann es zielführend sein, dass bestimmte Eingangsdaten weiterhin durch einen Mitarbeiter, ggf. einen Experten im Bereich der Arbeitswissenschaft, ermittelt werden. Gründe hierfür können sein, dass die entsprechenden Daten nicht oder nur unter großem Aufwand messtechnisch erfasst werden können und/oder sich diese nur sehr selten ändern.

Ein Beispiel hierfür sind personenspezifische Daten, wie das Geschlecht oder die Größe des Kommissionierers. Um dem System zur fortlaufenden Belastungsermittlung die entsprechenden Daten zur Verfügung zu stellen, sind diese von einem Mitarbeiter aufzunehmen und in einer Datenbank einzutragen. Hinsichtlich der Datenhaltung ist hierzu sowohl eine Erweiterung des WMS als auch die Einführung einer zusätzlichen Datenbank, in der Daten mit Relevanz für die Belastungsermittlung gespeichert werden, denkbar. Weiterhin kann dieses Vorgehen für das Ermitteln der Ausführungsbedingungen angewandt werden, da diese häufig für eine Zone oder das gesamte Lager gelten und oftmals als unabhängig von der Zeit angenommen werden können. Die im Zusammenhang mit dem Ziehen/Schieben eines Kommissionierwagens zu ermittelnde Positioniergenauigkeit und die Anzahl der Lenkrollen des Wagens sind ebenfalls unabhängig von der Zeit. Es handelt sich dabei vielmehr um Eigenschaften, die durch die Anforderungen an das Kommissioniersystem sowie die Bauart des Kommissionierwagens festgelegt sind.

5.2.3 Bewertung

Im Hinblick auf die Umsetzung der fortlaufenden Belastungsermittlung in verschiedenen Kommissioniersystemen werden die in Abschnitt 5.2.2 genannten Technologien zur automatisierten Datenerfassung hinsichtlich deren Einsetzbarkeit in den in Abschnitt 3.3 definierten Kommissionierszenarien bewertet. Eine zusammenfassende, qualitative Bewertung der jeweiligen Technologien hinsichtlich des Einsatzes in Kommissionierszenario 1 enthält Tabelle 5-2.

Tabelle 5-2: Bewertung der Eignung von verschiedenen Technologien zur automatisierten Datenerfassung im Kommissionierszenario 1

Eingangsdaten \ Technologien		Magnetisches Motion Capturing	Optisches markerbasiertes Motion Capturing	Optisches markerloses Motion Capturing	Inertiales Motion Captruing	Exoskelett	Goniometer/Torsiometer	Ultraschallsensoren (Sonometrie)	Wägetechnik	Kraftmessplatten	Kraftmesssensoren am Fuß	WMS-Daten	Belegloses Kommissioniersystem	Initiatoren und Lichtschranken	Datenhandschuhe	Schritzzähler	Indoor-Ortungssystem	Messrad	Experteneinschätzung und Datenbankeintrag
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Art des Handhabungs- vorgangs	Umsetzen	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	○	○	●	○	○
	Halten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Z/S kurz / Z/S lang	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	sonstige Vorgänge (ohne Belastung)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Zeitliche Abgren- zung (Start/Ende)	Umsetzen/Halten/ Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Ziehen/Schieben	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Lastgewicht	Umsetzen/Halten/ Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Ziehen/Schieben	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Körperhaltung	Umsetzen	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Halten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Ziehen/Schieben	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Dauer/Häufig- keit/Wegstrecke	Anzahl der Umsetz- vorgänge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Dauer des Haltens	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Wegstrecke beim Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Anzahl Z/S kurz	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Wegstrecke Z/S lang	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ein-/beidhändige Ausführung	Umsetzen/Halten/ Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Ausführungs- bedingungen	Umsetzen/Halten/ Tragen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Ziehen/Schieben	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Positionier- genauigkeit	Ziehen/Schieben	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Lenkrollen	Wagen nur Lenkrollen	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Geschlecht der Arbeitsperson		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Eignung	○	Ungeeignet						Bedingt geeignet						Gut geeignet					
	●																		

5 Technische Integration der Methodik

Unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Kommissionierszenarios 2 ergibt sich die in Tabelle 5-3 dargestellte Bewertung.

Tabelle 5-3: Bewertung der Eignung von verschiedenen Technologien zur automatisierten Datenerfassung im Kommissionierszenario 2

Eingangsdaten \ Technologien		Magnetisches Motion Capturing	Optisches markerbasiertes Motion Capturing	Optisches markerloses Motion Capturing	Inertiales Motion Capturing	Exoskelett	Goniometer/Torsiometer	Ultraschallsensoren (Sonometrie)	Wägetechnik	Kraftmessplatten	Kraftmesssensoren am Fuß	WMS-Daten	Belegloses Kommissioniersystem	Initiatoren und Lichtschranken	Datenhandschuhe	Schritzzähler	Indoor-Ortungssystem	Messrad	Experteneinschätzung und Datenbankeintrag	
		○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	○	○	●	○	○
Art des Handhabungsvorgangs	Umsetzen	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	○	○	●	○	○	
	Halten	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	○	○	●	○	○	
	sonstige Vorgänge (ohne Belastung)	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	
Zeitliche Abgrenzung (Start/Ende)	Umsetzen/Halten	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	
Lastgewicht	Umsetzen/Halten	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
Körperhaltung	Umsetzen	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Halten	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Dauer/Häufigkeit/Wegstrecke	Anzahl der Umsetzvorgänge	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Dauer des Haltens	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Ein-/beidhändige Ausführung	Umsetzen/Halten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Ausführungsbedingungen	Umsetzen/Halten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Geschlecht der Arbeitsperson		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Eignung	○		○		○		○		○		○		○		○		○		○	
	Ungeeignet		Bedingt geeignet		Gut geeignet															

Während die prinzipielle Eignung der Technologien nicht wesentlich von den Kommissionierszenarios abhängt, ist dennoch mit großen Unterschieden zwischen den Kommissionierszenarios 1 und 2 bei der detaillierten Ausarbeitung und Umsetzung der Konzepte zu rechnen. Insbesondere hat die Größe des Bereiches, in dem der Kommissionierer sich bewegen kann, einen wesentlichen Einfluss auf die Anbringung der Sensoren der jeweiligen Systeme (vgl. z. B. [Gün-2012a]).

5.3 Ausgabe belastungsrelevanter Informationen

Neben der technischen Unterstützung bei der Erfassung der Eingangsdaten ist für die technische Integration der fortlaufenden Belastungsermittlung auch die Ausgabe belastungsrelevanter Informationen vorzusehen. Hierzu werden nachfolgend verschiedene Varianten aufgezeigt und hinsichtlich deren Einsetzbarkeit in den in Abschnitt 3.3 beschriebenen Kommissionierszenarien bewertet.

5.3.1 Belastungsrelevante Informationen

Durch den Einsatz eines Systems zur fortlaufenden Belastungsermittlung wird eine Vielzahl an Daten in Zusammenhang mit der physischen Belastung von Kommissionierern generiert und in einer Datenbank gespeichert. So stehen von jedem Kommissionierer sowohl getrennt für jede Handhabungsart als auch als Gesamtergebnis aktuelle und zurückliegende Risikowerte zur Verfügung. Neben diesen Informationen werden auch für jeden Handhabungsvorgang die zugehörigen Eingangsdaten gespeichert. Zusätzlich können über entsprechende Schnittstellen zu anderen EDV-Systemen die Daten zu den einzelnen Handhabungsvorgängen mit Auftrags-, Artikel- und Personendaten verknüpft werden, um Rückschlüsse auf die Ursachen eines hohen Risikowertes zu ziehen.

Um die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Informationen im Hinblick auf das zielgerichtete Ableiten belastungsreduzierender Maßnahmen nutzen zu können, sind diese in geeigneter Weise den jeweiligen Entscheidungsträgern zur Verfügung zu stellen. Dabei ist die Ausgabe so zu gestalten, dass die relevanten Einflussgrößen auf die Belastung einfach zu erkennen und die Informationen präventiv nutzbar sind.

Entsprechend der DIN EN ISO 9241-110 handelt es sich bei dem System zur fortlaufenden Belastungsermittlung um ein interaktives System. Bei interaktiven Systemen wird die Dialoggestaltung zwischen dem System und dem Benutzer von folgenden Aspekten beeinflusst [DIN EN ISO 9241-110]:

- Benutzer
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsumgebung
- Dialogtechnik

Im Zusammenhang mit der Belastungsermittlung in Kommissioniersystemen handelt es sich bei den zu betrachtenden Benutzern um die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Akteure, d. h. Kommissionierer, deren Vorgesetzte, Logistikplaner und Fachkräfte für Arbeitssicherheit bzw. Arbeitsmediziner.

Eine wesentliche Zielsetzung des Forschungsprojekts ErgoKom besteht darin, die zielgerichtete Anwendung ergonomischer Gestaltungsmaßnahmen zu unterstützen. Hierzu mögliche Maßnahmen zur Belastungsreduktion sind in ausführlich in Kapitel 7 beschrieben. Nachfolgend werden einige Maßnahmen exemplarisch genannt, da die Anwendung dieser Maßnahmen im Hinblick auf die Zielsetzung des Forschungsvorhabens der Arbeitsaufgabe entspricht, die durch das interaktive System unterstützt wird, und somit wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Ausgabe von Informationen hat:

- Jobrotation (Wechsel des Arbeitsplatzes zwischen sich hinsichtlich der Belastung stark unterscheidenden Kommissionierzonen oder logistischen Tätigkeiten)
- Auftragszuordnung (Zuordnung von unterschiedlich schweren Aufträgen entsprechend des aktuellen Risikowertes der Kommissionierer mit dem Ziel einer gleichmäßigen Belastung aller Kommissionierer)
- Ergonomische Lagerplatzbelegung (Berücksichtigung der Zugriffshäufigkeit, des Gewichts und der Greifhöhe bei der Einlagerung eines Artikels)
- Einsatz technischer Hilfsmittel (z. B. Einsatz eines angetriebenen Flurförderzeugs oder Manipulators)

Anhand der Tätigkeitsbeschreibung der Akteure in Abschnitt 3.1 lässt sich eine Zuordnung treffen, welcher Akteur im Unternehmen jeweils verantwortlich für die Anwendung einer der oben genannten Maßnahmen zur Belastungsreduktion ist. Hierzu ist es erforderlich, dem jeweiligen Akteur als Entscheidungsgrundlage die relevanten Informationen in einem bestimmten Kontext zur Verfügung zu stellen. Dies wird nachfolgend anhand von drei Beispielen veranschaulicht:

- Ein Schichtleiter benötigt, um im Sinne der belastungsausgleichenden Jobrotation den Wechsel von Arbeitsplätzen einzuleiten, eine jederzeit aktuelle Übersicht über die Belastung aller Mitarbeiter in seinem Verantwortungsbereich.

- Ob, und in welchem Umfang der Kommissionierer während der Durchführung seiner Arbeitsaufgabe belastungsrelevante Informationen benötigt, hängt von der Arbeitsorganisation und der Unternehmenskultur ab. Beispielsweise existiert der Ansatz, dass Mitarbeiter eigenverantwortlich die Aufgabenverteilung innerhalb einer Arbeitsgruppe organisieren, in der verschiedene logistische Tätigkeiten wie Kommissionieren, Staplerfahren und administrative Tätigkeiten (z. B. Vorbereiten von Belegen) durchzuführen sind. Um hier auf Basis der körperlichen Belastung den Wechsel des Arbeitsplatzes innerhalb der Gruppe einzuleiten, ist es erforderlich, dass die Kommissionierer jeweils Kenntnis über ihren eigenen Risikowert besitzen. Hierzu ist der Risikowert fortlaufend oder zumindest bei der Annäherung an einen Grenzwert an den Kommissionierer auszugeben.
- Anders als der Vorgesetzte oder der Kommissionierer benötigt ein Logistikplaner, der beispielsweise für die Planung der Lagereinrichtung, die Prozessgestaltung oder den Einsatz technischer Hilfsmittel verantwortlich ist – ebenso wie ein Arbeitsmediziner bzw. eine Fachkraft für Arbeitssicherheit, die hierbei in beratender Funktion unterstützen – meist keine aktuellen Belastungsdaten. Um die Ursachen für eine zeitweise oder andauernd hohe Belastung zu identifizieren, ist es erforderlich, auf Vergangenheitsdaten beispielsweise von Risikowerten, zurückgelegten Wegstrecken oder Lastgewichten zurückzugreifen. Dabei benötigen die genannten Akteure umfangreiche Analysemöglichkeiten, wie z. B. die Berechnung von Durchschnittswerten über einen bestimmten Zeitraum oder das einfache Ermitteln von aufgetretenen Belastungsspitzen. Ebenso muss eine Möglichkeit bestehen, die Auswertung sowohl auf einzelne Kommissionierer und Handhabungsvorgänge als auch beispielsweise auf die gesamte Belegschaft, eine Lagerzone, einen bestimmten Artikel oder ein bestimmtes Lagerfach anzuwenden.

Ebenso wie die Aufgabengebiete der einzelnen Akteure unterscheidet sich auch deren Arbeitsumgebung stark. Die Arbeitsumgebung des Kommissionierers, d. h. die Gestaltung des Kommissionierlagers, hängt von den Anforderungen an das jeweilige Kommissioniersystem ab. Im Rahmen des Forschungsvorhabens liegt der Fokus auf

Kommissioniersystemen, die den in Abschnitt 3.3. beschriebenen Kommissionierszenarien 1 und 2 entsprechen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass Logistikplaner und Fachkräfte für Arbeitssicherheit bzw. Arbeitsmediziner überwiegend Zugriff auf belastungsrelevante Informationen an ihrem Büroarbeitsplatz benötigen. Vorgesetzte wie Betriebs- oder Bereichsleiter, Meister und Lagerverwalter sind wechselseitig sowohl im Büro als auch außerhalb tätig [Ber-2014].

Eng mit dem jeweiligen Akteur und dessen Arbeitsplatz ist auch die vorhandene Dialogtechnik verknüpft. Unter dem Begriff der Dialogtechnik werden allgemein die Ein- und Ausgabemedien eines interaktiven Systems zusammengefasst [DIN EN ISO 9241-110], jedoch beschränken sich die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens auf die Ausgabe von belastungsrelevanten Informationen und somit das Ausgabemedium. Ein Überblick über verschiedene Ausgabemedien und eine Bewertung deren Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kommissionierszenarien erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten 5.3.2 und 5.3.3.

5.3.2 Ausgabegeräte

Im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion existiert eine Vielzahl an Ausgabegeräten (Anzeigen), die den visuellen, auditiven oder haptischen Sinneskanal ansprechen (vgl. z. B. [Böc-2013]). Nachfolgend werden verschiedene Ausgabemedien vorgestellt und deren Anwendungsmöglichkeiten hinsichtlich der Ausgabe von belastungsrelevanten Informationen aufgezeigt.

Hierzu erfolgt zunächst die Entwicklung von Konzepten basierend auf den in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen Arten der Informationsbereitstellung, die bereits heute in der Kommissionierung zum Einsatz kommen.

Da für den Kommissionierer entsprechend Abschnitt 5.1 insbesondere seine aktuelle Belastung relevant ist, beschränkt sich die Ausgabe belastungsrelevanter Informationen auf die Darstellung von Risikowerten bzw. die Information, dass ein bestimmter Risikowert erreicht wurde.

So kann die konventionelle Kommissionierliste in Papierform als Ausgabemedium für belastungsrelevante Informationen dienen, indem diese auf die Liste gedruckt werden. Abhängig von der vorhandenen Drucktechnik können aktuelle Risikowerte in Textform oder grafischer Form beispielsweise in Form von Diagrammen oder Symbolen (Ampel, Smiley, Diagramm) als zusätzliche Information dargestellt werden (vgl.

[Hub-2009], [Sch-2012b]). Hierzu ist es beispielsweise denkbar, dem Kommissionierer beim Ausdruck eines Auftrags die Belastung, die beim vorherigen Auftrag erreicht wurde, mitzuteilen. Allerdings ist es hierfür erforderlich, dass dem System zur Belastungsermittlung bekannt ist, welcher Kommissionierer einen bestimmten Auftrag durchgeführt hat bzw. gerade durchführt.

Da diese Information üblicherweise an einem stationären Personal Computer (PC), beispielsweise bei der Quittierung des Auftrags, vom Kommissionierer eingegeben wird, besteht ein weiteres Konzept darin, belastungsrelevante Daten direkt am Monitor dieses PCs anzuzeigen, so dass sich die Kommissionierer beispielsweise am Ende jedes Auftrags über ihre Belastung informieren können.

Die Möglichkeit, den aktuellen Risikowert oder die Information, dass ein bestimmter Risikowert erreicht wurde, auszugeben, besteht prinzipiell auch bei jedem beleglosen Kommissioniersystem. Da der Kommissionierer bei beleglosen Systemen üblicherweise am System angemeldet ist, ist dabei die Zuordnung von belastungsrelevanten Informationen zum jeweiligen Kommissionierer einfach umzusetzen. Wie der zuvor genannte stationäre Monitor besitzen aktuelle MDTs oft grafikfähige Displays und bieten vielfältige Möglichkeiten, dem Kommissionierer Informationen visuell bereitzustellen.

Dies trifft auch auf Pick-by-Vision Systeme zu, die verschiedenste visuelle Informationen in einer Datenbrille darstellen können. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass die Informationsdarstellung nicht zu aufwendig ist, um das Überladen der virtuellen Szenerie (sog. Cluttering) zu vermeiden (vgl. z. B. [Oeh-2004], [Gün-2009]).

Da die Informationsmenge bei der Ausgabe belastungsrelevanter Informationen an den Kommissionierer tendenziell als gering einzustufen ist, können auch bestehende PbV- und PbL-Systeme zu diesem Zweck genutzt werden. So bieten PbV-Systeme mehrere Möglichkeiten, den auditiven Sinneskanal anzusprechen. Neben der Ansage der Höhe oder des Erreichens eines Risikowertes können PbV-Systeme auch Informationen auf nonverbale Art und Weise übertragen. Denkbar wäre beispielsweise das Einspielen eines Warntones beim Erreichen einer bestimmten Belastung.

Durch geeignete Nutzung der in den Fachanzeigen integrierten Displays und/oder Lämpchen lassen sich für PbL-Systeme ebenfalls Konzepte finden, um einfache belastungsrelevante Informationen darzustellen. So kann der aktuelle Risikowert bei-

spielsweise auf dem Display eingeblendet werden. Die häufig bei PbL-Systemen verwendeten 7-Segment-Anzeigen (vgl. z. B. [KBS-2014], [SSI-2014]) sind bereits ausreichend, um den Risikowert in Form einer zweistelligen Zahl darzustellen. Allerdings ist sicherzustellen, dass die angezeigte Information zur Mitarbeiterbelastung nicht mit Informationen im Zusammenhang mit der Auftragsbearbeitung oder Störungsmeldungen der PbL-Anlage verwechselt werden. Denkbare Lösungsansätze hierzu sind die Anzeige eines zusätzlichen Symbols im Display sowie die gezielte Ansteuerung des Lämpchens. Dabei sind belastungsrelevante Informationen von anderen in PbL-Systemen vorkommenden Informationen durch eine charakteristische Farbe bzw. das Blinkverhalten des Lämpchens abzugrenzen. Neben der Ausgabe des Risikowertes können die vorstehend genannten Ansätze zur Nutzung des Lämpchens und des Displays auch dazu eingesetzt werden, beim Erreichen eines bestimmten Risikowertes eine entsprechende visuelle Information auszugeben.

Neben den vorstehend genannten Ausgabegeräten, die im Bereich der Kommissionierung verwendet werden, steht für die Ausgabe belastungsrelevanter Daten eine Vielzahl weiterer Geräte aus dem Büro-Umfeld sowie aus Alltagsanwendungen zur Verfügung.

So gehören heute Monitore zur Standardausstattung an Büro-Arbeitsplätzen. Neben der Art der Bilderzeugung sind vor allem die Auflösung und die Größe des Bildschirms entscheidend für die Menge der darstellbaren Informationen. Mit geeigneten Monitoren können neben der Anzeige einer Übersicht von Risikowerten auch größere Informationsmengen, beispielsweise in Form von Text, Tabellen und Diagrammen, dargeboten werden.

Weiterhin bieten Projektoren (Beamer), die heute beispielsweise zur großflächigen Darstellung von Bildern und Videos eingesetzt werden, prinzipiell die gleichen Möglichkeiten hinsichtlich der Darstellung belastungsrelevanter Informationen wie Monitore. Durch den Einsatz von moderner Projektionstechnik ist es möglich, verschiedenste Oberflächen als Projektionsfläche zu nutzen und so die Kommunikation mehrerer Personen über die dargestellten optischen Informationen zu erleichtern [Suk-2005].

Smartphones sind sowohl in Büros als auch im privaten Bereich eingesetzte Geräte, die die Funktionen eines Personal Digital Assistants (PDA) und die eines Mobiltelefons vereinen. Moderne Geräte verfügen zur Eingabe üblicherweise über Touch-Screens, die mit dem Finger oder speziellen Eingabestiften bedient werden [Are-2014]. Einige

Hersteller setzen als Eingabemöglichkeit auch eingebaute Tastaturen ein, mit denen die Geräte bedient werden können [WEK-2014]. Durch die hochauflösenden grafikfähigen Displays und die Möglichkeit, die Informationsdarstellung durch die vorstehend genannten Interaktionsgeräte zu beeinflussen, besteht auch eine Möglichkeit, dass der Schichtleiter belastungsrelevante Informationen wie eine Übersicht über aktuelle Belastungswerte auch von unterwegs abrufen kann. Durch den eingebauten Lautsprecher sowie Vibrationsmotoren ist es auch denkbar, situationsbezogen wichtige Ereignisse wie das Erreichen eines bestimmten Risikowertes zu signalisieren.

Ähnlich wie bei Smartphones handelt es sich auch bei sog. Tablets um flache, tragbare Computer, die statt mit Maus und Tastatur zumeist mit den Fingern oder speziellen Eingabestiften über Touchscreens bedient werden [Foc-2014]. Die Geräte können Funkverbindungen aufbauen und erlauben dadurch ein mobiles Arbeiten [Foc-2014]. Gerade im Büroumfeld halten die Tablets neben Smartphones Einzug, da sie durch ihre höhere Rechenleistung und größeren Bildschirme besser zur Bearbeitung von Dokumenten geeignet sind [For-2012]. Die Ausgabe belastungsrelevanter Informationen kann dabei analog zu den vorstehend genannten Smartphones optisch, akustisch oder haptisch erfolgen.

Die für das Forschungsvorhaben relevanten Ausgabemöglichkeiten von stationären Monitoren und Tablets lassen sich prinzipiell auch auf Notebooks übertragen. Dabei ist jedoch im Einzelnen die darstellbare Informationsmenge u. a. von der Größe der Bildschirme sowie der Auflösung des Geräts abhängig.

Neben den im Büroalltag etablierten Geräten zur Informationsanzeige besteht auch die Möglichkeit, neuartige Technologien im professionellen Umfeld zu nutzen. So bieten sog. Smartwatches neben den üblichen Eigenschaften von Armbanduhren diverse erweiterte Funktionen. Dazu zählt beispielsweise das Abrufen von Nachrichten sowie Navigations- oder Taschenrechner-Funktionen. Möglich wird dies durch eine drahtlose Verbindung der Geräte mit dem Internet oder mit Smartphones, welche die Smartwatch als Erweiterung zur Informationsdarstellung nutzen können. [Hom-2014]

Die mittels Smartwatches darstellbaren Informationen sind vor allem durch die Größe und Ausführung der Displays begrenzt. Hinsichtlich der Ausgabe belastungsrelevanter Daten kann das kleine Display beispielsweise dazu genutzt werden, den aktuellen Risikowert eines Kommissionierers anzuzeigen. Weiterhin ist es – wie beim Smartphone – denkbar, auf wichtige Ereignisse durch Vibrationsmotoren und Lautsprecher hinzuweisen.

5.3.3 Bewertung

Die Auswahl eines geeigneten Ausgabemediums hängt, wie in Abschnitt 5.3.1 beschrieben in erster Linie von der jeweiligen Nutzergruppe, d. h. dem jeweiligen Akteur der Kommissionierung, ab.

So ist davon auszugehen, dass Logistikplaner, ebenso wie Experten aus dem Bereich der Arbeitssicherheit/-medizin, eine Analyse belastungsrelevanter Daten an ihrem jeweiligen Büroarbeitsplatz durchführen. Da dort üblicherweise ein Standard-PC mit einem entsprechend groß dimensionierten Monitor vorhanden ist, ist es naheliegend, diesen auch als Ausgabegerät für belastungsrelevante Informationen zu nutzen.

Diese Empfehlung lässt sich auch auf Vorgesetzte wie Schichtleiter übertragen, da diesen in der Regel ebenfalls ein Rechnerarbeitsplatz zur Verfügung steht. Da Vorgesetzte im Funktionsbereich der Logistik aufgrund ihres weit gefassten Aufgabenbereiches zeitweise auch im Lager unterwegs sind, kann es sinnvoll sein, ergänzend belastungsrelevante Informationen über ein mobiles Endgerät bereitzustellen. Moderne Smartphones bieten ein grafikfähiges Display und Interaktionsmöglichkeiten, die einen schnellen und einfachen Überblick über die aktuelle Belastungssituation erlauben sowie Möglichkeiten zur haptischen und akustischen Alarmierung bei wichtigen Ereignissen bieten.

Eine differenzierte Betrachtung ist bei der Auswahl eines geeigneten Ausgabemediums für den Kommissionierer erforderlich. Sowohl aus wirtschaftlicher Sicht als auch im Hinblick auf die zu erwartende Akzeptanz bei den Nutzern des Systems ist es zu bevorzugen, die bereits im jeweiligen Kommissionierszenario vorhandene Technologie der Informationsbereitstellung zu nutzen. In Abschnitt 5.3.3 konnten für sämtliche in der Kommissionierung üblichen Arten der Informationsbereitstellung Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie die Ausgabe belastungsrelevanter Informationen an die Kommissionierer realisiert werden kann. Durch die Möglichkeit, beleglose Kommissioniersysteme online an das System zur fortlaufenden Belastungsermittlung anzubinden, sind diese gegenüber dem Drucken von belastungsrelevanten Informationen auf Kommissionierlisten zu bevorzugen. Falls kein belegloses Kommissioniersystem zur Verfügung steht, besteht insbesondere für das Kommissionierszenario 1 auch eine Alternative darin, an einer zentralen Stelle des Kommissionierlagers einen Monitor zu platzieren, auf dem eine Übersicht der aktuellen Belastungswerte aller Kommissionierer dargestellt wird.

6 Funktionsmuster

Zum Nachweis der technischen Machbarkeit der fortlaufenden Belastungsermittlung erfolgt exemplarisch die Umsetzung eines ausgewählten Konzeptes für die technische Integration als Funktionsmuster. Dabei wird ein häufig in der Praxis auftretendes Kommissionierszenario zugrunde gelegt, um eine breite Einsetzbarkeit in kleinen und mittelständischen Unternehmen zu gewährleisten.

6.1 Lagerumgebung

Als Lagerumgebung für den testweisen Einsatz des Funktionsmusters dient das in Abbildung 6-1 dargestellte Fachbodenregallager, das im Wesentlichen dem in Abschnitt 3.3 beschriebenen Kommissionierszenario 1 und somit einem häufig in der Praxis vorkommenden Kommissionierszenario entspricht.

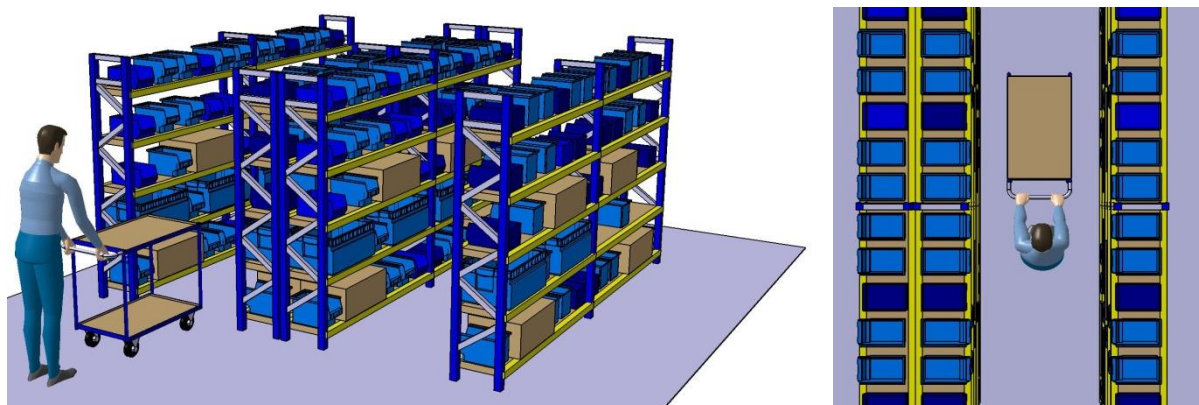


Abbildung 6-1: Kommissionierlager (3D-Ansicht und Draufsicht; Abbildung erstellt mit der Software CATIA V5)

Im Hinblick auf die konkrete Umsetzung des Funktionsmusters werden einige weitere Festlegungen getroffen, die im Folgenden beschrieben sind: Der Kommissioniervorgang beginnt an der Basis mit der Aufnahme eines leeren Sammelbehälters, in dem die kommissionierte Ware abgelegt wird, und endet beim Abschluss des Auftrags mit der Abgabe des vollen Sammelbehälters an der Basis. Der Kommissionierer führt bei der Bewegung durch das Lager einen Kommissionierwagen mit. Der Wagen ist vorne mit zwei Bockrollen und hinten mit zwei beweglichen Rollen ausgestattet. Der Kommissionierer nimmt den Wagen stets auch vom Hauptgang in die Gassen des Lagers mit. Dadurch ist davon auszugehen, dass sich der Kommissionierer überwiegend in

unmittelbarer Nähe des Kommissionierwagens befindet. Tragevorgänge (beispielsweise zwischen dem Entnahmefach und dem Kommissionierwagen) können folglich ausgeschlossen werden. Bedingt durch die geringe Breite der Gänge bezogen auf die Breite des Kommissionierwagens (vgl. Abbildung 6-1 rechts) besteht für den Kommissionierer nicht genügend Platz, um am Wagen vorbeizugehen. Er befindet sich also immer vor oder hinter dem Wagen. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich der Kommissionierer stets auf der Seite des Wagens befindet, an der der Griff angebracht ist. Zudem ist durch die engen Gassen gewährleistet, dass der Wagen meist annähernd parallel zu den Regalen steht. Die vorstehend genannten Eigenschaften des Versuchslagers sind von besonderer Relevanz für die Konzipierung des Funktionsmusters, da diese wesentlich die Auswahl und die Anbringungsmöglichkeiten von Sensoren, insbesondere des Motion Capturing Systems, beeinflussen.

Zur Informationsbereitstellung kommt das beleglose Kommissioniersystem Pick-by-Vision zum Einsatz. Für das Funktionsmuster wird eine Variante verwendet, die zur Vermeidung von Kommissionierfehlern jede einzelne Entnahmeeinheit durch eine in der Datenbrille integrierte Kamera überprüft (vgl. Abbildung 6-2). Sämtliche Artikel sind hierzu mit einer optischen Codierung in Form von 2D-Codes versehen.

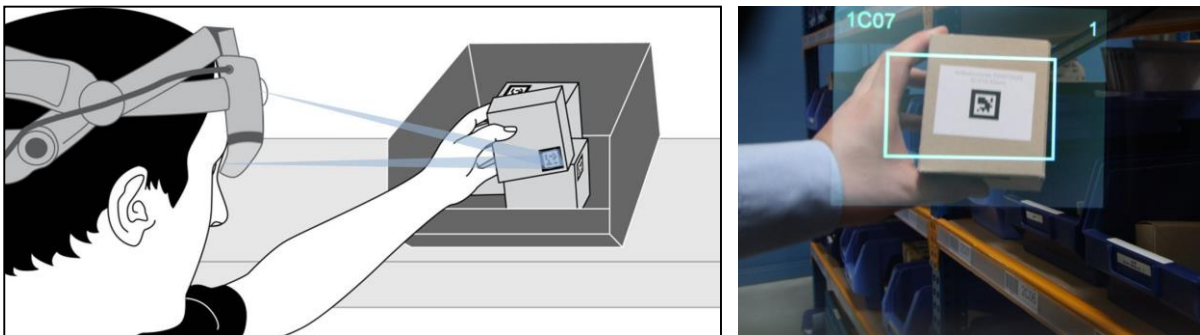


Abbildung 6-2: Fehlerüberprüfung durch Pick-by-Vision (links: Funktionsweise [Gün-2012b], rechts: Blick durch die Datenbrille [Gün-2012a])

Die Durchführung des Prüfprozesses durch das Pick-by-Vision System wirkt sich auch auf den Entnahmeprozess aus. So entspricht der Prozessschritt Entnahme stets einem Umsetz- bzw. Haltevorgang mit der Stückzahl eins. Wesentliche Bestandteile des Pick-by-Vision Systems sind die vorstehend genannte Datenbrille, in der dem Kommissionierer alle relevanten Informationen zur Auftragsbearbeitung angezeigt werden, sowie ein Wearable-PC, den der Kommissionierer in einer Weste mitführt. Weitere Komponenten des Pick-by-Vision Systems sind ein am Gürtel getragener Dreh-Drückknopf für Benutzereingaben sowie die in der Datenbrille integrierte Kamera

zum Scannen von Produktbarcodes. Eine detaillierte Beschreibung des Systems findet sich in [Gün-2012a].

Aus den vorstehend genannten Eigenschaften der Versuchslagerumgebung und des zugrunde gelegten Kommissionierprozesses resultieren die in Tabelle 6-1 dargestellten Zusammenhänge zwischen den Prozessschritten und möglichen Belastungen gemäß MLT.

Tabelle 6-1: Zuordnung möglicher Belastungen durch manuelle Lastenhandhabung zu den Prozessschritten der Kommissionierung

Prozessschritt	Belastung
1. Weg zur Basis	Sonstiger Vorgang (ohne Belastung)
2. Aufnahme eines leeren Sammelbehälters an der Basis	Umsetzen/Halten
3. Weg zum Entnahmeort	Z/S kurz / Z/S lang
4. Entnahme und Ablage in den Sammelbehälter	Umsetzen/Halten (mit der Stückzahl 1)
5. Weg zum Abgabeort (=Basis)	Z/S kurz / Z/S lang
6. Abgabe des Sammelbehälters an der Basis	Umsetzen/Halten

In der Lagerumgebung ist bedingt durch den Einsatz von Pick-by-Vision ein flächendeckendes WLAN vorhanden, das auch für die Vernetzung der für die Belastungsermittlung erforderlichen mobilen Rechner des Funktionsmusters genutzt werden kann. Der Boden der Versuchslagerumgebung ist weitestgehend eben, vereinzelt treten kleinere Unebenheiten und niedrige Schwellen auf.

6.2 Entwicklung des Funktionsmusters

Zur Umsetzung des Funktionsmusters in der in Abschnitt 6.1 beschriebenen Lagerumgebung wurde eine Auswahl der in Kapitel 5 vorgestellten Technologien zur Datenerfassung und Ausgabemedien getroffen. Die im Funktionsmuster eingesetzten Technologien zur automatisierten Datenerfassung sind in Tabelle 6-2 zusammengefasst.

Tabelle 6-2: Auswahl der Technologien zur Datenerfassung für das Funktionsmuster

Eingangsdaten \ Technologien		Optisches markerloses Motion Capturing	Inertialsensoren	WMS-Daten	Belegloses Kommissioniersystem	Messrad	Experteneinschätzung und Datenbankeintrag
Art des Handhabungsvorgangs	Umsetzen				•		
	Halten				•		
	Z/S kurz / Z/S lang					•	
	sonstige Vorgänge (ohne Belastung)				•		
Zeitliche Abgrenzung (Start/Ende)	Umsetzen/Halten				•		
	Ziehen/Schieben					•	
Lastgewicht	Umsetzen/Halten			•			
	Ziehen/Schieben			•			
Körperhaltung	Umsetzen	•	•	•			
	Halten	•	•	•			
	Ziehen/Schieben	•	•	•			
Dauer/Häufigkeit/Wegstrecke	Anzahl der Umsetzvorgänge				•		
	Dauer des Haltens				•		
	Anzahl Z/S kurz					•	
	Wegstrecke Z/S lang					•	
Ein-/beidhändige Ausführung	Umsetzen/Halten			•			
Ausführungsbedingungen	Umsetzen/Halten						•
	Ziehen/Schieben						•
Positioniergenauigkeit	Ziehen/Schieben						•
Lenkrollen	Wagen nur Lenkrollen						•
Geschlecht der Arbeitsperson							•

Die Auswahl des Ausgabemediums erfolgte in Abhängigkeit von den jeweiligen Akteuren und deren Arbeitsumgebung. Als Ausgabemedium für Schichtleiter, Logistikplaner und Fachkräfte für Arbeitssicherheit bzw. Arbeitsmediziner kommt ein üblicherweise an einem Rechnerarbeitsplatz vorhandener Monitor zum Einsatz. Den Kommissionierern werden belastungsrelevante Informationen in der Datenbrille des entsprechend Abschnitt 6.1 vorhandenen Pick-by-Vision Systems angezeigt.

Basierend auf den ausgewählten Technologien wurde ein detailliertes Konzept für die automatisierte Belastungsermittlung ausgearbeitet. Der Systemaufbau des Funktionsmusters ist schematisch in Abbildung 6-3 dargestellt.

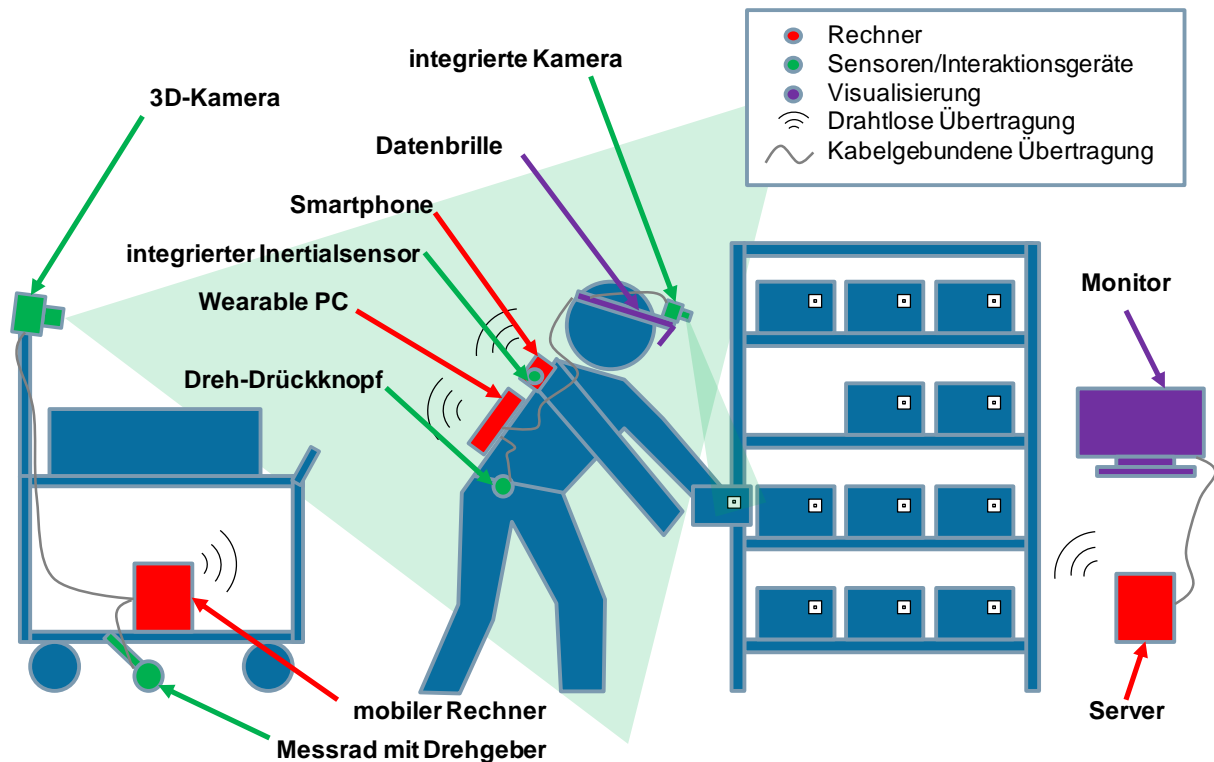


Abbildung 6-3: Systemaufbau des Funktionsmusters

Nachfolgend werden die Komponenten und Subsysteme des Funktionsmusters beschrieben.

Markerloses Motion Capturing System

Zur Erfassung der Körperhaltung kommt ein optisches markerloses Motion Capturing System basierend auf einer 3D-Kamera zum Einsatz. Die 3D-Kamera (Microsoft Kinect) ist am Kommissionierwagen angebracht (vgl. Abbildung 6-9, S. 132 Mitte). Die Kinect kann Objekte in einem Abstand von 0,8 bis 4 m erfassen [Mic-2014]. Durch den mobilen Einsatz der 3D-Kamera sowie aufgrund der in Abschnitt 6.1 beschriebenen Eigenschaften des Versuchslagers und der Festlegung, dass der Kommissionierer den Wagen stets mit sich führt, befindet sich der Kommissionierer nahezu permanent im Erfassungsbereich der 3D-Kamera. Für den Fall, dass der Kommissionierer nicht von der 3D-Kamera erfasst wird, erfolgt die Ermittlung der Körperhaltung entsprechend Tabelle 6-2 (vgl. S. 122) redundant durch mehrere Systeme, die im weiteren Verlauf des Abschnitts 6.2 erläutert werden. Die 3D-Kamera ist mit einem mobilen,

am Kommissionierwagen angebrachten Rechner verbunden. Auf dem mobilen Rechner wird eine im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Software ausgeführt, die auf Basis des Kinect Software Development Kit (SDK) Version 1.7 der Firma Microsoft aus den Sensordaten der Kinect die Körperhaltung ermittelt [Vor-2013].

Messrad

Weiterhin ist am Kommissionierwagen ein Messrad angebracht, das u. a. die Wegstrecke beim Ziehen/Schieben des Wagens erfasst (vgl. Abbildung 6-4 bzw. Abbildung 6-9 Mitte). Das Messrad ist als fünftes Rad ausgeführt und ist bei idealen Bodenverhältnissen koaxial zu den vorderen Bockrollen des Wagens positioniert. Die Halterung des Messrades ist um die Querachse des Wagens drehbar gelagert. Durch die bewegliche Anbringung des Messrades und durch dessen Eigengewicht können Unebenheiten des Bodens ausgeglichen und somit permanenter Bodenkontakt gewährleistet werden.



Abbildung 6-4: Messrad am Kommissionierwagen

Der im Messrad integrierte Drehgeber ist ebenfalls mit dem mobilen Rechner auf dem Kommissionierwagen verbunden. Eine im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Software, die auf dem mobilen Rechner ausgeführt wird, wertet die Signale des Drehgebers aus und nimmt darauf aufbauend die zeitliche Abgrenzung von Zieh-/Schiebevorgängen vor. Außerdem wird überprüft, ob es sich jeweils um einen kurzen oder langen Zieh-/Schiebevorgang handelt, sowie ggf. die zurückgelegte Wegstrecke ermittelt [Vor-2013].

Server

Sämtliche auf Basis der 3D-Kamera und des Messrades ermittelten Daten werden per WLAN vom mobilen Rechner an einen Server übertragen, der diese für eine weitergehende Auswertung nutzt. Um das per WLAN zu übertragende Datenvolumen gering zu halten, werden dabei nicht die Rohdaten der Sensoren an den Server gesendet. Stattdessen werden aus den Rohdaten der Sensoren wichtige Eingangsdaten für die Belastungsermittlung, wie z. B. die Körperhaltung, Triggersignale oder zurückgelegte Wegstrecken, bereits vom mobilen Rechner – sowie weiteren im Folgenden vorgestellten Clients – ermittelt.

Die zentralen Aufgaben des Servers sind die rechnergestützte Auswertung, die Datenhaltung und die Aufbereitung belastungsrelevanter Daten zur Visualisierung. Die rechnergestützte Auswertung umfasst die softwaretechnische Umsetzung der in Kapitel 4 entwickelten Methodik, insbesondere der fortlaufenden Berechnung von Risikowerten aller Kommissionierer gem. MLT. Hierzu wurde eine Anwendung in der Programmiersprache C# entwickelt, die auf Basis der Eingangsdaten nach jedem Handhabungsvorgang den Risikowert ermittelt. Eng verknüpft mit der rechnergestützten Auswertung ist auch die Datenhaltung. So werden sämtliche Eingangsdaten jedes Handhabungsvorgangs in einer Access-Datenbank gespeichert. Zentraler Bestandteil der Datenbank ist eine Tabelle, die in Anlehnung an die Datenzeilen des MLT (vgl. Abbildung 2-13, S. 50) entworfen wurde. Bei jedem Handhabungsvorgang wird ein Eintrag in die folgenden Spalten dieser Tabelle vorgenommen:

- Fortlaufende Nummerierung aller durchgeführten Handhabungsvorgänge
- Datum und Uhrzeit bei Beginn des Handhabungsvorgangs
- Bezeichnung des Kommissionierers
- Auftragsnummer
- Position
- Artikelnummer
- Lastgewicht

In Abhängigkeit des jeweiligen Handhabungsvorgangs stehen nach dem Vorbild der Dateneingabe im MLT weitere Datenspalten zur Verfügung, in die jeweils nur Einträge entsprechend der jeweiligen Art des Handhabungsvorgangs geschrieben werden. Für die Handhabungsvorgänge Umsetzen und Halten handelt es sich dabei um die folgenden Spalten:

- Ein-/beidhändige Ausführung
- Körperhaltung
- Ausführungsbedingungen
- Zeitdauer (nur bei Haltevorgängen)

Bei Zieh-/Schiebevorgängen erfolgen stattdessen die Einträge in die folgenden Spalten:

- Anzahl kurzer Zieh-/Schiebevorgänge
- Wegstrecke langer Zieh-/Schiebevorgänge
- Ausführungsbedingungen
- Positioniergenauigkeit
- Angabe, ob der verwendete Wagen ausschließlich Lenkrollen besitzt

Eine weitere Tabelle enthält zudem Angaben zu den täglichen Arbeitszeiten der Kommissionierer. Diese bilden die Grundlage, um bei der Berechnung schichtbezogener Risikowerte den Beginn und das Ende einer Schicht zu bestimmen.

Auf Basis der vorstehend beschriebenen Möglichkeiten der rechnergestützten Auswertung und der Datenhaltung wird der Server im Funktionsmuster auch dazu eingesetzt, belastungsrelevante Informationen für die Visualisierung aufzubereiten. Dies umfasst zum einen die fortlaufende Berechnung des aktuellen Risikowertes und die Übertragung an das Pick-by-Vision System des jeweiligen Kommissionierers. Zum anderen ist – wie in Abbildung 6-3, S. 123 schematisch durch einen mit dem Server verbundenen Monitor dargestellt – eine grafische Benutzeroberfläche für die Visualisierung und Analyse belastungsrelevanter Daten durch Vorgesetzte, Logistikplaner sowie Fachkräfte für Arbeitssicherheit und Arbeitsmediziner erforderlich. Hierzu erfolgte die Entwicklung eines Analysetools in Form einer Access-Datenbankanwendung (vgl. [Mun-2013]). Entsprechend der unterschiedlichen Aufgabenbereiche der einzelnen Akteure stehen die folgenden Menüpunkte zur Verfügung, die sich hinsichtlich der Betrachtungstiefe und der zu erfüllenden Aufgabe unterscheiden [Mun-2013]:

- Aktuelle Belastung
- Schichtauswertung
- Langzeitauswertung
- Auftragszuweisung
- Lagerfachbelegung

Unter dem Menüpunkt „Aktuelle Belastung“ (vgl. Abbildung 6-5) wird in Form eines fortlaufend aktualisierten Balkendiagramms eine Übersicht der jeweils aktuellen Risikowerte aller Kommissionierer angezeigt [Mun-2013]. Dabei kann zur Risikobeurteilung gemäß MLT die individuelle Belastbarkeit der Kommissionierer berücksichtigt werden (vgl. rote Punkte innerhalb des Balkendiagramms) [Mun-2013]. Die Visualisierung aktueller Risikowerte zielt auf die Anwendung von arbeitsorganisatorischen Gestaltungsmaßnahmen (wie z. B. Jobrotation) ab, die in Abschnitt 7.1 näher beschrieben sind.

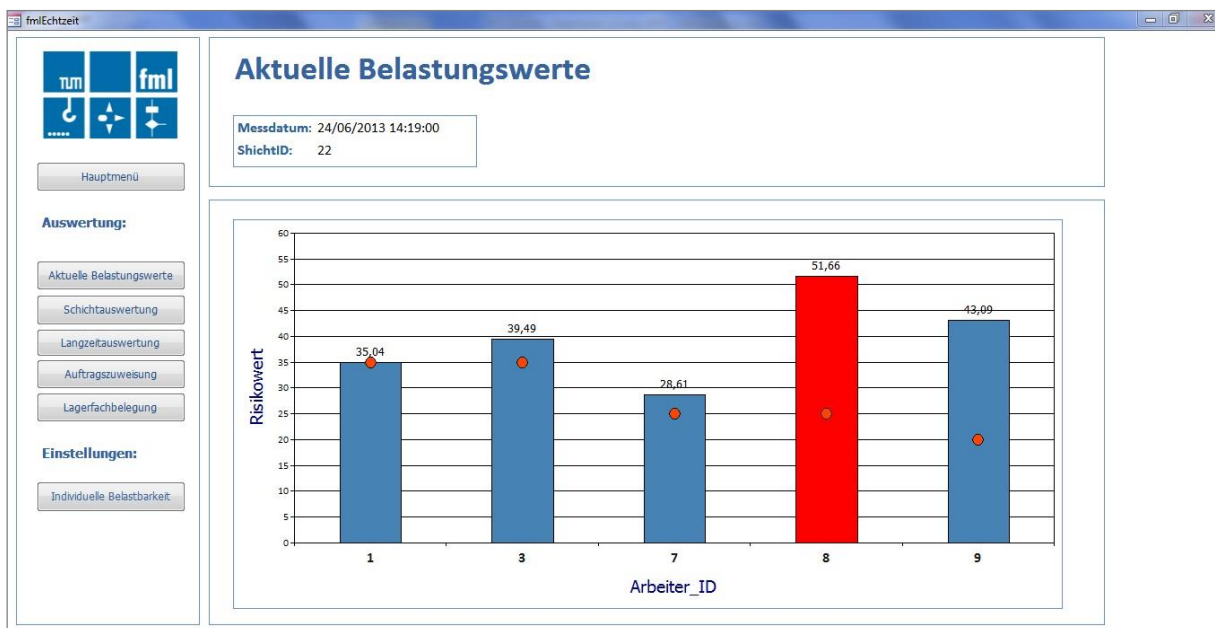


Abbildung 6-5: Visualisierung belastungsrelevanter Daten – Menüpunkt „Aktuelle Belastungswerte“ (in Anlehnung an [Mun-2013])

Während im Menüpunkt „Aktuelle Belastung“ eine Übersicht der jeweils aktuellen Risikowerte aller Kommissionierer angezeigt wird, umfasst die „Schichtauswertung“ Details zur Belastung eines Kommissionierers wie dem zeitlichen Verlauf des Risikowertes über eine Schicht hinweg und Durchschnittswerte des Risikowertes je Handhabungsart (vgl. Abbildung 6-6) [Mun-2013].

Über entsprechende Untermenüs können weitere Details, wie z. B. Belastungsspitzen, die zurückgelegte Wegstrecke oder die Summe der Lastgewichte je Handhabungsart in der betrachteten Schicht aufgerufen werden. Darüber hinaus ist es möglich, in tabellarischer Form Details zu den einzelnen Aufträgen und in einer weiteren Detaillierungsstufe auch die Daten eines bestimmten Handhabungsvorgangs, d. h. die vorstehend im Zusammenhang mit der Datenhaltung genannten Informationen, anzeigen zu lassen. [Mun-2013]



Abbildung 6-6: Visualisierung belastungsrelevanter Daten – Menüpunkt „Schichtauswertung“ (in Anlehnung an [Mun-2013])

Der Aufbau des Menüpunktes „Langzeitauswertung“ ist an die „Schichtauswertung“ angelehnt. Jedoch umfasst die Langzeitauswertung Daten über einen längeren, vom Benutzer einzugebenden Betrachtungszeitraum, wie z. B. den Verlauf von Tages-Risikowerten. Um eine schnelle Analyse von Ursachen für eine hohe Belastung zu unterstützen, besteht dabei die Möglichkeit, einfach zwischen den unterschiedlichen Menüpunkten zu wechseln, beispielsweise um von der Langzeitbetrachtung zur Auswertung einer bestimmten Schicht und innerhalb der Schicht zu den Details eines bestimmten Auftrags oder Handhabungsvorgangs zu gelangen. [Mun-2013]

Unter dem Menüpunkt „Auftragszuweisung“ wird eine Hilfestellung bei der Zuweisung von Aufträgen an bestimmte Kommissionierer gegeben, indem anhand einiger ausgewählter Kriterien, insbesondere dem Lastgewicht, eine grobe Einteilung von in der Zukunft auszuführenden Aufträgen in leichte und schwere Aufträge erfolgt [Mun-2013]. Unter Zugrundelegung von vereinfachenden Annahmen, u. a. bezüglich der zu erwartenden Körperhaltung und der zurückzulegenden Wegstrecken, kann eine grobe Vorausberechnung durchgeführt werden, wie sich die gezielte Zuweisung von Aufträgen zu bestimmten Kommissionierern auf deren Risikowert auswirken wird [Mun-2013]. Einen Screenshot des Menüpunktes „Auftragszuweisung“ (vgl. Abbildung 7-2, S. 136) sowie weitere Informationen zur Auftragsklassifikation enthält Abschnitt 7.1.

Der Menüpunkt „Lagerfachbelegung“ gibt eine Hilfestellung beim Umsetzen einer ergonomischen Lagerfachbelegung (vgl. Abbildung 6-7).

Ergonomische Lagerfachbelegung

Betrachtungszeitraum

Anfang: 13/06/2013

Ende: 22/08/2013

Lagerfach	"LW+HW" \downarrow	Gewicht \downarrow	Ø Haltungswichtung \downarrow	Häufigkeit \downarrow
2A02	16,22	12	10,95	208
2A01	15,50	8	11,26	276
2A05	13,74	3	10,97	582
2A03	13,35	1	10,91	1160
2A04	13,09	0,25	10,80	2556
2D01	12,13	1	9,62	1112
2D03	11,94	0,5	9,62	2034
2D02	11,76	1	9,32	1104
2D05	11,75	0,5	9,32	2422
2D04	11,70	0,1	9,55	2267
2B01	11,48	15	4,69	187
2C02	8,80	8	4,86	148
2C03	8,38	6	4,68	275
2B05	7,87	5	4,45	477
2C01	7,82	5	4,59	498
2B03	7,48	3	4,60	550

Datensatz: 1 von 20 | Kein Filter | Suchen

Abbildung 6-7: Visualisierung belastungsrelevanter Daten – Menüpunkt „Lagerfachbelegung“ (in Anlehnung an [Mun-2013])

In einer Tabelle werden hierzu sämtliche Lagerfächer des Kommissionierlagers aufgelistet. Für einen bestimmten, vom Anwender festzulegenden Zeitraum wird zu jedem Lagerfach die Summe aus der Last- und Haltungswichtung sowie das Gewicht des eingelagerten Artikels, die durchschnittliche Haltungswichtung und die Zugriffshäufigkeit im gewählten Zeitraum angezeigt. Durch die Möglichkeit, die Tabelle nach den genannten Kriterien sortieren zu lassen, können kritische Lagerfächer schnell identifiziert werden. [Mun-2013]

Inertialsensor

Da sich bei ersten Tests gezeigt hat, dass die Erfassung der Körperhaltung durch die 3D-Kamera in bestimmten Situationen (z. B. bei Verdeckungen oder ungünstiger Positionierung des Kommissionierers zur 3D-Kamera) nicht ausreichend ist, wird zusätzlich ein Inertialsensor zur Erfassung der Rumpfnäigung, Rumpfbeugung und Rumpfvordrehung verwendet. Hierfür wird ein Smartphone (Samsung Galaxy S3) verwendet, in dem ein entsprechender Inertialsensor und ein WLAN-Modul für die Datenübertragung zum Server bereits integriert sind. Das Smartphone wird vom Kommissionierer am Oberkörper, beispielsweise in einer Brusttasche der Arbeitsbekleidung, getragen (vgl. Abbildung 6-9, S. 132 links). Zur Auswertung der Signale des Inertialsensors

wurde eine Smartphone-App entwickelt, die aus den gemessenen Beschleunigungswerten automatisiert die Rumpfhaltung ermittelt [Vor-2013].

Belegloses Kommissioniersystem (Pick-by-Vision)

Zudem wird bei der Belastungsermittlung auf Daten aus dem in der Versuchslagerumgebung vorhandenen beleglosen Kommissioniersystem Pick-by-Vision zurückgegriffen (vgl. Abschnitt 6.1). Die wesentlichen Komponenten des Systems sind neben der Datenbrille ein Wearable-PC, den der Kommissionierer in einer Weste trägt, der Dreh-Drückknopf für Benutzereingaben sowie die Kamera zum Scannen von Produktbarcodes. Die Komponenten des Pick-by-Vision Systems sind in Abbildung 6-9 Mitte und rechts auf S. 132 des vorliegenden Berichts dargestellt. Durch die Erfassung von Quittiervorgängen, wie z. B. der Betätigung des Dreh-Drückknopfs, können durch den Einsatz des Pick-by-Vision Systems neben der zeitlichen Abgrenzung von Handhabungsvorgängen beispielsweise auch Informationen zum Status der Auftragsbearbeitung gewonnen werden, die es ermöglichen, einzelne Handhabungsvorgänge mit Artikel- oder Auftragsdaten aus dem WMS zu verknüpfen. Den Kommissionierern werden durch das Pick-by-Vision System alle relevanten Informationen zur Auftragsbearbeitung in einer Datenbrille zur Verfügung gestellt. Die Datenbrille wird im Rahmen des Forschungsvorhabens auch verwendet, um Informationen zur physischen Belastung darzustellen (vgl. Abbildung 6-8).



Abbildung 6-8: Bereitstellung von belastungsrelevanten Informationen in einer Datenbrille

Hierzu erfolgte die Erweiterung des Pick-by-Vision Systems um die Funktion, belastungsrelevante Informationen in Form von Text und verschiedenen grafischen Darstellungsweisen anzuzeigen [Vid-2013]. Die Kommissionierer können dabei individuell die Art, Größe und Position der Darstellung in der Datenbrille einstellen. Abbildung 6-8

zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem dem Kommissionierer nach jedem Handhabungsvorgang im unteren Bereich des Blickfeldes der aktuelle Risikowert in Form eines Balkendiagramms in Ampelfarben eingeblendet wird.

WMS

Zusätzlich zu den genannten Systemen wird zur Ermittlung einiger Eingangsdaten auf Daten aus einem WMS zurückgegriffen, das auf dem Server ausgeführt wird. So werden für den Fall, dass die Erfassung der tatsächlichen Körperhaltung sowohl durch die 3D-Kamera als auch durch die Inertialsensorik fehlschlägt, auf Basis von WMS-Daten und den in Abschnitt 4.3 vorgestellten Zusammenhängen Notfallwerte für eine wahrscheinliche Körperhaltung erzeugt. Hierzu erfolgt eine Erweiterung des WMS um Entnahme- und Abgabehöhen bzw. -tiefen sowie anthropometrische Daten der Kommissionierer. Auch die Ermittlung von Lastgewichten erfolgt auf Basis von WMS-Daten. Im WMS sind hierfür neben den Artikelgewichten auch die Gewichte des Sammelbehälters und des Kommissionierwagens gespeichert. Die Berechnung des Lastgewichts erfolgt in Abhängigkeit des durch das Pick-by-Vision System ermittelten Auftragsstatus und der Art des momentan durchgeführten Handhabungsvorgangs sowie der in Abschnitt 6.1 getroffenen Festlegung, dass bei der Entnahme jeder Artikel einzeln entnommen wird. So werden beispielsweise beim Ziehen/Schieben des Kommissionierwagens sowohl das Gewicht des Wagens als auch – abhängig vom Status der Auftragsbearbeitung – die Gewichte des Sammelbehälters und der bis zu diesem Zeitpunkt kommissionierten Ware berücksichtigt. Ebenfalls auf Basis von WMS-Daten erfolgt die Bestimmung, ob Umsetz- und Haltevorgänge ein- oder beidhändig ausgeführt werden. Hierzu wird auf eine auf Annahmen basierende Berechnung unter Berücksichtigung des Gewichts und der Abmessungen von Artikeln und Ladehilfsmitteln zurückgegriffen (vgl. [Str-2013]). Bei dem für das Funktionsmuster verwendeten WMS handelt es sich um eine rudimentäre Nachbildung der relevanten Funktionen kommerzieller WMS in Access.

Experteneinschätzung und Datenbankeintrag

Neben dem WMS wird auf dem Server noch eine weitere Access-Datenbankanwendung zur Verwaltung von Eingangsdaten ausgeführt, die lediglich einer geringen Dynamik unterliegen, messtechnisch schwierig zu erfassen sind und ausschließlich dem Zweck der Belastungsermittlung dienen. Diese Daten sind bei Bedarf von einem Mitarbeiter des Unternehmens, ggf. einem Experten aus dem Bereich Arbeitssicherheit/Arbeitsmedizin, zu ermitteln und in der Datenbank einzutragen. Im Rahmen der

6 Funktionsmuster

Entwicklung des Funktionsmusters wird diese Vorgehensweise für die Einstufung der Ausführungsbedingungen, das Geschlecht des Kommissionierers, der Positioniergenauigkeit beim Ziehen/Schieben und der Angabe, ob der Kommissionierwagen ausschließlich Lenkrollen besitzt, angewandt.

Zum Nachweis der technischen Umsetzbarkeit des vorgestellten Funktionsmusters erfolgte der testweise Betrieb in einer Lagerumgebung entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 6.1 in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml. Ein Überblick über die benötigte Ausrüstung sowie die Interaktion mit dem System sind in Abbildung 6-9 dargestellt.



Smartphone mit
Inertialsensor



Pick-by-Vision
und Sensorik am
Kommissionierwagen



Interaktion des
Kommissionierers
mit dem System

Abbildung 6-9: Umsetzung des Funktionsmusters am Lehrstuhl fml

7 Belastungsarme Gestaltung von Kommissioniersystemen

Besonders relevante Einflussgrößen der Wirbelsäulenbelastung in Kommissioniersystemen sind die Körperhaltung, das zu handhabende Gewicht, sowie die generelle Häufigkeit der Lastenhandhabung im Untersuchungszeitraum (z. B. Arbeitstag, Schicht). Bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen kann die Körperhaltung nicht direkt geplant werden. Sie wird vielmehr durch den Bewegungsablauf bestimmt, welcher durch die Arbeitsmethode größtenteils definiert werden kann. Bei der Arbeitsplatzgestaltung sollten somit Einflussgrößen positiv beeinflusst werden, von denen eine belastende und risikoreiche Körperhaltung maßgeblich ausgeht. Wesentliche Einflussgrößen zur Planung und Gestaltung von Kommissionierarbeitsplätzen sind nachstehend in Abbildung 7-1 anhand eines Umsetzvorgangs dargestellt.

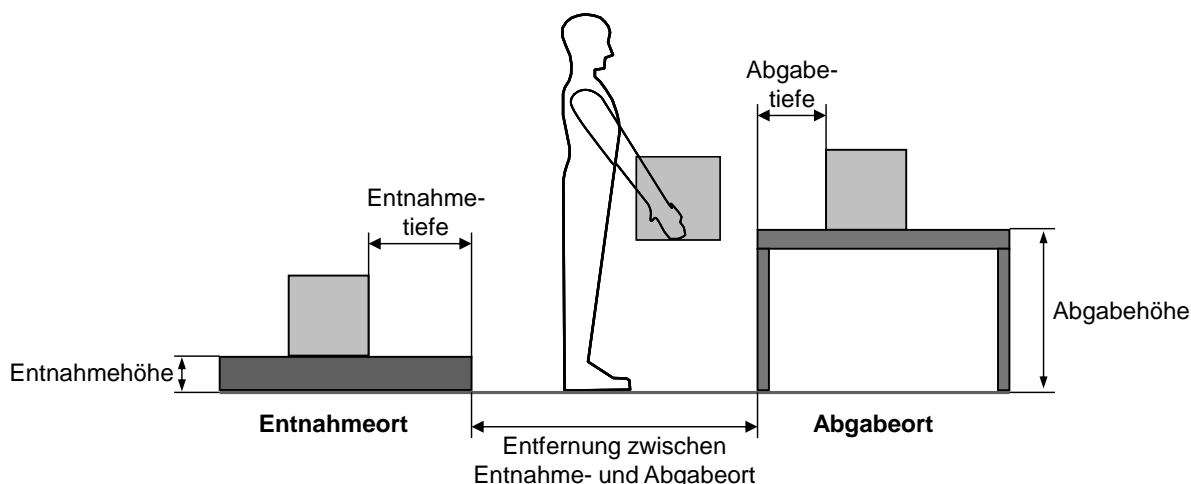


Abbildung 7-1: Einflussgrößen zur Gestaltung der Körperhaltung in der Kommissionierung [Gol-2008]

Wie in Abbildung 7-1 zu erkennen ist, bestimmen insbesondere die Entnahmehöhe/-tiefe sowie die Abgabehöhe/-tiefe und die Entfernung zwischen Entnahme- und Abgabepunkt die resultierende Körperhaltung. Weitere Einflussgrößen auf die Körperhaltung (z. B. Artikelabmessungen) wurden bereits in Abschnitt 2.4 herausgearbeitet.

Während die Körperhaltung nur indirekt bei der Planung und Gestaltung von Kommissioniersystemen berücksichtigt werden kann, können Lastgewichte direkt geplant werden. Die Belastung sollte anhand von Erfahrungs- und Richtwerten dimensioniert werden. In Abschnitt 4.1 (vgl. Tabelle 4-1, S. 71) wurden beispielhaft für das Heben

und Tragen empfohlene Richtwerte und national gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte für Lastgewichte beim Heben und Tragen unter optimalen Bedingungen zusammengefasst.

Bei schweren Lasten und hohen aufzubringenden Kräften sollte der Weg der Kraftübertragung durch den Körper möglichst gering sein. Dies kann durch eine geeignete Körperhaltung oder durch sinnvoll eingesetzte Abstützungen erreicht werden. Grundsätzlich gilt es Zwangshaltungen, welche zu einer statischen Muskelüberbeanspruchung führen können, zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, so ist darauf zu achten, dass Abstützungen eingerichtet werden und ein Wechsel mit ausgleichenden Körperhaltungen und/oder -bewegungen ermöglicht wird [DIN 33402].

Die belastungsspezifischen Einflussgrößen Lastgewicht und Körperhaltung sind meist nicht isoliert voneinander zu betrachten, sondern vielmehr voneinander abhängig. Ein zu hohes Lastgewicht kann zu einer ungünstigen Körperhaltung führen. Analog kann eine weit nach vorn gebeugte Körperhaltung durch den vergrößerten Hebelarm zu einem erhöhten Belastungsmoment auf die Wirbelsäule führen. Bei der Planung und Gestaltung von Kommissioniersystemen sind daher beide Gestaltungsaspekte simultan zu berücksichtigen. Weitere allgemeingültige Gestaltungsempfehlungen sind nachfolgend aufgelistet:

- kurze Greifwege für die Minimierung der Reichweiten
- geeignete Zugänglichkeit zu den Artikeln
- Vereinzelung von Artikeln für vereinfachte Greifbedingungen
- Zuführung von Artikeln möglichst nah an den Arbeitsbereich ohne jedoch den Mitarbeiter bei seiner Tätigkeit zu behindern
- Einsatz von Hilfsmitteln (Manipulatoren) für die Tätigkeiten mit hohem Kraftaufwand und/oder hoher Wiederholhäufigkeit

Darüber hinaus existieren differenzierte organisatorische und technische Maßnahmen zur Gestaltung von menschengerechten Kommissionierarbeitsplätzen. Ziel jener Maßnahmen ist die Reduktion des gesundheitlichen Risikos durch die manuelle Lastenhandhabung.

7.1 Organisatorische Arbeitsplatzgestaltung

Die organisatorische Arbeitsplatzgestaltung umfasst die Gestaltung des Arbeitsinhalts und der zeitlichen Bindung des Menschen bei der Erfüllung der Arbeitsaufgabe mit dem Ziel der Produktivitätssteigerung und der gleichzeitigen Erhöhung der Attraktivität der Arbeitsplätze. Letztere kann u. U. einhergehen mit einer gesteigerten Zufriedenheit und Motivation der Mitarbeiter [Roh-1976]. Im Zuge der Arbeitsstrukturierung erfolgt die Vergrößerung des Handlungsspielraums. Dies wird realisiert durch eine quantitative Erweiterung der Arbeitstätigkeiten (z. B. Arbeitswechsel, Arbeitserweiterung) und/oder durch eine qualitative Bereicherung des Entscheidungs- und Kontrollspielraums (z. B. Arbeitsbereicherung, Gruppenarbeit). Maßnahmen der Arbeitsstrukturierung zur Gestaltung des Arbeitsinhalts sind:

- Arbeitswechsel (Jobrotation)
- Aufgabenerweiterung (Jobenlargement)
- Aufgabenbereicherung (Jobenrichment)
- Gruppenarbeit

Für die belastungsorientierte Gestaltung von Kommissioniersystemen sind insbesondere die Maßnahmen des Arbeitswechsels und der Aufgabenerweiterung von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund werden diese nachstehend detailliert erläutert.

Im Rahmen der Gestaltungsmaßnahme Jobrotation führen Mitarbeiter der Kommissionierung mehrere gleichartige oder ähnliche Arbeitsaufgaben im zeitlichen Wechsel aus. Hauptziel des Arbeitswechsels ist die Reduktion der körperlichen Mitarbeiterbelastung und darüber hinaus der Abbau der Monotonie. Im Allgemeinen kann der Wechsel geplant, ungeplant, selbst- oder fremdbestimmt erfolgen. Für die Anwendung in der Kommissionierung ist ein belastungsorientierter Wechsel anzustreben. Anhand der gewonnenen Transparenz über die jeweilige Belastungssituation eines Mitarbeiters durch technische Integration der entwickelten Bewertungsmethodik kann bei Erreichen eines bestimmten Belastungswerts ein Arbeitswechsel eingeleitet werden [Wic-1994]. Etwaige Auswirkungen von Erholzeiten und Kompensationen von Belastungen durch Tätigkeitswechsel wurden im Rahmen des Forschungsprojekts nicht betrachtet und bilden den Ausgangspunkt für mögliche weitere Forschungstätigkeiten.

Neben der Maßnahme Jobrotation besteht mit dem Jobenlargement eine Maßnahme zur Erweiterung der Arbeitsaufgabe, um gleichartige, miteinander in Beziehung stehende Teilaufgaben zu einer größeren Gesamtaufgabe zu verbinden. Hierdurch erfolgt für den Mitarbeiter eine quantitative Erweiterung des Tätigkeitsspielraums [Wic-1994]. Nach Jünemann und Schmidt kann ein Mitarbeiter der Kommissionierung durch die Implementierung dieser Maßnahme bspw. zusätzlich das Verpacken für den Versand übernehmen [Jün-2000]. Im Fokus jener Arbeitsgestaltungsmaßnahme stehen die Reduktion der Monotonie sowie die Einleitung von Belastungswechseln.

Zentrales Ergebnis der entwickelten kommissionierspezifischen Methodik sowie deren technischer Integration in Form des dargestellten Systems ist die erhöhte Transparenz über die Belastungssituation und -verläufe der Mitarbeiter. Auf Basis identifizierter und spezifizierter Wirkzusammenhänge sowie der belastungsrelevanten Auftragspezifika (z. B. Anzahl der Artikel je Auftrag, Art der zu handhabenden Artikel) können Kommissionieraufträge gemäß der resultierenden Belastung bewertet und klassifiziert werden (vgl. Abbildung 7-2).

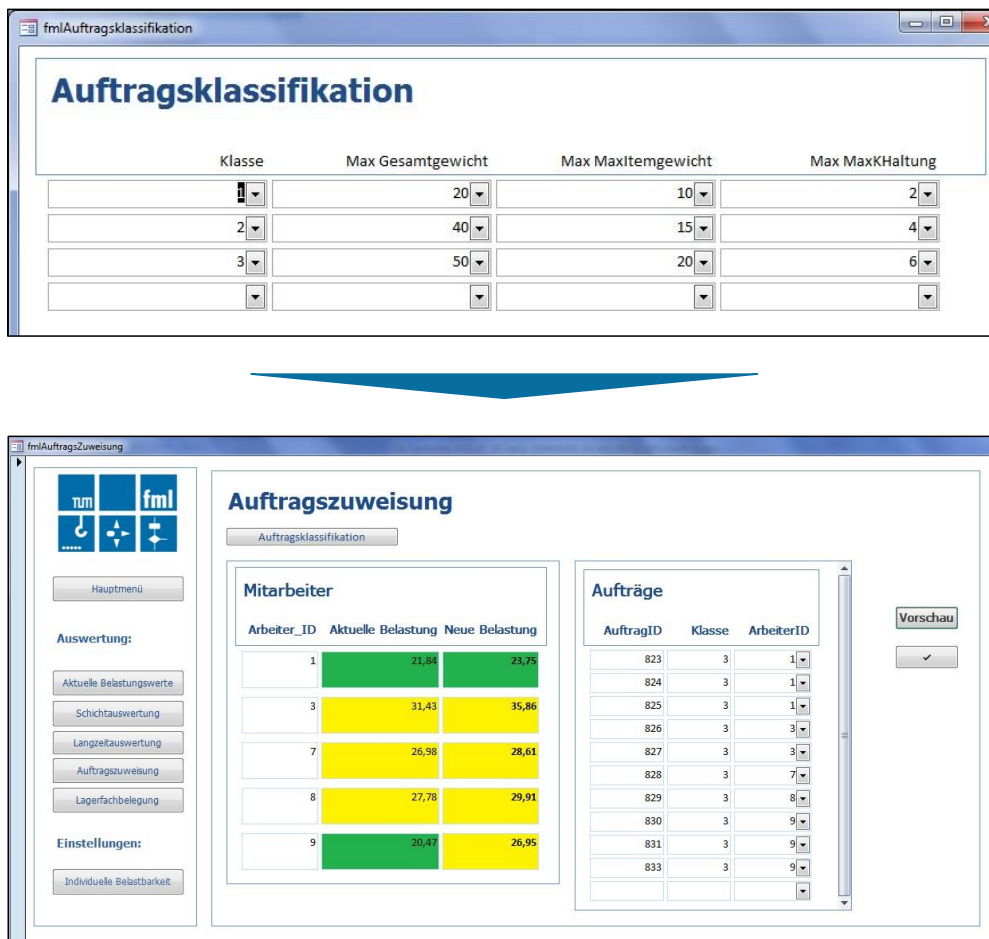


Abbildung 7-2: Belastungsorientierte Auftragszuweisung (in Anlehnung an [Mun-2013])

Unter Berücksichtigung des aktuellen Belastungswerts einzelner Mitarbeiter besteht dann die Möglichkeit, die Kommissionieraufträge belastungsorientiert zuzuweisen.

7.2 Ergonomische Lagerfachbelegung

Eine optimale Lagerstrategie ist für die Planung eines Kommissioniersystems von zentraler Bedeutung. In der industriellen Praxis wird zur Dimensionierung und Belegung der Lagerplätze zumeist die Umschlagshäufigkeit der Artikel herangezogen. Dies hat zur Folge, dass die Kommissionierzeit möglichst gering ist und eine hohe Kommissionierleistung erzielt wird. Neben der Orientierung an der Zugriffshäufigkeit wird zudem oftmals eine an dem wertmäßigen Umsatz orientierte Lagerfachzuweisung vorgenommen [Wal-2011].

Aufgrund des demographischen Wandels sowie des hohen manuellen Tätigkeitsanteils in der Kommissionierung ist bei der Planung und Gestaltung von Kommissioniersystemen zunehmend die potenzielle Mitarbeiterbelastung zu berücksichtigen. Für eine ergonomisch günstige Vergabe der Lagerplätze sollten daher Aspekte wie Artikelgewichte, zurückgelegte Wegstrecken, Zugriffshäufigkeiten und die hieraus resultierende Mitarbeiterbelastung, insbesondere die Körperhaltung, kombiniert betrachtet werden. Das hierbei angestrebte Ziel ist die Reduktion der körperlichen Belastung bezogen auf die täglichen Lastenhandhabungsvorgänge. Nach Walch ist eine Artikelanordnung genau dann ergonomisch sinnvoll, wenn der Gesamtrisikowert des Mitarbeiters je Untersuchungszeitraum (z. B. Schicht, Arbeitstag) so gering wie möglich ist [Wal-2011].

Durch die Zuordnung spezifischer Winkelbereiche belastungsrelevanter Körperteile und -regionen (Abschnitt 4.2) zu resultierenden Körperhaltungen der Risikoklassen eins bis vier konnten die Wirkzusammenhänge zwischen der Entnahme-/Abgabehöhe bzw. Entnahme-/Abgabetiefe spezifiziert werden (Abschnitt 4.3). Diese Ergebnisse werden nachfolgend exemplarisch für die Ausarbeitung einer ergonomischen Lagerplatzbelegung genutzt, indem der Wirkzusammenhang zwischen der Körperhaltung und der Entnahme-/Abgabetiefe erläutert wird (vgl. Abbildung 7-3).

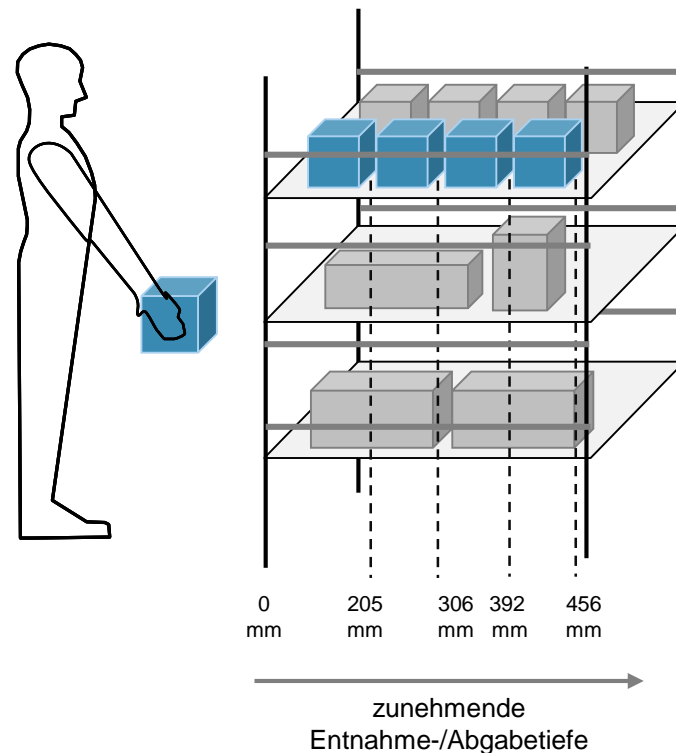


Abbildung 7-3: Zuteilung der Lagerfächer unter Berücksichtigung der Wirkzusammenhänge zwischen der Körperhaltung und der Entnahme-/Abgabtiefe

Wie in Abschnitt 4.3 herausgearbeitet werden konnte, führt eine zunehmende Entnahmetiefe zu einer ergonomisch ungünstigeren Körperhaltung, welche in Folge mit einer höheren Haltungswichtung zu bewerten ist. Bei der Lagerplatzplanung sollten deshalb Artikel mit einer hohen Zugriffshäufigkeit in Regalfächern mit einer Tiefe von 0-306 mm gelagert werden. Bei einer geringen Zugriffshäufigkeit der Artikel ist davon auszugehen, dass diese auch in tieferen Regalfächern gelagert werden können, da die daraus resultierende ergonomisch ungünstigere Körperhaltung bei einer kumulativen Betrachtung der Belastungen einen geringen Anteil an der Gesamtbelastung hat. In Abbildung 7-3 wurde bewusst auf das Eintragen von Artikelgewichten verzichtet, da die interdependenten Wirkzusammenhänge zwischen unterschiedlichen kommissionierspezifischen Einflussgrößen (z. B. Entnahme-/Abgabtiefe und Artikelgewicht) erst im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten zu untersuchen und zu validieren sind. Die angestrebten Arbeiten bilden zudem die Grundlage für die kombinierte Berücksichtigung der Entnahme-/Abgabehöhe und Entnahme-/Abgabtiefe sowie deren Auswirkungen auf die resultierenden Druckkräfte auf die Wirbelsäule.

Die Verknüpfung der auf dem MLT basierenden Bewertungsmethodik mit den Daten aus dem WMS ermöglicht die Visualisierung jeglicher belegter Lagerfächer einschließ-

lich der Artikelgewichte und -abmessungen sowie der Zugriffshäufigkeiten der eingelagerten Artikel. Durch diese Möglichkeit können ergonomisch kritische Lagerfächer schnell identifiziert und ausgewiesen werden, sodass sie bei der Lagerplanung berücksichtigt werden können (vgl. Abbildung 7-4).

Ergonomische Lagerfachbelegung

Betrachtungszeitraum
Anfang: 13/06/2013
Ende: 22/08/2013

Summation der Last- und Haltungswichtung (Basis bilden die Berechnungsalgorithmen des MLT)

Lagerfach	"LW+HW"	Gewicht	Ø Haltungswichtung	Häufigkeit
2A02	16,22	12	10,95	208
2A01	15,50	8	11,26	276
2A05	13,74	3	10,97	582
2A03	13,35	1	10,91	1160
2A04	13,09	0,25	10,80	2556
2D01	12,13	1	9,62	1112
2D03	11,94	0,5	9,62	2034
2D02	11,76	1	9,32	1104
2D05	11,75	0,5	9,32	2422
2D04	11,70	0,1	9,55	2267
2B01	11,48	15	4,69	187
2C02	8,80	8	4,86	148
2C03	8,38	6	4,68	275
2B05	7,87	5	4,45	477
2C01	7,82	5	4,59	498
2B03	7,48	3	4,60	550

Datensatz 1 von 20 | Kein Filter | Suchen

Identifikation des Lagerfachs

Angabe der Zugriffshäufigkeit

Abbildung 7-4: Zuordnung von Lagerfächern und der kombinierten Bewertung der Last- und Haltungswichtung auf Basis des MLT (in Anlehnung an [Mun-2013])

7.3 Integration technischer Hilfsmittel

Neben der Implementierung von Arbeitsstrukturierungsmaßnahmen und einer ergonomischen, belastungsorientierten Lagerfachbelegung besteht zusätzlich die Möglichkeit, technische Hilfsmittel zur Belastungsreduktion zu integrieren. Das wesentliche Ziel ist hierbei die Anpassung der Technik an den Menschen, sodass dessen Arbeit erleichtert und die resultierende Arbeitsbelastung möglichst gering gehalten wird [Bul-1994]. Grundlage für die zusätzliche Einbindung von technischen Hilfsmitteln

sollten jedoch bereits möglichst ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze in der Kommissionierung sein. Dies bedeutet u. a., die Arbeitsplätze unter Berücksichtigung der Körpermaße des Menschen (anthropometrische Arbeitsgestaltung) zu dimensionieren. Damit verbunden müssen auch die Bewegungsmöglichkeiten, mögliche Durchgänge und die Bewegungsräume bei der vorgesehenen Arbeits- und Körperhaltung beachtet werden. In der Regel sollten die Arbeitsplätze abhängig vom jeweils betrachteten Körpermaß nach dem 5. Perzentil Frau und dem 95. Perzentil Mann ausgerichtet sein.

Das manuelle Kommissionieren (Person-zur-Ware) kann durch die Integration von Transportmitteln sowohl beschleunigt als auch wirtschaftlich günstiger gestaltet werden. Die Kommissionierung betreffend bedeutet dies, dass bei Erhöhung der Kommissionierleistung gleichzeitig die Wegzeiten sowie die Mitarbeiterbelastung zu reduzieren sind. Ziel dieser Gestaltungsmaßnahmen ist es, eine ergonomisch günstige Körperhaltung bei der Handhabung reduzierter Lastgewichte zu erreichen sowie Wegstrecken und schlussendlich daraus resultierend die Druckkräfte auf die Wirbelsäule zu reduzieren. Zweck der eingesetzten Transportmittel ist entweder die Beförderung von Artikeln zu einem Kommissionierarbeitsplatz oder auch die Beförderung des Kommissionierers. In beiden Fällen kann die Belastung des Mitarbeiters reduziert werden. Beispielhafte Transportmittel für den Transport der Ware sind Horizontal- oder auch Vertikalkommissionierer sowie Rollen- und Transportbänder. Die unterstützenden Transportmittel des Mitarbeiters sind bspw. der Kommissionierstapler oder der Handgabelhubwagen [Mar-2009], [Tsc-2003], [Eil-2013].

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine Mechanisierung bzw. Teilautomatisierung eines Kommissionierprozesses zu einer reduzierten Mitarbeiterbelastung führen kann. In welchem Umfang verschiedene technische Hilfsmittel eingesetzt werden, ist auf Grundlage der jeweiligen unternehmensspezifischen Randbedingungen zu analysieren.

8 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Ziel des Forschungsprojekts war die methodische und technische Unterstützung bei der Realisierung einer gesunden Mitarbeiterbelastung in der Logistik und speziell in Kommissioniersystemen. Zu diesem Zweck galt es, eine Methodik zur aufwandsarmen und fortlaufenden Ermittlung und Bewertung der tatsächlich vorliegenden Mitarbeiterbelastung zu entwickeln und deren Durchführung durch den Einsatz technischer Hilfsmittel zu unterstützen.

Hierzu wurden zunächst manuelle Tätigkeiten in Kommissioniersystemen identifiziert und detailliert untersucht. Darauf aufbauend konnten sowohl belastungs- als auch kommissionierspezifische Einflussgrößen und deren Wirkzusammenhänge identifiziert werden. Von besonderer Bedeutung war dabei die Tatsache, dass die während der manuellen Lastenhandhabung eingenommene Körperhaltung einen wesentlichen Einfluss auf das gesundheitliche Risiko der Mitarbeiter hat. Die Identifikation von Wirkzusammenhängen sowie die Analyse manueller Tätigkeiten in Kommissioniersystemen dienten als Grundlage für die anschließende Definition von Anforderungen an die zu entwickelnde Bewertungsmethodik. Genannte Anforderungen umfassen sowohl tätigkeitsbezogene Kriterien (z. B. Erfassung der Körperhaltung, Aufnahme der statischen und dynamischen Belastungsdauer), als auch personenbezogene (Geschlecht und Körpergröße) und anwendungsbezogene Parameter (z. B. geringer Gesamtanalyseaufwand, Rechnerunterstützung). Anhand jener Anforderungen erfolgte im Anschluss die Bewertung der in der wissenschaftlichen Literatur und industriellen Praxis vorhandenen Arbeitsanalyseverfahren zur Erfassung und Bewertung der körperlichen Mitarbeiterbelastung. Für den Einsatz in der Kommissionierung konnte diesbezüglich das Multiple-Lasten-Tool ausgewählt werden, welches die kombinierte und kumulative Bewertung unterschiedlicher Lastenhandhabungsvorgänge ermöglicht.

Innerhalb des Multiplen-Lasten-Tools werden die eingenommenen Körperhaltungen während der Lastenhandhabung mittels vier Risikoklassen, welche durch Piktogramme und einfache textuelle Beschreibungen definiert sind, bewertet. Im Zuge der

Anwendung des MLT in der industriellen Praxis konnte festgestellt werden, dass aufgrund der fehlenden detaillierten Beschreibung der Risikoklassen die Einstufung der eingenommen Körperhaltung zumeist sehr subjektiv erfolgt. Aufgrund der zentralen Bedeutung der Körperhaltung während der Lastenhandhabung wurden die Risikoklassen zur Bewertung der Körperhaltung im Zuge der Forschungsarbeiten konkretisiert. So konnten mittels eines digitalen Menschmodells spezifische Winkelbereiche einzelner Körperstellungen (z. B. Abduktion Oberarm, Beugung des Rumpfes) den Risikoklassen zugeordnet werden. Darüber hinaus erfolgte eine Zuordnung der eingenommenen Körperhaltung als belastungsspezifische Einflussgröße zu kommissionierspezifischen Einflussgrößen (z. B. Entnahmehöhe/-tiefe). Die Darstellung jener Wirkzusammenhänge ermöglichte u. a. die Ableitung von ergonomischen Gestaltungsmaßnahmen zur Gewährleistung einer gesunden Mitarbeiterbelastung in Kommissioniersystemen. Diese umfassen bspw. die belastungsorientierte Lagerplatzbelegung sowie die Klassifizierung und Zuweisung von Kommissionieraufträgen.

Für die technische Integration der entwickelten Bewertungsmethodik in industrielle, betriebliche Abläufe wurden verschiedene Technologien untersucht, die insbesondere die automatisierte Erfassung der erforderlichen Eingangsdaten (z. B. zurückgelegte Wegstrecke, Körperhaltung) ermöglichen. Darüber hinaus wurden in unterschiedlichen Bereichen der Technik eingesetzte Ausgabegeräte (u. a. beleglose Kommissioniersysteme, Smartphones und Smartwatches) hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit in unterschiedlichen Kommissionierszenarien bewertet. Für ein häufig in der Praxis vorkommendes Kommissionierszenario, der sog. konventionellen Kommissionierung nach dem Prinzip Person-zur-Ware, wurde ein Konzept zur automatisierten, fortlaufenden Belastungsermittlung und -visualisierung erarbeitet. Dieses basiert auf einer 3D-Kamera (Microsoft Kinect) sowie der Intertialsensorik eines Smartphones zur Erfassung von Körperhaltungen. Weitere Bestandteile des Konzeptes sind ein an einem Kommissionierwagen angebrachtes Messrad sowie das beleglose Kommissioniersystem Pick-by-Vision. Darüber hinaus werden weitere für die Belastungsermittlung benötigte kommissionierspezifische Daten wie Artikelgewichte über entsprechende Schnittstellen aus einem Warehouse Management System ausgelesen. Um abschließend die technische Machbarkeit des beschriebenen Konzepts nachzuweisen, wurde dieses exemplarisch in Form eines Funktionsmusters in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml umgesetzt.

Die entwickelte kommissionierspezifische Bewertungsmethodik sowie deren technische Integration ermöglichen eine automatisierte und fortlaufende Ermittlung und Bewertung der tatsächlich vorliegenden Mitarbeiterbelastung. Die aufwandsarme Anwendung sowie die erhöhte Transparenz über die vorliegende Belastungssituation ermöglicht das zielgerichtete Ableiten ergonomischer Gestaltungsempfehlungen und stellt somit insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen eine hilfreiche Unterstützung zur Gewährleistung einer gesunden Mitarbeiterbelastung dar. Das Forschungsziel wurde somit erreicht.

8.2 Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten

Manuelle Kommissioniersysteme werden aufgrund ihrer hohen Flexibilität häufig in Unternehmen des produzierenden Gewerbes, des Handels und im Dienstleistungssektor eingesetzt. Insbesondere in KMU ist der Anteil manueller Systeme relativ hoch (52-74%) im Vergleich zu Großunternehmen (27-59%) [Str-2005]. Charakteristisch für genannte Kommissioniersysteme ist ein hoher Anteil manueller Lastenhandhabungsprozesse mit hohen Wiederholhäufigkeiten je Arbeitsschicht sowie teils schweren Lastgewichten in Kombination mit ergonomisch ungünstigen Körperhaltungen, welche in einer erhöhten Belastung des Muskel-Skelett-Systems resultieren können.

Folgen jener Belastung sind gesundheitliche Schädigungen sowie eine temporäre oder auch dauerhafte Arbeitsunfähigkeit [Hem-2009], [Jäg-2001b]. Insbesondere vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der damit verbundenen Zunahme älterer Beschäftigter rücken entsprechende gesundheitliche Gefährdungen und Risiken zunehmend in den Fokus der Industrie und Wissenschaft. Die wirtschaftlichen Auswirkungen des krankheitsbedingten Personalausfalls sind neben der verminderten Leistungsfähigkeit des Betriebs auch Qualitätsmängel, Lieferverzögerungen oder generelle Störungen im Leistungserstellungsprozess [Zan-1999].

Mit der Entwicklung einer Methode zur Belastungsermittlung speziell für die Kommissionierung sowie deren technischer Integration wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein Ansatz für die zielgerichtete Anwendung belastungsreduzierender Maßnahmen erarbeitet, von dem in erster Linie die Betreiber von Kommissioniersystemen profitieren. Die erzielten Forschungsergebnisse ermöglichen es, Mitarbeiterbelastun-

gen in Kommissioniersystemen nachhaltig zu reduzieren. Dadurch können Unternehmen krankheitsbedingten Ausfällen vorbeugen und somit die Wirtschaftlichkeit ihrer Produktion langfristig sichern.

Durch die Schaffung von Transparenz über die jeweils vorliegende Belastungssituation werden die frühzeitige Erkennung von gesundheitlichen Risiken sowie die Vermeidung einer erhöhten Mitarbeiterbelastung gewährleistet. Hierdurch können ergonomische Arbeitsbedingungen geschaffen und auch ältere Mitarbeiter langfristig im Unternehmen gehalten werden. Dies ist insbesondere ein Wettbewerbsvorteil für KMU, da bei diesen die langfristige Bindung erfahrener Mitarbeiter an das Unternehmen von besonderer Relevanz ist [Rem-2012].

Die Anwendung ergonomischer Gestaltungsmaßnahmen bei manuellen Arbeitsprozessen ermöglicht nicht nur die Realisierung einer gesunden Mitarbeiterbelastung ohne Überbelastung und Unterforderung, sondern geht oftmals einher mit Produktivitätssteigerungen, da sich die Höhe der Belastung auch auf Ausführungszeiten und die Qualität auswirkt [Bok-2006]. So lassen sich beispielsweise durch eine optimale Anordnung der Greifeinheiten im Greifraum oder durch einen geringeren Anteil an Rückbewegungen Prozesszeiten reduzieren.

Zusätzlich zur Steigerung der Transparenz bezüglich der vorliegenden Belastungssituation konnten zudem Gestaltungsempfehlungen zur prospektiven Anwendung in der Planungsphase abgeleitet werden. Dies ist insofern vorteilhaft, da die prospektive Anwendung ergonomischer Gestaltungsmaßnahmen deutlich wirtschaftlicher im Vergleich zu korrektiven Maßnahmen ist. So sind bereits getätigte Investitionen nicht auf Grund von zu spät erkannten Schwachstellen erneut anzupassen. Darüber hinaus können zu hohe physische Belastungen für den Mitarbeiter noch vor deren Entstehung vermieden werden.

Die entwickelte kommissionierspezifische Bewertungsmethodik ermöglicht ferner die Erfassung und Bewertung von auftretenden Belastungen auf Basis einer aufwandsarmen Belastungsermittlung, welche für eine erste Einschätzung der Belastung eher geringe Ergonomiekennnisse erfordert. Davon profitieren insbesondere KMU, bei denen häufig die erforderliche Mitarbeiterkapazität und das Know-How zur Anwendung von komplexen und aufwendigen Arbeitsanalyseverfahren nicht vorhanden sind.

Aufgrund der genannten Vorteile stellt die entwickelte Methodik in Verbindung mit deren technischer Integration ein einfach anzuwendendes Hilfsmittel dar, das den Betreibern von Kommissioniersystemen ermöglicht, frühzeitig und zielgerichtet Maßnahmen zur Belastungsreduktion anzuwenden und somit den negativen wirtschaftlichen Auswirkungen von zu hohen physischen Belastungen entgegenzuwirken.

Indirekt kann die Einführung eines Systems zur fortlaufenden Belastungsermittlung in der manuellen Kommissionierung auch zur Weiterentwicklung existierender Technologien beitragen. Durch die exemplarische Umsetzung der fortlaufenden Erfassung und Visualisierung der Belastung in Form eines Funktionsmusters konnten im Rahmen des Forschungsprojekts neue Einsatzgebiete für Mess- und Informationstechnologien aufgezeigt werden. Die Möglichkeiten zur technischen Unterstützung der Belastungsermittlung eröffnen neue Anwendungsfelder für Produkte aus den Bereichen der Sensorik und der Logistik-IT sowie dem Bereich der Ausgabegeräte und können somit den Anstoß zur Weiterentwicklung von Produkten und der Erschließung neuer Absatzmärkte geben.

8.3 Ausblick

Es bleibt festzuhalten, dass durch die im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse der Stand der Technik erweitert werden konnte. Die in Kapitel 4 erläuterte Bewertungsmethodik ermöglicht eine zielgerichtete Ableitung ergonomischer Gestaltungsmaßnahmen für die prospektive Planung von Kommissioniersystemen. Zudem kann durch die technische Integration der Methodik eine aufwandsarme, automatisierte und fortlaufende Belastungsermittlung gewährleistet werden.

Während der Entwicklung der Bewertungsmethodik (Kapitel 4) wurden die Haltungsklassen eins bis vier des Multiplen-Lasten-Tools durch Winkelangaben belastungsrelevanter Körperregionen spezifiziert. Darüber hinaus konnten eindeutige Wirkzusammenhänge zwischen der Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe und der eingenommenen Körperhaltungen identifiziert werden. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten zum einen die wissenschaftliche Spezifizierung der Haltungsklassen fünf bis acht beinhalten und zum anderen die Ausführungsbedingungen des Multiplen-Lasten-Tools an die besonderen Rahmenbedingungen der Kommissionierung anpassen. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Greifbedingungen und deren Auswirkungen auf die körperliche Belastung, insbesondere die Wirbelsäulenbelastung,

detailliert zu analysieren. Die Spezifizierung der Körperhaltungen erfolgte im Rahmen der Forschungsarbeit lediglich für die Handhabungsarten Umsetzen, Halten und Tragen des Multiplen-Lasten-Tools. Zukünftig sollten jedoch auch die Körperhaltungen und Ausführungsbedingungen der Handhabungsarten Ziehen/Schieben kurz bzw. lang konkretisiert werden.

Ein weiterer zukünftiger Ansatz ist die Integration eines erweiterten digitalen Menschmodells in eine Simulationsumgebung. Hierdurch kann eine digitale Belastungsanalyse sowie Leistungsabstimmung und Auftragsverteilung durchgeführt werden. Die Nutzung des digitalen Menschmodells ermöglicht die prospektive Absicherung der Planung und Gestaltung von Kommissioniersystemen zur Gewährleistung einer gesunden Mitarbeiterbelastung. Darüber hinaus ist eine Integration individueller, personenbezogener Daten im Rahmen der Simulationsumgebung denkbar.

Letztgenannter Aspekt ist Ausgangspunkt für Überlegungen, eine weitergehende Analyse der individuellen Belastbarkeit durchzuführen. Im Kontext zukünftiger Forschungsaktivitäten sollten die Auswirkungen und Wirkzusammenhänge von Belastungswechseln und Erholzeiten/Ermüdung untersucht und hierzu Parameter, wie bspw. der Trainingszustand des Mitarbeiters, berücksichtigt werden.

Die in Kapitel 6 beschriebene technische Umsetzung der fortlaufenden Belastungsermittlung als Funktionsmuster enthält einige Vereinfachungen hinsichtlich der Erfassung bestimmter Eingangsdaten. So wurden für das Ermitteln der ein-/beidhändigen Ausführung eines Handhabungsvorgangs Artikelstammdaten aus dem WMS verwendet und in einem ersten Schritt ein vereinfachtes Greifverhalten zugrunde gelegt. Darüber hinaus wurde die zeitliche Abgrenzung der Handhabungsvorgänge Umsetzen und Halten und somit die Bestimmung des aktuellen Auftragsstatus durch eigenverantwortliches Quittieren durch den Kommissionierer realisiert. Dieses Vorgehen stellt einerseits eine vereinfachende Annahme dar, weil in der Praxis nicht sichergestellt werden kann, dass der Beginn oder das Ende eines Handhabungsvorgangs tatsächlich mit dem Zeitpunkt der Quittierung übereinstimmt. Andererseits setzt dieses Vorgehen voraus, dass eine Möglichkeit für Nutzereingaben, beispielsweise in Form eines beleglosen Kommissioniersystems, vorhanden ist. Dies stellt insbesondere für die automatisierte Belastungsermittlung im Zusammenhang mit der Belegkommissionierung eine erhebliche Einschränkung dar.

Als vielversprechender Ansatz erscheint in diesem Kontext der Einsatz von Datenhandschuhen, die im Rahmen des Forschungsprojekts nur am Rande untersucht wurden. Datenhandschuhe bieten durch hochflexible Dehnungsmessstreifen zur Erfassung der Finger-/Handgelenkstellung oder integrierte Drucksensoren zur Bestimmung der Kraft auf die Finger oder Handballen alle notwendigen Sensoren, um festzustellen, ob sich in der jeweiligen Hand ein Gegenstand befindet. Eine bislang ungelöste Herausforderung besteht jedoch in der wissenschaftlichen Untersuchung von charakteristischen Finger-/Handgelenkstellungen bzw. Druckverläufen, um das natürliche Greifverhalten zur eindeutigen Interaktion in Kommissioniersystemen anwenden zu können.

Ein weiterer Ansatz, die im Rahmen des Forschungsvorhabens getroffenen Vereinfachungen bzw. Einschränkungen hinsichtlich der Erfassung der ein-/beidhändigen Ausführung von Handhabungsvorgängen sowie deren zeitlicher Abgrenzung aufzuheben, besteht in einer erweiterten Analyse von Bewegungsabläufen auf Basis von Daten aus dem Motion Capturing System. Während das Motion Capturing System im Rahmen des Forschungsvorhabens lediglich zur Bestimmung der Körperhaltung verwendet wurde, ist es denkbar, auch weitere Eingangsdaten durch das Motion Capturing System zu erfassen. So könnte ein Ansatz weiterer Forschungsvorhaben darin bestehen, anhand von charakteristischen Bewegungsabläufen (beispielsweise des Hand-Arm-Systems) zu erkennen, wann ein Handhabungsvorgang beginnt oder endet, und ob dieser ein- bzw. beidhändig ausgeführt wurde.

Literaturverzeichnis

- [Adv-2014] Advanced Realtime Tracking GmbH: <http://www.ar-tracking.com/technology/optical-tracking/>, Download: 15.05.2014.
- [Are-2014] AreaDigital AG: Smartphones entwickeln sich zum mobile Büro für die Hosentasche. <http://www.areamobile.de/ratgeber/handy/kaufberatung/smartphones-entwickeln-sich-zum-mobilen-buero-fuer-die-hosentasche>, Download: 01.06.2014.
- [Arn-2009] Arnold D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. Springer, Berlin u. a.: 2009.
- [AUV-2010] AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt): Ergonomie – Eine Einführung. Merkblatt M 021. Wien: AUVA. 2010.
- [AWM-2008] AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.): Bewertung körperlicher Belastungen des Rückens durch Lastenhandhabung und Zwangshaltungen im Arbeitsprozess. Leitlinie S1. Dortmund : AWMF. 2008.
- [BAu-2001] BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen. Dortmund: 2001. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Heben-Halten-Tragen.pdf>, Download: 11.06.2014.
- [BAu-2003] BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben. Dortmund 2003. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefaehrdungsbeurteilung.html>, Download: 11.06.2014

- [BAu-2007a] BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): Gesundheitsschutz in Zahlen 2005. Dortmund 2007.
http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/GIZ2005.pdf;jsessionid=67C565AF647045EE-EFA5C01AC2633936.1_cid380?__blob=publicationFile&v=5 , Download: 27.05.2014
- [BAu-2007b] BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin):Leitmerkmalmethode zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen. Dortmund 2001.
http://www.baua.de/nn_12238/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Manuelle-Arbeit.pdf Download: 11.06.2014.
- [BAu-2013] Bleyer, T.; Hold, U.; Rademacher, U.; Windel, A.: Belastungen des Hand-Arm-Systems als Grundlage einer ergonomischen Produktbewertung - Fallbeispiel Schaufeln. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2009.
- [Bau-2013] Baur, X.: Arbeitsmedizin. Springer, Berlin u. a.: 2013.
- [Ber-2014] Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe: Der Bürobereich, 2014.
- [Bio-2002] Biometrics Ltd.: goniometer and torsionmeter operating manual. 2002.
- [BMA-1997] BMA (Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung): Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) vom 31. Oktober 1997 (BGBl. I, S. 2623Zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 5. September 2002 (BGBl. I, S. 3541), zuletzt bearbeitet 23. Oktober 2002.). Berlin: BMA. 1997.

- [BMA-2006a] BMAS (Bundeministerium für Arbeit und Soziales): Merkblatt zur Berufskrankheiten Nr. 2108: Bandscheiben-bedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung. Bek. des BMA, BArbB10/2006. Berlin: BMAS. 2006.
- [BMA-2006b] BMAS (Bundeministerium für Arbeit und Soziales): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2004. Jährlicher Bericht der Bundesregierung über den Stand von Sicherheit und Gesundheit der Arbeit und über Unfall- und Berufskrankheitengeschehen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2004. Berlin: BMAS. 2006.
- [Böc-2013] Böcker, M.; Schneider, M.: Markterfolg durch benutzergerechte Gestaltung: Erfolgsfaktor "Usability" für Konsum- und Investitionsgüter. Beuth, Berlin u. a.: 2013.
- [Bok-2006] Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Schäffer-Poeschel, Stuttgart: 2006.
- [Bok-2012] Bokranz, R.; Landau, K.: Handbuch Industrial Engineering Band I. Schäfer-Poeschel, Stuttgart: 2012.
- [Bon-1995] Bongwald, O.; Luttmann, A.; Laurig, W.: Leitfaden für die Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten. Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG): 1995.
- [Bop-2007] Boppert, J.; Walch, D.: Mitarbeiterorientierung als Zukunftsstrategie innovativer Unternehmen. In: Günthner, W. A. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik. Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 2007, S. 399 – 412.
- [Bos-2013a] BOSCH: Bosch Rexroth AG. URL: http://www.boschrexroth.de/business_units/brl/de/downloads/MTpro/index.jsp (01.Juni, 2013).

- [Bos-2013b] BOSCH: Bosch Rexroth AG. URL: http://www.boschrexroth.de/business_units/brl/de/downloads/MTpro/manmodel/index.jsp (01.Juni, 2013).
- [Bul-1994] Bullinger, H.J.: Unternehmensstrategie Gesundheit: Konzepte für einen zeitgemäßen Arbeitsschutz. Expert: Heidelberg, 2011.
- [Bul-1996] Bullinger, H.-J.: Betriebliche Folgen veränderter Altersstrukturen in der Montage. Zwickau : Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme der Technischen Universität Chemnitz. 1996.
- [BVL-2013] Bundesvereinigung Logistik: Übersicht Logistik-Berufe. <http://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=21395&name=LOGISTIK+2013+++Die+wichtigsten+Berufe.pdf>, Download: 16.04.2014.
- [DGU-2007] DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung): BGI-/GUV-I 7011. Gesunder Rücken - Gesunde Gelenke: Noch Fragen? Gesund und fit im Kleinbetrieb. BG-Information. Carl Heymanns Verlag, Köln: 2007.
- [DGU-2009] DGUV(Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung): BGI-/GUV-I 504-46. Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46.-Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen. BG-Information. Carl Heymanns Verlag, Köln: 2009.
- [DIN 1005a] DIN EN 1005-2: 2009: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.

- [DIN 1005b] DIN EN 1005-2: 2009: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- [DIN 33400] DIN 33400: 1975: Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen; Begriffe und allgemeine Leitsätze. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- [DIN 33402] DIN 33402: 2005: Ergonomie - Körpermaße des Menschen. Teil 2: Werte. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- [DIN EN 614] DIN EN 614-1: 2009: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- [DIN EN ISO 9241-110] DIN EN ISO 9241-110:2011: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Grundsätze der Dialoggestaltung. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- [Dre-2008] Drechsel, D.; Vetter, F.: Wäge-, Abfüll- und Verpackungsprozesse. Oldenbourg Industrieverlag, München: 2008.
- [Dyn-2009] Dynastream Innovations: Second Generation Speedmax SDM Technology. Datenblatt. 2009.
- [EII-1998] Ellegast, R.: Personengebundenes Meßsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen in beruflichen Tätigkeiten (BIA-Report 5/98). Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). Dissertation. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 1998.

- [Eil-2005] Ellegast, R.: Verfahren zur Bewertung von manuellen Lastenhandlungen. In: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG); Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA (Hrsg.): BGIA-Report 4/2005. Fachgespräch Ergonomie 2004. Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), 2005, S. 21-29
- [Eil-2013] Ellegast, R.: Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz - Methoden und Kriterien zur Beurteilung physischer Belastungen. In: Hartmann, B.; Spallek, M.; Ellegast, R.: Arbeitsbezogene Muskel-Skelett Erkrankungen. Ecomed, Heidelberg: 2013, S. 107-116.
- [Fle-1997] Fleischer, A. G.: Stütz- und Bewegungsapparat. In: Luczak, H. (Hrsg); Müller, T. Handbuch Arbeitswissenschaft. Schäffer-Poeschel, Stuttgart: 1997, S. 368-375
- [Foc-2014] FOCUS Online: Tablet-PC. http://www.focus.de/digital/computer/technik-lexikon/tablet-pc_aid_481055.html, Download: 02.06.2014.
- [For-2012] Forrester Research, Inc.: The Expanding Role of Mobility in the Workplace. http://www.cisco.com/web/solutions/trends/unified_workspace/docs/Expanding_Role_of_Mobility_in_the_Workplace.pdf, Download: 02.06.2014.
- [Gol-2006] Goldscheid, C.; Mackowiak, J. 2006: Ganzheitliche Betrachtung manueller Kommissioniersysteme. In: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2006. Korschbroich: free, 284-286
- [Gol-2008] Goldscheid, C.: Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung in manuellen Kommissioniersystemen. Dissertation. Dortmund: Technische Universität Dortmund. 2008.

- [Got-2013] Gottwald, F.: Vergleichende, nichtinvasive Bewegungsanalyse der Wirbelsäule zwischen lumbalen Spondylodesen, der Zwischenwirbelendoprothese Typ Charite® und einem wirbelsäulengesunden Kollektiv. Dissertation. München: Universität München. 2009.
- [Gud-2009] Gudehus, T.: Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing. Dissertation. Kassel: Universität Kassel. 2009.
- [Gud-2010] Gudehus, T.: Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen. Springer, Berlin u. a.: 2010.
- [Gül-2013] Güllich, A.; Krüger, M.: Sport. Das Lehrbuch für das Sportstudium. Springer, Berlin u. a.: 2013.
- [Gün-2009] Günthner, W.A.; Blomeyer, N.; Reif, R.; Schedlbauer, M.: Pick-by-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung. Forschungsbericht: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München. 2009.
- [Gün-2012a] Günthner, W.A.; Rammelmeier, T.: Vermeidung von Kommissionierfehlern mit Pick-by-Vision. Forschungsbericht: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München. 2012.
- [Gün-2012b] Günthner, W.A.; Rammelmeier, T.: Auf dem Weg zur Null-Fehler-Kommissionierung. In: f+h Projektguide Intralogistik 2012, (2012), Sonderausgabe, S. 16-18.
- [Gün-2013] Günthner, W. A.: Förder- und Materialflusstechnik. Vorlesungsskriptum: Lehrstuhl für Fördertechnik und Materialfluss Logistik. Technische Universität München. 2013.

- [Har-1999] Hartung, E.; Schäfer, K.; Jäger, M.; Luttmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Kuhn, S.; Paul, R.; Francks, H.-P.: Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) zur Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung bei Verdacht auf Berufskrankheit Nr. 2108. Teil 2: Vorschlag zur Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren. In: Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin 34 (1999) Nr. 3, S. 112-122.
- [Har-2008] Hartmann, B.; Ellegast, R.; Jäger, M.; Luttmann, A.; Pfister, E.A.; Liebers, F.; Steinberg, U.; Schaub, K.; Kusserow, H.; Bradl, I.; Scholle, H.-C.; Gebhardt, H.: Bewertung körperlicher Belastungen des Rückens durch Lastenhandhabung und Zwangshaltungen im Arbeitsprozess. Aachen: Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM). 2008.
- [Hem-2009] Hempen, S.; Finke, Y.; Deuse, J.: Ergonomie in logistischen Prozessen. In: Landau, K.: Tagungsband zur GfA-Herbstkonferenz 2009, Millstadt, 23.-25. August 2009.
- [Hes-2011] Hesse, S.; Schnell, G.: Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation. Vieweg+Teubner | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden: 2011.
- [Het-1993] Hettinger, T.; Wobbe, G. (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl: 1993.
- [Hom-2010] Ten Hompel, M.; Schmidt, T.: Warehouse-Management: Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. Springer, Berlin u. a.: 2010.
- [Hom-2011] Ten Hompel, M.; Sadowsky, V.; Beck, M.: Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Springer, Berlin u. a.: 2011.

- [Hom-2014] Hom, E.J.: What is a Smartwatch?. <http://www.toms-guide.com/us/what-is-a-smartwatch,news-17560.html>, Download: 02.06.2014.
- [Hub-2009] Huber, M.: Ermittlung und Visualisierung der körperlichen Belastung in der manuellen Kommissionierung mit exemplarischer Umsetzung am Beispiel des Pick-by-Vision. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Dipl.-Ing. D. Walch. Abgegeben im November 2009.
- [IAD-2010a] IAD (Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt): Multiple-Lasten-Tool. Bewertung multipler (manueller) Lastenhandhabungen. Einstufungshilfe zur Tool-Version 1.4. Darmstadt 2010. http://www.kobra-projekt.de/system/files/download/files/MultiLa_V1.4_Einstufungshilfe.pdf, Download: 11.03.2014.
- [IAD-2010b] IAD (Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt): Multiple-Lasten-Tool. Bewertung multipler (manueller) Lastenhandhabungen. Hintergrundinformationen zur Tool-Version 1.4. Darmstadt 2010. http://www.kobra-projekt.de/system/files/download/files/MultiLa_V1.4_Hintergrundinformationen.pdf, Download: 11.06.2014.
- [ind-2014] Indoor-Ortung.de: Technik Funktionen und Sinn. <http://indoor-ortung.de/>, Download: 28.05.2014.
- [Jäg-1998] Jäger, M.: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie – Ermittlung der Belastung der Wirbelsäule bei ausgewählten beruflichen Tätigkeiten. Sankt Augustin: hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG): 1998.

- [Jäg-2001a] Jäger, M.: Belastung und Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule im Berufsalltag. Ein interdisziplinärer Ansatz für eine ergonomische Arbeitsgestaltung. VDI Fortschritts-Berichte Reihe 17, Nr. 208. Düsseldorf: VDI, 2001 - zugl. Habilitation. Dortmund: Universität Dortmund. 2000.
- [Jäg-2001b] Jäger, M.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Luttmann, A.: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2: Ermittlung und Beurteilung vergleichbarer Tätigkeiten hinsichtlich der Körperhaltung und der Wirbelsäulenbelastung bei verschiedenen beruflichen Tätigkeiten. Forschungsbericht: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). 2001.
- [Jäg-2002a] Jäger, M.; Göllner, R.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Luttmann, A.: Belastungen der Lendenwirbelsäule beim Heben und Umsetzen von Lasten. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Jg. 56 (2002), Nr. 1-2. S. 93-105.
- [Jäg-2002b] Jäger, M.; Luttmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Schäfer, K.; Hartung, E.; Kuhn, S.; Paul, R.: Kritische Wertung aktueller Anmerkungen zum „Mainz-Dortmunder Dosismodell – MDD“ zur Beurteilung der Wirbelsäulenbelastung bei der Berufskrankheit 2108. In: Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin 37 (2002) Nr. 12, S. 582-598.
- [Jäg-2005] Jäger, M.; Luttmann, A.: Der „Dortmunder Denkansatz“ zur biomechanischen Analyse der Wirbelsäulenbelastungen bei Lastenhandhabungen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Jg. 59 (2005), Nr. 3, S. 249-262.
- [Jan-2013] Janssen, J.-K: Acht Gramm Personal Trainer. In: c't, (2013) Nr. 12, S. 86-88.
- [Jün-2000] Jünemann, R.; Schmidt, T.: Materialflußsysteme Systemtechnische Grundlagen. Springer, Berlin u. a.: 2000.

- [KBS-2014] KBS Industrieelektronik GmbH: effizienter kommissionieren mit Pick Term Flexible. http://www.kbs-gmbh.de/dateien/pickterm_flexible_de.pdf, Download: 03.06.2014
- [Ker-2009] Kern, T.A.: Entwicklung Haptischer Geräte. Springer, Berlin u. a.: 2009.
- [Kli-2005] Klimmer, F.; Kylian, H.; Schmidt, K.-H.; Jordan, C.; Luttmann, A.; Jäger, M.: Erfassung von muskuloskelettaler Belastung und Beanspruchung bei großen Stichproben mit unterschiedlich belastenden Tätigkeiten - Ein Methodenvergleich. In Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Jg. 59 (2005), Nr. 1, S. 1-12.
- [Kli-2006] Klingbeil, L.: Entwicklung eines modularen und skalierbaren Sensorsystems zur Erfassung von Position und Orientierung bewegter Objekte. Dissertation. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. 2009.
- [Koc-1998] Koch, A.W.; Ruprecht, M.W.; Toedter, O. Häusler, G.: Optische Meßtechnik an technischen Oberflächen. Expert verlag Renningen-Malmsheim: 1998.
- [Koc-2014] Koch, M.; Günthner, W. A.: Belastungsermittlung im Warehouse Management System. In: Industrie Management, Jg. 30 (2014) Nr. 1, S. 47-50.
- [Kru-2007] Krueger, H.: Einführung in die Arbeitsphysiologie. In: Letzel, S. (Hrsg); Nowak, D.; (Hrsg), Konietzko, J.; Dupuis H.: Handbuch der Arbeitsmedizin; Arbeitsphysiologie, Arbeitspsychologie, klinische Arbeitsmedizin, Prävention und Gesundheitsförderung. Ecomed, Landsberg/Lech, Teil BI-1:2007.

- [Kug-2010] Kugler, M.; Bierwirth, M.; Schaub, K.; Sinn-Behrendt, A.; Feith, A.; Ghezel-Ahmadi, K.; Bruder, R.: Ergonomie in der Industrie – aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. Darmstadt 2010. http://www.kobra-projekt.de/system/files/page/KoBRA_Handlungshilfe_2010_druck.pdf, Download: 11.06.2014.
- [Lan-2007] Landau, K.; Weißert-Horn, M.: Arbeitsgestaltung. In: Landau K (Hrsg) Lexikon Arbeitsgestaltung; Best practice im Arbeitsprozess. Universum, Wiesbaden: 2007. S. 103-105.
- [Lau-1992] Laurig, W.: Grundzüge der Ergonomie. Beuth, Berlin u. a.: 1992.
- [Leu-2013] Leuze electronic GmbH + Co. KG: http://www.leuze-electronic.de/de/deutschland/branchen/foerder_lagertechnik/branchen_details_4200.php, Download: 19.08.2013.
- [Lol-2003] Lolling, A.: Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Dissertation. Dortmund: TU Dortmund. 2003.
- [Luc-1998] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Springer, Berlin u. a.: 1998.
- [Lün-2004] Lünig, R.: Beitrag zur optimierten Gestaltung des Durchsatzes in Kommissioniersystemen für Stückgüter. Dissertation. Ilmenau: TU Ilmenau.2004.
- [Mar-1994] Marquardt, H. G.; Schütze, O.: Tagungsleitung und eine Einführung: Entwicklungsrichtlinien beim Kommissionieren. In: VDI Berichte Nr. 1131: 1994. S. 1-10.

- [Mar-2009] Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. GWV Fachverlag: Wiesbaden, 2009.
- [Men-2011] Menache; A.: Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games. Morgan Kaufmann, San Diego: 2000.
- [Mer-2012] Merkel, T.; Schmauder, M.: Ergonomisch und normgerecht konstruieren. Beuth: Berlin u. a., 2012.
- [Met-2014] Meta Motion: <http://www.metamotion.com/motion-capture/optical-motion-capture-1.htm>, Download: 15.05.2014.
- [Mic-2014] Microsoft Corporation: Kinect Sensor. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>, Download: 28.05.2014.
- [Mot-2014a] MotionAnalysis Corporation: <http://www.motionanalysis.com/html/movement/biofeedback.html>, Download: 15.05.2014.
- [Mot-2014b] MotionAnalysis Corporation: <http://www.motionanalysis.com/html/movement/sports.html>, Download: 15.05.2014.
- [Mun-2013] Munduate, I.: Entwicklung eines rechnergestützten Tools zur Visualisierung und Analyse der Mitarbeiterbelastung in Kommissioniersystemen. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Dipl.-Ing. T. Rammelmeier. Abgegeben im Oktober 2013.
- [Oeh-2004] Oehme, O.: Ergonomische Untersuchung von kopfbasierten Displays für Anwendungen der erweiterten Realität in Produktion und Service. Shaker-Verlag, Aachen: 2004.

- [Ram-2014] Rammelmeier, T.; Weisner, K.; Günthner, W.A.; Deuse, J.: Reduktion der Mitarbeiterbelastung in der Kommissionierung auf Basis einer fortlaufenden Belastungsermittlung. In: Jäger, M.: Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft - 60. Kongress der Gesellschaft der Arbeitswissenschaft, Technische Universität München und Hochschule München, München, 13. März 2014
- [REF-1991] REFA (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung): Methodenlehre der Betriebsorganisation, Grundlagen der Arbeitsgestaltung. Hanser, München: 1991.
- [Rei-2009] Reif, R.: Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems. Dissertation. München: Technische Universität München. 2009.
- [Rem-2012] Remdisch, S.; Unger, N.: Retention Management im Mittelstand: Weiterbildung als Instrument für die Mitarbeiterbindung. Studie: Institut für Performanve Management, Leuphana Universität Lüneburg. 2012.
- [Roh-1976] Rohmert, W.; Weg, F. J.: Organisation teilautonomer Gruppenarbeit. Betriebliche Projekte - Leitregeln zur Gestaltung. Band 1, Carl Hanser: München, Wien, 1976.
- [Roh-1993] Rohmert, W.: Arbeitswissenschaft. In: Wittmann, W.; Kern, W.; Köhler, R.; Küpper, H.; Wysocki, K. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 1. Poeschel, Stuttgart: 1993. S 120-131.
- [Röh-2001] Röhrs, W.: Kommissionierung: Problemfeld oder Schlüssel zum Erfolg? – Teil I. In: F + H Fördern und Heben 51 (2001) Nr. 10, S. 723-725.

- [Sch-2010a] Schwerdtfeger, B.: Pick-by-Vision: Bringing HMD-based Augmented Reality into the Warehouse. Dissertation. München: Technische Universität München: 2010.
- [Sch-2010b] Schaub, K.; Haaß, P.; Bierwirth, M.; Kugler, M.; Steinberg, U.; Kaltbeitzel, J.; Toledo Munoz, B.; Bruder, R.: Das Multiple-Lasten-Tool. Integrierte Bewertung unterschiedlicher Arten manueller Lastenhandhabung. In: GfA (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft) (Hrsg.): Mensch- und prozessorientierte Arbeitsgestaltung im Fahrzeugbau. GfA Press, Dortmund: 2010. S. 123-132.
- [Sch-2010c] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Springer Verlag, Berlin : 2010.
- [Sch-2012a] Schaub, K.; Steinberg, U.; Bierwirth, M.; Kugler, M.; Bruder, R.: MultiLa. A toll for the combined overall estimation of various types of manual handling tasks. In: Work, Vol. 41 (2012) supplement 1, S. 4433-4435.
- [Sch-2012b] Schmidt-Thrö, K.: Technologien zur Erfassung sowie Visualisierung von Mitarbeiterbelastung in der Intralogistik. Semesterarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Dipl.-Ing. T. Rammelmeier. Abgegeben im November 2012.
- [SSI-2014] SSI Schäfer Peem GmbH: Papierlose Kommissioniersysteme. http://media.ssi-schaefer.de/fileadmin/ssi/documents/navigationsbau/logistiksysteme/teilautomatisierte_systeme/beleglose_kommissionierung/papierlosekomm.systeme_de_low.pdf, Download: 03.06.2014.
- [Ste-1998] Steinberg, U.; Windberg, H.-J.: Leitfaden Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten. Empfehlungen für den Praktiker. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven: 1998.

- [Ste-2007] Steinberg, U.; Behrendt, S.; Caffier, G.; Schultz, K.; Jakob, M.: Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse. Erarbeitung und Anwendungserprobung einer Handlungshilfe zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen. Forschungsbericht: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 2007.
- [Ste-2011] Steinberg, U.: Heben und Tragen ohne Schaden. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund: 2011.
- [Sti-2012] Stinson, M.; Wehking, K.-H.: leistungsbewertung und –optimierung in der manuellen Kommissionierung. In: Zadek, H. (Hrsg.): Fachkolloquium der wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V.: 2012.
- [Sto-1985] Stoffert, G.: Analyse und Einstufung von Körperhaltungen bei der Arbeit nach der OWAS-Methode. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Jg. 39 (1985) Nr. 1, S. 31-38.
- [Str-2005] Straube, F.; Pfohl, H.-C.; Günthner, W. A.; Dangelmaier, W.: Trends und Strategien in der Logistik – Ein Blick auf die Agenda des Logistik-Managements 2010. Deutscher Verkehrsverlag, Bremen: 2005.
- [Str-2013] Strebin, T.: Experimentelle Analyse von Eingabeparametern für die Bewertung von Belastungen in der Kommissionierung. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Dipl.-Wi.-Ing. M. Koch. Abgegeben im März 2013.
- [Suk-2005] Sukthankar, R.: Towards Ambient Projection for Intelligent Environments. Forschungsbericht: The Robotics Institute, Carnegie Mellon University Pittsburgh, 2005.
- [Tön-2010] Tönnis, M.: Augmented Reality. Springer, Berlin u. a.: 2010.

- [Tsc-2003] Tschöke, E.: Technische Hilfsmittel für die manuelle Lastenhandhabung. Wirtschaftsverlag NW: Bremerhaven, 2003.
- [Uni-2013] Universität Tübingen: Grip Projekt Überblick. <http://www.ti.uni-tuebingen.de/GRIP-Projekt.399.0.html>, Download: 28.05.2014.
- [VDI 3311] VDI 3311:1998: Beleglose Kommissioniersysteme. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Düsseldorf: Beuth.
- [VDI 3590] VDI 3590:1994: Blatt 1: Kommissioniersysteme – Grundlagen. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Düsseldorf: Beuth.
- [Vid-2013] Vidales, G.: Entwicklung eines Systems zur automatisierten Ermittlung der körperlichen Belastung in Kommissioniersystemen und dessen Integration in Pick-by-Vision. Master's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Dipl.-Ing. T. Rammelmeier. Abgegeben im Mai 2013.
- [Vir-2014] Virtual Realities Limited: <http://www.vrealities.com/products/data-gloves/5dt-data-glove-5-ultra-2>, Download 15.05.2014.
- [Vor-2013] Vordermaier, F.: Entwurf und Implementierung eines Sensornetzwerkes zur fortlaufenden Erfassung und Beurteilung physischer Belastungen. Semesterarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Dipl.-Ing. T. Rammelmeier. Abgegeben im Oktober 2013.
- [Wal-2011] Walch, D.: Belastungsermittlung in der Kommissionierung vor dem Hintergrund einer alternsgerechten Arbeitsgestaltung der Intralogistik. Dissertation. München: Technische Universität München. 2011.

- [Wat-93] Waters, T. R.; Putz-Anderson, V.; Garg, A.; Fine, L.: Revised NIOSH equation for development and evaluation of manual handling. In: Ergonomics 36 (1993) 7, S. 749-776
- [WEK-2014] WEKA MEDIA PUBLISHING GbmH: Die zehn besten Smartphones mit Tastatur. <http://www.connect.de/kaufberatung/die-besten-smartphones-mit-tastatur-1283988.html>, Download: 01.06.2014.
- [Wic-1994] Wichmann, A.: Planungshilfsmittel für manuelle Kommissioniertätigkeiten. Dissertation, Dortmund: Technische Universität Dortmund.1994.
- [Wie-2009] Wienhold, H.; Schmidt, C.: Flexible Konfigurationslogistik für Produktionssysteme. In: UDZ Unternehmen der Zukunft, (2009) Nr. 1, S. 12-14.
- [Wol-2012] Wolf, O.; Rahn, J.; Haselberger, J.: Warehouse-Management-System aus der Wolke. In: Fördern und Heben, (2012) Nr. 3, S. 54-55.
- [Xse-2014] X-sens Technologies B.V.: <http://www.xsens.com/products/xsens-mvn/>, Download: 15.05.2014.
- [Zan-1999] Zangemeister, C.; Nolting, H.D.: Kosten-Wirksamkeitsanalyse im Arbeits- und Gesundheitsschutz. Einführung und Leitfaden für die betriebliche Praxis. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Verlag für Neue Wissenschaft, Dortmund, Berlin: 1999. S.44.
- [Zen-2012] Zeng, W.: Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. <http://131.107.65.14/pubs/179157/Microsoft%20Kinect%20Sensor%20and%20Its%20Effect%20-%20IEEE%20MM%202012.pdf>, Download: 15.05.2014.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Inhaltliche Verknüpfung der Arbeitspakete des Forschungsprojekts ErgoKom	7
Abbildung 2-1:	Belastungs-Beanspruchungs-Konzept [Lau-1992]	21
Abbildung 2-2:	Formen der Arbeitsbelastung [Lau-1992], [Luc-1998]	22
Abbildung 2-3:	Pulsfrequenz in Abhängigkeit von dem zeitlichen Verlauf der Belastung [Luc-1998]	25
Abbildung 2-4:	Schematische Darstellung der Hebelarmwirkung an der Lendenwirbelsäule [Jäg-2001a]	27
Abbildung 2-5:	Exemplarischer Überblick über existierende Bewertungsverfahren [Gol-2008]	29
Abbildung 2-6:	Verfahren zur Bewertung physischer Belastungen [Kug-2010]	30
Abbildung 2-7:	Interpolierte Zeitwichtung der Handhabungsart Umsetzen [IAD-2010b]	39
Abbildung 2-8:	Berechnung der Anzahläquivalente [IAD-2010b]	40
Abbildung 2-9:	Lastwichtung Heben, Halten, Tragen [IAD-2010b]	41
Abbildung 2-10:	Lastwichtung Ziehen/Schieben [IAD-2010b]	41
Abbildung 2-11:	Tabellenkopf und Anmerkungsfeld des MLT [IAD-2010a]	43
Abbildung 2-12:	Eingabemaske des MLT [IAD-2010a]	44
Abbildung 2-13:	Eingabemaske des MLT [IAD-2010a]	50
Abbildung 2-14:	Zusammenhang zwischen der Gestaltung des Kommissioniersystems und der Höhe der Wirbelsäulenbelastung [Gol-2008]	51
Abbildung 2-15:	Belastungsspezifische Einflussgrößen	51
Abbildung 2-16:	Kommissionierspezifische Einflussgrößen	53
Abbildung 2-17:	Wirkzusammenhänge zwischen kommissionier- und belastungsspezifischen Einflussgrößen	55
Abbildung 4-1:	Bewertung von Screening-Verfahren anhand anwendungsbezogener Kriterien	70
Abbildung 4-2:	Bewertung von Screening-Verfahren anhand personenbezogener Kriterien	72
Abbildung 4-3:	Bewertung von Screening-Verfahren anhand tätigkeitsbezogener Kriterien	73
Abbildung 4-4:	Vorgehensweise bei der Entwicklung der Methodik	75

Abbildung 4-5:	Subjektive Einstufung der Körperhaltung bei Anwendung des MLT	76
Abbildung 4-6:	Eigenschaften und Funktionen des ManModels [Bos-2013b]	78
Abbildung 4-7:	Modellierte Körperhaltungen zur Bestimmung der Winkelstellungen	79
Abbildung 4-8:	Charakteristische Körperhaltungen (Haltungswichtung 1)	80
Abbildung 4-9:	Charakteristische Körperhaltungen (Haltungswert 2, 3, 4)	82
Abbildung 4-10:	Adaptierter Aufnahmebogen zur Erfassung der körperlichen Belastung in der Kommissionierung bei den Handhabungsarten Umsetzen, Halten, Tragen	83
Abbildung 4-11:	Zuordnung der Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe zu spezifischen Körperhaltungen (Haltungswichtung 1)	85
Abbildung 4-12:	Zuordnung der Entnahmehöhe/-tiefe bzw. Abgabehöhe/-tiefe zu spezifischen Körperhaltungen (Haltungswichtung 2, 3, 4)	87
Abbildung 5-1:	Konzept für ein System zur automatisierten, fortlaufenden Belastungsermittlung	92
Abbildung 6-1:	Kommissionierlager (3D-Ansicht und Draufsicht; Abbildung erstellt mit der Software CATIA V5)	119
Abbildung 6-2:	Fehlerüberprüfung durch Pick-by-Vision (links: Funktionsweise [Gün-2012b], rechts: Blick durch die Datenbrille [Gün-2012a])	120
Abbildung 6-3:	Systemaufbau des Funktionsmusters	123
Abbildung 6-4:	Messrad am Kommissionierwagen	124
Abbildung 6-5:	Visualisierung belastungsrelevanter Daten – Menüpunkt „Aktuelle Belastungswerte“ (in Anlehnung an [Mun-2013])	127
Abbildung 6-6:	Visualisierung belastungsrelevanter Daten – Menüpunkt „Schichtauswertung“ (in Anlehnung an [Mun-2013])	128
Abbildung 6-7:	Visualisierung belastungsrelevanter Daten – Menüpunkt „Lagerfachbelegung“ (in Anlehnung an [Mun-2013])	129
Abbildung 6-8:	Bereitstellung von belastungsrelevanten Informationen in einer Datenbrille	130
Abbildung 6-9:	Umsetzung des Funktionsmusters am Lehrstuhl fml	132
Abbildung 7-1:	Einflussgrößen zur Gestaltung der Körperhaltung in der Kommissionierung [Gol-2008]	133
Abbildung 7-2:	Belastungsorientierte Auftragszuweisung (in Anlehnung an [Mun-2013])	136
Abbildung 7-3:	Zuteilung der Lagerfächer unter Berücksichtigung der Wirkzusammenhänge zwischen der Körperhaltung und der Entnahme-/Abgabentiefe	138

Abbildung 7-4:	Zuordnung von Lagerfächern und der kombinierten Bewertung der Last- und Haltunswichtung auf Basis des MLT (in Anlehnung an [Mun-2013])	139
----------------	--	-----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Arten der Informationsbereitstellung in der Kommissionierung (in Anlehnung an [Gün-2013])	17
Tabelle 2-2:	Statische und dynamische Muskelarbeit [Luc-1998]	23
Tabelle 2-3:	Lastgewichte mit einem erhöhten Risiko für die Verursachung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule [BMA-2006a]	28
Tabelle 2-4:	Bestimmung der Zeitwichtung [BAu-2001]	35
Tabelle 2-5:	Bestimmung der Lastwichtung [BAu-2001]	36
Tabelle 2-6:	Bestimmung der Wichtung der Körperhaltung [BAu-2001]	36
Tabelle 2-7:	Bestimmung der Wichtung der Ausführungsbedingungen [BAu-2001]	37
Tabelle 2-8:	Risikoklassen der LMM-HHT [BAu-2001]	37
Tabelle 2-9:	Einstufung der körperlichen Belastung [IAD-2010b]	42
Tabelle 2-10:	Einstufung der Körperhaltung Umsetzen, Halten, Tragen [IAD-2010a]	46
Tabelle 2-11:	Einstufung der Körperhaltung Ziehen/(Schieben [IAD-2010a]	47
Tabelle 2-12:	Einstufung der Ausführungsbedingungen Umsetzen, Halten, Tragen [IAD-2010a]	48
Tabelle 2-13:	Einstufung der Ausführungsbedingungen Ziehen/Schieben [IAD-2010a]	49
Tabelle 2-14:	Einstufung der Positioniergenauigkeit [IAD-2010a]	49
Tabelle 4-1:	Richtwerte und gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte für das Heben und Tragen von Lasten [LfA-2004]	71
Tabelle 4-2:	Identifizierte Winkelbereiche (Haltungswichtung 1)	79
Tabelle 4-3:	Identifizierte Winkelbereiche (Haltungswichtungen 2, 3, 4)	81
Tabelle 4-4:	Zuordnung von Entnahme-/Abgabehöhe bzw. Entnahme-/Abgabentiefe zu den spezifischen Winkelbereichen der Haltungswichtung 1	86
Tabelle 4-5:	Zuordnung von Entnahme-/Abgabehöhe bzw. Entnahme-/Abgabentiefe zu den spez. Winkelbereichen der Haltungswichtung 1, 2, 3	88
Tabelle 5-1:	Zusammenfassung der zu erfassenden Eingangsdaten	94
Tabelle 5-2:	Bewertung der Eignung von verschiedenen Technologien zur automatisierten Datenerfassung im Kommissionierszenario 1	109

Tabelle 5-3:	Bewertung der Eignung von verschiedenen Technologien zur automatisierten Datenerfassung im Kommissionierszenario 2	110
Tabelle 6-1:	Zuordnung möglicher Belastungen durch manuelle Lastenhandhabung zu den Prozessschritten der Kommissionierung	121
Tabelle 6-2:	Auswahl der Technologien zur Datenerfassung für das Funktionsmuster	122

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
AAWS	Automotive Assembly Worksheet
AP	Arbeitspaket
APS	Professur für Arbeits- und Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund
AWS ^{light}	Assembly Worksheet ^{light}
BK	Berufskrankheit
BVL	Bundesvereinigung Logistik e. V.
CUELA	Computer unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems
EAWS	Ergonomic Assessment Work Sheet
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Ressource Planning
fml	Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München
HHT	Heben, Halten, Tragen
IAD	Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt
IAD-BKB	Verfahren zur Bewertung körperlicher Belastungen des IAD
IPS	Institut für Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KoBRa	Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit

Abkürzungsverzeichnis

LED	Light-emitting Diode
LMM	Leitmerkmalmethode
MA	Manuelle Arbeitsprozesse
MDD	Mainz-Dortmunder-Dosismodell
MDT	Mobiles Datenterminal
MLT	Multiple-Lasten-Tool
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
OCRA	Occupational Repetitive Actions (Index)
OWAS	OVAKO-Working-Posture-Analysing-System
PbL	Pick-by-Light
PbV	Pick-by-Voice
PC	Personal Computer
PDA	Personal Digital Assistant
RULA	Rapid Upper Limb Assessment
SDK	Software Development Kit
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse Management System
WWS	Warenwirtschaftssystem
Z/S	Ziehen/Schieben

