



Steffen Conrad

Entwicklung einer Risikobewertung physischer Belastungen unter Berücksichtigung nutzergruppenbezogener Parameter

am Beispiel der Intralogistik im Automobilbau



Audi-Dissertationsreihe, Band 136





Entwicklung einer Risikobewertung physischer Belastungen unter Berücksichtigung nutzergruppenbezogener Parameter am Beispiel der Intralogistik im Automobilbau

Der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden
vorgelegte Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

Von:
Steffen Conrad

Datum:
29.01.2018

Gutachter:
Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler
Lehrstuhl für Ergonomie
Technische Universität München



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2019

Zugl.: (TU) Dresden, Univ., Diss., 2018

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2019

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2019

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9977-0

eISBN 978-3-7369-8977-1



„Die Gesundheit ist zwar nicht alles, aber ohne Gesundheit ist alles nichts“
Arthur Schopenhauer
Deutscher Philosoph, Autor und Hochschullehrer (1788 - 1860)





Danksagung

Diese Arbeit entstand in großen Teilen berufsbegleitend während meiner Tätigkeit als Industrial Engineer bei der Audi AG im Werk Neckarsulm.

Sehr dankbar bin ich meinem Doktorvater, Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder vom Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der Technischen Universität Dresden. Sein offenes Ohr und seine konstruktiv kritischen Fragen gaben mir die nötige Orientierung, die zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit maßgeblich beigetragen haben.

Ebenfalls danke ich herzlich Prof. Dr. phil. Klaus Bengler vom Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München für die Zweitbegutachtung.

Für den wertvollen Austausch und die tolle Unterstützung von PD Dr. Matthias Jäger vom Leibniz-Institut für Arbeitsforschung der Technischen Universität Dortmund bedanke ich mich ebenfalls sehr herzlich.

Meinen geschätzten Kollegen, Dr. Max Bierwirth und Dr. Mario Walther, sei für die hilfreichen Diskussionen, die vielen wertvollen Hinweise oder die tatkräftige Unterstützung bei Messreihen gedankt.

Mein besonderer Dank gilt Fred Wonka, der mich über die gesamte Bearbeitungszeit unterstützt, ermutigt und mir den nötigen Freiraum für eine wissenschaftliche Arbeit im industriellen Kontext eingeräumt hat. Ebenfalls gilt mein Dank Dieter Braun, der die Themenstellung und somit diese Arbeit bei der Audi AG erst ermöglicht hat.

Zudem möchte ich mich bei all meinen Kolleginnen und Kollegen der Audi AG bedanken, die mich während der gesamten Bearbeitungszeit unterstützt haben, ebenso bei allen Studierenden, die ich bei ihren Abschlussarbeiten betreuen durfte. Mein Dank gilt außerdem Flora Ebbers für die Übernahme des Lektorats.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meiner gesamten Familie bedanken, die mir fortwährend den nötigen Rückhalt gewährt, um auch langwierige und strapazierende Vorhaben in die Tat umzusetzen zu können. Insbesondere meinen Eltern sei für die Ermöglichung einer soliden akademischen Ausbildung gedankt, welche das Fundament für diese Arbeit bildet sowie ihre fortwährende und verlässliche Unterstützung in allen Lebenslagen.

Über alle Maßen sei meiner Partnerin, Sarah Johannes, gedankt. Ihre fortwährende Unterstützung über die gesamte Bearbeitungszeit hinweg, geprägt von vielen cleveren Ideen, ihren Zuspruch in belastenden Phasen sowie das aufgebrachte Verständnis, haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ihr und unserem Sohn, Theodor, ist diese Arbeit gewidmet.



Zusammenfassung

Die Bedeutung des Erhalts und der Förderung der Gesundheit von Mitarbeitern gewinnt im Kontext des demographischen Wandels mehr und mehr an Bedeutung. Zur Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit erfordert dies von Industrieunternehmen eine Reduzierung arbeitsbezogener Gesundheitsrisiken, die sich durch die nutzergerechte Gestaltung von Arbeitssystemen realisieren lassen.

Um dies zu ermöglichen, werden in der betrieblichen Praxis Verfahren zur physischen Risikobewertung angewendet. Diese geben Aufschluss über die vorliegende Belastung für Mitarbeiter eines Arbeitssystems. Aktuell basiert diese Belastungsbewertung meist auf der Berücksichtigung eines ‚Durchschnittsmenschen‘. Da die reale Mitarbeiterpopulation jedoch nur in den seltensten Fällen mit dieser Bewertungsbasis übereinstimmt, wird ein relativer Fehler im Ergebnis der Risikobewertung gebilligt.

Um die beschriebene Lücke zu schließen, stellt diese Arbeit einen Ansatz zur Integration personenbezogener Parameter wie Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe vor. Speziell der Bereich der Intralogistik wird genauer untersucht, da dort häufig ein sehr diverses Mitarbeiterkollektiv vorzufinden ist. Der gewählte Untersuchungsraum bietet darüber hinaus eigene Belastungscharakteristika, wie z. B. das Ziehen und Schieben von schweren Lasten, deren physische Anforderung ebenfalls in der hier entwickelten Risikobewertung berücksichtigt werden.

Die in dieser Arbeit entstandene nutzergruppenbezogene Risikobewertung stellt ein korrekatives sowie präventives Instrument zur Arbeitssystemgestaltung für die betriebliche Praxis dar. Die Bewertung stark gemischter Nutzerpopulationen und eine dezidierte Risikoabschätzung werden ermöglicht. Zuvor unentdeckte Defizite werden aufgedeckt und verhelfen so zu einem Erkenntnisgewinn zur nutzergerechten Gestaltung von Arbeitssystemen. Die programmierte Berechnung ist parametrisierbar angelegt, wodurch die Nutzung auch in anderen Kulturkreisen ermöglicht wird.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	- 1 -
1.1	Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung	- 1 -
1.2	Aufbau der Arbeit.....	- 4 -
2	Physische Belastungen und ihre Risikobewertbarkeit	- 6 -
2.1	Physisch belastende Tätigkeiten und ihre Auswirkung	- 6 -
2.1.1	Physische Belastungsarten	- 6 -
2.1.2	Belastung und Beanspruchung	- 9 -
2.2	Stand der Wissenschaft zur Bewertbarkeit physischer Belastungen	- 10 -
2.2.1	Komplexitätsgrad von Risikobewertungen physischer Belastungen.....	- 11 -
2.2.2	Analyse und Bewertung unterschiedlicher Belastungsfälle.....	- 12 -
3	Arbeitssysteme und ihre Gestaltung	- 21 -
3.1	Logistik, Intralogistik und ihre Besonderheit im Automobilbau.....	- 24 -
3.1.1	Logistik	- 24 -
3.1.2	Intralogistik – Arbeitssysteme bei einem Automobilhersteller	- 25 -
3.2	Wandel der Arbeitswelt.....	- 29 -
3.2.1	Demografischer Wandel	- 29 -
3.2.2	Altern – Veränderung der physischen Leistungsfähigkeit.....	- 31 -
3.3	Mitarbeiterstruktur im Untersuchungsraum.....	- 35 -
4	Potenzialanalyse von Risikobewertungen bezogen auf intralogistische Arbeitssysteme	- 41 -
4.1	Auswahl geeigneter Risikobewertungen	- 41 -
4.2	Prüfung der Anwendbarkeit ausgewählter Risikobewertungen.....	- 44 -
4.3	Festgestellte Defizite und Ableitung von Anforderungen an die zu entwickelnde Risikobewertung.....	- 46 -



II

5	Ermittlung der subjektiven Beanspruchung	- 48 -
5.1	Erarbeitung eines anforderungsgerechten Fragebogens	- 48 -
5.2	Vorbereitung, Durchführung und statistische Auswertung	- 50 -
5.3	Ergebnisse der Befragung zur subjektiv empfundenen Beanspruchung	- 51 -
6	Belastungen und Beanspruchung durch manuelle Lastenhandhabung ..	- 62 -
6.1	Belastungen bei manueller Lastenhandhabung	- 62 -
6.1.1	Belastungen beim Umsetzen	- 62 -
6.1.2	Belastungen beim Ziehen und Schieben	- 65 -
6.2	Ermittlung der Belastung beim Ziehen und Schieben – Versuchsaufbau	- 67 -
6.3	Versuchsauswertung – Ergebnisse und Analysen	- 71 -
6.4	Beanspruchung durch manuelle Lastenhandhabung	- 76 -
6.4.1	Beanspruchung beim Umsetzen	- 78 -
6.4.2	Beanspruchung beim Ziehen und Schieben	- 79 -
6.5	Spitzenbelastungen unterschiedlicher Ausführungsbedingungen beim Ziehen und Schieben	- 85 -
7	Analyse des Einflusses der Körperhöhe durch Simulation von charakteristischen intralogistischen Kerntätigkeiten	- 90 -
7.1	Beschreibung des Simulationswerkzeugs CharAT Ergonomics	- 91 -
7.2	Darstellung der simulierten Szenarien und Ergebnisse	- 92 -
8	Entwicklung einer Risikobewertung physischer Belastungen unter Berücksichtigung personenbezogener Parameter	- 95 -
8.1	Entwicklung eines anforderungsgerechten Ansatzes zur Integration relevanter Bewertungseinflüsse	- 95 -
8.1.1	Integration der personenbezogenen Einflussparameter Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe	- 99 -
8.1.2	Berechnung des Risikospektrums mit der entwickelten Risikobewertung	- 106 -



8.2 Erprobung der entwickelten nutzergruppenbezogenen Risikobewertung RANG.....	- 111 -
8.3 Möglichkeiten der entwickelten Risikobewertung RANG.....	- 112 -
9 Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick	- 114 -
9.1 Zusammenfassung	- 114 -
9.2 Kritische Würdigung.....	- 116 -
9.3 Ausblick.....	- 118 -
Literaturverzeichnis	- 122 -
Anhang.....	- 143 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit.....	- 5 -
Abbildung 2: Übersicht der Komplexitätsgrade von Risikobewertungen und mögliche Belastungsfälle mit Beispielen	- 10 -
Abbildung 3: Arbeitssystem mit zugehörigen Systemelementen (REFA Bundesverband e. V., 2002, S. 65).....	- 21 -
Abbildung 4: Hierarchischer Aufbau der Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitssystemen nach Rohmert (1977), Luczak et al. (1989), Laurig (1992) und Bokranz und Landau (2006).....	- 22 -
Abbildung 5: Schematische Darstellung der gesamten Logistikkette	- 25 -
Abbildung 6: Tätigkeitscluster der Intralogistik eines Automobilherstellers.....	- 26 -
Abbildung 7: Demografischer Wandel in Deutschland. Prognosen bis 2040 unter Darstellung der unter 20-jährigen Bevölkerungsgruppe (grau), der Erwerbsbevölkerung zwischen 20 und 65 Jahren (grün) und der über 65-Jährigen (gelb) (Statistisches Bundesamt, 2017).....	- 30 -
Abbildung 8: Geschlechterspezifischer Unterschied der Körperkraft (Bokranz und Landau 2006, S. 230); (Glitsch 2004, S. 101); (Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, 2001, S. 31).....	- 33 -
Abbildung 9: Altersstruktur der Organisationseinheit Operative Intralogistik	- 37 -
Abbildung 10: Verteilung der Körperhöhe Organisationseinheit Operative Intralogistik.....	- 39 -
Abbildung 11: Körperhöhenverteilung von W5 bis M95 (Kamusella 2015b).....	- 40 -
Abbildung 12: Schematische Darstellung zum Vorgehen der angewendeten Potenzialanalyse	- 42 -
Abbildung 13: Ergebnisse der Mitarbeiterbefragung	- 52 -
Abbildung 14: Subjektives Qualifikationsempfinden und subjektive körperliche Fitness der Mitarbeiter	- 52 -
Abbildung 15: Vergleich der Anzahl genannter Beschwerden – links 95 % Konfidenzintervall für männliche und weibliche Logistikfachkräfte, rechts die Anzahl von Beschwerden in Abhängigkeit von der Körperhöhe.....	- 53 -
Abbildung 16: Häufigkeit und Intensität von gesundheitlichen Beschwerden.....	- 54 -

Abbildung 17: Mittelwerte für Häufigkeiten der verschiedenen Merkmale der Arbeitsinhalte.....	- 58 -
Abbildung 18: Kräfte beim Umsetzen von Lasten.....	- 63 -
Abbildung 19: Wirkende Kräfte bei der Bewegung von Transportwagen.....	- 66 -
Abbildung 20: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Körperkräfte beim Ziehen und Schieben.....	- 69 -
Abbildung 21: Am Transportwagen montierte Kraftmessgriffe.....	- 70 -
Abbildung 22: Exemplarischer Kraft-/Zeitverlauf eines geübten Probanden mit einem 900 kg schweren Transportwagen.....	- 71 -
Abbildung 23: Multi-Vari-Chart der maximalen effektiven Aktionskraft der 20 Probanden. Unterteilt in drei Gewichtsvarianten sowie Ziehen und Schieben.....	- 73 -
Abbildung 24: Boxplot-Chart der Aktionskraft mit Median, Quartilen und Spannweite von geübten und ungeübten Probanden; $n_{\text{geübt}} = 75$ je Messpunkt; $n_{\text{ungeübt}} = 225$ je Messpunkt.....	- 74 -
Abbildung 25: Mittelwert und 95%iges Konfidenzintervall geübter Logistikfachkräfte für das Ziehen und Schieben nach Anfahren und Anhalten und Gewichten unterteilt; $n = 75$ je Messpunkt.....	- 75 -
Abbildung 26: Eingenommene Körperhaltung eines geübten Logistikmitarbeiters mit menschlichen Körpermodellen, erzeugt mit dem ‚Dortmunder‘; Links: Schieben - Anfahren; Rechts: Ziehen - Anfahren (Conrad und Jäger, 2017).....	- 80 -
Abbildung 27: Belastung der Wirbelsäule beim Schieben und Ziehen ermittelt mit dem ‚Dortmunder‘.....	- 82 -
Abbildung 28: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Kräfte bei konstanter Zugkraft von Transportwagen.....	- 86 -
Abbildung 29: Charakteristischer Kraftverlauf beim Ziehen mit in Fahrtrichtung ausgerichteten Rädern.....	- 86 -
Abbildung 30: Boxplot-Charts mit Median und Quartilen der experimentell ermittelten Kraft auf zwei unterschiedlichen Böden, in drei Gewichtsvarianten und mit unterschiedlich ausgerichteten Rädern; $n = 8$ je Messpunkt (ausgenommen Messpunkt Räder nicht in Fahrtrichtung auf rauem Boden, $n = 2$) (Conrad und Schmauder 2016).....	- 88 -
Abbildung 31: Vergleich der eingenommenen Körperhaltung einer kleinen Frau und eines größeren Mannes beim Kommissionieren.....	- 90 -



VI

Abbildung 32: Auszüge aus dem simulierten Szenario ‚Kommissionieren GLT‘ mit fortlaufender OWAS-Bewertung (Kamusella 2014)	- 92 -
Abbildung 33: Auszüge aus dem simulierten Szenario ‚Kommissionieren aus Standardregalsystemen‘ (Kamusella 2014)	- 93 -
Abbildung 34: Menschmodelle in den drei Grundhaltungen Stehen, Sitzen, Knien/Hocken mit physiologisch großem Greifraum (Kamusella 2015a)	- 100 -
Abbildung 35: Menschmodelle in unterschiedlich stark vorgeneigten Körperhaltungen (Kamusella 2015a)	- 100 -
Abbildung 36: Zugriffsräume für Frauen zwischen dem 5. und 95. Körperhöhenperzentil in stehender Körperhaltung	- 102 -
Abbildung 37: Idealisierter Altersverlauf nach Siemens und Derivaten (Glitsch et al. 2004, S. 101); (Wakula et al., 2009, S. 167)	- 105 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berücksichtigte Risikobewertungen physischer Belastungen der Potenzialanalyse	- 42 -
Tabelle 2: Anforderungen an Risikobewertungen zur Potenzialanalyse und deren Wichtigkeit.....	- 43 -
Tabelle 3: Ergebnisse der Risikobewertung von 15 Referenzarbeitsplätzen der Intralogistik.....	- 45 -
Tabelle 4: Subjektiv empfundene Beanspruchungsbereiche der fünf Logistikcluster Logistikcluster.....	- 57 -
Tabelle 5: Hypothesen zu verschiedenen Merkmale der Arbeitstätigkeit und ihre Wirkung auf die physische Beanspruchung	- 61 -
Tabelle 6: Richtwerte für das beidhändige Umsetzen von Lasten für Frauen und Männer (BMAS, 2006, S. 8)	- 64 -
Tabelle 7: Gewichtsverteilung transportierter KLT	- 64 -
Tabelle 8: Berechnung der Stichprobengröße n^* ungeübter und geübter Mitarbeiter.....	- 68 -
Tabelle 9: Richtwerte für das Ziehen und Schieben nach BMAS (2006, S. 8)	- 74 -
Tabelle 10: Dortmunder Richtwerte – Empfehlungen für die maximale Kompressionsbelastung der Lendenwirbelsäule (Jäger et al., 2001, S. 365).....	- 77 -
Tabelle 11: Experimentell ermittelte Kraftmittelwerte von geübten Logistikfachkräften beim Ziehen und Schieben von Transportwagen.....	- 81 -
Tabelle 12: Beurteilungsschema der lumbosakralen Momente beim Handhaben von Lasten nach Tichauer (1978).....	- 84 -
Tabelle 13: OWAS-Bewertung für Körperhaltungen vier unterschiedlicher Menschmodelle	- 94 -
Tabelle 14: Physiologisch großer Greifraum für unterschiedliche Menschmodelle bei verschiedenen Körperhaltungen	- 101 -
Tabelle 15: Maximalkräfte des 15. und 40. Kraftperzentils für Männer nach Wakula et al. (2009, S. 80)	- 103 -
Tabelle 16: Maximalkräfte des 15. und 40. Kraftperzentils für Frauen nach Wakula et al. (2009, S. 80)	- 104 -



VIII

Tabelle 17: Eingabeoberfläche des Moduls ‚Körperhaltung‘ mit Beispieleingaben.....	- 107 -
Tabelle 18: Eingabeoberfläche für das Modul ‚Körperhaltung mit Aktionskräften‘ mit Beispieleingaben	- 108 -
Tabelle 19: Eingabeoberfläche für die Parameter des Moduls ‚Manuelle Lastenhandhabung‘ mit Beispieleingaben.....	- 109 -
Tabelle 20: Ergebnisdarstellung der entwickelten Risikoberechnung eines beispielhaft gewählten Arbeitsplatzes	- 109 -
Tabelle 21: Risikopunkte von 15 intralogistischen Arbeitsplätzen, bewertet durch EAWS, NPW, IAD-BkB, MLT, APSA und die hier entwickelte Risikobewertung RANG.....	- 111 -
Tabelle 22: SWOT-Analyse der entwickelten Risikobewertung RANG	- 117 -

Abkürzungs- und Formelverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AAWS	Automotive Assembly Worksheet
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
APSA	Arbeitsplatz-Struktur-Analyse
AU	Arbeitsunfähigkeit
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BK	Berufskrankheit
BkB	Bewertung körperlicher Belastung
BKK	Betriebskrankenkasse
BMA	Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
CUELA	Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
EAWS	Ergonomic Assessment Worksheet
EMG	Elektromyografie
e. V.	Eingetragener Verein
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
GLT	Großladungsträger
H0	Nullhypothese
HA	Alternativhypothese
HHT	Heben, Halten, Tragen
HVBG	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
IAD	Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt
IE	Industrial Engineering
IfADo	Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
KLT	Kleinladungsträger
L5-S1	Lumbosakrale Bandscheibe zwischen 5. Lendenwirbel und Kreuzbein
LGW	Leistungsgewandelte
LMM	Leitmerkalmethode
M5	Mann des 5. Körperhöhenperzentils
M50	Mann des 50. Körperhöhenperzentils
M95	Mann des 95. Körperhöhenperzentils
MA	Manuelle Arbeit
MDD	Mainz-Dortmunder-Dosismodell
MLT	Multiple-Lasten-Tool
MSS	Muskel-Skelett-System



X

NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NPW	New Production Worksheet
Nr.	Nummer
OCRA	Occupational Risk Assessment of Repetitive Movements and Exertions of the Upper Limb
OE	Organisationseinheit
OEM	Original Equipment Manufacturer
OWAS	Ovako Working posture Analysis System
PEP	Produktentstehungsprozess
Pkt.	Punkte
RANG	RisikoAnalyse NutzerGruppenbezogen
S.	Seite
TOP	Technik-Organisation-Personal
VBA	Visual Basic for Applications
W5	Frau des 5. Körperhöhenperzentils
W50	Frau des 50. Körperhöhenperzentils
W95	Frau des 95. Körperhöhenperzentils
ZS	Ziehen und Schieben

Einheit	Bedeutung
kg	Kilogramm
m	Meter
mm	Millimeter
sec	Sekunde
h	Stunde
N	Newton
kN	Kilonewton
W	Watt

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
μ	-	Reibungskoeffizient
a	$\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$	Beschleunigung
b	-	Komponente der Oberkörperhaltung
c	-	Lastgewichtskomponente
F	N	Kraft
f	mm	Halbe radiale Auflagelänge Rad
g	$\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$	Erdanziehungskraft
k	-	Sicherheit der Aussage
LA	Jahre	Lebensalter
l_0	mm	Ausgangslänge
m	kg	Masse
n	-	Größe der Stichprobe
n^*	-	Benötigte Stichprobengröße
p	-	Signifikanzniveau
r	mm; m	Radius
rs	-	Korrelation nach Spearman
s	m	Weg
t	sec	Zeit
v	$\frac{\text{m}}{\text{sec}}$	Geschwindigkeit
W	Nm; Wsec	Arbeit
x^*	-	Geschätzter Kraftwert
y	%	Leistungsfähigkeit
z^*	-	Quantil der Standardabweichung
α	-	α -Risiko
Δ^*	-	Geschätzte Intervallbreite
Δl	mm	Längenänderung
ε	-	Dehnung
σ	-	Standardabweichung
σ^*	-	Geschätzte Standardabweichung



In der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich im männlichen Geschlecht geschrieben. Die Betrachtungen in dieser Arbeit schließen das weibliche Geschlecht in gleichem Maße mit ein. An den Stellen, wo eine Unterscheidung notwendig ist, wird diese Regelung ausgesetzt.





1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Ausgangslage und Motivation

Seit Beginn der industriellen Revolution unterliegt die Arbeitswelt einem stetigen Wandel. Trotz der rasanten technischen Entwicklung der vergangenen Jahrhunderte wird nach Botthof (2015, S. 25) der Mensch auch in den entstehenden Smart Factories – im Zeitalter von Industrie 4.0 – der entscheidende Produktionsfaktor bleiben. Bestehen bleiben auch die technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitssystemen. Pfister und Renn (1997, S. 2) kommen zu dem Schluss, dass sich der Wert eines Unternehmens neben dem Bilanzvermögen¹ und dem sonstigen immateriellen Vermögen² auch maßgeblich am Humankapital, also den Mitarbeitern mit ihrem Leistungspotenzial, bemisst. Der Mensch wird demnach nicht von intelligenten Maschinen ersetzt, sondern bleibt Mittel und Zweck nachhaltigen und erfolgreichen Wirtschaftens (Schmauder und Paritschkow, 2007, S. 182). Insbesondere in Bereichen wie der Logistik, in denen physisch (weite) Strecken überbrückt werden müssen, oft eine hohe Flexibilität gefordert ist und schnelle situationsabhängige Entscheidungen getroffen werden müssen, ist humane Reaktionsfähigkeit entscheidend. Für diese Art der Anwendungsfälle wäre eine technisch intelligente Lösung mit sehr hohen Investitionskosten verbunden und dadurch häufig nicht rentabel.

Neben dem technischen Wandel unterliegt auch die Bevölkerungs- und somit die Mitarbeiterstruktur insbesondere am Wirtschaftsstandort Deutschland einem Wandel. Die Mitarbeiterstruktur veränderte sich in den letzten Jahren mit steigender Geschwindigkeit. Unternehmen müssen sich auf eine älter werdende Belegschaft einstellen. Im Logistikbereich beispielsweise ist neben einer Zunahme des Durchschnittsalters auch eine höhere Frauenquote gegenüber anderen Gewerken zu beobachten. Auch leistungsgewandelte sowie ältere Mitarbeiter werden vermehrt eingesetzt, um diese vom Leistungsdruck und den hohen Belastungen, bedingt durch Takt- und Akkordvorgaben im Montagebereich, zu entlasten. Der demografische Wandel ist somit durch mehrere Facetten gekennzeichnet.

Es findet unter zunehmendem Wettbewerbsdruck auch im Bereich der Logistik eine wertschöpfungsorientierte Wandlung der Arbeitsinhalte statt. Dies führt zu veränderten und meist höheren Anforderungen an die Mitarbeiter und damit

¹ Finanzielles und physisches Kapital

² Organisatorisches Kapital und Beziehungskapital

verbunden zu höheren Belastungen. Diese Problematik wird sich nach Prognosen von Walch und Günthner (2009, S. 609–610) in den nächsten Jahren weiter verschärfen.

Diesen Herausforderungen, bedingt durch den demografischen Wandel und die zunehmende wertschöpfungsorientierte Ausrichtung, gilt es mit einer Anpassung der Arbeitssysteme (Definition folgt in Kapitel 3) zu begegnen, um die Wettbewerbsfähigkeit dauerhaft zu erhalten (Dreves, 2012, S. 42). Um Arbeitssysteme menschengerecht gestalten zu können, ist es im ersten Schritt erforderlich, deren physische Risiken zu kennen und zu bewerten. Nur wenn ergonomische Defizite erkannt werden, können diese in aktuellen und geplanten Arbeitsplatzgestaltungen behoben bzw. vermieden werden.

Speziell der Bereich der Intralogistik, also der innerbetriebliche Warenstrom vom Wareneingang bis zum Warenausgang (Walch, 2011, S. 25), birgt eigene charakteristische Arbeitsaufgaben, die stark von manuellen Tätigkeiten geprägt sind. Diese Tätigkeiten wirken auf die Mitarbeiter physisch belastend und lösen, wie von Rohmert (1984, S. 194) beschrieben, eine individuelle Beanspruchung aus (nähere Erläuterung folgt in Kapitel 2.1.2). Nach Nohl (1989, S. 79–80), dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2006, S. 2) und Badura und Ducki (2014, S. 78–80) bewirken schwere manuelle Tätigkeiten und Arbeiten in extremer Rumpfbeugehaltung Erkrankungen des Bewegungsapparates, insbesondere der Wirbelsäule. Nach Zahlen des Gesundheitsreports aus dem Jahr 2016 hatten Erkrankungen des Muskel-Skelett-System (MSS) einen Anteil von 21,7 % am Krankenstand (Rebscher, 2016, S. 18). Damit liegt diese Krankheitsart, wie auch in den Jahren zuvor, wieder an der Spitze (BKK Dachverband e. V., 17.12.2013, S. 1); (Kordt, 2014, S. VI, 16); (BMAS, 2014, S. 42); (Hartmann et al., 2013). Dieser Entwicklung können nach Schmauder und Hoffmann (2009, S. 199) ergonomisch positiv beeinflussende Maßnahmen am Arbeitsplatz entgegenwirken. Gesundheitliche Schädigungen werden somit reduziert.

Um schädigende Belastungen zu vermeiden und gegen die Entstehung von Muskel-Skelett-Erkrankungen anzukämpfen, werden Risikobewertungen physischer Belastungen eingesetzt. Mittels dieser Bewertungen werden ergonomische Defizite aufgedeckt, die im Anschluss behoben werden können. Gesundheitsschädigende Arbeitseinflüsse können so vermieden werden.

Die derzeit gängigen Methoden haben ihren Ursprung meist in der Bewertung von Montagetätigkeiten. Diese Risikobewertungen berücksichtigen nach Goldscheid (2007, S. 71) logistikspezifische Anforderungen jedoch häufig nicht oder nur unzureichend. Darüber hinaus besteht ein weiteres Defizit: Risikobewertungen dieser Art beziehen sich in der Regel auf einen ‚Durchschnittsmenschen‘³. Diese Bewertungsbasis gewährleistet eine gleichermaßen ergonomische und ökonomische Risikobeurteilung, weil nicht für jeden Mitarbeiter individuell eine eigene Analyse und Bewertung erstellt werden muss. Da die reale Mitarbeiterpopulation jedoch nur in den seltensten Fällen

³ Meist männlich mit einer Körperhöhe von 175 cm

mit der Bewertungsbasis übereinstimmt, wird ein relativer Fehler im Ergebnis der Risikobewertung gebilligt. Dieses Vorgehen ist der Tatsache geschuldet, dass in vielen Industriezweigen Mitarbeiter durch Arbeitsplatzrotation und Schichtarbeit in unterschiedlichen Arbeitssystemen eingesetzt werden. Falls personenbezogen bewertet würde, entstünden so unzählige Analyse- und Bewertungsvarianten für jede einzelne Kombination aus Arbeitsplatz und Mitarbeiter. Ein solches Vorhaben mit den bekannten, konventionellen Risikobewertungen stellt einen ökonomisch nicht leistbaren Aufwand dar.

Dieses Vorgehen einer Bewertung, basierend auf einem ‚Durchschnittsmenschen‘ und einer eventuell nicht ausreichenden Berücksichtigung intralogistischer Tätigkeiten, stellt eine wissenschaftliche Lücke dar, die mit dieser Arbeit geschlossen werden soll. Zukünftig soll das Risiko, bedingt durch physische Tätigkeiten für eine vorliegende Mitarbeiterpopulation, möglichst genau bewertet werden können, ohne dabei den Analyseaufwand zu steigern.

Aus den genannten Gründen ergeben sich für diese Arbeit zwei Anforderungen:

1. Berücksichtigung logistikrelevanter Tätigkeiten in der Risikobewertung
2. Integration personenbezogener Parameter der allgemeinen Arbeitsbevölkerung, ohne den Analyseaufwand zu steigern

Für die Untersuchung der beschriebenen Problemstellung wird die operative Intralogistik im Automobilwerk Audi Neckarsulm gewählt. Aktuell wird im Untersuchungsraum eine unternehmenseigene Risikobewertung physischer Tätigkeiten angewendet, die den zuvor genannten Bedingungen entspricht⁴. Die operative Intralogistik beinhaltet Tätigkeitsfelder, die sich von Montagetätigkeiten unterscheiden und stellt somit – resultierend aus arbeitsbedingten physischen Belastungen – eigene Anforderungen an die Bewertung des Risikos. In diesem Bereich sind zum Zeitpunkt der Untersuchungen ca. 730 Mitarbeiter beschäftigt, deren Struktur aufgrund von Geschlechter- und Altersverteilung als divers bezeichnet werden kann. Daraus ergeben sich ideale Untersuchungsbedingungen für die vorliegende Fragestellung zur Beseitigung der beschriebenen wissenschaftlichen Lücke.

Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, eine nutzergruppenbezogene Risikobewertung physischer Tätigkeiten, insbesondere für die Intralogistik, zu erarbeiten. Das zu entwickelnde Verfahren soll neben der Analyse auch direkt eine Bewertung des Risikos, bedingt durch physisch belastende Tätigkeiten, ergeben. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der Arbeit von einer Risikobewertung gesprochen. Aufgrund einer sich wandelnden Mitarbeiterstruktur sollen zusätzlich individuelle Parameter der Mitarbeiter in die Bewertung integriert werden. In dieser Arbeit wird untersucht, welche

⁴ Die Methode wurde für die Bewertung von Montagetätigkeiten entwickelt und bezieht sich auf einen Durchschnittsmenschen (Körperhöhe 175 cm, männlich).

die entscheidenden personenbezogenen Einflussparameter sind und wie sich deren Ausprägungen in eine Risikobewertung einbinden lassen. Der zeitliche Aufwand gegenüber einer konventionellen Risikobewertung soll sich durch die Berücksichtigung dieser Parameter jedoch nicht erhöhen. Eine solche Art der Risikobewertung physischer Belastungen ist mit aktuell verfügbaren Verfahren in dieser Form nicht möglich. Mittels der hier zu entwickelnden Risikobewertung sollen ergonomische Defizite von vorhandenen und geplanten Arbeitssystemen differenziert identifiziert werden können und in letzter Konsequenz soll zu deren Beseitigung beigetragen bzw. deren Realisierung verhindert werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Das Vorgehen zur Entwicklung einer nutzergruppenbezogenen Risikobewertung wird in Abbildung 1 dargestellt.

Nach der Einleitung folgen in Kapitel 2 arbeitswissenschaftliche Grundlagen, mit denen die Arten physischer Belastungen und deren im Menschen wirkende Beanspruchung erklärt werden. Anschließend wird der Stand des Wissens zur ergonomischen Bewertbarkeit physischer Belastungen anhand deren Komplexitätsgrad und unterschiedlicher Belastungsfälle dargestellt.

Für ein einheitliches Verständnis eines Arbeitssystems wird dieses zu Beginn des 3. Kapitels definiert und im Folgenden werden dessen Spezifika bezogen auf die Intralogistik vorgestellt. Ebenfalls in diesem Kapitel werden Auswirkungen und Herausforderungen, bedingt durch den Wandel der Arbeitswelt, bestehend aus dem demografischen Wandel und den sich ändernden Anforderungen an die Mitarbeiter, aufgezeigt. Das Kapitel schließt mit der Darstellung der Mitarbeiterstruktur und vermittelt so einen Überblick über den vorliegenden Untersuchungsraum.

Die beiden vorausgegangenen Kapitel bilden die Basis für das 4. Kapitel. Darin werden die Anforderungen an eine Risikobewertung physischer Belastungen beschrieben. Anhand einer Potenzialanalyse werden die am besten geeigneten Risikobewertungen in Bezug auf die vorliegenden Fragestellungen identifiziert. Diese werden anschließend an 15 typischen Arbeitsplätzen der operativen Intralogistik angewendet. Die erzielten Ergebnisse werden mit denen der unternehmenseigenen Risikobewertung verglichen.

Parameter, die in den angewendeten Risikobewertungen nicht enthalten, jedoch relevant für eine nutzergruppenbezogene Analyse sind, werden in den Kapiteln 5 bis 7 tiefergehend untersucht. Im Untersuchungsteil der Arbeit wird in Kapitel 5 mit der Ermittlung der subjektiven Beanspruchung durch eine Mitarbeiterbefragung begonnen. Vorgehen und Ergebnisse werden dargestellt. Typische Belastungen der Intralogistik werden in Kapitel 6 analysiert und bewertet. Dazu werden unter anderem ein Versuchsaufbau und die Ergebnisse zu Messungen von Körperkräften beim Ziehen und Schieben von Transportwagen erläutert. Andere wissenschaftliche Ergebnisse weisen einen Zusammenhang von Dosis-Wirkung-Beziehung zwischen erhöhter Belastung durch manuelle Tätigkeiten und Wirbelsäulenerkrankungen nach. Daraus

ergibt sich die arbeitswissenschaftliche Fragestellung, welche Wirkung die ermittelten Kräfte auf den Menschen ausüben. Diese wird anhand von biomechanischen Modellen berechnet. Im letzten Untersuchungsteil (Kapitel 7) wird der Einfluss der Körperhöhe auf die Körperhaltung bei logistischen Standardtätigkeiten mittels Simulation geprüft und beschrieben.

Die Resultate aus dem Untersuchungsteil der Arbeit fließen in die Entwicklung einer neuen Risikobewertung physisch belastender Tätigkeiten unter Berücksichtigung personenbezogener Parameter ein. Deren Entwicklung wird in Kapitel 8 erläutert, die Anwendbarkeit und Ergebnisse anschließend in einem Fallbeispiel verifiziert und deren Möglichkeiten und Einsatzspektrum dargestellt.

Abschließend werden in Kapitel 9 die Ergebnisse zusammengefasst, Inhalte kritisch hinterfragt und ein Ausblick gegeben.

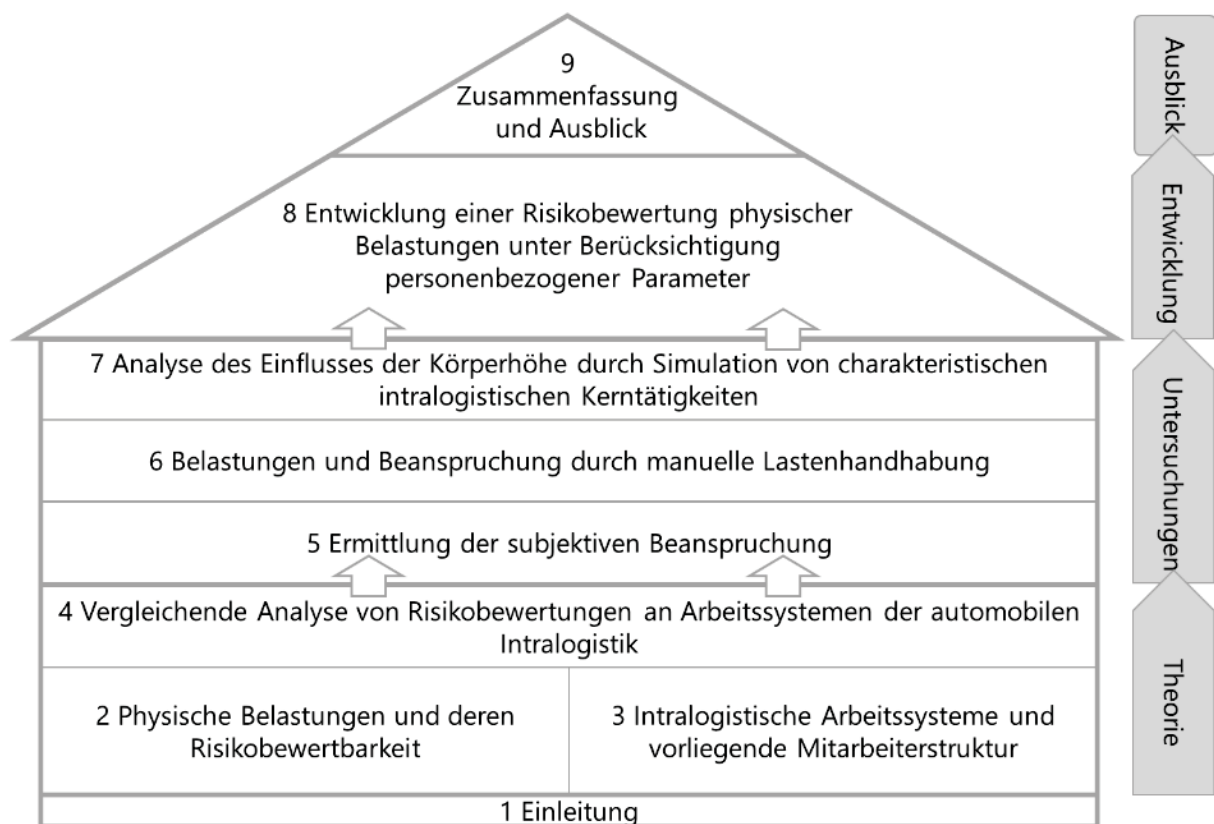


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

2 Physische Belastungen und ihre Risikobewertbarkeit

Im folgenden Kapitel werden einleitend die auftretenden physischen Belastungen und deren im Menschen wirkende Beanspruchung erläutert. Dazu erfolgt im ersten Schritt die Erklärung der in dieser Arbeit relevanten Begriffe.

Im zweiten Teil dieses Kapitels werden Risikobewertungen – von Abschätzungen bis hin zu Messungen – nach ihren Komplexitätsgraden dargestellt. Die unterschiedlichen Arten tätigkeitsbezogener Belastungen, beispielsweise aus manueller Lastenhandhabung, Körperkräften usw., werden abschließend in diesem Kapitel erläutert.

2.1 Physisch belastende Tätigkeiten und ihre Auswirkung

2.1.1 Physische Belastungsarten

Unter physischer Belastung versteht man nach Nohl (1989, S. 79) die Grundform menschlicher Anstrengung, bei der mit Muskelkraft eine Arbeit verrichtet wird. Bezogen auf den Untersuchungsraum erfordert die abverlangte Arbeit überwiegend die mechanischen und motorischen Fähigkeiten der Mitarbeiter. Das MSS wird dabei hauptsächlich durch die zwei Grundformen der isometrischen und isotonischen Muskelarbeit beansprucht. DIN 33411-1:1982-09 erläutert die Zusammenhänge und Bestimmungsgrößen:

Isotonische Muskelarbeit

Die isotonische Muskelarbeit, auch bekannt als dynamische Arbeit, ist durch eine Verkürzung der Muskellänge gekennzeichnet. Dabei wird nach physikalischer Definition Arbeit W [Nm; Ws] geleistet (Nohl, 1989, S. 80); (Holzmann et al., 2012, S. 84). Diese setzt sich aus dem Produkt einer Kraft F [N] und der zurückgelegten Wegstrecke s [m] zusammen und wird aus physikalischer Sicht folgendermaßen definiert:

$$\text{Arbeit aus physikalischer Sicht: } W_{dyn} = \int_{s_0}^{s_1} F(s) * ds$$

Bei dynamischer Muskelarbeit bewirkt der Wechsel zwischen Anspannung und Entspannung eine ausgeglichene Versorgungsbilanz des Muskels. Durch abwechselnde Kontraktion und Entspannung fungiert der Muskel als Pumpe (Silbernagl und Despopoulos, 2012, S. 78); (Bokranz und Landau, 2006, S. 244), wodurch er mit zeh- bis zwanzigfacher Blutmenge im Vergleich zum Ruhezustand versorgt wird (Schmauder und Spanner-Ulmer, 2014, S. 188). Die Belastungsgrenze ist in diesem Fall von der Blutfördermenge durch den Muskel bestimmt (Bokranz und Landau, 2006, S. 219). Dynamische Arbeit im niederfrequenten Bereich ist zu

bevorzugen, da diese das niedrigste Gesundheitsrisiko birgt. Hochfrequente Bewegungen sollten hingegen vermieden werden, da diese mit einem hohen Gesundheitsrisiko verbunden sind (DIN EN 1005-4:2009-01, S. 10).

Isometrische Muskelarbeit

Isometrische Muskelarbeit, auch statische Muskelarbeit genannt, liegt nach DIN EN 1005-1:2009-04 (S. 12) dann vor, wenn Haltungen mit gleichbleibendem oder nur gering veränderlichem Kraftniveau länger als vier Sekunden eingenommen werden. Die statische Muskelarbeit ist durch Kraftaufwand ohne Änderung der Muskellänge gekennzeichnet. Da kein Weg zurückgelegt wird, ist die Arbeit im physikalischen Sinne gleich null. Trotzdem wird chemische Energie in sogenannte Haltearbeit umgewandelt, weshalb von Arbeit im physiologischen Sinne gesprochen wird (Bokranz und Landau, 2006, S. 217); (Silbernagl und Despopoulos, 2012, S. 78); (Boutellier und Ulmer, 2007, S. 924). Diese setzt sich aus dem Produkt einer Kraft F [N] und Haltedauer t [sec] zusammen:

$$\text{Arbeit aus physiologischer Sicht: } W_{stat} = \int_{t_0}^{t_1} F(t) * dt$$

Bei statischer Muskelarbeit ermüdet der eingesetzte Muskel sehr schnell, da durch den Muskelinnendruck die Kapillaren nicht mehr durchblutet werden und demzufolge die Blutversorgung der Muskeln stark gedrosselt bis ganz abgeschnürt wird (Bokranz und Landau, 2006, S. 243, 295); (Silbernagl und Despopoulos, 2012, S. 78). Es kommt zu einer Unterversorgung mit Sauerstoff und Zucker. Die Folge ist sogenannte anaerobe Muskelarbeit, bei der Schlackestoffe entstehen, die nicht in ausreichendem Maße abtransportiert werden können. Bei anhaltender Dauer kommt es zu einer Überforderung der Muskulatur, die lokal zu starker Ermüdung und Schmerzen führen kann. Nach Schlick et al. (2010, S. 232) kommt es bereits zu lokaler Muskelermüdung und somit zu einer Begrenzung der möglichen Ausübungsdauer, wenn Kräfte von mehr als 15 % der personenbezogenen Maximalkraft aufgebracht werden müssen.

Bei längerer Wiederholung solcher Arbeitsformen können zudem Abnutzungserscheinungen an Gelenken, Bändern und Sehnen auftreten (Hartmann et al., 2008, S. 456); (Schmauder und Spanner-Ulmer, 2014, S. 187). Aufgrund dessen sollte statische Arbeit vermieden werden, da sie nach DIN EN 1005-4:2009-01 (S. 10) mit einem hohen Gesundheitsrisiko verbunden ist.

Auftreten muskulärer Arbeit und deren Auswirkungen

Körperkräfte treten bei der Durchführung von Bewegungen des Körpers und seiner Gliedmaßen sowie bei Körperzwangshaltungen auf. Eine Körperkraft ist die Kraft, die bei einer manuellen Tätigkeit im Zusammenhang mit dem menschlichen Körper entsteht und belastend auf das physiologische System wirkt (DIN 33411-1:1982-09, S. 1). Körperkräfte können in Muskel-, Massen- und Aktionskräfte unterteilt werden. Muskelkraft entsteht durch Aktivität der Muskeln und wirkt innerhalb des Körpers. Sie

wird, wie zuvor beschrieben, in statische und dynamische Muskelkraft unterschieden. Massenkraft wirkt auf den Körper als Trägheitskraft, beispielsweise als Beschleunigungskraft von Körpermaßen und zu bewegenden Gegenständen. Eine Aktionskraft wirkt vom Körper nach außen und ergibt sich aus Massen- oder Muskelkraft oder aus beiden Kraftarten gemeinsam, die sich je nach Höhe und Richtung gegenseitig verstärken oder abschwächen können. Eine Aktionskraft wird dem kraftgebenden Körperteil zugeordnet und z. B. in Ganzkörper-, Arm-, Hand-, Bein- oder Fingerkraft eingeteilt (DIN 33411-1:1982-09, S. 1). Jedes Körpersegment verfügt über eine maximal ausführbare Aktionskraft. DIN 33411-4:1987-03 (S. 1) gibt einen Überblick über maximal erreichbare statische Armkräfte in horizontale und senkrechte Richtungen. Die jeweiligen Maximalkräfte sind in Isodynen unter Berücksichtigung der Seiten- und Höhenwinkel sowie der Reichweite dargestellt. Weitere maximal statische Aktionskräfte für unterschiedliche Betätigungsfälle, die als Grenzen der Ausführbarkeit anzusehen sind, finden sich in DIN 33411-3:1986-19 und DIN 33411-5:1999-11.

Auch bei einer Körperzwangshaltung treten Körperkräfte auf. Eine Zwangshaltung ist eine Position außerhalb der natürlichen Balance des Körpers, auch als physiologische Nulllage bezeichnet, die über eine längere Zeit mit nur eingeschränkten Bewegungsmöglichkeiten eingenommen werden muss (Hartmann et al., 2008, S. 455). In industriellen Arbeitssystemen treten Körperzwangshaltungen häufig in Verbindung mit Aktionskräften auf. Die Gesamtbelastung für den Organismus entsteht dabei aus Ausführungsdauer und Häufigkeit gepaart mit Aktionskräften und der eingenommenen Körperhaltung (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2007, S. 21). Bei jeder Art von Muskelarbeit, sei sie statisch oder dynamisch, müssen nach Bokranz und Landau (2006, S. 243) die physiologischen Rahmenbedingungen, nämlich das Zusammenwirken von Herz, Lunge und Kreislauf zur Nährstoff- und Sauerstoffversorgung der beanspruchten Bereiche, mitberücksichtigt werden. Im Untersuchungsraum dieser Arbeit werden Körperkräfte meist infolge einer Lastenhandhabung erzeugt. Besonders beansprucht bei dieser energetisch-effektorischen Arbeitsform ist die Wirbelsäule (Jäger et al., 2011, S. 341–364). Deshalb ist das Handhaben von Lasten die wohl häufigste Ursache für Wirbelsäulenerkrankungen (Bokranz und Landau, 2006, S. 297). Gestützt wird diese Aussage durch die Anerkennung von bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule aufgrund langjähriger Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung oder mit häufiger manueller Lastenhandhabung durch das BMAS (2006, S. 1). Grundsätzlich sollen die Risiken einer Erkrankung des gesamten MSS, resultierend aus der Arbeitsaufgabe, so weit wie möglich reduziert werden.

2.1.2 Belastung und Beanspruchung

Der Zusammenhang zwischen physischer Belastung und Beanspruchung wurde erstmals in den 1960er Jahren konzeptionell beschrieben und leitete sich aus den Werkstoffeigenschaften, wie sie in der technischen Mechanik verstanden werden, ab. Zu Beginn der 1970er Jahre wurde daraufhin ein Ursache-Wirkungs-Modell zur Darstellung von Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhängen entworfen. Dieses hat sich im Laufe der Zeit von einem ingenieurwissenschaftlichen zu einem interdisziplinären Ansatz der Arbeitswissenschaft entwickelt (Rohmert, 1972, S. 229–235); (Rohmert, 1984, S. 193–200); (Luczak, 1982, S. 30–50); (Luczak und Rohmert, 1997, S. 326–332); (Scheuch und Schröder, 1990, S. 79); (Scheuch, 1998, S. 498–503). Um eine Belastung zu ermitteln, ist es erforderlich, die Gesamtheit der Elemente des Arbeitssystems (Begriffserläuterung folgt in Kapitel 3), die eine physiologische und/oder psychologische Reaktion im menschlichen Körper hervorrufen, zu bestimmen und zu bewerten (Valentin et al., 1979); (Ueberle und Greiner, 2010, S. 259); (DIN EN ISO 26800:2011-11, S. 5); (DIN EN ISO 6385:2014-10, S. 7). Die resultierende Belastung setzt sich nach Rohmert (1960) aus dem Produkt von Belastungshöhe und Belastungsdauer zusammen und ist objektiv messbar. Die Reaktion des menschlichen Organismus auf eine Belastung drückt sich in Form der Beanspruchung aus, die nach DIN EN ISO 6385:2014-10 (S. 7) von individuellen Eigenschaften (z. B. Körperhöhe, Alter, Fähigkeiten usw.) abhängig ist. Sie ist deshalb je nach Ausprägung der individuellen Eigenschaften unterschiedlich (Bullinger, 1994, S. 30) und ruft eine Änderung der Leistungsfähigkeit des Organismus hervor (Valentin et al., 1979). Erkennbar wird eine steigende Beanspruchung durch die Änderung unterschiedlicher Kenngrößen wie beispielsweise der Herzfrequenz oder des Atemzeitvolumens (Boutellier und Ulmer, 2007, S. 924). Die Beanspruchung kann jedoch nicht als reine Funktion der Belastung gesehen werden, sondern hängt maßgeblich von Eigenschaften und Leistungsvoraussetzungen der Individuen ab (Nohl, 1989, S. 80); (Bullinger, 1994, S. 30); (Schlick et al., 2010, S. 39). Bokranz und Landau (2006, S. 214) beschreiben eine umso höhere Beanspruchung, je ungünstiger die individuellen physischen und psychischen Voraussetzungen sind. Gleiche Arbeitsbelastungen führen demnach zu individuell unterschiedlichen Beanspruchungen. Für die Gestaltung gesundheitsgerechter und gesundheitsfördernder Arbeitssysteme ist eine Bewertung der auf den Menschen wirkenden Belastung unerlässlich (Schmauder und Spanner-Ulmer, 2014, S. 231), die, wie bereits beschrieben, objektiv messbar ist. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Risikobewertung entwickelt, die eben diese Belastungen entsprechend quantifiziert.

2.2 Stand der Wissenschaft zur Bewertbarkeit physischer Belastungen

Oberste Prämisse bei der Gestaltung von Arbeitssystemen bildet eine körperliche Unversehrtheit der Mitarbeiter. Aus diesem Grund verpflichtet die EU-Richtlinie 89/391/EWG Arbeitgeber, für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz ihrer Arbeitnehmer in Bezug auf alle Aspekte, die die Arbeit betreffen, Sorge zu tragen (Rat der Europäischen Gemeinschaft, 2007). Diese Richtlinie ist durch das Arbeitsschutzgesetz und die korrespondierende Lastenhandhabungsverordnung in nationale Gesetze übertragen worden und schreibt eine Analyse der Belastung und eventueller Gefährdung am Arbeitsplatz vor (BMAS, 21.08.1996); (Bundesrat, 20.12.1996). Dementsprechend hat der Arbeitgeber die Pflicht, vor Inbetriebnahme und während der Tätigkeit in einem Arbeitssystem, regelmäßig eine Gefährdungsbeurteilung zur Quantifizierung des Risikos physischer Belastungen durchzuführen (Nöllenheidt und Brenscheidt, 2014, S. 77).

Es existiert eine Vielzahl von Verfahren zur Analyse und/oder Bewertung physischer Belastungen in unterschiedlichen Komplexitätsgraden für unterschiedliche Anwendungsfälle (Kugler et al., 2010, S. 10). Eine Übersicht mit einigen Beispielen zeigt Abbildung 2. Verfahren zur Risikobewertung lassen sich in vier unterschiedliche Komplexitätsgrade und anzuwendende Belastungsfälle aufteilen. Die vier Kategorien Grobscreening-, Screening-, Experten- und Messverfahren werden in 2.1.1 beschrieben. Anschließend werden in Kapitel 2.2.2 Verfahren für unterschiedliche Belastungsfälle wie manuelle Lastenhandhabung, Körperkräfte, Zwangshaltungen, repetitive Tätigkeiten und kombinierte Verfahren vorgestellt.

		Komplexitätsgrad			
		Grobscreeningverfahren	Screeningverfahren	Expertenverfahren	Messverfahren
Belastungsfälle	Lastenhandhabung	DIN EN 1005-2 Verfahren 1	Multiple-Lasten-Tool	NIOSH	Messfolien an Handschuhen
	Körperkräfte		Siemens und Derivate	Montagespezifischer Kraftatlas	Kraftmessgriffe, EMG
	Körperzwangshaltung		OWAS		CUELA
	Repetition		OCRA		Messhandschuhe
	Kombinierte Verfahren	APSA, AWS light	EAWS		Motion Capturing

Abbildung 2: Übersicht der Komplexitätsgrade von Risikobewertungen und mögliche Belastungsfälle mit Beispielen

2.2.1 Komplexitätsgrad von Risikobewertungen physischer Belastungen

Grobscreeningverfahren

Ziel von Grobscreeningverfahren ist eine schnelle und einfache Bewertung von manuellen Tätigkeiten, meist nach einer Drei-Zonen-Bewertung nach DIN EN 614-1:2009-06 (S. 20–21). Dabei werden zunächst Belastungsdauer und Belastungshöhe erfasst, Risikopunkten zugeordnet und anschließend multiplikativ miteinander verrechnet (Schaub et al., 2011, S. 620). Das Ergebnis ist eine grob orientierende Gefährdungsbeurteilung, die potenzielle Risikobereiche identifiziert und Belastungsschwerpunkte aufdecken kann. Der zeitliche Aufwand kann als verhältnismäßig gering eingestuft werden.

Screeningverfahren

Screeningverfahren sind, wie die zuvor beschriebene Kategorie auch, ohne ergonomische Detailkenntnisse von betrieblich geschulten Praktikern anwendbar. Belastungskategorien wie Häufigkeit, Dauer, Körperhaltung und Höhe der Belastung werden durch Beobachtung klassifiziert und miteinander zu einem Risikopunktwert verrechnet. Dieser wird in Ampelfarben übersetzt. Der Punktwert bzw. die zugeordnete Ampelfarbe kann eine ergonomische Optimierung des Arbeitsplatzes bedeuten. Verfahren dieser Kategorie erfordern etwas mehr Aufwand als Grobscreeningverfahren, sind jedoch auch zeitlich extensiv durchführbar. Diese Verfahrensart wird meist für die Beurteilung kombinierter, industrieller Tätigkeiten entwickelt, die einer gewissen Wiederholhäufigkeit bzw. einem Arbeitstakt unterliegen.

Expertenverfahren

Expertenverfahren erfordern tiefergehendes ergonomisches Wissen. Ihre Orientierung liegt auf besonderen Belastungsschwerpunkten, die beispielsweise aus (Grob-) Screeningverfahren gewonnen werden. Spezielle Tätigkeiten werden unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Belastungsmerkmalen und Randbedingungen erfasst und in Bewertungsalgorithmen, Indizes oder Punktwerten wiedergegeben. Der zeitliche Aufwand solcher Verfahren ist vergleichsweise hoch.

Messverfahren

Messen ist nach DIN 1319-1:1995-01 (S. 4) das Ausführen von geplanten Tätigkeiten zum qualitativen Vergleich der Messgröße mit einer Einheit. Bezogen auf ergonomische Messungen bedeutet dies die Erfassung biomechanischer Belastungsgrößen wie z. B. von Körperkräften oder Körperhaltungen (Kugler et al., 2010, S. 22). Zudem lassen sich auch physiologische Parameter wie z. B. die Sauerstoffaufnahme, die Atem- oder Herzfrequenz aufzeichnen. Die gemessenen Parameter werden anschließend mit der physikalischen Leistungsfähigkeit des Probanden in Beziehung gesetzt, um den Grad der Beanspruchung bestimmen zu können (Silbernagl und Despopoulos, 2012, S. 80).

Bei Messungen werden Sensoren am menschlichen Körper oder an den zu handhabenden Betriebsmitteln angebracht. Diese wandeln die physikalische Größe und ihre Änderungen in elektrische Signale um und übertragen diese Signale zu einem Auslesegerät und/oder Datenspeicher (Roddeck, 2012, S. 150–151).

Ein Beispiel für eine physiologische Messung ist die Oberflächen-Elektromyografie (EMG). Dabei wird über auf die Haut aufgeklebte Elektroden die Summe aller elektrischen Aktionspotenziale gemessen, die bei jeder Muskelaktivität entstehen und bei zunehmender Muskelanstrengung ansteigen (Bubb et al., 2015, S. 644). Die EMG-Messung wird von vielen Faktoren beeinflusst, wie der Elektrodenposition, dem Elektrodenandruck und den damit einhergehenden Grenzbedingungen zwischen Elektrode und Haut, dem Interelektrodenabstand, der Hautfaltendicke, der Oberflächentemperatur des menschlichen Körpers, der aktuellen Durchblutung und der Muskelarchitektur (Hüter-Becker und Dölken, 2005, S. 243). Damit lassen sich EMG-Daten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen worden sind, bezüglich ihrer Messergebnisse kaum miteinander vergleichen. Es sind nach Bubb et al. (2015, S. 644) lediglich relative Vergleiche innerhalb eines Versuchszyklus möglich.

In der betrieblichen Praxis spielen Messungen durch am Probanden fixierte Sensorsysteme aufgrund ihrer umständlichen und aufwendigen Handhabung nur eine untergeordnete Rolle. Messverfahren werden vorwiegend unter Laborbedingungen bei wissenschaftlichen Analysen verwendet (Bubb, 2007, S. 159). Im Rahmen dieser Arbeit finden physiologische Messungen wie die EMG daher keine Anwendung. Kraftmessungen hingegen werden im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt und in Kapitel 6.2 erläutert.

2.2.2 Analyse und Bewertung unterschiedlicher Belastungsfälle

Bewertung manueller Lastenhandhabung

Als manuelle Lastenhandhabung wird nach DIN EN 1005-1:2009-04 (S. 9) jede Tätigkeit verstanden, die „den Einsatz menschlicher Kraft zum Heben, Senken, Tragen oder andere Tätigkeiten zur Bewegung oder zur Bewegungshemmung eines Gegenstandes erfordert“. Bokranz und Landau (2006, S. 297) und Hartmann et al. (2008, S. 455) erweitern diese Definition um das Ziehen und Schieben von Lasten durch menschliche Körperkraft.

Nach Angaben der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2013, S. 6) können Lastenhandhabungen ohne technische Hilfsmittel zu Beschwerden und Erkrankungen des Rückens und der Gelenke führen. Zur Beurteilung dieser Art von Tätigkeit gibt es zahlreiche Verfahren. Die Publikation von Steinberg und Windberg (1998) beschreibt den Beginn der Ära zur physischen Risikoanalyse und Bewertung im Jahre 1994 in Deutschland. Bekannte Verfahren, die in den folgenden Jahren entwickelt wurden, sind die *Leitmerkmalmethoden (LMM)*, die nacheinander für die Beurteilung der drei Tätigkeitsfelder *Heben-Halten-Tragen (HHT)*, *Ziehen und Schieben (ZS)* und *Manuelle Arbeitsprozesse (MA)* entwickelt wurden und von der BAuA herausgegeben werden

(Kugler et al., 2010, S. 10). Die *LMM HHT* ist die erste Methode, die sich nicht, wie zuvor bekannte Verfahren, nur an Grenzkraften orientiert, sondern mit einem Drei-Zonen-Modell nach DIN 614 eine Risikoeinschätzung von Arbeitsplätzen vornimmt (Schaub et al., 2011, S. 620). Die Bewertung erfolgt in mehreren Stufen. Dazu werden die relevanten Parameter Lastgewicht, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen zunächst klassifiziert und tabellarisch zugehörigen Punktwerten zugewiesen. Diese Werte werden dann summarisch zusammengefasst und anschließend mit einem Punktwert multipliziert, der sich aus der Zeitdauer oder Häufigkeit der jeweiligen Tätigkeiten ergibt. Der so errechnete Wert wird in drei Risikobereiche (geringe, mittlere oder hohe Gesundheitsgefährdung) eingeteilt (BAuA, 2007, S. 30–35); (Schlick et al., 2010, S. 952). Dieser Risikowert kann für Männer und Frauen getrennt berechnet werden. Die Risikobeurteilung der *LMM* erfüllt die Beurteilungspflicht von Arbeitgebern nach Arbeitsschutzgesetz und Lastenhandhabungsverordnung (Hartmann et al., 2008, S. 456). Aus den *LMM* wurde das *Multiple-Lasten-Tool (MLT)* aufgebaut, das kombinatorisch verschiedene Arten der manuellen Lastenhandhabung der *LMM HHT* und *ZS* kombiniert erfasst und bewertet (Kugler et al., 2010, S. 11).

Neben Beurteilungen zyklischer Tätigkeiten existieren auch Verfahren zur Schädigungsabschätzung von Langzeitexposition. Ein solches stellt das Expertenverfahren *Mainz-Dortmunder-Dosismodell (MDD)* nach Jäger und Luttmann (2005, S. 258) dar, das auch Populationsmerkmale wie Geschlecht und Lebensalter berücksichtigt. Dieser Ansatz zur Risikobewertung fokussiert die Druckkräfte der lumbosakralen Bandscheibe⁵ (L5-S1), da diese bei manuellen Tätigkeiten zumeist am stärksten belastet wird. Bei Überschreitung von experimentell ermittelten Gesamtbelastungswerten wird von einem erhöhten Risiko einer Wirbelsäulenschädigung, bezogen auf die Normalbevölkerung, ausgegangen (Schiltenswolf und Schwarz, 2013, S. 277). Das Vorgehen zur Ermittlung von Druckkräften auf die Wirbelsäule nach dem *MDD* wurde vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (2003, S. 44–113) beschrieben und anhand einiger Beispiele aus verschiedenen Berufsfeldern näher erläutert. Im Vergleich zu den *LMM* beschränkt sich der zeitliche Horizont des *MDD* nicht nur auf die Tätigkeiten einer Schicht (8 Stunden), sondern trifft Aussagen über langjährige berufliche Zeiträume (Schäfer et al., 2005, S. 218–236). Die Berechnungen des *MDD* bilden die Grundlage für die im Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2108 „Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule [...]“ festgelegten Werte (BMAS, 2006), die in den Kapiteln 6.1 und 6.3 in Teilen vorgestellt werden.

Eine Risikobewertung zur Abschätzung von Maximallasten ist das vom amerikanischen *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* entwickelte gleichnamige Verfahren *NIOSH*. Es dient als Werkzeug zur sicheren Bestimmung von Gewichtsgrenzen für das manuelle Bewegen von Lasten. Dieses

⁵ Unterste Bandscheibe, die zwischen Lendenwirbel und Kreuzbein liegt

Verfahren lässt sich, wie die zuvor beschriebenen *LMM*, in die Kategorie der Screeningverfahren einordnen. Als Ergebnis liefert *NIOSH* ein empfohlenes Maximalgewicht, das von den meisten gesunden Personen – entspricht 90 % des Gesamtkollektivs nach Bongwald et al. (1995, S. 156) – über die Dauer einer Schicht ohne ein Risiko bewegt werden kann (Schlick et al., 2010, S. 952). Dieses setzt sich aus dem Produkt von sieben Parametern (Lastkonstante, horizontaler Abstand zwischen Wirbelsäule und Last, vertikaler Abstand der Hände zum Boden, zu überbrückende Hubdistanz, Asymmetrie-Faktor, Häufigkeit sowie Kopplungsfaktor zwischen Hand und Last) zusammen. Die Erläuterung der einzelnen Faktoren sowie das gesamte *NIOSH*-Verfahren finden sich in Waters et al. (1994). *NIOSH* ist jedoch nicht uneingeschränkt anwendbar und unterliegt laut Bongwald et al. (1995, S. 150) einigen Restriktionen. Demnach gilt es nur für beidhändiges, langsames und uneingeschränktes Heben und Absetzen der Last. Zusätzlich müssen normale Umgebungsbedingungen herrschen. Dies beinhaltet beispielsweise eine gute Haftung zwischen Füßen und Standfläche.

Ein letztes exemplarisch erwähntes Verfahren ist die Risikobewertung nach DIN 1005-2:2009-05. Streng genommen handelt es sich dabei um drei Verfahren, die auf der gleichen Grundlage basieren, sich jedoch in ihrer Komplexität unterscheiden. Für die Konstruktion und den Bau von Maschinen, an denen eine manuelle Handhabung erforderlich ist, muss der Hersteller die grundlegenden Anforderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz erfüllen. Dazu sind in der Norm 1005-2 wesentliche Daten hinsichtlich Körperhaltung während der Tätigkeitsausführung, Belastung, Häufigkeit und Dauer der Handhabung hinterlegt. Die angegebenen Gestaltungskriterien können vom Konstrukteur für die präventive Erstellung von Risikobeurteilungen angewendet werden. Das Vorgehen gliedert sich in drei Stufen und ist vergleichbar mit der Maßnahmenhierarchie des Arbeitsschutzes von Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 470) (siehe Kapitel 3):

1. Vermeidung manueller Handhabungen, wenn dies möglich ist
2. Nutzung technischer Hilfsmittel
3. Verminderung des verbleibenden Restrisikos durch Optimierung der Abläufe

Sinnvollerweise beginnt eine Risikobewertung mit dem ersten und wenig aufwendigen Verfahren, das in die Kategorie der Grobscreeningverfahren fällt. Verfahren zwei bzw. drei werden nur dann angewendet, wenn die Voraussetzungen oder Lastfälle aus Verfahren eins bzw. zwei nicht ausreichen. Jedes Verfahren erfordert ein Vorgehen in drei Schritten (DIN EN 1005-2:2009-05, S. 10–19):

1. Berücksichtigung der Bezugsmasse im Hinblick auf die vorgesehene Population
2. Durchführung der Risikobeurteilung gemäß einem in der Norm enthaltenen Arbeitsblatt
3. Ableitung von Maßnahmen:
 - keine Ergreifung von Maßnahmen bei vertretbarer Risikobeurteilung
 - Um-/Neugestaltung des Arbeitssystems
 - Konkretisierung durch ein komplexeres Beurteilungsverfahren

Verfahren zwei und drei lassen sich aufgrund der steigenden Komplexität den Screeningverfahren zuordnen.

Bewertung von Körperkräften

Unter anderem durch die zuvor beschriebene Lastenhandhabung, aber auch durch Handhabung von Werkzeugen oder Stellteilen, entstehen im Körper Reaktionskräfte, die von den Knochen, Bändern, Sehnen und Muskeln durch den Körper geleitet werden. Wie in Kapitel 2.1.1 erläutert, ist eine Aktionskraft eine Körperkraft, die vom Körper aus nach außen wirkt. Kommt es während der Ausübung von Körperkräften in einzelnen lokalen Strukturen zu Überlastungen, entstehen gesundheitliche Schädigungen (Hartmann et al., 2008, S. 456). Bezüglich schädigender Krafteinwirkung gibt es anerkannte Berufskrankheiten (BK) mit zugehörigen Richtwerte und möglichen Krankheitsbildern. Diese sind in den Merkblättern BK Nr. 2101 (Erkrankungen der Sehnenscheiden oder des Sehnengleitgewebes sowie der Sehnen- oder Muskelansätze) vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA, 2007), BK Nr. 2105 (Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck) (BMA, 1963) und BK Nr. 2106 (Druckschädigung der Nerven) (BMA, 2002) beschrieben. Die präventive Vermeidung solcher Krankheiten ist ein Grund, weshalb die Erfassung von aufzubringenden Kräften für die ergonomische Risikobewertung an Bedeutung gewonnen hat (Walther et al., 2013, S. 237).

Bezogen auf logistikrelevante Tätigkeiten wie das Heben und Tragen finden sich empfohlene Krafrichtwerte und Vorgehen zu deren Ermittlung in DIN EN 1005-3:2009-01 und in ISO 11228-1:2003-05. In ISO 11228-2:2007-04 sind Richtwerte für die zweite logistikrelevante Lastenhandhabung, das Ziehen und Schieben formuliert. In den genannten Normen und Standards werden nutzerbezogene Parameter wie Lebensalter und Geschlecht berücksichtigt. In DIN 33411-5:1999-11 sind maximale statische Aktionskräfte dokumentiert, die als Grenzen der Ausführbarkeit anzusehen sind. Alle diese Normen und Standards geben dem Konstrukteur und Hersteller von Maschinen empfohlene Belastungsricht- und Grenzwerte für das Ausüben von Kräften, wonach Arbeitssysteme von Anfang an schädigungsfrei geplant werden können.

An dieser Stelle sei auch auf die Arbeit von Wakula et al. (2009) hingewiesen. In dem von ihnen entwickelten *Montagespezifischen Kraftatlas* sind Aktionskräfte mehrerer hundert Personen in verschiedene Richtungen und in unterschiedlichen Körperhaltungen publiziert. Zur Berechnung der maximal empfohlenen Aktionskraft von Personengruppen wird die zugehörige maximal statische Aktionskraft mit dem krafrichtungsabhängigen Einfluss des Alters, dem Einfluss des Geschlechts, der Häufigkeit der Kraftausübung, einem Biomechanikfaktor⁶ und dem Physiologiefaktor⁷

⁶ Muskuläre Anspannung, asymmetrische Körperhaltung, ein-/beidhändige Kraftausübung

⁷ Häufige Kraftausübung in ungünstigen Körperhaltungen, Kraftausübungen innerhalb lang andauernder ungünstiger Haltungsphasen

multiplikatorisch verrechnet. Das so entstandene Produkt stellt die maximal empfohlene Aktionskraft für die jeweilige Personengruppe dar. Der Quotient aus tätigkeitsabhängiger, erforderlicher Kraft und maximal empfohlener Kraft entscheidet über die Bewertung des Kraftausübungsfalls gemäß dem bereits beschriebenen Ampelschema nach DIN EN 614-1:2009-06 (S. 20–21); (Wakula et al., 2009, S. 192–194). Aufgrund des komplexen Tabellenwerks ist dieses Verfahren den Expertenverfahren zuzuordnen.

Aus der Kategorie der Screeningverfahren sind Grenzkraftverfahren zu nennen, die ihren Ursprung im Burandt-Schultetus-Verfahren haben (Burandt, 1978); (Schultetus, 1980). Mit diesen Verfahren wird eine Grenzkraft ermittelt, die von einer Person unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht, Trainingsgrad und Faktoren der Arbeitsaufgabe wie Körpergrundhaltung, Höhe und Art der Kraftrichtung sowie Häufigkeit bestimmt wird. Das Ergebnis aus den Untersuchungen ist die zulässige und zumutbare Grenzkraft bzw. das zumutbare Grenzmoment (Ellegast, 2005, S. 29), (Schlick et al., 2010, S. 952–953).

Analyse und Bewertung von Körperzwangshaltungen

Zwangshaltungen sind Positionen ausserhalb der natürlichen Balance, die nicht der physiologischen Nulllage des Körpers entsprechen (Hartmann et al., 2008, S. 455). Eine solche asymmetrische Körperhaltung ist mit erheblicher Muskelanspannung verbunden, die häufig auch Belastungen auf das Skelettsystem, z. B. die Bandscheiben, ausübt. Ungünstige Körperhaltungen resultieren aus der Arbeitssystemgestaltung oder verhaltensergonomischen Defiziten der Mitarbeiter (Bokranz und Landau, 2006, S. 268). Berufskrankheiten, die aufgrund häufiger und ungünstiger Körperzwangshaltungen entstehen, sind unter anderem in den Merkblättern BK Nr. 2102 (Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten) (BMA, 1990), BK Nr. 2105 (Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck) (BMA, 1963), BK Nr. 2106 (Druckschädigung der Nerven) (BMA, 2002) oder BK Nr. 2112 (Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knien oder vergleichbare Kniebelastung [...]) (BMAS, 2009) nachzuschlagen. Weitere Beschreibungen zu den Folgen von Lastenhandhabung und Zwangshaltungen finden sich im Artikel „Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V.“ von Hartmann et al. (2008, S. 455–462).

Um den exemplarisch aufgezeigten Berufskrankheiten präventiv entgegenzutreten, gibt es einige Risikobewertungen speziell für Körperzwangshaltungen. Aufgrund seiner schnellen und einfachen Anwendbarkeit gehört das *Ovako Working posture Analysis System (OWAS)* zu den am weitesten verbreiteten Bewertungsverfahren für diese Belastungsart (Gudehus, 2009, S. 25). Diese Risikobewertung wurde bereits 1973 für die Stahlindustrie in Finnland entwickelt und angewendet und im Jahre 1977 veröffentlicht (Karhu et al., 1977, S. 199–201); (Bubb, 2007, S. 155–156). Das Vorgehen einer Risikobewertung mittels OWAS erläutern Louhevaara und Suurnakki (1992) im „(Trainings-) Handbuch für die OWAS-Methode“. Die Methode bedarf eines soliden

ergonomischen Grundverständnisses und ist der Kategorie der Screeningverfahren zuzuordnen. Durch Beobachtung werden die Körperhaltungen und deren zeitlicher Anteil an einer Tätigkeit bestimmt und nach OWAS kodiert. Der so entstandene Code setzt sich aus vier Haltungsvarianten des Rückens, drei der Armhaltung, sieben der Beinhaltung und drei Varianten für die Berücksichtigung eines Lastgewichts zusammen. In einer späteren Variante von OWAS kann zusätzlich die Stellung des Kopfes in fünf Stufen codiert werden. So können bis zu 1.260 unterschiedliche Kombinationen entstehen. Die ermittelten Haltungen werden mittels einer Tabelle einer vierstufigen Maßnahmenklasse zugeordnet. Diese Maßnahmenklassen erstrecken sich von einer normalen Körperhaltung, bei der keine Maßnahmen erforderlich sind, bis hin zur schwer belasteten Körperhaltung, bei der dringend Optimierungsbedarf besteht (Gudehus, 2009, S. 11–12).

Ein weiteres Beispiel ist das *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. Eine ausführliche Beschreibung von *RULA* gibt der HVBG (2007, S. 77–79). Durch einen Bewertungsbogen, der direkt am Arbeitsplatz ausgefüllt wird, gibt dieses Verfahren eine schnelle Abschätzung über vorliegende Belastungen. Anhand von Piktogrammen des Oberkörpers und oberer Extremitäten wird die Haltung bewertet und über ein Punktesystem verrechnet. Falls Lasten umgesetzt oder Kräfte aufgebracht werden müssen, können diese auch über ein grobes Schema bewertet werden. Über eine Bewertungsmatrix wird letztlich das Belastungsrisiko des Arbeitsplatzes ermittelt und Handlungsempfehlungen für eine etwaige Optimierung werden gegeben.

Ein Beispiel aus der Kategorie der Messsysteme für Körperzwangshaltungen ist die *Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des MSS (CUELA)*. Dieses System wurde vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherer entwickelt. Durch unterschiedliche Sensoren können die Position und Haltung von Rücken, Kopf sowie oberen und unteren Extremitäten erfasst werden. Wahlweise ist auch die Messung physiologischer Daten wie der Herzschlagfrequenz oder des Atemvolumens zur Bestimmung des Energieumsatzes oder die Messung von Vibrationen möglich. *CUELA* ist vergleichbar mit einem Exoskelett mit einem Gewicht von ca. 3 kg, das vom Probanden auf der Kleidung getragen wird. Es entsteht so nahezu keine Einschränkung bei der auszuführenden Tätigkeit. Das System ist autark, da es über eine Batterie mit Energie versorgt wird, wodurch Datenaufzeichnungen von bis zu einem Tag ermöglicht werden. Zusätzlich werden alle Tätigkeiten von außen mit einer Videokamera gefilmt. Dadurch ist eine spätere Zuordnung von Arbeitssituation und gemessener Belastung möglich (Ellegast et al., 2009, S. 221–226); (Hartmann et al., 2013, S. 136–137). Die gewonnenen Daten werden auf ungünstige Gelenkwinkelstellungen und Haltungsmuster sowie statische Haltung untersucht. Daraus können dann Potenziale zur Arbeitssystemoptimierung abgeleitet werden.

Bewertung repetitiver Tätigkeiten

Der Begriff Repetition steht für einen hohen Wiederholungsgrad einer Tätigkeit (BAuA, 2007, S. 22) und liegt vor, wenn eine Person kontinuierlich denselben Arbeitszyklus mit den gleichen Tätigkeiten und Bewegungsmustern ausübt (DIN EN 1005-5:2007-05, S. 7). Quantifizieren lässt sich diese Aussage, wenn ein Arbeitszyklus weniger als 30 Sekunden andauert oder wenn in Arbeitszyklen beliebiger Dauer zu 50 % der Zeit die gleichen grundlegenden Tätigkeiten ausgeführt werden (Ellegast, 2005, S. 40). Diese Art der Tätigkeit sollte nach ISO 11228-3:2007 (S. 6) vermieden werden.

In kürzer getakteten Bereichen gilt: Wenn sich die Bewegungshäufigkeit erhöht und/oder die Zyklusdauer verringert, steigt das Risiko von muskulo-skelettalen Erkrankungen der betroffenen Gliedmaßen (DIN EN 1005-5:2007-05, S. 12); (ISO 11228-3:2007, S. 6). Krankheiten, die auf repetitive Tätigkeiten zurückzuführen sind, sind Erkrankungen der Sehnenscheiden oder des Sehnengleitgewebes (Merkblatt zur BK Nr. 2101, BMA, 2007), chronische Erkrankungen der Schleimbeutel (Merkblatt zur BK Nr. 2105, BMA, 1963) oder Carpal-Tunnel-Syndrom (künftig Merkblatt zur BK Nr. 2113 [Hoehne-Hückstädt, 2013, S. 3]). Klinische und epidemiologische Studien von Erkrankungen, die auf Repetition zurückzuführen sind, können nach Drury (1987, S. 41) auf drei Ursachenbereiche eingegrenzt werden:

- Hohe Kräfte in Bändern und Sehnen der Hand durch unterschiedliche Greifarten
- Hohe Wiederholfrequenz gleicher Bewegungen ebenso wie Vibrationen
- Abweichende Haltung zur physiologisch neutralen Position der Gliedmaßen

Um den Risikograd von repetitiven Tätigkeiten einschätzen zu können, bietet sich das *Occupational Risk Assessment of Repetitive Movements and Exertions of the Upper Limb* (OCRA) an. Es dient zur Beurteilung von repetitiven Tätigkeiten des Finger-Hand-Arm-Schulterbereichs unter Berücksichtigung der Haltung des Rückens (Hartmann et al., 2008, S. 456) und ist der Kategorie der Expertenverfahren zuzuordnen. Die Risikoabschätzung ergibt sich aus dem Verhältnis von vorhersehbarer Häufigkeit und der Referenzhäufigkeit der Teiltätigkeit für jede obere Extremität. Die vorhersehbare Häufigkeit ergibt sich aus der Anzahl der zur Aufgabe in einem Zyklus erforderlichen Teiltätigkeiten und dem Quotienten für die vorhersehbare Zykluszeit. Die Referenzhäufigkeit errechnet sich aus dem Produkt unterschiedlicher Faktoren wie einer Häufigkeitskonstanten, Multiplikatoren der Risikofaktoren aus Körperhaltung, Repetition, Kraft, Mangel an Erholzeit und einigen mehr. Eine vollständige Auflistung aller Faktoren mit zugehörigem Tabellenwerk gibt DIN EN 1005-5:2007-05 (S. 14–19). Der abschließend errechnete *OCRA-Index* sollte nach Möglichkeit einen Wert von 2,2 nicht überschreiten. In diesem Bereich wird das Risiko einer Erkrankung als annehmbar eingestuft. Liegt der Wert darüber, so muss der Arbeitsplatz ergonomisch optimiert werden. Ist er sogar größer als 3,5, besteht ein nicht annehmbares Risiko und es müssen umgehend Maßnahmen zur ergonomischen Optimierung getroffen werden. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens erfolgt durch den HVBG (2007, S. 87–112) und Ellegast (2005, S. 44–45, 47–49).

Es sei vorweggenommen, dass repetitive Tätigkeiten bei einem Erstausrüster⁸ im Automobilbau sehr selten auftreten. Innerhalb des Untersuchungsraumes der operativen Intralogistik gibt es diese Art von sehr kurzzyklischen Tätigkeiten nicht. Deshalb wird diesem Verfahren in dieser Arbeit nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen.

Bewertung multipler physischer Belastungen

In den vorigen Abschnitten wurden Verfahren erläutert, die sich vorwiegend für die Risikobewertung einer Belastungsart eignen. Treten jedoch mehrere Belastungsarten, wie beispielsweise Lastenhandhabung und Zwangshaltung, in Kombination auf, so müssen diese gleichermaßen berücksichtigt werden (Hartmann et al., 2008, S. 460). Aus diesem Grund wurden Verfahren zur Beurteilung multipler physischer Belastungen entwickelt. Diese beinhalten Bausteine zur Risikobewertung aus mehreren oder allen der oben genannten einzelnen Belastungsfälle. Die Kombination aus Dauer oder Häufigkeit in Verbindung mit Lastgewichten, Körperhaltungen und Bewegungen bestimmen dann das Ausmaß der Gesamtbelastung (BAuA, 2007, S. 21). Solche kombinatorischen Verfahren lassen sich im Allgemeinen der Kategorie der Screeningverfahren zuordnen.

Exemplarisch sei an dieser Stelle das *Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS)* genannt, das am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt (IAD) entwickelt wurde und häufig im Automobilbau angewendet wird (Toledo, 2012, S. 2). Es beinhaltet vier Module zur Bewertung multipler physischer Belastungen und wurde ursprünglich für die Risikobewertung von Montagetätigkeiten entwickelt. *EAWS* basiert auf dem *Automotive Assembly Worksheet (AAWS)* (Schaub und Ghezel-Ahmadi, 2007, S. 601–604), ebenso wie die *Bewertung körperlicher Belastungen (BkB)* (Schaub, 2006, S. 1) oder das *New Production Worksheet (NPW)* (Schaub und Landau, 2004, S. 52–68). Auch die unternehmenseigene Risikobewertung physischer Belastungen *Arbeitsplatz-Struktur-Analyse (APSA)* fußt auf dem *AAWS*.

All diese Verfahren verbindet die gleichartige Bewertung einzelner Belastungsarten in mehreren Modulen. In jedem kann die Körperhaltung ohne Lastenhandhabung bewertet werden. Dieses Modul ist ähnlich aufgebaut wie die Risikobewertung *OWAS*. In einem zweiten Modul werden tätigkeitbezogene Kräfte bewertet. Diese Bewertung lehnt sich an Verfahren von Schultetus, DIN EN 1005-5 und ISO 11228-3 an. Lastenhandhabungen werden im dritten Modul bewertet, das in Aussehen und Regelwerk weitestgehend den *LMM* des *HHT* und des *ZS* entspricht. Im *EAWS* gibt es ein viertes Modul, in dem repetitive Tätigkeiten oberer Extremitäten bewertet werden können. Dieses Modul erlangte bereits zuvor unter der Bezeichnung *AAWS-Upper-Limbs* Popularität (Schaub und Ghezel-Ahmadi, 2007, S. 601–604). Es findet innerhalb

⁸ Erstausrüster; englisch: Original Equipment Manufacturer (OEM)

der Logistik und der Montage von OEM kaum Anwendung, da repetitive Tätigkeiten gemäß der zuvor genannten Definition nicht vorkommen.

All diese Risikobewertungen beziehen sich in ihrer Gesamtbewertung in der Regel auf einen ‚Durchschnittsmenschen‘. Eine personenbezogene Bewertung ist grundsätzlich nicht ausgeschlossen, aufgrund des immensen Analyseaufwandes jedoch nicht praktikabel.

Fazit

Dieses Kapitel erläutert unterschiedliche Belastungsarten und erklärt den Unterschied sowie Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung. Die Belastung ist mittels Risikobewertung quantifizierbar. Diese Bewertungen lassen sich nach ihrer Komplexität und anzuwendenden Belastungsfällen kategorisieren. Risikobewertungen sind das Messinstrument, das eine Arbeitssystemoptimierung erst ermöglicht; ohne das Erkennen von Schwachstellen können Optimierungen nicht angestoßen und gesteuert werden.

Erkenntnisse aus bestehenden Arbeitssystemen sollen im Sinne einer lernenden Organisation in der Planung von neuen berücksichtigt werden (Goldscheid, 2007, S. 129–131). Auch dafür eignen sich Risikobewertungen, da diese neben einer Bewertung von Ist-Prozessen bereits in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses (PEP) dazu beitragen, potenzielle ergonomische Risiken zu erkennen und diese zu vermeiden. Für den entsprechenden Anwendungsfall, ob in bestehenden oder geplanten Arbeitssystemen, ist es erforderlich, eine geeignete Risikobewertung auszuwählen. Die Auswahl ist abhängig von der auszuübenden Tätigkeit und der Komplexität der Methode bzw. der gewünschten Analyse- und Bewertungstiefe.

3 Arbeitssysteme und ihre Gestaltung

Um ein Verständnis für Tätigkeiten einer automobilen Intralogistik zu geben, werden die Arbeitssysteme im folgenden Kapitel dargestellt. Bevor auf die Spezifika der Intralogistik eingegangen wird, wird zunächst der Begriff des Arbeitssystems erläutert. Nach DIN EN ISO 6385:2014-10 (S. 6) ist ein Arbeitssystem ein System, „welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems, innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen, zu erfüllen“. Eine Darstellung mit den Systemelementen nach dem REFA Bundesverband e. V. (2002, S. 65) zeigt Abbildung 3. Das Arbeitssystem kann durch die Elemente Eingabe, Arbeitsaufgabe, Arbeitsablauf, Mensch, Betriebsmittel, Umwelteinflüsse und Ausgabe beschrieben werden (Becker et al., 1993, S. 42–43).

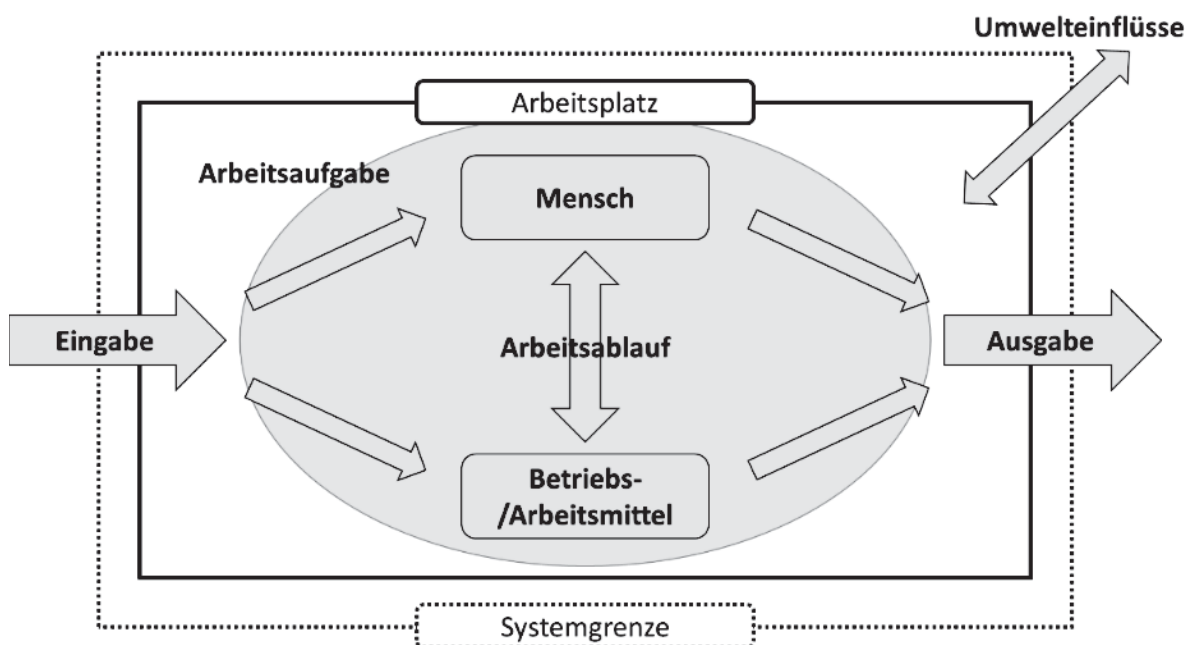


Abbildung 3: Arbeitssystem mit zugehörigen Systemelementen (REFA Bundesverband e. V., 2002, S. 65)

Aus dem zeitlichen Zusammenwirken der Einzelemente ergibt sich die auf den Menschen wirkende Belastung. Deshalb ist in dieser Arbeit das Zusammenwirken des Menschen mit den ihn umgebenden Systemelementen des Arbeitssystems von Bedeutung. Grundsätzliche Anforderungen an die Gestaltung eines solchen Arbeitssystems bezogen auf den Menschen geben Rohmert (1977), Luczak et al. (1989), Laurig (1992) und Bokranz und Landau (2006). Dieses umfasst im Wesentlichen vier hierarchische Stufen und ist in Abbildung 4 dargestellt:

1. Ausführbarkeit

Menschliche Arbeit muss durch Arbeitspersonen ausführbar sein. Dazu ist es erforderlich, dass sich die Anforderungen innerhalb der Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit bewegen, wie etwa der Erreichbarkeit von festgelegten Arbeitsräumen.

2. Erträglichkeit

Die Erträglichkeit ist als langfristige Grenze der Ausführbarkeit unter Berücksichtigung der physiologischen⁹ und biomechanischen¹⁰ Grenzen des menschlichen Körpers zu verstehen. Entscheidend ist, dass die Arbeitsintensität, bei täglicher Wiederholung einer vollen Schicht und ein ganzes Arbeitsleben lang, zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung führen darf.

3. Zumutbarkeit

Die Zumutbarkeit ergibt sich aus der allgemeinen Akzeptanz des Arbeitssystems. Hierzu gilt es gesellschaftliche Normen und Werte der Nutzer zu beachten.

4. Persönlichkeits-/zufriedenheitsfördernd

Motivation, Qualifikation und Flexibilität sollen gefördert werden. Erreicht werden kann dies durch Rahmenbedingungen, die eine gestalterische Tätigkeit innerhalb der Arbeitsaufgabe zulassen und so zur Selbstverwirklichung beitragen und persönlichkeits- und zufriedenheitsfördernd wirken.

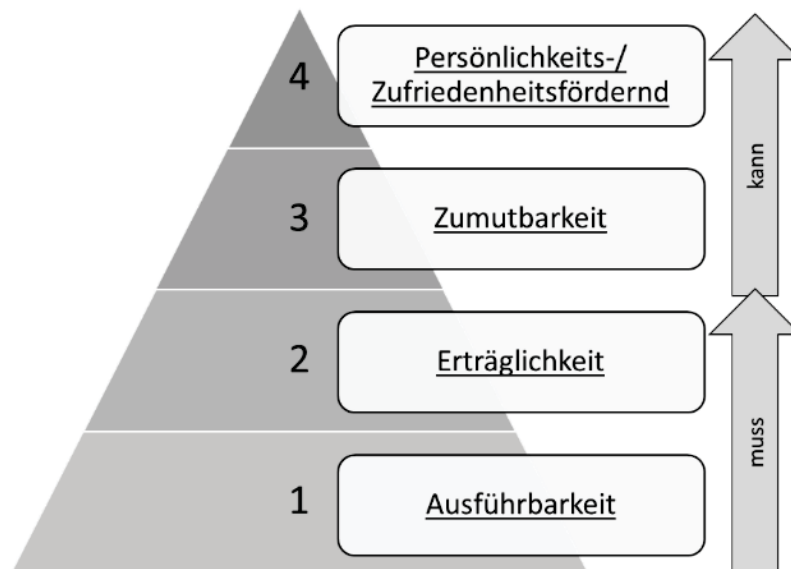


Abbildung 4: Hierarchischer Aufbau der Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitssystemen nach Rohmert (1977), Luczak et al. (1989), Laurig (1992) und Bokranz und Landau (2006).

⁹ Natürliche Leistungsgrenze der Muskelkraft (Nohl, 1989, S. 79)

¹⁰ Bewegung lebender Systeme unter Zusammenwirken von Muskeln, Bändern und Knochen (Hüter-Becker und Dölken, 2005, S. 3–5)

Für die Gestaltung menschlicher Arbeit ergeben sich zwei zentrale Forderungen:

- Arbeit muss ausführbar und erträglich sein.
- Arbeit kann/sollte zumutbar und zufriedenstellend sein.

Der hierarchische Aufbau der vier Stufen verdeutlicht, dass zunächst die Kriterien einer niedrigeren Stufe weitestgehend erfüllt sein müssen, um dann ein Arbeitssystem nach Kriterien der darüber liegenden Stufe gestalten zu können. Nur wenn die aufgeführten Bedingungen erfüllt sind, kann eine optimale Systemleistung erbracht werden (Bokranz und Landau, 2006, S. 228).

Um optimale Bedingungen herzustellen zu können, ist der Einfluss wirkender Systemelemente auf den Menschen erforderlich, der, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, durch Risikobewertungen quantifiziert werden kann. Werden ergonomische Defizite festgestellt, so ist es die Pflicht des Arbeitgebers, diese durch geeignete Maßnahmen zu beseitigen. Hier bietet sich eine Vorgehensweise nach dem TOP-Prinzip, wie von Hahnzog (2014, S. 68) und Hartmann et al. (2013, S. 201) beschrieben, an. TOP steht für drei Optimierungsfelder, bestehend aus **t**echnischen (z. B. Umgestaltung des Arbeitsplatzes), **o**rganisatorischen (z. B. Änderung der Arbeitsabläufe) und **p**ersonellen (z. B. Training oder Einsatz von Mitarbeitern mit speziellen Fähigkeiten) Maßnahmen, die in dieser Reihenfolge angewendet zu einer spürbaren Risikominimierung führen.

Eine moderne Maßnahmenhierarchie zur Reduzierung von Gefährdungen und zur Gestaltung von Arbeitssystemen findet sich bei Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 470). Die Maßnahmen haben absteigend eine geringer werdende Wirksamkeit:

1. Gefahrenquellen vermeiden
2. Sicherheitstechnische Maßnahmen (z. B. räumliche Trennung von Mensch und Gefahrenquelle)
3. Organisatorische Maßnahmen (z. B. räumliche oder zeitliche Trennung zwischen Gefahrenquelle und Mensch)
4. Nutzung persönlicher Schutzausrüstung
5. Verhaltensbezogene Maßnahmen

Diese Hierarchie ist umfassender als das TOP-Prinzip, da hier als erstes die Vermeidung der Gefahrenquelle angestrebt wird. Erst wenn dies nicht möglich ist, wird auf den folgenden, schwächeren Hierarchiestufen eine verringerte Wirksamkeit der Gefahrenquelle betrachtet. Die dann getroffenen Maßnahmen können technischen, organisatorischen oder personellen Charakter haben.

Zur Vermeidung arbeitsbezogener Risiken können auch Merkblätter zu Berufskrankheiten (siehe Kapitel 2.2.2) herangezogen werden. Darin enthalten sind Richtwerte für das Ausüben manueller Tätigkeiten, bei deren Einhaltung es zu keiner Erkrankung kommen soll.

3.1 Logistik, Intralogistik und ihre Besonderheit im Automobilbau

Nachdem die Begrifflichkeiten zu Arbeitssystemen, deren Bewertbarkeit und Gestaltungsrichtlinien dargestellt sind, werden nun die Spezifika logistischer und intralogistischer Arbeitssysteme erläutert.

3.1.1 Logistik

Logistik umfasst nach Seeck (2010, S. 123) die Planung, Überwachung und Steuerung der Material- und Informationsflüsse in Systemen. Gudehus (2012a, S. 1) definiert die Grundaufgabe der (operativen) Logistik wie folgt: „Effizientes Bereitstellen der geforderten Mengen benötigter Objekte in der richtigen Zusammensetzung zur rechten Zeit am richtigen Ort“. In den vergangenen Jahrzehnten hat eine Verschiebung weg von einem Verkäufermarkt¹¹ hin zu einem Käufermarkt¹² stattgefunden (Seeck, 2010, S. 17–18, 20). Diese Verschiebung liess die Bedeutung von logistischen Serviceleistungen zu einem entscheidenden Wirtschaftsfaktor werden. Die Erfüllung der Anforderungen, wie hohe Lieferzuverlässigkeit, Informationsverarbeitung in Echtzeit und kurze Lieferzeiten, besitzt mittlerweile für Kaufentscheidungen eine essenzielle Bedeutung. Der Stellenwert der Logistik ist heute so hoch wie nie zuvor (Seeck, 2010, S. 17–18, 20). Speziell in der Automobilbranche erfüllt die Logistik hochkomplexe Aufgaben der Steuerung, Beschaffung und Bereitstellung der benötigten Teile sowie den Abtransport gefertigter Produkte und ist somit zu einem zentralen Erfolgsfaktor in Unternehmen geworden (Seeck, 2010, S. 29–30). Dies zeigt, dass sich die gesamte Logistikkette über weite Bereiche erstreckt, die nach Abbildung 5 aus Inbound-, Intra- und Outboundlogistik bestehen.

Die Inbound- oder Beschaffungslogistik erstreckt sich in der Lieferkette vom Hersteller über den Lieferanten bis zur Übernahme in die eigene Zuständigkeit. Die Systemgrenze stellt der eigene Wareneingang dar, in dem angelieferte Güter entgegengenommen werden.

Der Begriff Intralogistik steht für den mittleren Teilabschnitt der Lieferkette. Dieser umfasst alle werksintern ablaufenden physischen und informationstechnischen Logistikprozesse. Die Systemgrenzen sind der Warenein- und Warenausgang eines Betriebes (Gudehus, 2012b, S. 937) mit den wesentlichen Einzelstufen der Lagerung, Kommissionierung und innerbetrieblichem Transport zur Versorgung bzw. Bereitstellung am Bedarfsort (Walch, 2011, S. 25).

Die Outboundlogistik umfasst aus Sichtweise eines produzierenden Unternehmens die Logistikprozesse ab Verlassen des eigenen Zugriffsbereichs, demnach nach dem Warenausgang (Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik [fml] der Technischen Universität München, 2017).

¹¹ Marktgeschehen wird vom Angebot der Verkäufer bestimmt, hohe Nachfrage bei knappem Angebot

¹² Angebot überwiegt, Kunde kann frei wählen

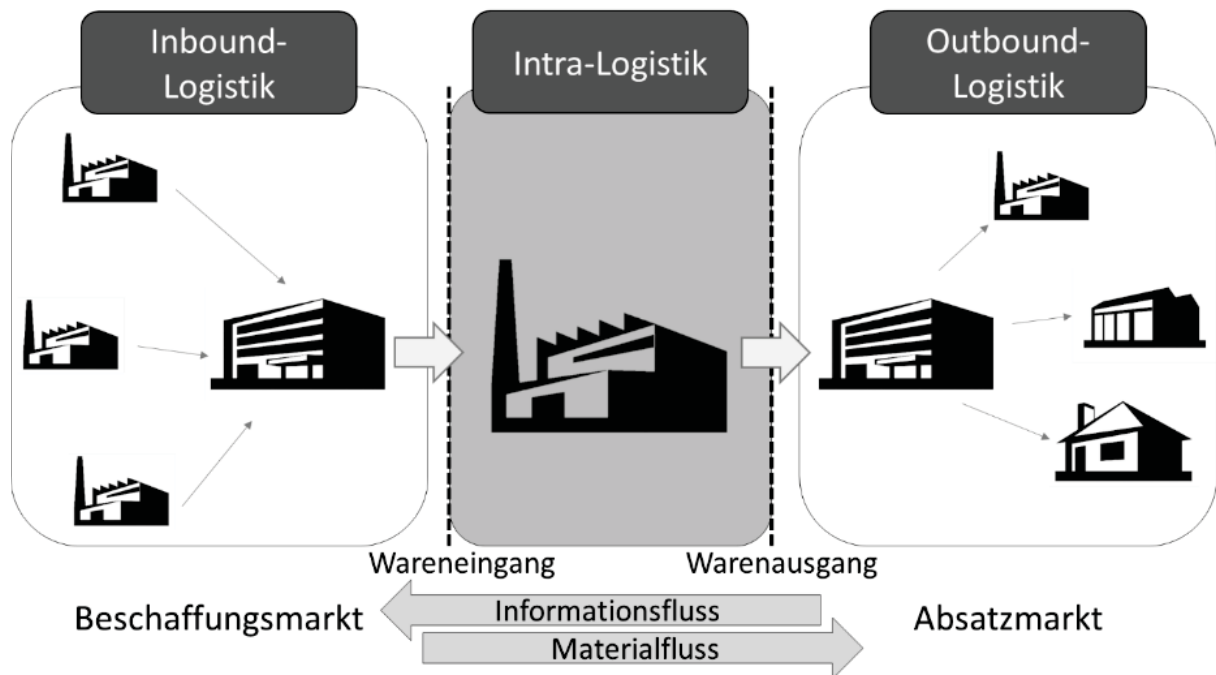


Abbildung 5: Schematische Darstellung der gesamten Logistikkette

Im nun folgenden Kapitel wird der für diese Arbeit relevante Bereich der Intralogistik genauer beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf den logistischen Teilbereichen, die im Untersuchungsraum von manuellen Tätigkeiten geprägt sind.

3.1.2 Intralogistik – Arbeitssysteme bei einem Automobilhersteller

Die Definition der Intralogistik leitet sich von der allgemeinen Definition der Logistik ab, bezieht sich allerdings nur auf die Planung, Steuerung und Bewegung der innerbetrieblichen Materialströme (Günther, 2006, S. 6); (Seeck, 2010, S. 123–124). Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, stellt der Wareneingang die Systemschnittstelle zwischen außer- und innerbetrieblicher Materialflusslogistik dar. Der Wareneingang übernimmt die organisatorische Funktion der Übernahme von angelieferten Gütern vom Lieferanten in den Verfügungsbereich eines Unternehmens (Gudehus, 2012b, S. 643–645). Zu den Aufgaben dieses Bereichs gehören Entladen, Puffern, Qualitätskontrolle, Aus- bzw. Umpacken, Sortieren der eingegangenen Güter und die Informationseingabe in das Lagerverwaltungssystem (Martin, 2014, S. 354). Die zweite Systemgrenze ist der Warenausgang. Dort verlassen die produzierten Güter den eigenen Zuständigkeitsbereich.

Zwischen den Systemgrenzen befindet sich der intralogistische Materialfluss. Dieser ist bei Automobilherstellern zu großen Teilen durch manuelle Tätigkeiten geprägt. Die zugehörigen Arbeitssysteme lassen sich im Wesentlichen in fünf Systemcluster unterteilen. Dazu gehören Tätigkeiten mittels Gabelstapler, Kommissionieren, Routenverkehr für Großladungsträger (GLT) und Kleinladungsträger (KLT) sowie Schleppertransporte. Die Logistikcluster sind in Abbildung 6 dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert.



Abbildung 6: Tätigkeitscluster der Intralogistik eines Automobilherstellers

Staplertätigkeit:

Gabelstapler stellen eines der flexibelsten innerbetrieblichen Transportsysteme in Unternehmen dar (Koether, 2007, S. 39–40). Diese werden im internen Transport für die räumliche Überbrückung der Materialströme eingesetzt (Klug, 2010, S. 82). Im Audi-Werk Neckarsulm werden vorwiegend Frontgabel- oder Fronthubstapler zur Entladung von Wagons und Lastkraftwagen sowie der Be- und Entladung von Schleppertransporten innerhalb wie außerhalb von Gebäuden eingesetzt. Der Fahrer sitzt meist frontal, in einigen Fällen aber auch seitlich zur Gabel. Ist die Sicht während der Fahrt durch die Ladung eingeschränkt, wird rückwärts gefahren. Dazu dreht der Fahrer Kopf und Oberkörper, damit er in die gewählte Fahrtrichtung blicken kann. Die Belastung für die Mitarbeiter besteht somit aus einer sitzenden Zwangshaltung und häufigem Verdrehen des Oberkörpers und des Kopfes mit anschließender statischer Zwangshaltung in dieser verdrehten Position.

Kommissionieren:

Gegenwärtig besteht eine sehr große Variantenvielfalt im Endprodukt, wodurch eine Auflösung von größeren Teilmengen einer Teilenummer erforderlich wird, bevor die Bereitstellung am Verbauort erfolgt. Es ist notwendig, neue Einheiten mit produktionsgerechten Sequenzen gleicher Varianten eines Teils oder bedarfsgerechte Warenkörbe¹³ unterschiedlicher Teile zusammenzustellen. Dieses Zusammenstellen neuer Logistikeinheiten erfolgt durch die Kommissionierung (Klug, 2010, S. 191); (Gudehus, 2012b, S. 707); (VDI Richtlinie 3590-1994, S. 2). Die Kommissionierung dient somit als Bindeglied zwischen Lagerung und den nachgelagerten Transport- und Fertigungsprozessen (Gudehus, 2012b, S. 707–708). Im Bereich der Bauteilkommissionierung ist der Automatisierungsgrad derzeit gering. Dies liegt in der flexiblen Einsetzbarkeit und den sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen begründet (Günthner und Koch, 2014, S. 1–2). Die Bereiche, in denen kommissioniert wird, werden als Supermarkt bezeichnet. Darunter versteht man ein fertigungsnahes Logistiksystem, im Wesentlichen bestehend aus einer Fläche mit Regalen für KLT und/oder Stellflächen für GLT und Auftragsdruckern, zur Erzeugung der Kommissionierlisten. Anhand dieser Listen erhält der Mitarbeiter die Information, welche Teile zu neuen Einheiten, die dann als Warenkörbe bezeichnet werden, zusammengestellt werden müssen. Die erstellten Warenkörbe werden anschließend in kurzen Lieferzyklen produktionssynchron am Verbauort bereitgestellt (Ohno, 2013, S. 60–62). Das Kommissionieren ist für die Mitarbeiter durch manuelle Lastenhandhabung bei der Entnahme einzelner Teile und durch Ziehen und Schieben von Kommissionierwagen geprägt (Günthner und Koch, 2014, S. 1–2).

Routenverkehr GLT:

GLT sind größere Transporteinheiten, die entweder aus mehreren zusammengefassten KLT oder aus einem Behälter bestehen, der mit größeren Teilen beladen ist und ein Gewicht von bis zu 900 kg haben kann. Übliche Außenabmessung von Standard-GLT sind 1240 mm × 835 mm × 970 mm. Diese Ladungsträger werden bedingt durch ihre Form und Abmessungen hauptsächlich mittels Flurförderzeugen bewegt (Klug, 2010, S. 150–151). Dazu werden die GLT von einem Gabelstapler auf Transportwagen – das sind Stahlgestelle mit vier nicht angetriebenen Rädern – gesetzt. Diese Transportwagen haben vorne eine Deichsel und hinten eine Kupplung, die darüber zu einem Routenzug verbunden werden können. Ein Mitarbeiter transportiert diesen Routenzug, der aus maximal vier angehängten Transportwagen besteht, mit einer Zugmaschine zum Bedarfsort. Dort angekommen koppelt der Logistikmitarbeiter die benötigten Transportwagen ab und schiebt oder zieht diese manuell die letzten Meter auf deren markierte Bedarfsflächen. Diese Art der Tätigkeit wirkt durch den Einsatz teils hoher Körperkräfte beim Ziehen und Schieben physisch belastend auf die Logistikfachkräfte.

¹³ Neue Zusammenstellung von unterschiedlichen Teilen für die Montage eines Fahrzeugs

Routenverkehr KLT:

KLT bestehen zumeist aus leichtem Kunststoff und sind vorwiegend mit Klein- und schüttgutfähigen Massenteilen wie z. B. Schrauben beladen. Diese Ladungsträger sind mit Griffmulden für das manuelle Umsetzen versehen (Klug, 2010, S. 149–150). Meist wird die Versorgung mit KLT am Bedarfsort über ein Kanbansystem gesteuert. Ein solches System gibt den beteiligten Arbeitspersonen über produktbezogene Karten eine schnelle Information über die Anzahl entnommener und benötigter Teile am Verbauort (Ohno, 2013, S. 39). Geht eine Teilnummer zur Neige, wird dies dem Logistikmitarbeiter über die Anzahl an Karten angezeigt, die als Bestellschein fungieren. Benötigte KLT werden an einer Ausgabestelle auf einen Fächerwagen¹⁴ geladen. Diesen Wagen koppelt der Logistikmitarbeiter an eine Zugmaschine an und fährt die einzelnen Bedarfsorte der Reihe nach an. Am Bedarfsort angekommen, werden die vollen KLT gegen leere getauscht. Dazu werden die Behälter vom Wagen entnommen und in ein definiertes Regalfach umgesetzt. Im Gegensatz zum zuvor beschriebenen Routenverkehr GLT sind die Tätigkeiten beim Routenverkehr KLT weniger durch Ziehen und Schieben geprägt, als durch das Umsetzen von KLT, die bis zu 15 kg schwer sein können. Auch diese Tätigkeit ist mit dem Einsatz von Körperkräften verbunden.

Schleppertransport:

Automobilwerke erstrecken sich oftmals über einige Quadratkilometer mit mehreren Produktionshallen und haben meist ein zentrales Lager für KLT. Von diesem Lager aus werden vier mit KLT befüllte Fächerwagen mittels Gabelstapler in größere Plattenwagen verladen. Plattenwagen sind allseitig mit wetterfesten Planen versehen und werden durch ein Schlepperfahrzeug in die unterschiedlichen Montagehallen transportiert, dort entladen, mit leeren Fächerwagen wieder beladen und an den Ausgangspunkt ins Zentrallager zurückgebracht. Diese Tätigkeit ist durch hohe Sitzanteile und Geradeausfahrten geprägt.

Zusammenfassung

Die Beschreibung der einzelnen Logistikcluster zeigt, dass in vielen Bereichen Körperkräfte und mechanische Kraftübertragung immer noch eine große Rolle spielen. Trotz zunehmender Automatisierung übernimmt der Mensch nach wie vor die zentrale Rolle bei den beschriebenen Logistikaktivitäten. Dabei treten oft Lastenhandhabungen mit hoher Wiederholhäufigkeit, teilweise ungünstigen Körperhaltungen und/oder hohen Körperkräften auf, was auf Dauer zu einer Schädigung des MSS führen kann. Die Arbeitssysteme der Intralogistik können weitestgehend als starr bezeichnet werden. Regalsysteme, Transportwagen, GLT oder KLT sind als nicht veränderbare Betriebs- und Arbeitsmittel im Arbeitssystem gegeben. Eine individuelle Anpassung ist nicht möglich. Davon ausgenommen sind die individuellen Einstellmöglichkeiten von Sitzhöhen und

¹⁴ Transportwagen mit mehreren Ladungsebenen

deren Abständen zu Bedienteilen in Gabelstaplern, Schleppern und bedingt auch in Routenzugmaschinen. Die gestellten Arbeitsaufgaben bleiben für die jeweiligen Arbeitssysteme identisch. Eine Anpassung der Arbeitsumwelt an die Mitarbeiter ist ergo nur bedingt gegeben.

Zur Arbeitsgestaltung unter Berücksichtigung humanitärer, rechtlicher und wirtschaftlicher Gesichtspunkte ist es erforderlich, die aus der Arbeitsaufgabe resultierenden Belastungen zu kennen, um ggf. belastungsreduzierende Maßnahmen ergreifen zu können. Aus diesem Grund müssen entscheidende Einflussparameter bei einer Risikobewertung entsprechend berücksichtigt werden. Dazu zählt neben der Bewertung der beschriebenen Arbeitssysteme der Intralogistik auch die Berücksichtigung von Populationsdaten für eine nutzergruppenbezogene Risikobewertung, wie bereits im vorigen Kapitel erläutert.

Die Mitarbeiterstruktur verändert sich unter dem Einfluss des demografischen Wandels zunehmend. Klassisch besetzte Berufsfelder verschwinden mehr und mehr durch den Wandel der Arbeitswelt. Dieser Wandel und seine Auswirkungen werden im nun folgenden Kapitel erläutert, bevor abschließend die vorliegende Mitarbeiterstruktur des Untersuchungsraumes dargestellt wird.

3.2 Wandel der Arbeitswelt

Ein wesentlicher Bestandteil zur Sicherung der inländischen Wirtschaftsleistung wird zukünftig darin bestehen, die hohe Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen mit geringerem Arbeitsinput zu erbringen. Dies ist weniger auf Rationalisierung und gewollte Personalkosteneinsparung zurückzuführen als vielmehr auf die geringer werdende physische Leistungsfähigkeit älterer Beschäftigter und die abnehmende Anzahl von Arbeitskräften, bedingt durch den demografischen Wandel.

Neben der Anzahl der Erwerbstätigen ist ferner auch deren Gesundheit für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung in Europa – und somit auch in Deutschland – maßgebend (Badura und Ducki, 2014, S. 75–77). Die folgenden Unterkapitel stellen die demografische Entwicklung in Deutschland und ihre Auswirkungen vor.

3.2.1 Demografischer Wandel

Der demografische Wandel beschreibt die Veränderung der Struktur einer Bevölkerung (Prezewowsky, 2007, S. 17). Durch die damit einhergehende Verschiebung der Altersstruktur werden Wirtschaftsnationen in vielerlei Hinsicht vor beträchtlichen Handlungsbedarf gestellt (BMAS, 2010, S. 25).

Für Unternehmen bedeutet dies, Arbeitssysteme altersgerecht zu gestalten, um dauerhaft ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten (Dreves, 2012, S. 42). Ein häufig verwendetes Maß zur Beschreibung der aktuellen demografischen Lage ist das durchschnittliche Alter einer Bevölkerung. Dieses wird in den nächsten Jahren

– bezogen auf die Weltbevölkerung – kontinuierlich ansteigen (United Nations, 2005, S. 13). In Deutschland ist dieser Effekt seit Mitte der 1970er Jahre zu beobachten. Ursachen dafür sind die steigende Lebenserwartung, eine sinkende Geburtenrate, die derzeit bei 1,5 Kinder pro Frau liegt (Statistisches Bundesamt, 2017) und die jährliche Nettozuwanderungsrate (Weltbank, 2014). Die in ihrer Anzahl stark vertretene Nachkriegsgeneration wird um das Jahr 2030 zwischen 60 und 75 Jahre alt sein und dadurch zu einer spürbaren Verschiebung der Bevölkerungszusammensetzung beitragen. Messbar wird dieser Effekt durch das steigende Durchschnittsalter. Dieses lag im Jahr 2010 in Deutschland bei ca. 44 Jahren (BMAS, 2010, S. 8). Im Jahr 2017 lag das Durchschnittsalter bei 46 Jahren und wird sich nach Prognosen des Statistischen Bundesamtes (2017) im Jahr 2030 auf 47,6 Jahre und 2040 auf 49,8 Jahre erhöhen. Abbildung 7 verdeutlicht die demografische Lage und zeigt eine Prognose¹⁵ des Wandels bis zum Jahr 2040.

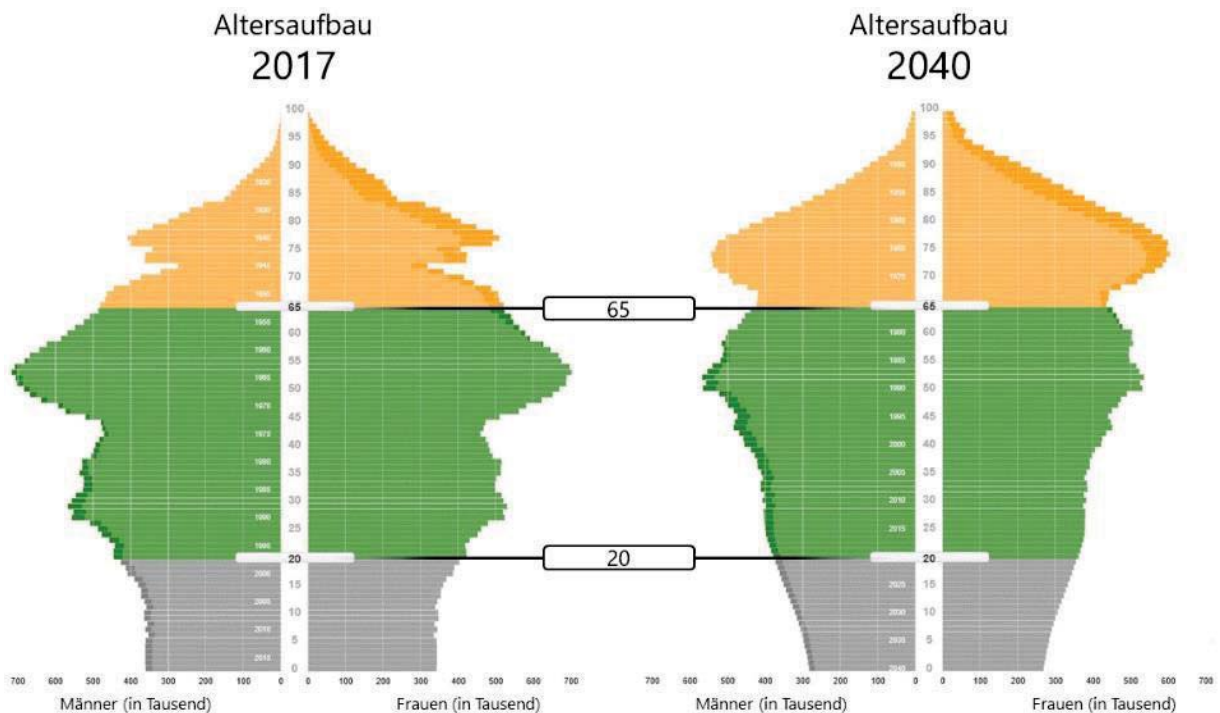


Abbildung 7: Demografischer Wandel in Deutschland. Prognosen bis 2040 unter Darstellung der unter 20-jährigen Bevölkerungsgruppe (grau), der Erwerbsbevölkerung zwischen 20 und 65 Jahren (grün) und der über 65-jährigen (gelb) (Statistisches Bundesamt, 2017)

Abgemildert wird dieser Effekt durch Zuwanderung aus anderen Ländern. Der Migrationssaldo der Bundesrepublik ist in den vergangenen Jahren positiv (BMAS, 2010, S. 6) und war nach einer Pressemitteilung des Statistischen Bundesamtes (14.07.2016) im Jahr 2015 so hoch wie nie zuvor. Deutschland ist ein beliebtes

¹⁵ Unter der Annahme eines Zuwanderungssaldos von 100.000 Menschen pro Jahr, 1,5 Kindern pro Frau sowie einer Lebenserwartung von durchschnittlich 84,8 Jahren für Männer und 88,8 Jahren für Frauen

Einwanderungsland und befindet sich im internationalen Vergleich hinter den USA und der Russischen Föderation auf Platz drei (United Nations, 2005, S. 24). Dadurch wird der demografische Wandel zwar etwas verlangsamt, kann jedoch nicht gänzlich ausgeglichen werden (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, 2015). Schlussendlich ist davon auszugehen, dass die Erwerbsbevölkerung altert und schrumpft (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, 2015).

Dieser Effekt ist auch in Unternehmen spürbar. Durch den Anstieg des Alters der Bevölkerung insgesamt werden auch die Personen im Erwerbsleben durchschnittlich immer älter (BMAS, 2010, S. 8). Diese Entwicklung hat ökonomische Folgen: Die Wirtschaftsleistung einer Nation wird üblicherweise von den erwerbstätigen Personen im Alter zwischen 20 und 65 Jahren erbracht (in Abbildung 7 grün dargestellt). Im Jahr 2016 machten 61 % der gesamten Bundesbevölkerung diesen Anteil aus. Im Jahr 2030 wird dieser voraussichtlich auf 55 % und im Jahr 2040 auf 53 % schrumpfen. Damit einher geht eine Zunahme der Personen im Rentenalter (> 65 Jahre) von aktuell 21 % auf 31 % im Jahr 2040 (Statistisches Bundesamt, 2017). Dies bedeutet für Deutschland zum einen, dass die Wirtschaftsleistung zukünftig von etwa der Hälfte der Landespopulation erbracht wird, und zum anderen, dass aufgrund des Generationenvertrages weniger Erwerbstätige für mehr Personen im Rentenalter aufkommen müssen (Bundesministerium der Finanzen, 2016, S. 2). Aus diesem Grund wird die Erwerbsbeteiligung von Älteren und Frauen weiter zunehmen müssen (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, 2015), um die nationale Wirtschaftsleistung stabil halten zu können. Eine konkrete, bereits eingeführte Maßnahme ist das Gesetz zur Anpassung der Regelaltersgrenze an die demografische Entwicklung zur Stärkung der Finanzierungsgrundlagen der gesetzlichen Rentenversicherung. Dies bedeutet die schrittweise Erhöhung des Renteneintrittsalters auf 67 Jahre, bevor der volle Umfang der gesetzlichen Rentenversicherung greift (Bundestag, 2007a); (Bundestag, 2007b). Dies stellt einige Berufsgruppen vor besondere Herausforderungen. Gerade bei physisch anstrengenden Tätigkeiten muss geprüft werden, ob die Erwerbstätigen diese bis ins hohe Arbeitsalter durchführen können. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, Arbeitssysteme möglichst risikoarm zu gestalten, um potenzielle Erkrankungen des MSS von vornherein zu vermeiden.

3.2.2 Altern – Veränderung der physischen Leistungsfähigkeit

In diesem Kapitel wird anhand einer Literaturrecherche die Frage diskutiert, ob ein Zusammenhang zwischen fortschreitendem Lebensalter und einer Veränderung der physischen Leistungsfähigkeit besteht. Dazu wird der Altersbegriff zunächst differenziert dargestellt. Dieser lässt sich in das kalendarische und das biologische Alter untergliedern. Das kalendarische Alter wird auch als Lebensalter verstanden, also als Alter resultierend aus dem aktuellen Datum abzüglich des Geburtsdatums (Walter et

al., 2006, S. 80). Das biologische Alter beschreibt den physiologischen¹⁶ Zustand der Organe in Relation zu einem Organ eines Körpers mit einem kalendarischen Alter (Winkler, 2008, S. 8). Die Alterungsprozesse laufen sehr unterschiedlich ab. Das bedeutet, verschiedene Teilsysteme altern intraindividuell unterschiedlich in Umfang und Schnelligkeit (Spanner-Ulmer und Keil, 2009, S. 19). Aus diesem Grund sind biologisches und kalendarisches Alter oft nicht kongruent (Walter et al., 2006, S. 80). Während sich das kalendarische Alter sehr einfach ermitteln lässt, ist die Bestimmung des biologischen Alters sehr schwierig und zeitaufwendig (Winkler, 2008, S. 8). Hinzu kommt, dass das biologische Alter einer Variabilität, beispielsweise durch Training oder Ernährung, unterliegt. Aufgrund des im Arbeitsumfeld nicht praktikabel ermittelbaren biologischen Alters, wird das kalendarische Alter für diese Diskussion als maßgeblich angesehen.

Die Leistungsfähigkeit von Arbeitspersonen hängt von physischen (z. B. Alter, Körperhöhe, Gewicht, Geschlecht, Trainingszustand) und psychischen Faktoren (z. B. mentale Verfassung, Wissensstand, Erfahrung, Bildungsgrad, Übung, Gewöhnung) im direkten und indirekten Bezug zur Arbeitsaufgabe ab (Dreves, 2012, S. 31).

Diverse Untersuchungen, z. B. von Mühlstedt et al. (2013, S. 33), belegen, dass sich physische und psychische Eigenschaften des Menschen mit zunehmendem Alter verändern, wodurch signifikante Folgen für die Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft im Arbeitsleben entstehen können. Im Rahmen dieser Arbeit ist vordergründig die physische Leistungsfähigkeit von Interesse, da zur Ausführung intralogistischer Tätigkeiten der Einsatz von Körperkräften bei physiologisch anstrengenden Aufgaben verlangt wird (Bokranz und Landau, 2006, S. 293).

Besteht also ein quantifizierbarer Zusammenhang zwischen dem (kalendarischen) Alter und der physischen Leistungsfähigkeit? Nach Kamusella und Schmauder (2013, S. 10) kann dies bestätigt werden. Demnach unterliegen Mitarbeiter einem altersabhängigen Kraftvermögen. Nach Angaben von Bokranz und Landau (2006, S. 232–235) erreichen Frauen und Männer den Höhepunkt der Muskelkraft im Alter zwischen 25 und 35 Jahren. Mit Erreichen des Rentenalters sind noch etwa 80 % der jugendlichen Maximalkraft verfügbar, wie verschiedene Untersuchungen der letzten Jahrzehnte belegen. Exemplarisch sei dieser Sachverhalt an der Handkraft erläutert. Theimer veröffentlichte 1973 Untersuchungen zu Handkräften von Frauen und Männern – ermittelt mit einem Hand- oder Jamar-Dynamometer – und deren Verlauf mit zunehmendem Alter. Die Veröffentlichung „A proposed standard procedure for static muscle strength testing“ von Caldwell et al. (1974, S. 201–206) ein Jahr später, bekräftigte das Interesse an der Datenerhebung. Mit ihrem Artikel entwickelten die Autoren ein standardisiertes Verfahren zur Messung von statischen Handkräften durch Hand-Dynamometer, das in den folgenden Jahren als Anleitung für viele weitere Untersuchungen diente. Ergebnisse solcher Untersuchungen zeigen einen Anstieg der

¹⁶ Altgriechisch: *phýsis* „Natur“ und *lógos* „Lehre“

ausführbaren Kräfte bis etwa zum 30. Lebensjahr, die dann sukzessive abfallen. Die Handkraft des Mannes liegt rund ein Drittel über der von Frauen. Dieser Unterschied bleibt über den Verlauf des Alterns bestehen (Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, 2001, S. 31). Auch Studien von Ewald und Kohler (1991, S. 6–10) zur maximal aufbringbaren Handkraft, durchgeführt an 1000 gesunden Probanden im Alter zwischen 20 und 69 Jahren in der Schweiz, sowie Studien von Mathiowetz et al. (1985, S. 69–72) an 310 männlichen und 328 weiblichen Probanden im Alter zwischen 20 und 94 Jahren aus Milwaukee bestätigen die Ergebnisse. Aufbauend darauf wurden auch von Phillips und Lindstrom-Hazel (2013) die maximalen statischen Handkräfte von 179 Freiwilligen (101 Männer und 78 Frauen) im Alter zwischen 20 und 62 Jahren aus dem Bereich der Automobilindustrie und dem Gesundheitswesen in Michigan ermittelt. Das Resultat bestätigte die zuvor erläuterten Ergebnisse anderer Autoren. Den ermittelten Sachverhalt zeigt Abbildung 8 schematisch. Darin ist der Unterschied maximaler Körperkräfte zwischen Männern und Frauen abhängig vom Lebensalter dargestellt.

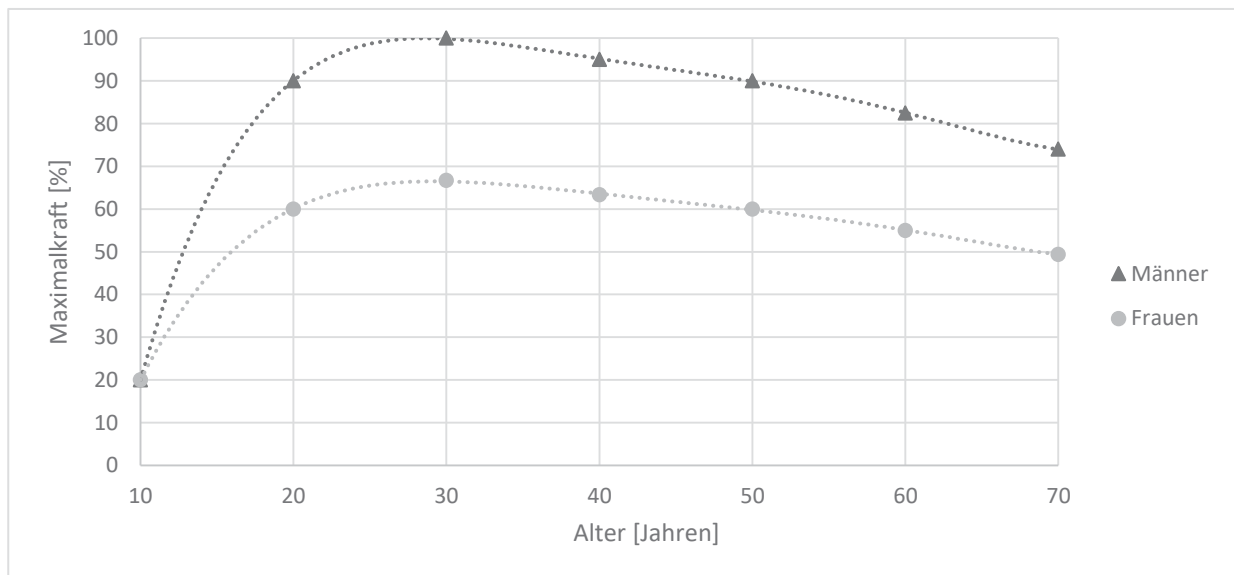


Abbildung 8: Geschlechterspezifischer Unterschied der Körperkraft (Bokranz und Landau 2006, S. 230); (Glitsch et al., 2004, S. 101); (Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, 2001, S. 31)

Der Effekt von altersbedingt geringer werdenden Kräften ist durch die Abnahme der Muskelmasse und die stetig schlechter werdende Versorgung der Muskulatur mit Mineralien begründet. Die Verringerung der Muskelkraft und der Ausdauer ist im höheren Alter üblich, führt zu einer allgemeinen physischen Leistungsminderung (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2003, S. 30–31) und steht nach Mietzel (2012, S. 100–101) jedem Menschen bevor. Durch körperliches Training ist es jedoch möglich, diesen Entwicklungsprozess nicht nur zu verlangsamen, sondern sogar in einen Muskelaufbau umzukehren. Der dazu nötige Aufwand nimmt jedoch mit steigendem Lebensalter zu (Bokranz und Landau, 2006, S. 232–235); (Mietzel, 2012, S. 100–101).

Ein zweites Beispiel für eine altersbedingte Veränderung, die jedoch auch durch Training verlangsamt werden kann, ist die Veränderung der Vitalkapazität¹⁷. Diese ist auf zunehmenden degenerativen Elastizitätsverlust der Lunge und die sich vermindernde Thoraxbeweglichkeit zurückzuführen (Mietzel, 2012, S. 114–115); (Hainbuch, 2005, S. 48).

Ein weiteres Beispiel, das für alle Menschen in ähnlichem Masse einem täglichen Training unterliegt und dadurch gute Vergleichbarkeit bietet, ist die Akkommodationsfähigkeit¹⁸ des Auges. Diese verschlechtert sich mit zunehmendem normalen Altern bei allen Personen auf ähnliche Weise (Bokranz und Landau, 2006, S. 234); (Keil, 2011, S. 89).

Degenerativ und somit irreversibel sind auch die altersbedingte Knorpelverhärtung und der Knorpelschwund zwischen den Gelenken. Der Gelenkknorpel dient der Reibungsminimierung und der Stoßdämpfung während des Bewegungsverlaufes. Die Folge der irreversiblen Veränderung ist eine Verringerung der Funktionsweise im jeweiligen biomechanischen Teilsystem (Weineck, 2004, S. 438). Entzündungen und Erosion des Knochens sind mögliche Folgen (Mietzel, 2012, S. 102–103).

Hecktor et al. (2014, S. 8–10) und ISO 11228-2 (2007, S. 35) beschreiben in diesem Zusammenhang die nachlassende mechanische Belastbarkeit von Wirbelsäulenelementen mit zunehmendem Alter. Übertragen lässt sich dies auf den gesamten Bewegungsapparat, bestehend aus Muskulatur, Knochen, Knorpel, Sehnen und Bändern. Bereits eine Einschränkung in nur einem Teilsystem stellt einen leistungsbegrenzenden Faktor dar und wirkt limitierend auf das Gesamtsystem Organismus. Mit steigendem Lebensalter sind vermehrt Verschleisserscheinungen zu beobachten (Biermann und Weissmantel, 1998, S. 172), (Scharla, 2001, S. 27–31); (Weineck, 2004, S. 438–439). Ältere sind zwar nicht per se weniger leistungsfähig als Jüngere, die physische Leistungsfähigkeit verschlechtert sich im Alter aufgrund verschiedener Einflussfaktoren jedoch grundsätzlich (BMAS, 2010, S. 12); (Hartmann et al., 2008, S. 460); (Egbers et al., 2010, S. 11). Motorische Fähigkeiten (Geschicklichkeit, Handhaben, Beweglichkeit) und sensorische Fähigkeiten (Sehen, Hören, Tasten, Schmecken, Riechen, Gleichgewichtssinn) nehmen im Alter ab (Deutsches Institut für Normung e. V., 2003, S. 27–30). Deshalb resultiert bei Älteren nach Grötsch und Wischniewski (2015) bei gleicher physischer Belastung eine höhere Beanspruchung (vgl. Kapitel 2.1.1). Dieser Effekt kann nach Angaben von Walch und Günthner (2009, S. 609–610) verstärkt werden, wenn Erwerbstätige über längere Zeit körperlich anstrengenden Tätigkeiten ausgesetzt sind, wie beispielsweise zu hohen Belastungen in der operativen Intralogistik.

Die aufgezeigten Beispiele lassen eine Problemstellung erahnen, die eine exakte Vorhersagbarkeit von Alter und physischer Leistungsfähigkeit erschwert. Zglinicki und Nikolaus (2007, S. 960), Schmauder und Hoffmann (2009, S. 196) und Brenner (2013,

¹⁷ Kenngröße für die Funktion der Lunge, bestehend aus Ein- und Ausatemluftvolumen

¹⁸ Einstellung des Auges auf unterschiedliche Sehentfernungen

S. 7–32, 109) beschreiben dies mit dem individuellen Verlauf des Alterungsprozesses. Dieser unterliegt einer hohen intraindividuellen¹⁹ und interindividuellen²⁰ Variabilität und ist von diversen Einflüssen abhängig (Flügel et al., 1986, S. 245).

Gunzelmann (2008, S. 59–60) beschreibt den Alternsprozess als ein komplexes, multidimensionales Geschehen. Dieses ist aus seiner Sicht nicht durch eine einzige Kennzahl quantifizierbar. Zu diesem Schluss kommen auch Biermann und Weissmantel (1998, S. 5) und Spanner-Ulmer et al. (2012, S. 390). Auch für Grötsch und Wischniewski (2015) ist nicht das Alter, sondern vielmehr die Differenz zwischen Arbeitsanforderung und der physischen Leistungsfähigkeit bedeutsam. Das genauere Maß einer kausalen Bestimmung von Leistungsfähigkeit und Alter ist nicht das kalendarische, sondern das eingangs beschriebene biologische Alter (Botthof, 2015, S. 26). Dessen sehr aufwendige Bestimmung stellt, wie zuvor beschrieben, keine praxistaugliche Anwendbarkeit dar.

Die geführte Diskussion macht deutlich, wie schwierig es ist, die Leistungsfähigkeit anhand des einfach zu ermittelnden kalendarischen Alters zu bestimmen. Festzuhalten bleibt jedoch, dass sich die Wissenschaft über die grundsätzliche Abnahme der physischen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Lebensalter, ab etwa dem 30. Lebensjahr, einig ist. Aus diesem Grund wird das kalendarische Alter als maßgebliche und praktikable Bestimmungsgröße gewählt.

Abschließend kann anhand der hier geführten Diskussion keine eindeutige Übertragbarkeit auf die Mitarbeiter des Untersuchungsraumes getroffen werden. Deshalb werden eigene Untersuchungen zur Feststellung einer möglichen Korrelation zwischen Lebensalter und physischer Leistungsfähigkeit mit der vorliegenden Mitarbeiterpopulation durchgeführt. Diese werden in Kapitel 5 vorgestellt.

3.3 Mitarbeiterstruktur im Untersuchungsraum

Eine Anforderung an die zu entwickelnde Methode zur Risikobewertung physischer Tätigkeiten ist die Berücksichtigung von personenbezogenen bzw. individuellen Parametern der allgemeinen Arbeitsbevölkerung²¹. Nach Bokranz und Landau (2006, S. 293) sind solche individuellen Parameter das Lebensalter und das Geschlecht. Jürgens et al. (1989, S. 93–94) ergänzen diese um die Körperhöhe. Die drei genannten Parameter sorgen laut Flügel et al. (1986, S. 245) und Dreves (2012, S. 31) für eine hohe inter- und intraindividuelle Streubreite hinsichtlich der Leistungsfähigkeit. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass es nicht ausreichen kann, einen

¹⁹ Funktionseinschränkungen einzelner Strukturen, Gewebe und/oder Organe

²⁰ Alterungsprozess unterschiedlicher Menschen im Vergleich

²¹ Schließt nach DIN EN 1005-1:2009-04 (S. 8) die erwachsene Arbeitsbevölkerung unter Ausschluss körperlich behinderter Menschen und Personen unterhalb des gesetzlichen Mindestalters für den Arbeitseinsatz ein

„Durchschnittsmenschen‘ als Repräsentanten einer diversen Population innerhalb einer Risikobewertung als Bewertungsbasis heranzuziehen. Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 105) fassen diese Erkenntnisse wie folgt zusammen: „Einen Durchschnittsmenschen zu definieren und sich bei der Gestaltung an dessen Abmessungen zu orientieren ist [in den meisten Fällen] nicht sinnvoll“. Bokranz und Landau (2006, S. 264) bezeichnen „die Gestaltung eines Dauerarbeitsplatzes für den durchschnittlichen Mitarbeiter sogar als falsch“. Aus diesem Grund sind nach Hartmann et al. (2008, S. 459) und Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 19) die individuellen Voraussetzungen von Nutzergruppen bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen zu berücksichtigen.

Die nun folgenden Abschnitte stellen die Mitarbeiterstruktur im Untersuchungsraum vor. Diese wird anhand der zuvor als relevant eingestuften drei personenbezogenen Parameter der Geschlechterzusammensetzung, der Altersstruktur und der Verteilung der Körperhöhe dargestellt.

Geschlechterzusammensetzung

Unter den Logistikfachkräften im Untersuchungsraum gibt es einen vergleichsweise hohen Frauenanteil für operative Tätigkeiten von 18 %. Prognosen für die nächsten Jahre deuten auf eine weitere Steigerung auf bis zu 30 % hin (Unger et al., 2014). Dies ist mit Herausforderungen bezüglich der Arbeitsplatzgestaltung verbunden, da Mitarbeiterinnen gegenüber ihren männlichen Kollegen einige Unterschiede hinsichtlich der physischen Leistungsfähigkeit aufweisen. Frauen sind im Allgemeinen vergleichsweise kleiner als Männer und haben in der Regel ein geringeres Körpergewicht. Das geringere Gewicht ist unter anderem durch weniger Muskelmasse begründet, wodurch sich wiederum geringere Muskelkräfte ergeben (Bokranz und Landau, 2006, S. 229–231). Nach Walter und Plaumann (2008, S. 8) können Frauen durchschnittlich nur 65 % der Maximalkraft leisten, die im Allgemeinen von Männer entwickelt werden kann.

Grundsätzlich sollen Arbeitsplätze nach der EU-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG Männern und Frauen gleichermaßen zur Verfügung stehen. Darum ist es erforderlich, sich bei der Gestaltung von Arbeitssystemen an den Leistungsmerkmalen des gesamten Nutzerkollektivs zu orientieren (Glitsch et al., 2004, S. 101). Eine Berücksichtigung von geschlechterspezifischen physischen Unterschieden für die zu entwickelnde Bewertungsmethode erscheint somit unerlässlich und wird in dieser Arbeit entwickelt.

Altersstruktur

Die derzeitige Altersstruktur der operativen Intralogistik des Untersuchungsraums ist in Abbildung 9 illustriert. Die größte Gruppe der Mitarbeiter ist zwischen 50 und 59 Jahre alt. In dieser Gruppe und der Gruppe der 40- bis 49-Jährigen befinden sich auch die meisten LGW-Mitarbeiter. Diese Mitarbeiter können aufgrund körperlicher Einschränkungen nicht mehr in allen Arbeitssystemen eingesetzt werden. Es ist zu beobachten, dass im Logistikbereich vielfach LGW- sowie ältere Mitarbeiter eingesetzt wurden und werden, um diese vom Leistungsdruck und den hohen Belastungen, bedingt durch Takt- und Akkordvorgaben im Montagebereich, zu entlasten. Derzeit findet unter zunehmendem Wettbewerbsdruck jedoch auch im Bereich der Logistik eine wertschöpfungsorientierte Wandlung der Arbeitsinhalte statt, was zu höheren Anforderungen an die Mitarbeiter und damit verbunden zu höheren Belastungen führt (Walch und Günthner, 2009, S. 609–610). Ziel ist es, zukünftig die Anzahl der LGW durch präventive Maßnahmen zu senken. Um diese Maßnahmen ableiten zu können, ist es zuvor erforderlich, ergonomische Defizite zu erkennen und diese zu beseitigen.

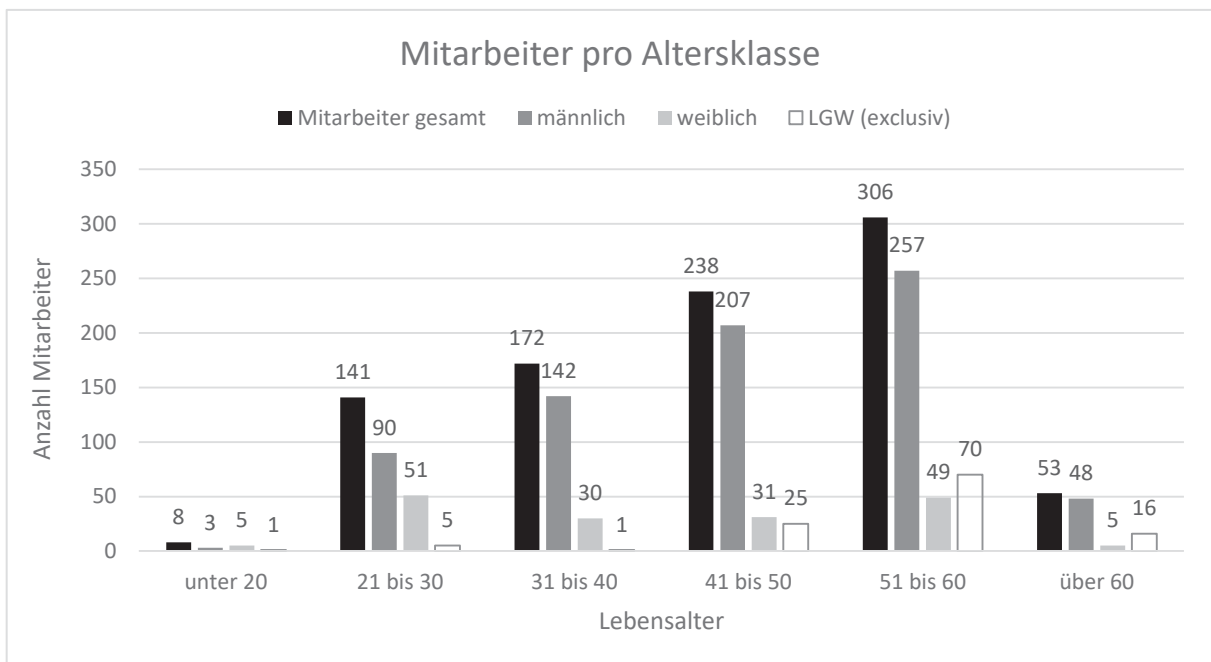


Abbildung 9: Altersstruktur der Organisationseinheit Operative Intralogistik

Die Gruppe der über 60-jährigen Mitarbeiter ist verhältnismäßig klein, da viele das aktive Berufsleben durch Altersteilzeitmodelle bereits Anfang 60 beenden bzw. – nach aktuellem Stand – spätestens mit 65 Jahren in die Rente eintreten. In der Gruppe der 20- bis 29-Jährigen befindet sich im Vergleich zu den höheren Altersklassen ein überproportionaler Anteil an Mitarbeiterinnen. Dies unterstreicht den beschriebenen Trend einer steigenden Frauenquote.

Das durchschnittliche Alter der Organisationseinheit (OE) Operative Intralogistik liegt bei 43 Jahren. Eine spürbare Verjüngung wird erst einsetzen, wenn die beiden

großen Gruppen der 41- bis 50-Jährigen und der 51- bis 60-Jährigen nach und nach aus dem Berufsleben ausscheiden und durch den Einsatz junger Mitarbeiter kompensiert werden; dieser Effekt wird aber voraussichtlich erst in etwa 15 Jahren einsetzen.

Für die deutschen Audi-Werke liegt das Durchschnittsalter bei 41,5 Jahren. Im Jahr 2020 werden nach Berechnungen 44 % aller Mitarbeiter 50 Jahre oder älter sein (Scholz, 2013, S. 2). Dies deckt sich mit Zahlen aus der Branche von Automobilherstellern des Premiumsegments. Bei der Daimler AG lag das Durchschnittsalter im Jahr 2015 bei 43,7 Jahren. Prognosen zufolge wird es bis zum Jahr 2023 auf 47 Jahre ansteigen und dann stark abnehmen (Heer und Baumhauer, 2015). Beim dritten großen Automobilhersteller des Premiumsegments, BMW, wird für das Jahr 2018 ein durchschnittliches Alter der Belegschaft von 48 Jahren erwartet (Walch und Günthner, 2010b, S. 10).

Wie zuvor dargestellt, hat das Lebensalter einen bedeutenden Einfluss auf die individuelle physische Leistungsfähigkeit. Mit fortschreitendem Alter sinkt in der Regel das Kraftvermögen des Menschen (Kamusella und Schmauder, 2013, S. 10). Müssen Aufgaben mit hohen Körperkräften ausgeführt werden, steigt somit das Risiko einer Schädigung des MSS bei der älteren Belegschaft. Dieses erhöhte Risiko gilt es zu identifizieren. Deshalb wird die zu entwickelnde Risikobewertung einen Parameter zur Berücksichtigung des Lebensalters enthalten.

Verteilung der Körperhöhe

Die Mitarbeiterstruktur des Untersuchungsraumes, bezogen auf die Körperhöhe von 1.131 Mitarbeitern der OE Operative Intralogistik, ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Mittelwert der männlichen Mitarbeiter liegt bei 177,3 cm, der Mittelwert der Mitarbeiterinnen bei 165,8 cm. Um diese Werte besser einschätzen zu können, bietet sich eine Gegenüberstellung mit DIN 33402-2:2005-12 (S. 9) an. Darin enthalten sind die Körpermaße des Menschen der Wohnbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Die Ergebnisse stammen aus Untersuchungen der Jahre 1999 bis 2002 unter Berücksichtigung verschiedener Altersgruppen. Als Vergleichswert eignet sich die durchschnittliche Körperhöhe (entspricht dem 50. Perzentil²²) im Alter zwischen 18 und 65 Jahren von Männern (175 cm) und Frauen (162,5 cm). Die durchschnittliche Körperhöhe des Mitarbeiterkollektivs deckt sich ergo weitestgehend mit den allgemein gültigen Vergleichswerten aus DIN 33402-2 (2005-12, S. 9). Weitere Daten zu Körpermaßen des Menschen finden sich unter anderem in DIN CEN ISO/TR 7250-1:2010-06, DIN EN 547-1:2009-01, DIN EN 547-2:2009-01, DIN EN 547-3:2009-01, DIN EN ISO 14738:2009-07, bei Flügel et al. (1986) im „Anthropologischen Atlas“, bei Jürgens et al. (1989) im „Internationalen anthropometrischen Datenatlas“ oder bei Lange und Windel (2013) in „Kleine ergonomische Datensammlung“. Auch diese Daten sind weitgehend übereinstimmend mit der vorliegenden Verteilung bzw.

²² Relative Summenhäufigkeit eines Merkmals einer Gruppe

durchschnittlichen Körperhöhe im Untersuchungsraum. Hinzu kommt die erkennbare Normalverteilung der Werte in Abbildung 10. Diese spiegelt sich nach den Aussagen von Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 105) so auch im Kollektiv der Gesamtbevölkerung wider. Die zugrunde liegende Mitarbeiterstruktur hinsichtlich der Körperhöhe unterliegt folglich keinen Besonderheiten und ist mit der Einwohnerbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland kongruent.

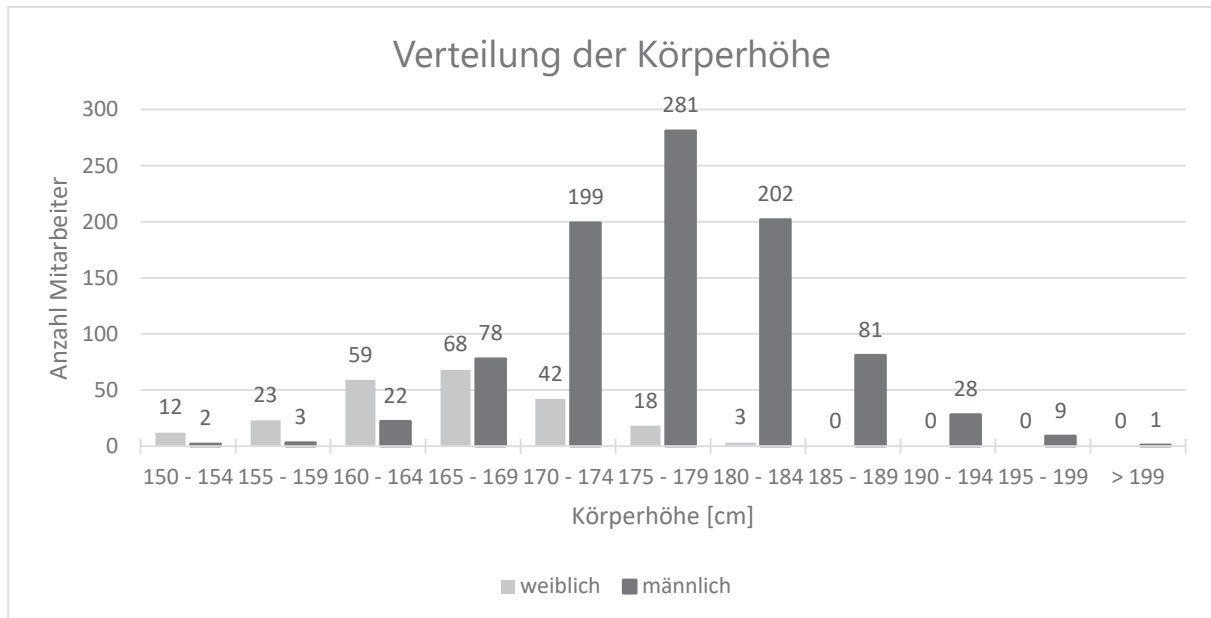


Abbildung 10: Verteilung der Körperhöhe Organisationseinheit Operative Intralogistik

Arbeitsplätze müssen nach Bokranz und Landau (2006, S. 231) sowie Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 105) so gestaltet sein, dass sie die Variationsbreite der Körpermaße bei der Gestaltung von Produkten und Arbeitssystemen mitberücksichtigen und den Körpermaßen und Leistungsgrenzen aller Mitarbeiter entsprechen. Von Jürgens et al. (1989, S. 93–94) wird empfohlen, sich an der Spannweite zwischen dem 5. weiblichen (W5; 153,3 cm) und dem 95. männlichen (M95; 185,5 cm) Perzentil (bezogen auf die Körperhöhe) bei der Auslegung von Arbeitssystemen zu orientieren. Die Unterschiede der Körperhöhe zeigt Abbildung 11 (Kamusella, 2015b)

Neben der Gestaltung ist die Beurteilung eines Arbeitssystems aufgrund von gemittelten Werten der Körperhöhe einer Population nach DIN 33402-2:2005-12 (Beiblatt 1, S. 4) nicht ausreichend. Damit der Einfluss der Körperhöhe zukünftig nicht bloß in Durchschnittswerten berücksichtigt wird, wird in dieser Arbeit ein Ansatz entwickelt, der die beschriebene Spannweite unterschiedlich großer Personen innerhalb einer Risikobewertung berücksichtigen wird.

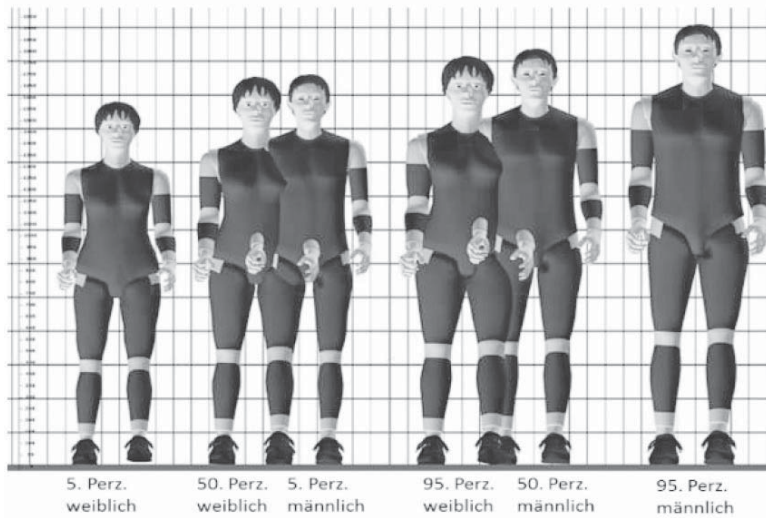


Abbildung 11: Körperhöhenverteilung von W5 bis M95 (Kamusella 2015b)

Fazit

Unterstützende Tätigkeiten wie die der Intralogistik werden zunehmend arbeitsteiliger und können so einseitige Belastungen mit sich bringen. Logistikfachkräfte sind hauptsächlich durch häufige manuelle Lastenhandhabung physisch belastenden Tätigkeiten ausgesetzt. Obwohl im Zeitalter der Industrie 4.0 vermehrt automatisierte, vernetzte Systeme eingesetzt werden, übernimmt der Mensch nach wie vor eine zentrale Rolle in diesen Arbeitssystemen. Es hat sich gezeigt, dass Betriebs- und Arbeitsmittel intralogistischer Arbeitsplätze in Bezug auf ihre individuelle Anpassbarkeit zumeist als unflexibel angesehen werden müssen. Eine Anpassung des Arbeitsplatzes an die Mitarbeiter ist somit nur eingeschränkt gegeben.

Neben dem Wandel der Arbeitsprozesse findet auch eine Verschiebung der Mitarbeiterstruktur durch den demografischen Wandel statt. Mitarbeiterkollektive verändern sich hinsichtlich Altersstruktur und Geschlechterzusammensetzung. Die Ausprägung von personenbezogenen Parametern wie dem Geschlecht, dem Lebensalter aber auch der Körperhöhe zeigen eine hohe Diversität. Jeder Parameter hat Auswirkungen auf die physische Leistungsfähigkeit von Personen. Aufgrund der zuvor beschriebenen unflexiblen Arbeitsplätze der Intralogistik, gepaart mit einer hohen Diversität der Mitarbeiterstruktur, liegt eine unterschiedliche Beanspruchung vor. Ein Abgleich physischer Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsanforderungen für die Planung und Gestaltung der Arbeitssysteme ist erforderlich (Bierwirth, 2012, S. 32). Aus diesem Grund werden die personenbezogenen Parameter Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe in die Untersuchung aufgenommen. Ziel ist es, eine nutzergruppenbezogene Risikobewertung am Beispiel der operativen Intralogistik zu entwickeln. Dabei soll sich der zeitliche Aufwand gegenüber einem konventionellen Screeningverfahren nicht erhöhen. Ein solches Verfahren stellt letztlich das Erkennen von Defiziten sicher und ermöglicht dadurch eine ergonomisch entsprechende Gestaltung. Mittels eines solchen Vorgehens kann es gelingen, Arbeitssysteme noch besser an das Mitarbeiterkollektiv anzupassen.

4 Potenzialanalyse von Risikobewertungen bezogen auf intralogistische Arbeitssysteme

Nachdem im Kapitel 2.2 Komplexitätsgrade und die Bewertung unterschiedlicher physischer Belastungsfälle durch Risikobewertungen vorgestellt wurden, wird in diesem Kapitel eine Potenzialanalyse durchgeführt, mit der jene Verfahren identifiziert werden, die sich auf die Problemstellung dieser Arbeit anwenden lassen. Da es eine Fülle von Möglichkeiten zur Risikobewertung physischer Tätigkeiten gibt (BAuA, 2007, S. 21), werden 24 in diesem Kapitel untersucht und verglichen. Die Auswahl erfolgt in einem Expertengremium. Das Vorgehen der Potenzialanalyse wird schematisch erläutert. Anschließend werden die Risikobewertung mit dem höchsten Potenzialwert sowie die unternehmenseigene APSA an 15 typischen Arbeitsplätzen der Intralogistik angewendet und deren Ergebnisse verglichen.

4.1 Auswahl geeigneter Risikobewertungen

Zur Auswahl geeigneter Risikobewertungen wird eine Potenzialanalyse angewendet. Ziel dieser Potenzialanalyse ist die systematische Reduzierung von Optionen, indem die Möglichkeiten anhand von Kriterien verglichen, gewichtet und ausgewählt werden (Roenpage und Lunau, 2007, S. 250–251); (Back und Weigel, 2014, S. 86–87, 94). Ein solches Vorgehen gewährleistet die Identifikation der Risikobewertungen, die sich am besten für die Bewertung intralogistischer Tätigkeiten eignen. Die Potenzialanalyse wird in einem Expertenteam, bestehend aus Vertretern der operativen Intralogistik, des Industrial Engineering und Ergonomieexperten durchgeführt. Der schematische Ablauf ist in Abbildung 12 dargestellt. Zu Beginn werden Risikobewertungen **1** gesammelt und den vier Kategorien Grobscreening, Screening, Experte und Messung zugeordnet. Anschließend werden Anforderungen **2** definiert, die für die Bewertung intralogistischer Tätigkeiten relevant sind. Jeder Anforderung wird anschließend ein Grad der Wichtigkeit **3** von 1 (unwichtig) bis 10 (äußerst wichtig) zugewiesen. Als Nächstes wird in der Matrix jede Anforderung mit jeder Risikobewertung verglichen und ein Wert für deren Erfüllungsgrad **4** vergeben. Nach dem Bewerten aller Erfüllungsgrade werden diese multiplikatorisch mit der Wichtigkeit verrechnet, woraus sich die gewichteten Erfüllungsgrade ergeben. Abschließend errechnet sich der Potenzialwert **5** aus der Summe der gewichteten, einer Risikobewertung zugehörigen Erfüllungsgrade. Je höher der Potenzialwert eines Verfahrens ist, desto besser ist dieses auf die Problemstellung dieser Arbeit anwendbar.



Abbildung 12: Schematische Darstellung zum Vorgehen der angewendeten Potenzialanalyse

Auswahl und Kategorisierung der Risikobewertungen

Zu Beginn werden 24 Risikobewertungen im Expertenteam ausgewählt, die in einer ersten Abschätzung auf die Arbeitssysteme des Untersuchungsraumes anwendbar sind. Zur übersichtlichen Vergleichbarkeit der Verfahren werden diese nach ihrem Komplexitätsgrad (vgl. Kapitel 2.1.1) gruppiert. Tabelle 1 zeigt Feld **1** der Potenzialanalyse mit den ausgewählten und gruppierten Bewertungen.

Tabelle 1: Berücksichtigte Risikobewertungen physischer Belastungen der Potenzialanalyse

Grob-screening	Screening																Experten	Mes-sung					
BGI 504-46 / BGI 7011	AWS light	DIN EN 1005-2, Verf. 1	LMM-HHT	LMM-ZS	LMM-MA	RULA	OCRA Checkliste	MLT	AAWS	IAD-BkB	DIN EN 1005-2, Verf.2	DIN EN 1005-2, Verf. 3	OWAS	EAWS	NPW	Siemens und Derivate	APSA	NIOSH	OCRA-Index	MDD	Montagespezifischer Kraftatlas	CUELA	Kraftmessung

Festlegung der Anforderungen

Anschließend erfolgt die Sammlung von Anforderungen an die zu entwickelnde Risikobewertung. Nach Back und Weigel (2014, S. 86–87, 94) empfiehlt es sich, die Anforderungen logisch und hierarchisch zu strukturieren. Nach diesem Vorgehen werden 35 einzelne Anforderungskriterien unter den Oberbegriffen *personenbezogene Faktoren* und *Belastungsarten* zusammengefasst.

Die personenbezogenen Faktoren Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe ergeben sich aus Kapitel 3.2. Die Belastungsarten resultieren aus den möglichen Bewertungskriterien der ausgewählten Risikobewertungen und aus physischen Anforderungen, die die intralogistischen Arbeitssysteme an die Mitarbeiter stellen. Die getroffene Auswahl kann in die vier Unterkategorien *personenbezogene Faktoren*, *manuelle Lastenhandhabung*, *Zwangshaltung* und *Kräfte* untergliedert werden. Alle gesammelten Anforderungen werden in ihren Gruppen untereinander im Feld ② der Potenzialanalyse aufgelistet.

Wichtigkeit und Erfüllungsgrad der Anforderungen

Nachdem die Anforderungen ausgewählt und kategorisiert sind, wird im nächsten Schritt deren Wichtigkeit ③ bezogen auf die Zielsetzung festgelegt. Dazu wird die von Back und Weigel (2014, S. 86–87, 94) und Kühnapfel (2014, S. 10) empfohlene Skala von 1 *unwichtig* bis 10 *sehr wichtig* verwendet. Tabelle 2 zeigt die Anforderungen und die zugehörige Wichtigkeit.

Tabelle 2: Anforderungen an Risikobewertungen zur Potenzialanalyse und deren Wichtigkeit

Anforderungen							
Pers.bezogene Faktoren	Belastungsarten						
		Manuelle Lastenhandhabung	10	Zwangshaltung	9	Kräfte	9
Geschlecht	10	Körperhaltung	9	Rumpfhaltung	9	Höhe	9
Alter	10	Lastgewicht	9	Beinhaltung	7	Häufigkeit	9
Körperhöhe	10	Häufigkeit / Dauer	9	Armhaltung	8	Dauer	9
		Umsetzen	10	Reichweite	5	Ganzkörper- / Armkräfte	5
		Position Last zum Körper	5	Asymmetrie	5	Fingerkräfte	9
		Greifbedingung	2	Liegen, Klettern	1	Körperhaltung	3
		Bewegungsraum	1	Knien	2	Greifbedingung	2
		Ziehen & Schieben	10	Stehen	9	Gelenkstellung	2
		Ausführungsbedingungen	7	Sitzen	9	Impulse / Rückschläge	1
		Positioniergenauigkeit	1				
		Art des Transportmittels	2				

Anschließend erfolgt im mittleren Bereich der Potenzialanalyse eine Festlegung des Erfüllungsgrades ④ einer Risikobewertung bezogen auf die jeweilige Anforderung. Back und Weigel (2014, S. 86–87, 94) empfehlen eine Skala mit den Stufen 1, 3 und 9. 1 repräsentiert eine geringe, 3 eine mittlere und 9 eine starke Erfüllung. Wird eine Anforderung nicht berücksichtigt, so wird diese mit 0 Punkten gewertet.

Berechnung des Potenzialwertes

Aus den Werten von Wichtigkeit ③ und Erfüllungsgrad ④ wird das Produkt gebildet. Dieses stellt den gewichteten Erfüllungsgrad dar. Die Spaltensumme aus den Einzelprodukten der gewichteten Erfüllungsgrade bildet den Potenzialwert ⑤ (Kühnapfel, 2014, S. 10). Je höher dieser Wert ist, desto besser erfüllt das jeweilige Lösungskonzept die Gesamtanforderungen (Back und Weigel, 2014, S. 151). Abschließend wird eine Rangfolge der Verfahren gebildet.

Ergebnis

Die gesamte Potenzialanalyse ist im Anhang A1 – *Potenzialanalyse* abgedruckt. Die Risikobewertungen mit dem höchsten Potenzialwert zur Bewertung intralogistischer Tätigkeiten sind:

1. *EAWS*
2. *NPW*
3. *IAD-BkB*
4. *MLT*

Diese vier Risikobewertungen und das unternehmenseigene Screeningverfahren *APSA* (das Rang sechs in der Potenzialanalyse belegt) werden im nächsten Schritt an 15 typischen Arbeitsplätzen der Intralogistik angewendet und die Ergebnisse verglichen.

Zur späteren Entwicklung von Lösungskonzepten können auch Bausteine herangezogen werden, die einen hohen Potenzialwert einer Einzelanforderung erzielt haben (Back und Weigel, 2014, S. 86–87, 94), obwohl sie nicht zu den vier hier ermittelten Risikobewertungen mit dem höchsten Gesamtnutzen zählen. Somit ist gewährleistet, dass sehr gute Erfüllungen von einzelnen Anforderungen nicht unberücksichtigt bleiben.

4.2 Prüfung der Anwendbarkeit ausgewählter Risikobewertungen

Im Untersuchungsraum existieren rund 230 unterschiedliche Arbeitsplätze, an denen Mitarbeiter meist über drei Schichten eingesetzt sind. Um einen Eindruck der Anwendbarkeit und der Ergebnisse der fünf identifizierten Verfahren aus dem vorigen Kapitel zu gewinnen, werden 15 typische Arbeitsplätze aus dem Untersuchungsraum – im Folgenden Referenzarbeitsplätze genannt – ausgewählt, an denen die Risikobewertung durchgeführt wird. Diese Auswahl wurde durch ein Expertenteam (bestehend aus dem Leiter und Mitarbeitern der OE Operative Logistik, Vertretern des Industrial Engineering und Ergonomieexperten) getroffen. Jedes Tätigkeitscluster (vgl. Kapitel 3.1.2, Abbildung 6) ist durch mindestens zwei Arbeitsplätze repräsentiert. Tätigkeitsrelevante manuelle Arbeitsinhalte der 15 Referenzarbeitsplätze werden für die zu vergleichenden Risikobewertungen erfasst und anschließend mit diesen bewertet (Conrad et al., 2015, S. 3–4). Alle ausgewählten Bewertungen beziehen sich

auf einen ‚Durchschnittsmenschen‘ und geben einen Risikopunktwert für den jeweiligen Arbeitsplatz aus, der sich nach DIN EN 614-1:2009-06 (S. 20–21) in ein Drei-Zonen-Bewertungssystem (nach Ampelfarben) einstufen lässt. Der risikofreie grüne Bereich reicht von 0 bis 25 Punkte (bei der unternehmenseigenen Risikobewertung APSA liegt der Grenzwert von grün zu gelb bei 30 Punkten). Der gelbe Bereich, in dem Arbeitssystemverbesserungen angestrebt werden sollten, erstreckt sich von 25 bis 50 Punkte. Werden mehr als 50 Punkte erreicht (roter Bereich), so müssen umgehend Maßnahmen zur ergonomischen Verbesserung eingeleitet werden. Da alle Verfahren einen Risikopunktwert berechnen und dieser zusätzlich in Ampelfarben ausgegeben wird, lassen sich die Ergebnisse, die Tabelle 3 zeigt, sehr gut vergleichen.

Beim *EAWS*, *NPW* und *MLT* werden jeweils geschlechterspezifische Risikowerte ausgegeben. *IAD-BkB* und *APSA* geben einen geschlechterunabhängigen, konglomerierten Belastungswert aus.

Tabelle 3: Ergebnisse der Risikobewertung von 15 Referenzarbeitsplätzen der Intralogistik

Cluster	Nr.	Arbeitsplatz / Geschlecht	Risikobewertung		EAWS		NPW		IAD-BKB	MLT		APSA*
			Bewertungsbasis		m	w	m	w	-	m	w	-
Staplertätigkeit	1	LKW Entladung	17	17	15	15	9	-	-	9	9	
	2	GLT Auftrailern	32	37	30	35	30	13	17	22		
	3	GLT Stapelung	17	17	15	15	9	-	-	9		
	4	Motorentransport	22	22	23	23	22	-	-	15		
Kommissionieren	5	Supermarkt	22	24	16	19	24	8	11	16		
	6	Kardanwelle/Bremssch.	29	35	30	36	48	36	42	29		
	7	Waschen und Passivieren	33	44	35	46	16	15	24	19		
Routenverkehr GLT	8	GLT Fahrer	36	47	36	47	46	38	49	24		
	9	GLT Aufzug	18	20	18	20	33	28	33	20		
	10	AKL Auslagern	45	56	42	52	42	42	55	27		
Routenverkehr KLT	11	Kanban Fahrer	30	40	28	38	24	25	33	20		
	12	KLT Deckel	36	44	35	43	47	40	50	20		
	13	AKL Einlagern	25	35	25	35	20	20	30	23		
Schleppertransport	14	Fächerwagentransport	44	51	41	46	54	36	45	21		
	15	Plattenwagentransport	2	2	0	0	0	-	-	0		

m: männlich
w: weiblich



*APSA Grenze grün-gelb bei 30 Punkten

Beim Vergleich der Ergebnisse ist die unterschiedliche farbliche Einstufung unter den Risikobewertungen auffällig. *APSA* weist bei jedem Arbeitsplatz eine grüne (geringe Belastung) aus, wohingegen alle anderen Verfahren bei einigen Arbeitsplätzen davon abweichen. Die Arbeitsplätze sechs (Kardanwelle/Bremsscheiben) und zehn (AKL Auslagern) fallen jedoch nur aufgrund der um fünf Punkte nach oben verschobenen Grenze bei *APSA* von grün zu gelb in den Bereich der geringen Belastung.

Die Ergebnisse von *EAWS* und *NPW* liegen auf sehr ähnlichem Niveau. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beide Verfahren die gleichen Bewertungsmodule mit sehr ähnlichen Bewertungsskalen haben. *IAD-BkB* erfasst in seinen Modulen – wie auch *EAWS* und *NPW* – Körperzwangshaltungen, Körperkräfte und Lastenhandhabung, hat jedoch abweichende Bewertungsskalen und kommt so zu anderen Ergebnissen.

MLT ist speziell für die Bewertung von logistischen Tätigkeiten geeignet (vgl. Kapitel 2.2.2), betrachtet aber Faktoren wie Körperhaltung ohne Lastenhandhabung oder die Ausübung von Körperkräften nicht. Deshalb führen die ermittelten Risikopunkte bei Tätigkeiten mit wenig Lastenhandhabung zu einer niedrigen Risikoeinstufung.

Die Einstufung von *APSA* liegt vor allem durch eine andere Art der Bewertung von Körperkräften und Lastenhandhabung in dem dargestellten Risikobereich. Kräfte werden nur qualitativ (mittlere oder hohe Kräfte) erfasst, die Lastenhandhabung hat andere Skalen mit anderen Punktwerten. Deshalb führt die *APSA*-Bewertung zu abweichenden Ergebnissen.

Vergleicht man die Ergebnisse der Verfahren untereinander, so ist eine Streuung der Risikoabschätzung, die auf die unterschiedlichen Bewertungsmodule, deren Inhalte und Skalierung der angewendeten Risikobewertung zurückzuführen sind, erkennbar. Die Anwendbarkeit aller Risikobewertungen auf die 15 Referenzarbeitsplätze ist (mit einigen Ausnahmen beim *MLT*) grundsätzlich gegeben.

4.3 Festgestellte Defizite und Ableitung von Anforderungen an die zu entwickelnde Risikobewertung

Existierende Risikobewertungen sind nach Walch und Günthner (2010a, S. 69) meist auf die Bedürfnisse der Montage ausgerichtet. Logistische Tätigkeiten, wie zum Beispiel das Kommissionieren, werden in gängigen Verfahren nach einem Methodenvergleich von Goldscheid (2007, S. 71) bei der Risikobewertung nicht in hinreichendem Maße berücksichtigt. Dreves (2012, S. 127) beklagt ein Defizit in der Risikobewertung von Sekundärprozessen wie der Logistik. Auch Hentschel et al. (2012) kommen zu dem Schluss, dass für das Gewerk Logistik eines Automobilherstellers die auftretenden Belastungen kaum durch geeignete Risikobewertungen evaluiert werden können.

Die Untersuchungen dieses Kapitels zeigen hingegen, dass Logistiktätigkeiten mit einigen Verfahren, wie beispielsweise dem *MLT*, *EAWS* und *NPW*, durchaus bewertet werden können. Diese Möglichkeit bietet das Screeningverfahren *APSA* derzeit nicht in vollumfänglichem Maße, weshalb es zu einer geringeren Risikoeinstufung im Vergleich zu den angewendeten Bewertungen führt. Dies trifft in Teilen auch auf die Bewertung von Körperkräften zu, die in einigen Verfahren quantifiziert werden und nicht einer reinen Abschätzung durch einen Beobachter unterliegen, wie dies bei *APSA* der Fall ist.

Das erkennbar größte Defizit liegt hingegen darin, dass keines der angewendeten Verfahren eine umfassende Bewertung personenbezogener Parameter berücksichtigt, zu denen nach Bokranz und Landau (2006, S. 293) Lebensalter, Geschlecht und nach Jürgens et al. (1989, S. 93–94) zudem die Körperhöhe zählen. Dies mag der zunehmenden Komplexität durch die Berücksichtigung von biologischer, geschlechtertypischer und altersabhängiger menschlicher Variabilität geschuldet sein. Dieser Sachverhalt scheint der Grund zu sein, weshalb sich die untersuchten Verfahren auf einen ‚Durchschnittsmenschen‘ beziehen. Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 105) kommen zu dem Schluss, dass es nicht sinnvoll ist, einen solchen ‚Durchschnittsmenschen‘ zu definieren und sich bei der Gestaltung an dessen Abmessungen zu orientieren. In DIN 33402-2:2005 – 12 (Beiblatt 1, S. 4) ist sogar von einer falschen Gestaltung des Arbeitsplatzes die Rede, wenn ein mittelgroßer Mensch als Maß zugrunde gelegt wird. Dies hat zur Folge, dass die so ermittelten Werte für abweichende Gruppen zu einer nicht korrekten Risikoabschätzung führen. Aus diesem Grund fordern unter anderem Hartmann et al. (2008, S. 459), die individuellen Voraussetzungen von Nutzergruppen bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen zu berücksichtigen. Die angewendeten Risikobewertungen konnten diesen Forderungen nicht vollumfänglich gerecht werden.

Personenbezogene Parameter werden nur in einigen Risikobewertungen innerhalb der manuellen Lastenhandhabung, in Form von geschlechterspezifischen Bewertungstabellen, berücksichtigt. Eine umfassende Anwendbarkeit dieses Parameters muss im weiteren Verlauf dieser Arbeit geprüft werden. Die Betrachtung der beiden anderen personenbezogenen Parameter Körperhöhe und Lebensalter reichen in einer Durchschnittsbetrachtung nicht für eine nutzergruppenorientierte Bewertung aus. Um diese Forschungslücke zu schließen, werden in den folgenden drei Kapiteln Bewertungsmöglichkeiten dieser Parameter erarbeitet.

In Kapitel 5 wird in einer Mitarbeiterbefragung die subjektiv empfundene Beanspruchung aller Mitarbeiter des Untersuchungsraums erfragt und im Anschluss werden Belastungsschwerpunkte identifiziert. Die manuelle Lastenhandhabung, die einen Großteil intralogistischer Tätigkeiten ausmacht, wird in Kapitel 6 untersucht. In Kapitel 7 wird der Einfluss der Körperhöhe auf die Körperhaltung bei festgelegter Tätigkeitsausführung analysiert. Die Ergebnisse aus diesen drei Kapiteln bilden die Grundlage für die Entwicklung einer Risikobewertung, die insbesondere personenbezogene Parameter und logistikrelevante Bewertungsskalen beinhalten soll. Deren Entwicklung wird in Kapitel 8 dargestellt.

5 Ermittlung der subjektiven Beanspruchung

Um einen Überblick über die Beanspruchungssituation im Untersuchungsraum zu erhalten, wird das Instrument einer Mitarbeiterbefragung gewählt. Dieses stellt nach Bubb (2007, S. 155) eine Möglichkeit zur Ermittlung berufsbedingter Belastungen und Beanspruchungen dar. Ziel der Befragung ist die Ermittlung physischer Beanspruchungen und ihrer Auswirkungen. Nach Dreves (2012, S. 60) und eigener Recherche hat sich gezeigt, dass es kaum geeignete Fragebögen zur ergonomischen Arbeitsplatzbewertung gibt (bezugnehmend auf die in dieser Arbeit vorliegende Problemstellung). Aus diesem Grund wird ein eigener Fragebogen entwickelt und eingesetzt.

5.1 Erarbeitung eines anforderungsgerechten Fragebogens

Eine exemplarische Anleitung über die Entwicklungsstufen eines Fragebogens, die Durchführung der Befragung bis hin zur statistischen Auswertung und Ergebnispräsentation geben Kirchhoff et al. (2008). Bevor die eigentlichen Fragen eines Fragebogens, auch Items genannt, formuliert werden können, werden Hypothesen aufgrund von Erfahrungen, Wissen oder Fachliteratur entwickelt (Pilshofer, 2001, S. 1). Diese Hypothesen werden gemeinsam von dem zuvor genannten Expertengremium erarbeitet:

1. Frauen fühlen sich stärker beansprucht als Männer
2. Die Körperhöhe hat einen Einfluss auf das Beanspruchungsempfinden
3. Ältere Mitarbeiter fühlen sich stärker beansprucht als jüngere
4. Häufiges Arbeiten über Kopfhöhe führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Schulterbereich
5. Häufiges Bücken führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rücken- und Nackenbereich
6. Häufiges Ziehen und Schieben führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rückenbereich
7. Häufiges Heben führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich
8. Häufiges Stehen/Gehen führt zu häufigeren/intensiveren körperlichen Beanspruchungsfolgen
9. Häufiges Sitzen führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Bereich des Rückens und des Nackens
10. Häufiges Umsetzen von Hand führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich
11. Häufiges Drehen des Oberkörpers führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rücken- und Nackenbereich

Diese Hypothesen werden für die Entwicklung des Fragebogens zunächst operationalisiert und in Items überführt. Hinweise zur geeigneten Formulierung finden sich bei Bühner (2011, S. 136–138), der beispielsweise die Verwendung von umgangssprachlichen Begriffen, das Vermeiden doppelter Verneinungen oder von Verschachtelungen innerhalb eines Items u. v. m. anrät.

Der für diese Arbeit erarbeitete Fragebogen beginnt mit einem Anschreiben, in dem der Zweck und die Verwendung erläutert werden und die freiwillige und anonyme Teilnahme beschrieben ist. Ausserdem werden demografische Angaben der Teilnehmer erfragt. Dazu zählen Geschlecht, Alter und Körperhöhe. Ebenfalls erhoben wird, in welcher Schicht (Früh-, Spät-, Nachtschicht) zum Zeitpunkt der Befragung gearbeitet wird. Um den Übungsgrad festzustellen, wird gefragt, ob der Mitarbeiter sich für seine Tätigkeit körperlich hinreichend trainiert und mental ausreichend qualifiziert fühlt. Um abzuleiten, welchen Kerntätigkeiten die Mitarbeiter am Tag der Befragung nachgehen, werden zu Beginn Bilder der Betriebs- und Arbeitsmittel dargestellt. Nun sollen von den zehn möglichen Optionen maximal drei ausgewählt werden. Dadurch kann bei der späteren Auswertung auf ein Tätigkeitscluster geschlossen werden. Dieses Vorgehen ist darin begründet, dass Mitarbeitern aus dem operativen Bereich die Einstufung in ein Cluster weitestgehend unbekannt sein dürfte.

Im dann folgenden Abschnitt sind elf typische Merkmale von Arbeitstätigkeiten der operativen Logistik aufgezählt. Hierzu zählen beispielsweise die Frage, ob über Kopf gearbeitet wird oder ob Behälter gezogen oder geschoben werden müssen. Anhand einer fünfstufigen Skala kann ausgewählt werden, wie häufig die einzelnen Merkmale auf die Arbeitstätigkeiten zutreffen. Die Skala reicht von *andauernd* bis *nie*. Die einzelnen Items wurden im Expertengremium entwickelt und mit Veröffentlichungen zu ähnlichen Themen, wie von Walch und Günthner (2009, S. 610) und Kelterborn et al. (2013, S. 846–849), abgeglichen.

Um einen Zusammenhang zwischen Tätigkeitsinhalten und subjektiv empfundener Beanspruchung herstellen zu können, wird in einem nächsten Teil die körperliche Beanspruchung erfragt. Dazu wird der von Caffier et al. (1999, S. 30–31) empfohlene Fragebogen über Beschwerden am Bewegungsapparat, auch bekannt als „Nordischer Fragebogen“ nach Kuorinka et al. (1987, S. 233–237), in Teilen und leicht abgewandelter Form für den vorliegenden Fall adaptiert. In diesem Abschnitt wird zuerst erfragt, ob innerhalb der letzten drei Monate Schmerzen oder Beschwerden in Körpersektionen (Schulter, Nacken, oberer Rücken/Brustwirbelsäule, Ellenbogen, Hand/Handgelenke, unterer Rücken/Kreuz, Hüfte, Knie sowie in den Knöcheln/Füßen) aufgetreten sind. Sofern dies der Fall ist, wird in einem nächsten Feld die Häufigkeit ermittelt. Im dritten Schritt wird die Intensität geprüft, indem erfragt wird, wie stark die Beschwerden sind bzw. in jüngster Vergangenheit waren. Der Fragebogen kann dem Anhang A2 – *Fragebogen* entnommen werden.

5.2 Vorbereitung, Durchführung und statistische Auswertung

Vorbereitung

Das Ergebnis der Befragung soll repräsentativ sein. Dies ist nach Kutsch (2007, S. 104) dann der Fall, wenn hinsichtlich der als relevant eingestuft Merkmale ein zutreffendes verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit vorliegt. Zur Gewährleistung kann nach Melzer (2015, S. 145) vor der Erfassung die minimal benötigte Anzahl an ausgefüllten Fragebögen berechnet werden. Eine Formel zur Bestimmung einer benötigten Stichprobengröße gibt Leiner (1994):

$$n^* \geq k^2 / (4 * \alpha^2 + \frac{k^2}{N})$$

n^* = Mindestens benötigte Stichprobengröße

α = Risiko der Aussage

k = Sicherheit der Aussage

n = Größe der Untersuchungsgruppe

Für den Wert des α -Risikos empfiehlt sich 5 %, für die Sicherheit der Aussage k bei typischen 95 % beträgt der Wert 1,96. Die Größe der Untersuchungsgruppen beträgt 730 Logistikfachkräfte. Daraus errechnet sich die mindestens benötigte Stichprobe wie folgt:

$$n^* \geq 1,96^2 / (4 * 0,05^2 + \frac{1,96^2}{730})$$
$$n^* \geq 250,98$$

Bei mindestens 251 ausgefüllten Datensätzen verfügt die Befragung über eine repräsentative Stichprobengröße. Die Beteiligungsquote bei Mitarbeiterbefragungen liegt nach Erfahrungen von Neugebauer (2003, S. 20) zwischen 50 und 70 %. Bei einer Vollbefragung aller 730 Mitarbeiter liegt die errechnete Anzahl von 251 bei 34 % und somit deutlich niedriger, sodass mit einer Überschreitung derselben gerechnet werden kann.

Durchführung

Die Befragung wird anonym und während der Arbeitszeit durchgeführt. Die Ausgabe der Bögen erfolgt über die Gruppenleiter. Die mögliche Bearbeitungszeit beträgt zwei Wochen. Die ausgefüllten Bögen konnten im Werk in mehreren verschlossenen Urnen, die eigens für die Befragung in Gruppenecken platziert wurden, eingeworfen werden. Eine freie, unabhängige und zeitlich flexible Beantwortung der Befragung ist unter diesen Rahmenbedingungen gewährleistet.

Auswertung

Um die zuvor formulierten Hypothesen zu prüfen, wird ein Signifikanztest verwendet. Ziel dieses Hypothesentests ist es, statistisch signifikante Unterschiede zwischen mehreren Prozessoutputs festzustellen. Dazu gehört die Formulierung von zwei konträren Behauptungen, der Nullhypothese (H₀) und der Alternativhypothese (H_A). Eine ausführliche Erläuterung dazu findet sich bei Lunau (2013, S. 214) oder Scharnbacher (2004, S. 58). H₀ steht im vorliegenden Fall für die formulierte Hypothese, wohingegen H_A die konträre Formulierung darstellt. Im nächsten Schritt wird das für die Fragestellung relevante Effektmaß (dies ist bei normalverteilten Daten der Mittelwert und bei nicht normalverteilten Daten der Median) ermittelt. Zur Prüfung der Normalverteilung eines Datensatzes wird der sogenannte Anderson-Darling-Test verwendet. Im nächsten Schritt wird die Varianzgleichheit geprüft. Dies geschieht bei normalverteilten Daten mit dem Bartlett-Test und bei nicht normalverteilten Daten mit dem Levene-Test. Weisen diese Tests keine signifikanten Unterschiede zu ihrer zugehörigen H₀ auf, kann als nächster Schritt eine Varianzanalyse²³ und ein t-Test zum Vergleich von zwei Gruppen oder Merkmalen durchgeführt werden (Rasch et al., 2014, S. 1–2), um die formulierten Hypothesen zu prüfen. Bei allen statistischen Hypothesentests ist der *p-Wert* das entscheidende Maß. Der *p-Wert*, auch Signifikanzniveau genannt, gibt an, wie hoch die Irrtumswahrscheinlichkeit (üblicherweise 5 %) ist, H₀ zu verwerfen. Ist der statistisch errechnete *p-Wert* < 5 %, so wird H₀ verworfen und H_A gewählt. Ist der *p-Wert* > 5 %, so wird H₀ als zutreffend angenommen (Wappis und Jung, 2013, S. 59); (Lunau, 2013, S. 216); (Gamweger, 2009, S. 245–246).

5.3 Ergebnisse der Befragung zur subjektiv empfundenen Beanspruchung

Nach Ablauf des zweiwöchigen Bearbeitungszeitraums wurden 375 Fragebögen ausgefüllt. Dies entspricht einer Rücklaufquote von über 51 %. Die errechnete Mindestmenge von 251 ist überschritten und die Stichprobe somit repräsentativ. Die Teilnehmer der Befragung sind zu 81 % männlich und zu 19 % weiblich. Diese Verteilung entspricht nahezu der vorliegenden Mitarbeiterzusammensetzung (siehe Kapitel 3.3).

Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse der drei untersuchten Kriterien; links die Verteilung der Teilnehmer auf die drei Schichten. Die Ergebnisse der Früh- und Nachtschicht entsprechen den Erwartungen, die der Spätschicht sind leicht unterrepräsentiert. Der mittlere Teil zeigt die Verteilung der Mitarbeiter in den Altersklassen. Aus vorigen Untersuchungen bei Audi geht hervor, dass die Klasse der 51- bis 60-Jährigen im Kollektiv etwas stärker vertreten ist als die Klasse der 31- bis 40-

²³ Varianzanalyse; Englisch: Analysis of Variance (ANOVA)

Jährigen und 41- bis 50-Jährigen. Die Klasse der 51- bis 60-Jährigen ist innerhalb der Befragung somit leicht unterrepräsentiert. Die Verteilung der Körperhöhe, rechts dargestellt, mit dem Median bei den Frauen im Bereich von 161–165 cm und bei den Männern von 176–180 cm, entspricht der vorliegenden Mitarbeiterpopulation.

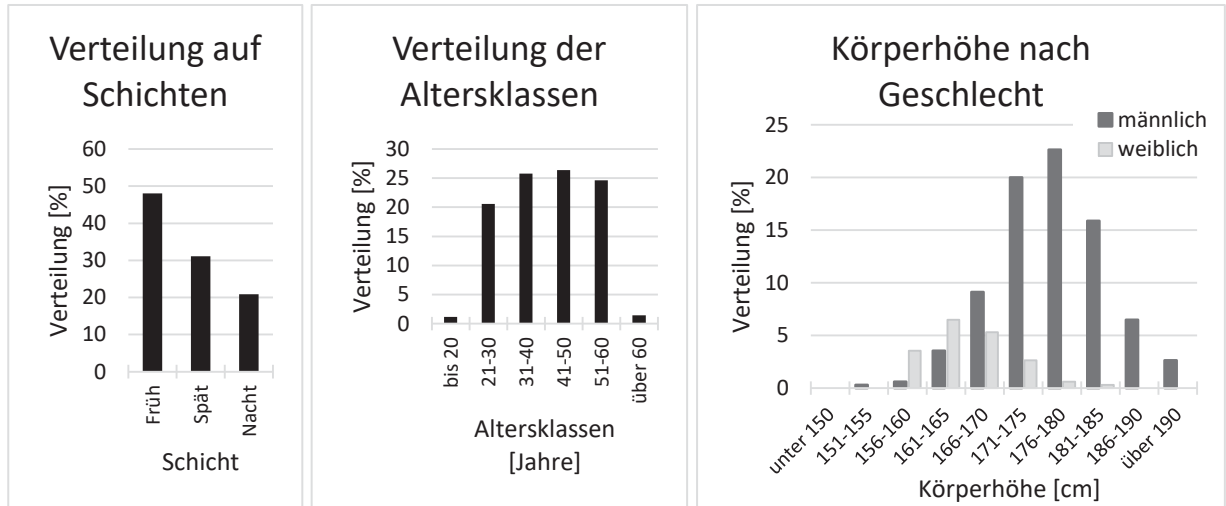


Abbildung 13: Ergebnisse der Mitarbeiterbefragung
 Links: Verteilung über die Schichten
 Mitte: Verteilung der Altersklassen
 Rechts: Größe der Mitarbeiter getrennt nach Männern und Frauen

Ferner wird erhoben, inwiefern sich die Mitarbeiter qualifiziert und ausreichend körperlich fit für ihre Arbeitsaufgabe fühlen. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 14. Die Skala reicht von 1 *trifft nicht zu*, bis 5 *trifft voll zu*. Ihre Qualifikation beurteilten die Befragten, im linken Teil dargestellt, durchschnittlich mit einem Wert von 4,37 mit einer Standardabweichung σ von 0,87. Die Prozesse und Arbeitsabläufe sind also von den Allermeisten verstanden.

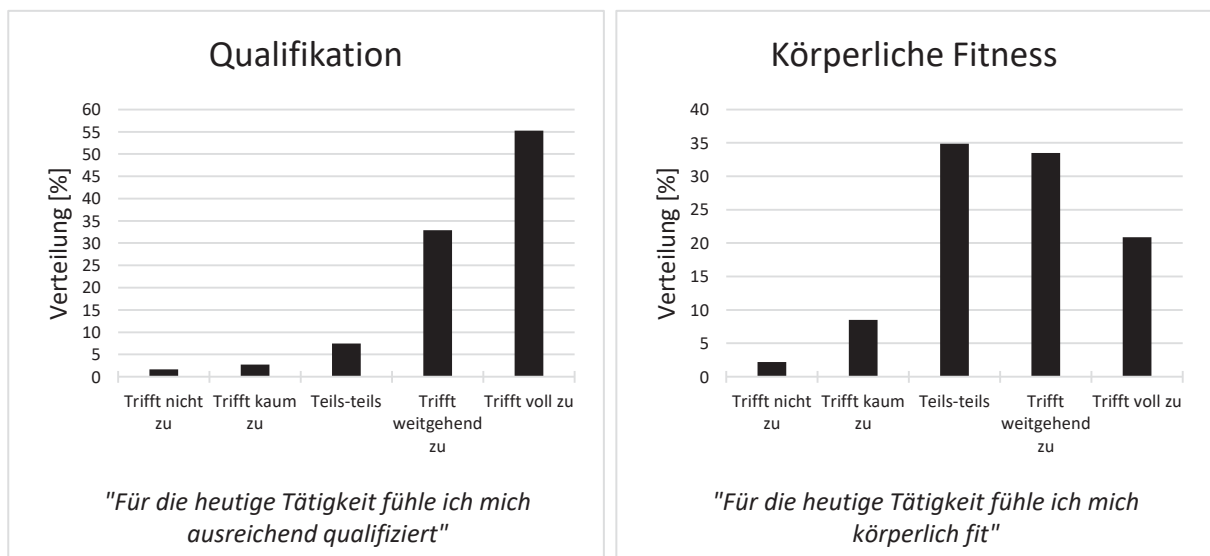


Abbildung 14: Subjektives Qualifikationsempfinden und subjektive körperliche Fitness der Mitarbeiter

Für die körperliche Fitness errechnet sich ein Mittelwert von 3,62 (σ : 0,98), zu erkennen auf der rechten Seite der Abbildung. Die Verteilung konzentriert sich im mittleren Bereich, hat jedoch einen deutlichen Hang zur rechten Seite. Daraus lässt sich ableiten, dass sich die Mitarbeiter überdurchschnittlich fit fühlen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine mehr als ausreichende Teilnahme an der Befragung vorliegt und die Verteilung ein repräsentatives Abbild der Grundgesamtheit widerspiegelt (vgl. Kapitel 3.3). Die folgenden Auswertungen können deshalb als repräsentativ für den gesamten Untersuchungsraum angesehen werden.

Deskriptive Statistik

Zur Überprüfung, ob ein geschlechterspezifischer Unterschied der subjektiv empfundenen Beanspruchung besteht, wird die Summe aller genannten Beschwerden von Körpersektionen eines Probanden gebildet. Diese wird anschließend im zugehörigen Geschlechterkollektiv zusammengefasst und mit der anderen Gruppe verglichen. Die Ergebnisse weisen einen signifikanten Unterschied bei der Anzahl der Beschwerden zwischen Männern und Frauen auf. Diesen Sachverhalt illustriert Abbildung 15 links. Der zugehörige t-Test ergibt einen Mittelwert für die Anzahl der Beschwerden bei Männern von 3,68 (σ : 2,10) und für Frauen von 5,9 (σ : 1,97). Auch bei der Auswertung der Häufigkeit und Intensität wird bei Frauen gegenüber Männern ein signifikant höherer Wert festgestellt. Diese Ergebnisse bestätigen die Hypothese, dass sich Frauen stärker beansprucht fühlen als Männer.

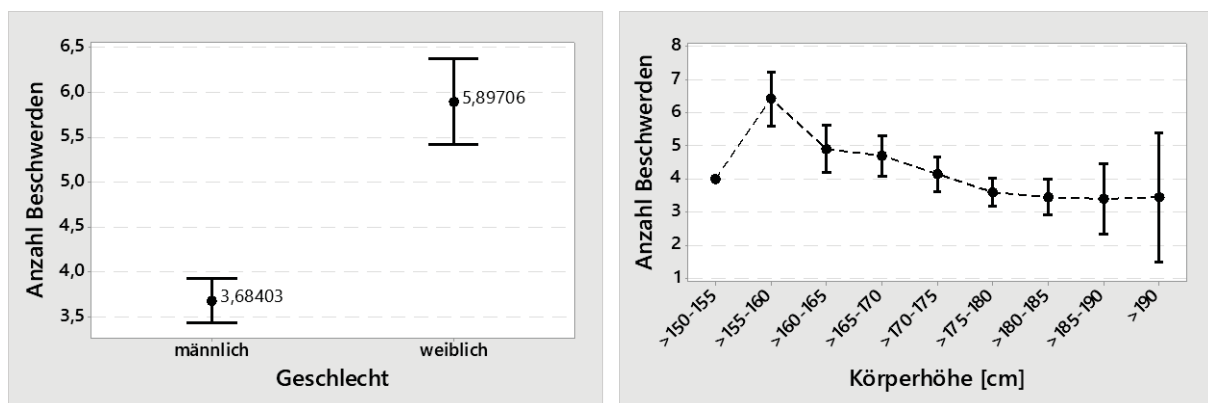


Abbildung 15: Vergleich der Anzahl genannter Beschwerden – links 95 % Konfidenzintervall für männliche und weibliche Logistikkraftkräfte, rechts die Anzahl von Beschwerden in Abhängigkeit von der Körperhöhe

Um festzustellen, ob die Körperhöhe einen Einfluss auf die empfundene Beanspruchung hat, wird die Anzahl genannter Beschwerden in den Klassen der Körperhöhen untereinander verglichen. Das Ergebnis zeigt Tabelle 16 auf der rechten Seite mit der Darstellung des Erwartungsbereichs der Mittelwertlage (95%iges Konfidenzintervall). Grundsätzlich lässt sich erkennen, dass kleinere Mitarbeiter mehr Beschwerden unterliegen (mit Ausnahme der Klasse >150–155, die lediglich durch einen Mitarbeiter repräsentiert wird). Trotz des größer werdenden Erwartungsbereichs

der oberen Klassen, kann die Hypothese als bestätigt angesehen werden. Die Körperhöhe hat einen Einfluss auf das subjektive Beanspruchungsempfinden der Mitarbeiter im Untersuchungsraum.

Im Fragebogen gibt es die Möglichkeit, Körpersektionen zu markieren, in denen Beschwerden auftreten. Weiterführend werden Häufigkeit und Intensität erfragt. Um zu prüfen, inwiefern das Lebensalter einen Einfluss auf das Beanspruchungsempfinden hat, wird die durchschnittliche Nennung der Beschwerden nach Häufigkeit und genannter Intensität in den Altersklassen untersucht. Die Ergebnisse illustriert Abbildung 16 in einem Balkendiagramm. Im linken Teil ist die Häufigkeit des Auftretens körperlicher Beschwerden dargestellt, im rechten deren Intensität. Die schwarzen Balken stellen den Mittelwert pro Altersklasse über alle Mitarbeiter dar, also auch solche, die bei der Befragung angegeben haben, unter keinen Beschwerden zu leiden. Die grauen Balken beziehen sich ausschließlich auf Mitarbeiter, die angeben, unter Beschwerden zu leiden. Die Kurven stellen die polynomischen Trendlinien der Mittelwerte dar. Deren Verläufe zeigen die empfunden hohe Beanspruchung von sehr jungen Mitarbeitern (bis 20 Jahre) und älteren Mitarbeitern (ab 51 Jahren). Mit weiter fortschreitendem Alter tauchen vermehrt Beschwerden auf. In den beiden Altersklassen der 21- bis 30- und der 31- bis 40-Jährigen werden die niedrigsten Werte erreicht.

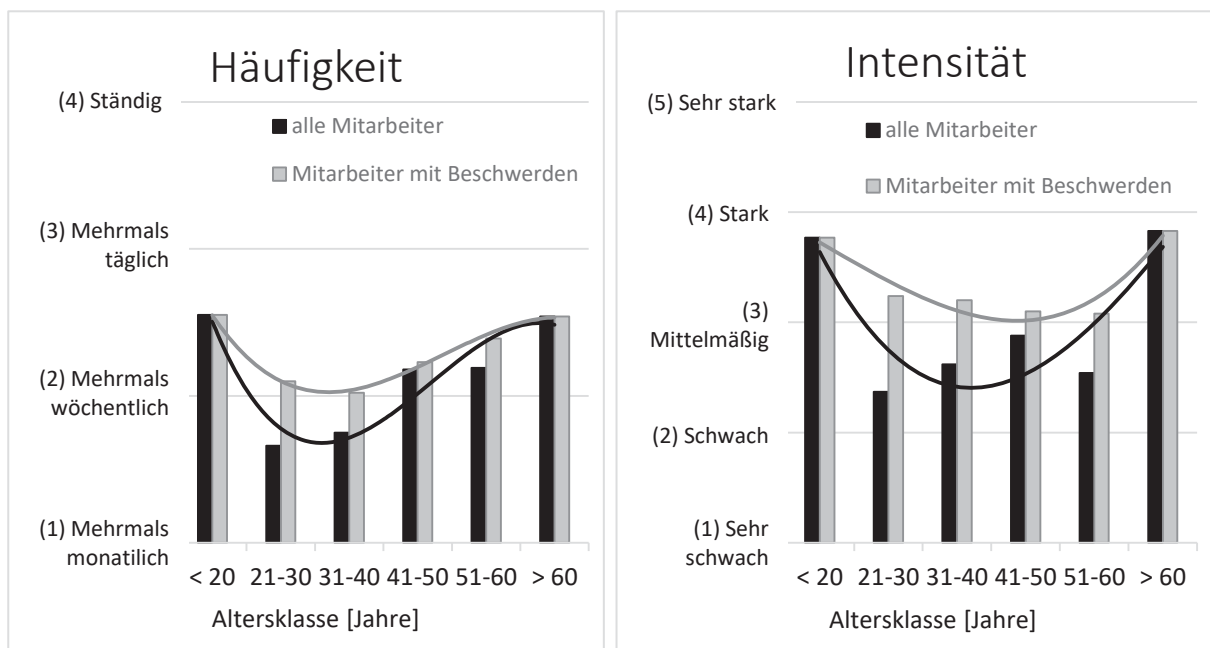


Abbildung 16: Häufigkeit und Intensität von gesundheitlichen Beschwerden

Für die Intensität ergibt sich ein ähnlicher Verlauf. Auch hier sind besonders sehr junge Mitarbeiter und Mitarbeiter über 60 Jahre von intensiven Beanspruchungsfolgen betroffen. Beim Vergleich von internen Statistiken über Krankheitstage zeigt sich, dass gerade Personen dieser Altersklassen häufigen gesundheitlichen Problemen unterliegen. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse kann ein Zusammenhang zwischen empfundener Beanspruchung und physischer Leistungsfähigkeit

angenommen werden. Die Erkenntnis bekräftigt einen alterstypischen Verlauf physischer Leistungsfähigkeit wie in Kapitel 3.2 diskutiert.

Zusammenfassend unterstreichen diese Ergebnisse die Auswirkungen und Relevanz einer Berücksichtigung der Parameter Geschlecht, Körperhöhe und Lebensalter in der zu entwickelnden Risikobewertung.

Die Häufigkeit des Auftretens physischer Beschwerden in den Körpersektionen zeigt die nun folgende deskriptive Statistik. Die betroffenen Bereiche sind nach Nennung der Häufigkeit absteigend sortiert.

Unterer Rücken

Der untere Rücken stellt mit einer Nennung von 77,9 % die häufigste Beschwerdegruppe der Stichprobe dar. Die mittlere Häufigkeit der Beschwerden liegt bei 2,5, also zwischen mehrmals wöchentlich und mehrmals täglich, mit einer Standardabweichung von 1,14. Die mittlere Intensität beträgt 3,57 (σ : 0,89), fällt somit in den Bereich zwischen mittlerer und starker Ausprägung.

Nackengebiet

Über Beschwerden im Nackengebiet klagen 68,4 % der Befragten. Sie stellen somit in der Stichprobe die zweithäufigste Beschwerdegruppe dar. Der Mittelwert der Häufigkeit liegt für diese Körperregion bei 2,41 (σ : 1,12). Die mittlere Intensität liegt bei 3,3 (σ : 0,78).

Schultergebiet

Beschwerden im Bereich der Schultern haben 64,0 % der Befragten. Hier rangiert die mittlere Häufigkeit bei 2,4 (σ : 1,09) und die mittlere Intensität befindet sich genau wie beim zuvor beschriebenen Nackengebiet bei 3,3 (σ : 0,79).

Oberer Rücken

Auftretende Beschwerden im oberen Rücken bejahen 58,2 % der Befragten. Der Mittelwert der Häufigkeit beträgt 2,25 (σ : 1,11) und der Mittelwert der Intensität liegt bei 3,28 (σ : 0,90).

Hände und Handgelenke

Hier haben mit 56,9 % immer noch mehr als die Hälfte der Befragten körperliche Beschwerden. Der Mittelwert der Häufigkeit für diese Sektion beträgt 2,16 (σ : 1,08), der der Intensität ist 3,12 (σ : 0,99).

Knie

Gut die Hälfte der Befragten (51,0 %) geben an, an Beschwerden im Bereich der Knie zu leiden. Hier liegt die mittlere Häufigkeit bei 2,24 (σ : 1,11) und die mittlere Intensität bei 3,3 (σ : 0,98).

Knöchel- und Fußbereich

Etwas weniger als die Hälfte (46,1 %) haben Beschwerden im Knöchel- und Fußbereich. Der Mittelwert der Häufigkeit war hier mit einem Wert von 2,36 (σ : 1,18) jedoch relativ hoch. Die mittlere Intensität liegt bei 3,17 (σ : 1,05).

Hüftbereich

Beschwerden im Hüftbereich sind in der Stichprobe mit einem Auftreten von 36,7 % nicht besonders relevant. Die mittlere Häufigkeit liegt bei 2,14 (σ : 1,06) und die mittlere Intensität bei 3,01 (σ : 0,85).

Ellenbogen

Die geringste Relevanz haben Beschwerden im Bereich der Ellenbogen. Diese weisen eine Häufigkeit von 32,3 % auf. Die mittlere Häufigkeit ist 2,11 (σ : 1,10), die Intensität 2,92 (σ : 1,05).

Interessant ist, wie sich die physischen Beschwerden innerhalb der Tätigkeitscluster (vgl. Kapitel 3.1.2) verteilen. Tabelle 4 zeigt jeweils die drei besonders stark beanspruchten Körpersektionen der fünf Logistikcluster.

In den Tätigkeitsclustern sind die Bereiche der Schultern und insbesondere des Rückens stark beansprucht. Zurückzuführen ist diese Beanspruchung des Rückens auf physisch anstrengende Tätigkeitsinhalte der Intralogistik. Die Ergebnisse decken sich mit denen von Glitsch et al. (2004, S. 32), in denen Personal, das intralogistische Tätigkeiten ausführt, ebenfalls die höchsten Belastungen im Bereich des Rückens identifiziert hat. Die am häufigsten vorkommenden intralogistischen Tätigkeiten werden in der Fachliteratur als manuelle Lastenhandhabung klassifiziert. Diese setzt sich aus dem *Umsetzen* und dem *Ziehen und Schieben* von Lasten zusammen. Häufig müssen dafür hohe Körperkräfte aufgebracht werden. Im folgenden Kapitel werden deshalb die Belastungen und Beanspruchungen durch manuelle Lastenhandhabung weiterführend untersucht, um diese letztlich adäquat in einer Risikobewertung berücksichtigen zu können.

Tabelle 4: Subjektiv empfundene Beanspruchungsbereiche der fünf Logistikcluster

Arbeitssystemcluster	Beanspruchungsbereiche	
Staplerfähigkeiten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unterer Rücken 2. Oberer Rücken 3. Schulterbereich 	
Kommissionieren	<ol style="list-style-type: none"> 1. Knie 2. Schulterbereich 3. Knöchel- und Fußbereich 	
Routenverkehr GLT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unterer Rücken 2. Schulterbereich 3. Nackenbereich 	
Routenverkehr KLT	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unterer Rücken 2. Schulterbereich 3. Oberer Rücken 	
Schleppertransport	<ol style="list-style-type: none"> 1. Oberer Rücken 2. Hüfte 3. Unterer Rücken 	

Zusammenhang zwischen empfundener Beanspruchung und Arbeitsaufgabe

Die auftretenden Beschwerden führen die Befragten auf die tätigkeitsbezogenen Arbeitsinhalte zurück. Diese bestehen hauptsächlich aus Stehen und Gehen, Ziehen und Schieben, Bücken, Heben und Verdrehen des Oberkörpers. Abbildung 17 zeigt die Häufigkeit der einzelnen Belastungen.

Die Antwortmöglichkeiten der angewandten Skala reichen auch bei diesem Instrument von *nie* (1) bis *andauernd* (5). Auffällig ist die hohe Lage der Antworten: Zehn der elf Items liegen über der mittleren Antwortmöglichkeit (3). Eine denkbare Erklärung dieser Ergebnisse kann die hohe physische Beanspruchung durch Tätigkeiten der operativen Intralogistik sein.



Abbildung 17: Mittelwerte für Häufigkeiten der verschiedenen Merkmale der Arbeitsinhalte

Von Interesse ist der Wirkungszusammenhang zwischen Arbeitsaufgabe und entstehenden körperlichen Beschwerden. Dazu wird zwischen den Merkmalen der Arbeitstätigkeit, deren Häufigkeit und Intensität die Korrelation von Beanspruchungsfolgen berechnet. Die vorliegenden Daten sind nicht normalverteilt, daher wird die Korrelation nach Spearman berechnet. Der Korrelationskoeffizient (r_s) gibt die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen an und liegt zwischen -1 (perfekte negative Korrelation) und 1 (perfekte positive Korrelation). Bei einem Wert von 0 besteht keine Korrelation (Bühl, 2008, S. 364). Rasch et al. (2014, S. 90) schlagen für die Einordnung der berechneten Korrelationskoeffizienten die Einordnung nach Cohen (1998) vor. Demnach besteht eine schwache Korrelation bei Beträgen von $r_s \geq 0,10$, eine mittlere bei $r_s \geq 0,30$ und eine starke ab $r_s \geq 0,50$. Die gesamte deskriptive Statistik ist im Anhang A3 – Prüfung der Hypothesen abgedruckt. Im Folgenden wird lediglich auf die Prüfung der Hypothesen sowie wesentliche Erkenntnisse aus der Korrelationsberechnung eingegangen.

Häufiges Arbeiten über Kopfhöhe führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Schulterbereich

Die Korrelation zwischen Häufigkeit von Schulterbeschwerden und Über-Kopf-Arbeit ist signifikant und liegt im mittleren Bereich ($r_s = 0,37$; $p < 0,001$). Die Korrelation mit der Intensität von Beschwerden im Schulterbereich ist ebenfalls signifikant ($r_s = 0,29$; $p < 0,01$). Die Hypothese ist damit bestätigt. Je mehr Mitarbeiter über Kopf arbeiten, desto häufiger und intensiver werden ihre Schulterbeschwerden. Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus auch Korrelationen zwischen Arbeiten über Kopf und Beschwerden im Nacken sowie dem oberen und unteren Rücken.

Häufiges Bücken führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rücken- und Nackenbereich

Bezogen auf den Nacken wird die Hypothese nicht bestätigt, da Häufigkeit ($r_s = 0,07$; $p = 0,16$) und Intensität ($r_s = 0,06$; $p = 0,22$) nahe 0 liegen. Bezogen auf den oberen Rücken wird die Hypothese hingegen bestätigt. Die Korrelation der Häufigkeit liegt im geringen Bereich ($r_s = 0,15$; $p < 0,05$) und die der Intensität im mittleren ($r_s = 0,29$; $p < 0,001$). In Bezug auf den unteren Rücken finden sich schwache Korrelationen (Häufigkeit: $r_s = 0,12$, $p < 0,05$; Intensität: $r_s = 0,14$, $p < 0,05$). Beschwerden im unteren Rücken werden also etwas häufiger und intensiver, je öfter sich die Mitarbeiter bei der Arbeit bücken. Aufgrund der insgesamt sehr schwach ausgeprägten Korrelationen wird diese Hypothese in Summe verworfen.

Häufiges Ziehen und Schieben führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich

Ziehen und Schieben korreliert schwach mit der Häufigkeit ($r_s = 0,14$, $p < 0,05$) und Intensität ($r_s = 0,14$; $p < 0,05$) von Beschwerden im unteren Rücken. Darüber hinaus errechnen sich geringe bis mittlere Korrelationen mit der Häufigkeit ($r_s = 0,12$; $p < 0,05$) und der Intensität ($r_s = 0,22$; $p < 0,01$) von Schulterbeschwerden sowie der Häufigkeit ($r_s = 0,24$; $p < 0,001$) und Intensität ($r_s = 0,27$; $p < 0,001$) von Beschwerden im oberen Rückenbereich. Die Hypothese wird bestätigt.

Häufiges Heben führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich

Diese Hypothese ist nicht bestätigt (Häufigkeit: $r_s = -0,01$, $p = 0,41$; Intensität: $r_s = 0,08$, $p = 0,12$). Auch in Bezug auf andere Beschwerdemerkmale wurden keine bis sehr geringe Korrelationen festgestellt.

Häufiges Stehen/Gehen führt zu häufigeren/intensiveren körperlichen Beanspruchungsfolgen

Stehen und gehen bei der Arbeit korreliert signifikant gering bis mittelmäßig mit der Häufigkeit von Beschwerden im Schulterbereich ($r_s = 0,14$; $p < 0,05$) sowie der Häufigkeit ($r_s = 0,14$; $p < 0,05$) und Intensität ($r_s = 0,22$; $p < 0,01$) von Beschwerden im oberen Rücken und unteren Rücken (Häufigkeit: $r_s = 0,14$; $p < 0,05$; Intensität: $r_s = 0,18$; $p < 0,01$).

Häufiges Sitzen führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Bereich des Rückens und Nackens

Die Hypothese wird nicht bestätigt. Nackenbeschwerden (Häufigkeit: $r_s = 0,05$; $p = 0,21$; Intensität: $r_s = -0,07$; $p = 0,18$), Beschwerden im oberen (Häufigkeit: $r_s = -0,03$; $p = 0,34$; Intensität: $r_s = -0,12$; $p = 0,06$) und unteren Rücken (Häufigkeit: $r_s = -0,04$; $p = 0,27$; Intensität: $r_s = -0,08$; $p = 0,11$) weisen keine Korrelation auf.

Häufiges Umsetzen von Hand führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich

Für die Häufigkeit der Beschwerden im unteren Rücken errechnet sich keine Korrelation ($r_s = 0,05$; $p = 0,24$). Die Intensität hingegen weist eine schwache, signifikante Korrelation auf ($r_s = 0,15$; $p < 0,05$). Korrelationen errechnen sich jedoch für die anderen Körpersektionen. Das Umsetzen korreliert mit der Intensität von Nackenbeschwerden ($r_s = 0,14$; $p < 0,05$) und der Intensität von Schulterbeschwerden ($r_s = 0,14$; $p < 0,05$), der Häufigkeit ($r_s = 0,16$; $p < 0,05$) und Intensität ($r_s = 0,19$; $p < 0,01$) von Beschwerden im oberen Rücken, der Intensität von Beschwerden in der Ellenbogenregion ($r_s = 0,20$; $p < 0,05$), der Häufigkeit ($r_s = 0,22$; $p < 0,05$) und Intensität ($r_s = 0,19$; $p < 0,05$) von Beschwerden im Bereich der Hüfte, der Häufigkeit ($r_s = 0,15$; $p < 0,05$) und Intensität ($r_s = 0,21$; $p < 0,01$) von Beschwerden im Bereich der Knie sowie der Häufigkeit ($r_s = 0,30$; $p < 0,01$) und Intensität ($r_s = 0,25$; $p < 0,01$) von Beschwerden im Bereich der Knöchel und Füße. Das manuelle Umsetzen stellt insgesamt eine stark beanspruchende Tätigkeit dar.

Häufiges Drehen des Oberkörpers führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rücken- und Nackenbereich

Die Hypothese wird in Bezug auf Intensität der Nackenbeschwerden ($r_s = 0,15$; $p < 0,05$) sowie in Bezug auf Beschwerden im oberen (Häufigkeit: $r_s = 0,14$; $p < 0,05$; Intensität: $r_s = 0,17$; $p < 0,05$) und unteren Rücken (Häufigkeit: $r_s = 0,16$; $p < 0,01$; Intensität: $r_s = 0,23$; $p < 0,001$) durch geringe Korrelationen bestätigt.

Tabelle 5 fasst die Ergebnisse zu den zu Beginn dieses Kapitels formulierten Hypothesen zusammen.

Tabelle 5: Hypothesen verschiedener Merkmale der Arbeitstätigkeit und ihre Wirkung auf die physische Beanspruchung

Nr.	Hypothesen	Zutreffend
1	Frauen fühlen sich stärker beansprucht als Männer	Ja
2	Die Körperhöhe hat einen Einfluss auf das Beanspruchungsempfinden	Ja
3	Ältere Mitarbeiter fühlen sich stärker beansprucht	Ja
4	Häufiges Arbeiten über Kopfhöhe führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Schulterbereich	Ja
5	Häufiges Bücken führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rücken- und Nackenbereich	Nein
6	Häufiges Ziehen und Schieben führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rückenbereich	Ja
7	Häufiges Heben führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich	Nein
8	Häufiges Stehen/Gehen führt zu häufigeren/intensiveren körperliche Beanspruchungsfolgen	Ja
9	Häufiges Sitzen führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Bereich des Rückens und Nackens	Nein
10	Häufiges Umsetzen von Hand führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im unteren Rückenbereich	Nein
11	Häufiges Drehen des Oberkörpers führt zu häufigeren/intensiveren Beschwerden im Rücken- und Nackenbereich	Ja

Zusammenfassend lässt sich aus diesem Kapitel ein unterschiedliches Belastungsempfinden zwischen Altersklassen, Geschlechtern und Mitarbeitern unterschiedlicher Körperhöhe feststellen. Die Hypothesentests zeigen zum einen den hohen Anteil an physisch belastenden Tätigkeiten und zum anderen deren beanspruchende Wirkung auf die Logistikfachkräfte. Eine Bewertung von Körperzwangshaltungen und der manuellen Lastenhandhabung, insbesondere des Ziehens und Schiebens von Transportwagen, muss in einer zutreffenden Risikobewertung enthalten sein. Aus diesem Grund wird die Integration von personenbezogenen Parametern und logistikrelevanten Bewertungsskalen in den folgenden Kapiteln weiterführend untersucht. Ziel ist eine entsprechende Integration aller relevanten Einflussfaktoren in die zu entwickelnde Risikobewertung.

6 Belastungen und Beanspruchung durch manuelle Lastenhandhabung

Die manuelle Lastenhandhabung lässt sich in die zwei Felder *Umsetzen* und *Ziehen und Schieben* von Lasten aufteilen. Bei diesem Haupttätigkeitsfeld der operativen Intralogistik besteht die Vermutung, dass Spitzenbelastungen auftreten, die zu einer erhöhten gesundheitlichen Gefährdung der Mitarbeiter führen können. Nach Bokranz und Landau (2006, S. 297) und dem Rat der Europäischen Gemeinschaft (2007, S. 4) ist das Handhaben von Lasten die wohl häufigste Ursache für Wirbelsäulenerkrankungen. Dies deckt sich mit den zuvor gewonnenen Erkenntnissen der Mitarbeiterbefragung. In diesem Kapitel werden die Risiken der manuellen Lastenhandhabung näher untersucht. Zunächst wird der Teilbereich des Umsetzens betrachtet. Typischerweise wirken hier senkrechte Kräfte, die sich aus der Gewichtslast der zu bewegenden Objekte und der Erdanziehungskraft als Konstante zusammensetzen (Müller, 1995, S. 167). Aufgrund dieser Gegebenheit reicht es aus, das Umsetzen anhand von Ergebnissen aus der Literatur darzustellen; erzielte Versuchsergebnisse aus Publikationen sind vollumfänglich gültig.

Die Belastungen des Ziehens und Schiebens werden hingegen experimentell ermittelt, da die Gegebenheiten im Werk von Untersuchungen in anderer Umgebung abweichen können. Dies ist im Wesentlichen auf die eingesetzten Räder der Transportwagen und die Beschaffenheit des Bodens zurückzuführen. Darüber hinaus kann nicht nur die zurückzulegende Strecke, sondern auch der Verlauf (Kurven, kurze/lange Geradeausfahrten) einen Einfluss haben. Eigene Untersuchungen sind deshalb aus mehrfacher Hinsicht unerlässlich.

6.1 Belastungen bei manueller Lastenhandhabung

6.1.1 Belastungen beim Umsetzen

Werden Lasten in einem Zeitraum unter fünf Sekunden manuell von einem Anfangspunkt zu einem Zielort bewegt, so wird dies als Umsetzen von Lasten bezeichnet (BAuA, 2016, S. 43–47). Aus Beobachtung und MTM²⁴-Zeitanalysen geht hervor, dass diese Zeitgrenze bei Audi nicht überschritten wird (Dreves, 2012, S. 90). Beim Umsetzen besteht die Aufgabe darin, einen Gegenstand durch eine Lageänderung an eine andere Position zu bewegen, wobei der Gegenstand ausschließlich von einer Person gehalten wird (kein Bodenkontakt). Dabei entstehen hauptsächlich Kräfte in vertikaler Richtung. Die zu bewegenden Objekte stellen in dieser Untersuchung KLT dar. Aufgrund ihrer Bauform ist das beidhändige Umsetzen

²⁴ Methode vorbestimmter Zeiten; Englisch: Methods-Time-Measurement

innerhalb der Intralogistik üblich. Andere Ausführungsweisen werden deshalb in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Die Last befindet sich frontal und nahe vor dem Körper, was zu einer symmetrischen Kraftverteilung bezogen auf die Sagittalebene führt. Dies bewirkt mechanisch günstige Hebelwirkungen, die im Vergleich zu weit entfernt gehaltenen Lasten eine geringere Belastung für das MSS darstellen (Jäger et al., 2004, S. 7–9). Die KLT werden üblicherweise in einem Höhenbereich von 90 cm bis 160 cm gehandhabt. Der Schwerpunkt der Lastmasse liegt im Regelfall zwischen 15 cm bis 30 cm von der Arbeitsperson entfernt. Der Oberkörper ist bei dieser Tätigkeit stets aufrecht. Die Hub-/Senkbewegung wird durch die Bewegung der Arme übernommen. Neben dem Lastgewicht hat die Ausführungsgeschwindigkeit einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der vertikal wirkenden Aktionskraft (Jäger et al., 2004, S. 7). Abbildung 18 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

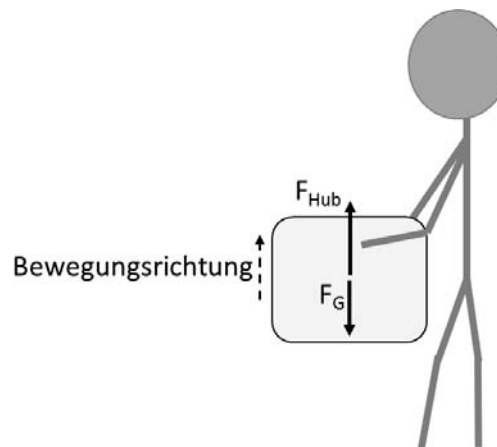


Abbildung 18: Kräfte beim Umsetzen von Lasten

$$\text{Hubkraft: } F_{Hub} = m * a + F_G$$

$$\text{Gewichtskraft: } F_G = m * g$$

Wird ein Objekt auf einer Höhe gehalten und nicht in vertikaler Richtung bewegt, dann ist die Beschleunigung a null und F_{Hub} ist F_G . Wird ein Objekt jedoch nach oben bewegt, dann muss es beschleunigt werden. Je schneller ein Objekt nach oben bewegt wird, desto größer ist die Beschleunigung a in Hubrichtung. Damit steigt die Hubkraft F_{Hub} proportional an. Wird ein Objekt gesenkt, wirkt die Erdbeschleunigung g beschleunigend und die negative Hubkraft bzw. Senkkraft fällt geringer aus. Neben der Beschleunigung ist die Masse m der zweite Einflussparameter der Hubkraft. Im Untersuchungsraum ist die maximale Gewichtslast, die manuell umgesetzt wird, aufgrund ergonomischer Richtlinien auf 15 kg begrenzt (Dreves, 2012, S. 90). Dies unterschreitet die Richtwerte des Merkblatts zur BK Nr. 2018 des BMAS (2006, S. 8) für das beidhändige Umsetzen von Lasten, die Tabelle 6 zeigt.

Tabelle 6: Richtwerte für das beidhändige Umsetzen von Lasten für Frauen und Männer (BMAS, 2006, S. 8)

Tätigkeit	Frauen	Männer
Beidhändiges Umsetzen	20 kg	30 kg

Grundlage für die im Merkblatt zur BK Nr. 2108 festgelegten Werte ist die kumulative Wirbelsäulenbelastung des *MDD*, die sich aus der Lebensarbeitszeit ergibt (BMAS, 2006, S. 9–10). Bei Unterschreitung besteht für gesunde Menschen kein berufsbedingtes Risiko einer Erkrankung. Tabelle 7 zeigt eine Auswertung über die Verteilung der KLT-Gewichte, die innerhalb einer repräsentativen Arbeitswoche von den Logistikfachkräften an Bedarfsorte transportiert werden.

Tabelle 7: Gewichtsverteilung transportierter KLT

Gewicht [kg]	Anteil	Klasse	Klassenanteil
1	5,5 %	unter 3 kg	14,2 %
2	4,0 %		
3	4,7 %		
4	8,7 %	unter 6 kg	24,8 %
5	8,9 %		
6	7,2 %		
7	7,0 %	unter 9 kg	20,2 %
8	6,2 %		
9	6,9 %		
10	5,9 %	unter 12 kg	17,5 %
11	6,6 %		
12	4,9 %		
13	5,4 %	unter 15 kg	23,2 %
14	9,2 %		
15	8,5 %		

Die Tabelle verdeutlicht eine ähnliche Verteilung der Gewichte über die gesamte Spanne. Aufgrund der Tatsache, dass die Richtwerte der BK Nr. 2108 zum einen durch das Audi-Maximalgewicht von 15 kg für KLT und zum anderen durch die dargestellte Gewichtsverteilung aus Tabelle 7 deutlich unterschritten werden, wird das Umsetzen nicht als Spitzenbelastung eingestuft. Obgleich im Untersuchungsraum dadurch keine Spitzenbelastungen entstehen, stellt diese Tätigkeit durch die Häufigkeit dennoch eine Belastung dar. Für die Entwicklung der Risikobewertung ist das Umsetzen von Lasten somit relevant.

6.1.2 Belastungen beim Ziehen und Schieben

Die Belastungen des Ziehens und Schiebens von Transportwagen sind – gegenüber denen des Umsetzens – je nach vorliegenden Bedingungen unterschiedlich. Körperkräfte, die beim Ziehen und Schieben auftreten, sind für berufsgruppen-spezifische Fälle im Feld und im Labor untersucht worden. Beispielsweise ermittelten Backhaus et al. (2013, S. 241–244) Körperkräfte beim Ziehen und Schieben von vierrädrigen Mülltonnen oder Glitsch et al. (2004, S. 19) bei Flugbegleitern für das Bewegen von Trolleys in Flugzeugen. Brütting et al. (2015) haben die entstehenden Belastungen beim Schieben und Ziehen von Krankenhausbetten und Rollstühlen von maximal 100 kg Bruttogewicht untersucht.

Die gewonnenen Ergebnisse liefern einen ersten Eindruck, sind aufgrund der jeweils berufsbedingt vorliegenden Spezifika jedoch nicht auf die Gegebenheiten im Untersuchungsraum übertragbar. Dies ist vor allem auf die Größe der Transportwagen, den relativ glatten Industrieboden und die eingesetzten Räder zurückzuführen. Aus diesem Grund werden eigene Untersuchungen unternommen. Zur Erläuterung der Vorgehensweise werden zunächst mechanische Hintergründe dieser Art der manuellen Lastenhandhabung dargestellt, bevor anschließend der Versuchsaufbau und die Ergebnisse beschrieben werden.

Grundlagen

Als Ziehen beschreibt ISO 11228-2:2007 (S. 2) eine manuelle Tätigkeit, bei der Kräfte eingesetzt werden, um ein Objekt in Richtung des Körpers zu bewegen. Schieben ist die Tätigkeit, bei der ein Objekt in die entgegengesetzte Richtung bewegt wird.

Beim Ziehen und Schieben von Lasten kommen nach Glitsch et al. (2004, S. 50) in der Regel große Muskelmassen (Rumpf, obere und untere Extremitäten) zum Einsatz. Diese Art der Lastenmanipulation fällt deshalb typischerweise in den Bereich schwerer dynamischer Muskularbeit. Nach dem Bundesverband der Unfallkassen (2004, S. 29) kann eine Gefährdung des MSS durch plötzliche Überbelastungen auftreten. Hecktor et al. (2014, S. 13) beschreiben, dass vor allem beim Anfahren hohe Körperkräfte zu erwarten sind. Abbildung 19 zeigt die Kraftkomponenten, die bei der Bewegung von Transportwagen auftreten.

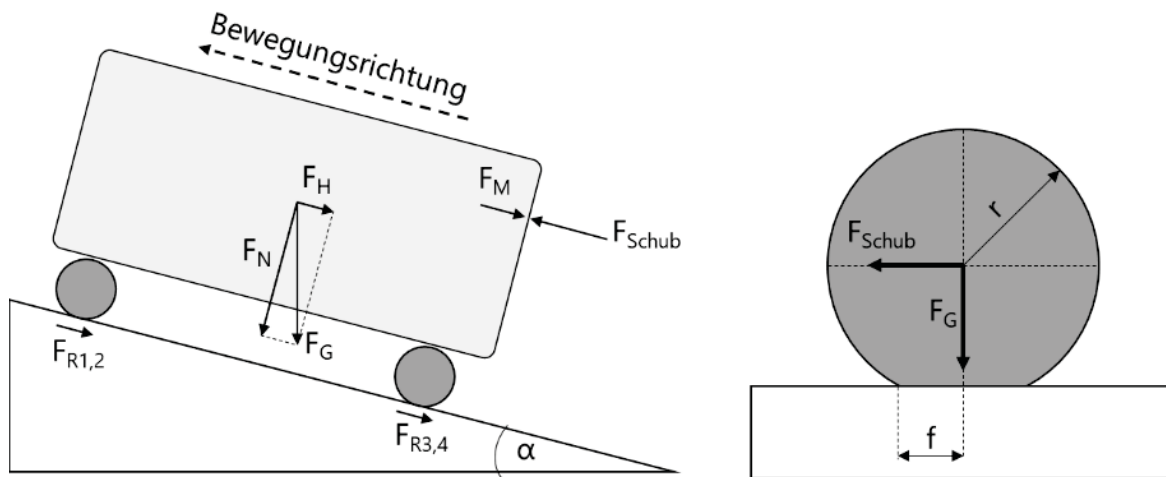


Abbildung 19: Wirkende Kräfte bei der Bewegung von Transportwagen

$$\text{Schubkraft: } F_{Schub} \geq F_H + F_R + F_M$$

$$\text{Hangabtriebskraft: } F_H = F_G * \sin \alpha = m * g * \sin \alpha$$

$$\text{Reibungskraft: } F_R = F_{R1} + F_{R2} + F_{R3} + F_{R4} = \mu_{ges} * F_N$$

$$\text{Reibungskoeffizient: } \mu = \frac{f}{r}$$

$$\text{Normalkraft: } F_N = F_G * \cos \alpha = m * g * \cos \alpha$$

$$\text{Massenkraft: } F_M = m * a$$

Die Gleichung der Schubkraft F_{Schub} zeigt deren partielle Zusammensetzung aus den Kraftkomponenten Hangabtriebskraft F_H , Reibungskraft F_R und Normalkraft F_N . Da die Transportwagen nur auf ebenem Untergrund bewegt werden, ist die Hangabtriebskraft F_H gleich Null. Die Reibungskraft F_R setzt sich aus den vier Reibwerten der Räder und der Normalkraft F_N zusammen. Die Normalkraft kann aus dem Bruttogewicht des Transportwagens und der Erdanziehungskraft berechnet werden. Der Reibungskoeffizient μ kann aus dem Verhältnis von Verformung zwischen Rad und Kontaktfläche f zu Raddurchmesser r berechnet werden (Böge, 2011, S. 12). Dankert und Dankert (2013, S. 134) und Kabus und Kretschmer (2013, S. 66) empfehlen, den Reibungskoeffizienten experimentell zu ermitteln, da dieser neben der Materialpaarung der sich berührenden Flächen auch von Faktoren wie Temperatur und Feuchtigkeit abhängt. Der Reibungskoeffizient μ liegt nach Angaben des Räderherstellers im Bereich von 0,1. Diese Abschätzung macht vorab deutlich, dass der Beitrag der Reibungskraft F_R zur resultierenden Gesamtkraft sehr gering sein wird. Aus

Gründen eines aufwandsgerechten Nutzens wird der Reibungskoeffizient μ hier nicht experimentell ermittelt, sondern die Herstellerangabe von 0,1 verwendet.

In ihrer Höhe bedeutender ist die Massenkraft F_M . Diese wird aus dem Produkt von Masse m und Beschleunigung a errechnet und macht den größten Teil der Schubkraft F_{Schub} aus. Die Masse der Transportwagen ist durch das Gewicht definiert. Die Beschleunigung der Transportwagen hingegen ist personenabhängig und unbekannt. Daher kann im Vorfeld keine Abschätzung über die resultierende Schubkraft gegeben werden. Diese wird experimentell ermittelt.

6.2 Ermittlung der Belastung beim Ziehen und Schieben – Versuchsaufbau

Um die wirkende Belastung in Form von Körperkräften zu ermitteln, wird eigens dafür ein Versuchsaufbau entwickelt. Folgende Fragstellungen sollen beantwortet werden:

1. Wie hoch sind die Körperkräfte beim Ziehen und Schieben unter Variation der zu bewegenden Gewichte?
2. Gibt es unterschiedliche Ausführungsweisen zwischen geübten und nicht geübten Probanden?
3. Wann entstehen Maximalkräfte/Spitzenbelastungen beim Ziehen und Schieben?

Festlegung der Stichprobengröße

Zur Sicherstellung repräsentativer Ergebnisse wird zu Beginn die Stichprobengröße der Probandengruppe nach Roenpage und Lunau (2007, S. 63) und Toutenburg und Knöfel (2008, S. 92, 93) berechnet:

$$n^* \geq \left(\frac{z^* \cdot \sigma^*}{\Delta^*} \right)^2$$

n^* : benötigte Stichprobengröße
 z^* : Quantil der Standardabweichung
 σ^* : geschätzte Standardabweichung
 Δ^* : geschätzte Intervallbreite

Die einzelnen Variablen zur Berechnung der benötigten Stichprobengröße müssen festgelegt werden. Zu deren Abschätzung werden die Studien zur Erfassung von Muskel-Skelett-Belastung von Flugbegleitern beim Ziehen und Schieben von Trolleys (Glitsch et al., 2004, S. 19) und zur Ermittlung der Belastung beim Ziehen und Schieben von Müllgroßbehältern (Backhaus et al., 2012, S. 327–346) herangezogen. Obgleich bei diesen Untersuchungen andere Rahmenbedingungen vorliegen (andere Transportwagen mit anderen Rädern und anderer Untergrund), geben die erzielten Ergebnisse dennoch einen Hinweis auf Lage und Streuung der Variablen.

Die geschätzte Standardabweichung σ^* kann nach Lange (2004, S. 29) wie folgt berechnet werden:

$$\sigma^* \approx \frac{x_{max}^* - x_{min}^*}{3,5}$$

Da das Probandenkollektiv aus zwei Gruppen bestehen soll (geübte Logistikfachkräfte und ungeübte Mitarbeiter), wird die jeweilige Gruppengröße einzeln berechnet. Unter der Annahme einer unterschiedlichen Ausführungsweise von ungeübten Mitarbeitern wird eine größere Streubreite angenommen. Die Werte für x_{max}^* und x_{min}^* weisen deshalb einen größeren geschätzten Abstand auf als bei geübten Fachkräften.

Sehr häufig wird für das Quantil der Standardabweichung z^* der Wert von 1,96 gewählt²⁵ (Roenpage und Lunau, 2007, S. 63). Die geschätzte Intervallbreite Δ^* wird für diesen Versuch auf ± 30 festgelegt. Die Werte für Maximal- und Minimalkräfte sowie die geschätzte Intervallbreite für beide Probandengruppen werden nach Tabelle 8 angenommen. Rechts daneben ist die geschätzte Standardabweichung σ^* dargestellt. Anhand dieser Eingangsgrößen kann die benötigte Stichprobengröße der beiden Gruppen mit obiger Formel berechnet werden. Die Ergebnisse der benötigten Stichprobengröße finden sich in der rechten Spalte n^* .

Tabelle 8: Berechnung der Stichprobengröße n^* ungeübter und geübter Mitarbeiter

Übungsgrad	Gewicht [kg]	x_{max}^*	x_{min}^*	σ^*	Δ^*	z^*	n^*
ungeübt	300	550	250	85,71	60	1,96	7,84
geübt		350	200	42,86	60	1,96	1,96
ungeübt	600	650	300	100,00	60	1,96	10,67
geübt		475	300	50,00	60	1,96	2,67
ungeübt	900	750	350	114,29	60	1,96	13,94
geübt		600	400	57,14	60	1,96	3,48

Bei einem Gewicht von 900 kg ergibt sich für beide Gruppen die größte geschätzte Stichprobengröße. Durch die angenommene größere Streuung bei ungeübten Mitarbeitern fällt die minimal benötigte Stichprobe dieser Gruppe größer aus als bei geübten Logistikfachkräften. Da sich die statistische Sicherheit bei einer größeren Gruppe erhöht, wird die Gruppengröße der geübten Fachkräfte (von 3,48) auf fünf Probanden erhöht, die der ungeübten Mitarbeiter (von 13,94) auf 15. Die Probanden beider Gruppen werden zufällig ausgewählt, wobei bei der Gruppe der geübten Logistikfachkräfte darauf geachtet wird, dass diese die Tätigkeit des Ziehens und Schiebens seit mindestens drei Jahren ausüben. Die Gruppe der ungeübten Mitarbeiter besteht zu großen Teilen aus Mitarbeitern des indirekten Bereichs, die sonst keine physisch anstrengende Arbeit ausüben. Nachdem die Stichprobengröße festgelegt ist, wird nun der Versuchsaufbau beschrieben.

²⁵ Entspricht einem Konfidenzintervall von 95 %

Versuchsaufbau

Im industriellen Umfeld müssen manuell oft Strecken von wenigen Metern zurückgelegt werden. Aufgrund der Abstellposition der Transportwagen ist es häufig notwendig, selbige nach dem Abkoppeln von der Zugmaschine manuell in Form einer Kurve und in kurzen geraden Teilstücken zu bewegen. Ob der Transportwagen zur Erreichung der Zielposition geschoben oder gezogen wird, ist vom Mitarbeiter frei wählbar bzw. situationsabhängig. Abgeleitet von diesen realen Arbeitsbedingungen der Intralogistik im Untersuchungsraum wird ein Versuchsparcours, wie Abbildung 20 zeigt, aufgebaut.

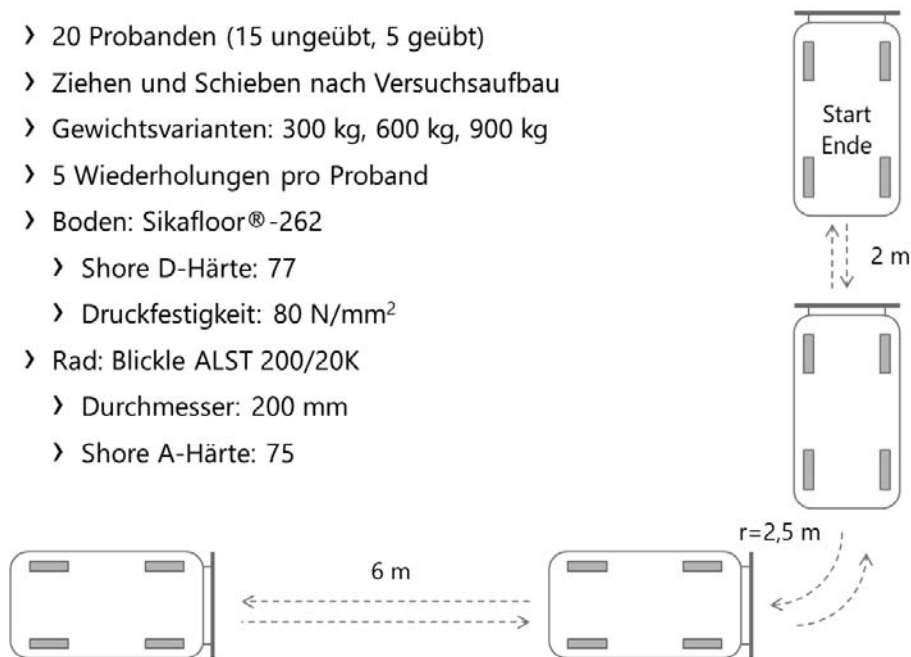


Abbildung 20: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Körperkräfte beim Ziehen und Schieben

Um herauszufinden, wie hoch die Körperkräfte beim Ziehen und Schieben sind, soll der vorgegebene Versuchsparcours durchfahren werden. Dieser setzt sich aus den Einzelsektionen einer kurzen Geradeausstrecke von 2 m, einer Kurvenfahrt mit einem Mindestradius r von 2,5 m und einer längeren Geradeausstrecke von 6 m zusammen. Nach dem Zurücklegen der Einzelsektionen soll der Transportwagen in einer auf dem Boden markierten Fläche gestoppt werden. Der Transportwagen wird zunächst geschoben, dann zurückgezogen. Auch hier besteht die Aufgabe wieder darin, innerhalb der Bodenmarkierungen zu stoppen. Die Gewichte der Transportwagen werden schrittweise von 300 kg auf 600 kg bis hin zu 900 kg erhöht. 900 kg ist das Maximalgewicht, das im Untersuchungsraum ohne technische Unterstützung manuell bewegt werden darf. Das Gewicht von 300 kg entspricht einem leicht beladenen Transportwagen, wobei sich der größte Teil des Gewichts aus Transportwagen und Großladungsträger zusammensetzt. Ein 600 kg schwerer Transportwagen stellt eine mittelschwere Last dar. Um statistisch gesicherte Ergebnisse zu erzielen, wird für jede

Gewichtsvariante der Versuchsparcours fünf Mal von jedem Probanden durchfahren. Der Transportwagen ist mit neuen und deshalb nicht verschlissenen oder beschädigten Rädern ausgerüstet. Alle vier am Transportwagen verbauten Räder haben einen Durchmesser von 200 mm und sind auf der Lauffläche mit einem Kunststoffbelag mit einer Härte von 75 Shore-A ausgerüstet. Die beiden Räder der Achse, die zum Probanden gewandt ist, sind vertikal axial gelagert, sodass sie sich um 360° frei drehen können. Die beiden Räder der anderen Achse sind in ihrer Richtung feststehend und somit starr in Fahrtrichtung ausgerichtet. Der Transportwagen ist mit einem Griffbügel ausgerüstet. An diesem befinden sich auf einer Höhe von 110 cm Kraftmessgriffe, wie Abbildung 21 zeigt.

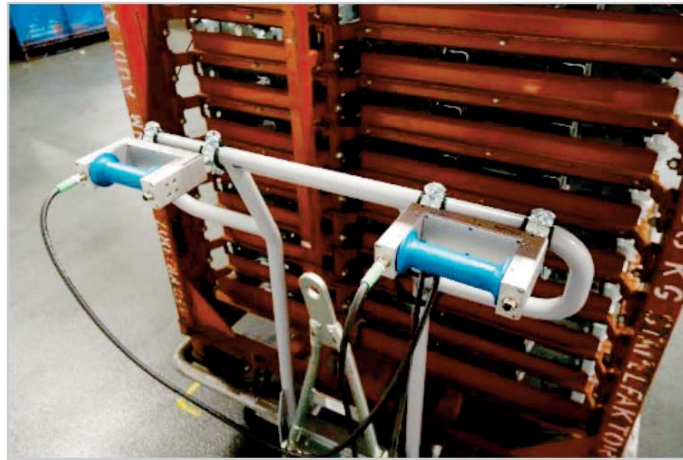


Abbildung 21: Am Transportwagen montierte Kraftmessgriffe

Mittels dieser Messgriffe mit integrierten triaxialen, piezoelektrischen Sensoren können drei orthogonale Kraftkomponenten sehr präzise erfasst werden. Eine detaillierte Erläuterung über das Prinzip piezoelektronischer Sensoren findet sich bei Martini et al. (1995, S. 53–70). Jeder der Griffe erfasst alle Kraftkomponenten separat, die einzeln oder auch als resultierende Kraft ausgegeben werden können.

6.3 Versuchsauswertung – Ergebnisse und Analysen

Während der Fahrt durch den Versuchsparcours erfasst das Messsystem mit einer Frequenz von 50 Hz die Kraftkomponenten in alle drei Raumrichtungen. Daraus ergibt sich ein charakteristischer Kraft-/Zeitverlauf, der exemplarisch in Abbildung 22 dargestellt ist.

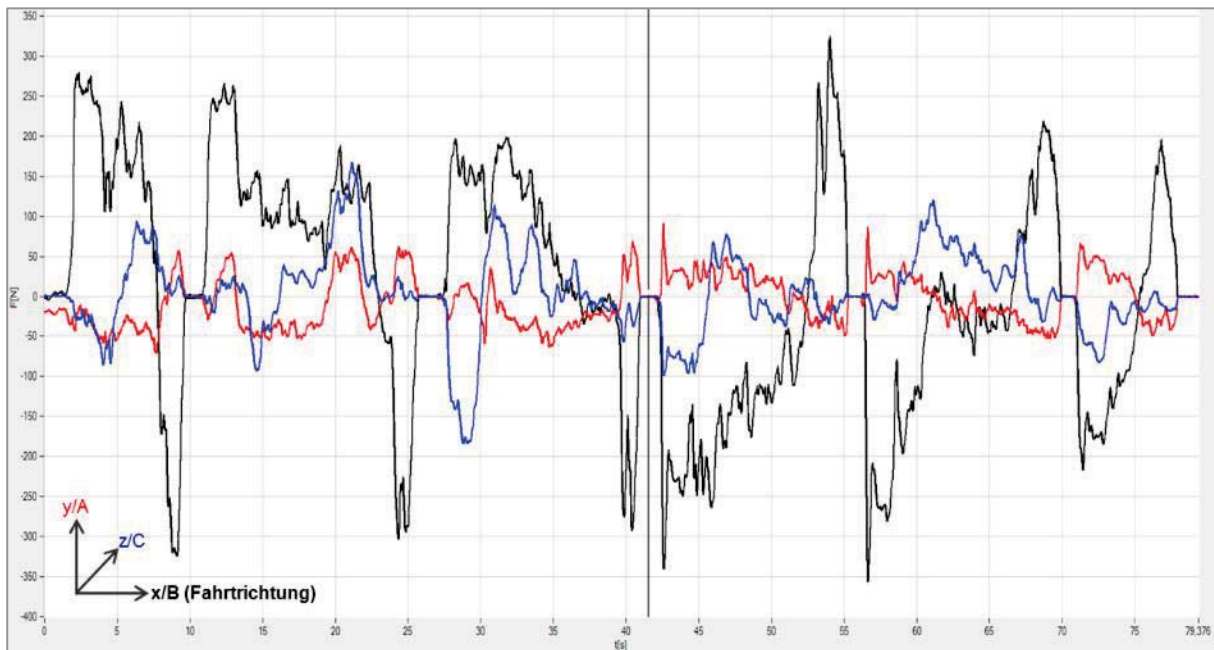


Abbildung 22: Exemplarischer Kraft-/Zeitverlauf eines geübten Probanden mit einem 900 kg schweren Transportwagen

Auf der Abszisse ist die Zeit in Sekunden [sec] aufgetragen. Auf der Ordinate die gemessene Kraft in der Einheit Newton [N]. Man unterscheidet zwischen effektiven Aktionskräften (in Abbildung 22 schwarz dargestellt), die unmittelbar zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe beitragen, und parasitären Kräften (blaue und rote Kraftkurve), die dies nicht tun. Letztere tragen jedoch auch zur physischen Beanspruchung bei (Bokranz und Landau, 2006, S. 295). Die Untersuchung der einzelnen Kraftkomponenten bei resultierenden Kraftmaxima ergibt, dass die parasitären Kräfte weniger als 7 % der resultierenden Gesamtkraft ausmachen. Da diese Kraftkomponenten nicht zur Aufgabenerfüllung beitragen, werden für die weiteren Auswertungen nur die effektiven Aktionskräfte berücksichtigt. Diese weisen charakteristische Kraftspitzen beim Anfahren und Anhalten auf. Nach dem Bundesverband der Unfallkassen (2004, S. 11) und Hector et al. (2014, S. 13–14) ist dies typisch, da zum In-Bewegung-Setzen von Transportwagen zunächst der relativ hohe Anfahrwiderstand überwunden werden muss. ISO 11228-2:2007 (S. 3) bezeichnet diese anfänglich aufgebrachte Kraft, während der Transportwagen sich noch nicht in Bewegung befindet, als „initial force“ (Initialkraft). Sobald sich ein Objekt in Bewegung setzt, sinkt der Kraftwert. Dieser Teil wird als „sustained force“ (Konstantkraft) bezeichnet. Initialkräfte sind höher als

Konstantkräfte. Eine dritte Kraftkomponente ist die „stopping force“ (Stoppkraft). Diese wird aufgewendet, um ein Objekt aus der Bewegung in die Ruhelage zu versetzen (ISO 11228-2:2007, S. 2).

Die exemplarisch dargestellte Kraftkurve zeigt Kraftspitzen beim Anfahren und Anhalten und ist für alle Untersuchungsergebnisse gültig. Steinberg et al. (2008, S. 7) erläutern, dass gerade hohe Maximalkräfte ein Schädigungsrisiko des Bewegungsapparates bedingen. Somit können diese Kraftspitzen als maßgebliches Gefährdungsrisiko identifiziert werden. Für die zu entwickelnde Risikobewertung kann aufgrund der erzielten Ergebnisse an dieser Stelle festgestellt werden, dass die Häufigkeit dieser Art der manuellen Lastenhandhabung als das entscheidende Kriterium herangezogen werden muss. Gemäß der Potenzialanalyse in Kapitel 4 bietet sich die Bewertung nach *EAWS* oder den *LMM ZS* für das Ziehen und Schieben an. Diese weisen eine Risikoberechnung unter Berücksichtigung der Häufigkeit, des zu bewegenden Lastgewichts und der vorliegenden Ausführungsbedingungen auf. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Kapitel 8 zur Methodenentwicklung herangezogen.

In der weiteren Versuchsauswertung werden die Kraftverläufe der effektiven Aktionskraft nach dem Beispiel von Hecktor et al. (2014, S. 14) einer Engpassbetrachtung unterzogen. Dazu werden die Maximalwerte der Einzelvorgänge betrachtet. Die geringeren Konstantkräfte, die während der Fahrt auftreten, werden in dieser Betrachtung nicht weiter berücksichtigt. Analysen der effektiven Aktionskraft, die von Conrad (2016, S. 44) veröffentlicht wurden, ergeben, dass gleich hohe Werte der Kräfte für die kurze Fahrstrecke von 2 m, Kurvenfahrt oder längere Strecken von 6 m aufgebracht werden. Es bestehen also keine signifikanten Kraftunterschiede beim Anfahren, obgleich die Kraftmaxima der ungeübten Probanden hier einer größeren Streubreite gegenüber den geübten Probanden unterliegen.

Bei den absolut aufgebrachten Körperkräften besteht hingegen eine große Streuung. Dies verdeutlicht Abbildung 23. Darin sind die jeweiligen mittleren Maximalkraftwerte der 20 Probanden – nach Ziehen und Schieben und Gewichtsvariante aufgeteilt – in einem Multi-Vari-Chart dargestellt.

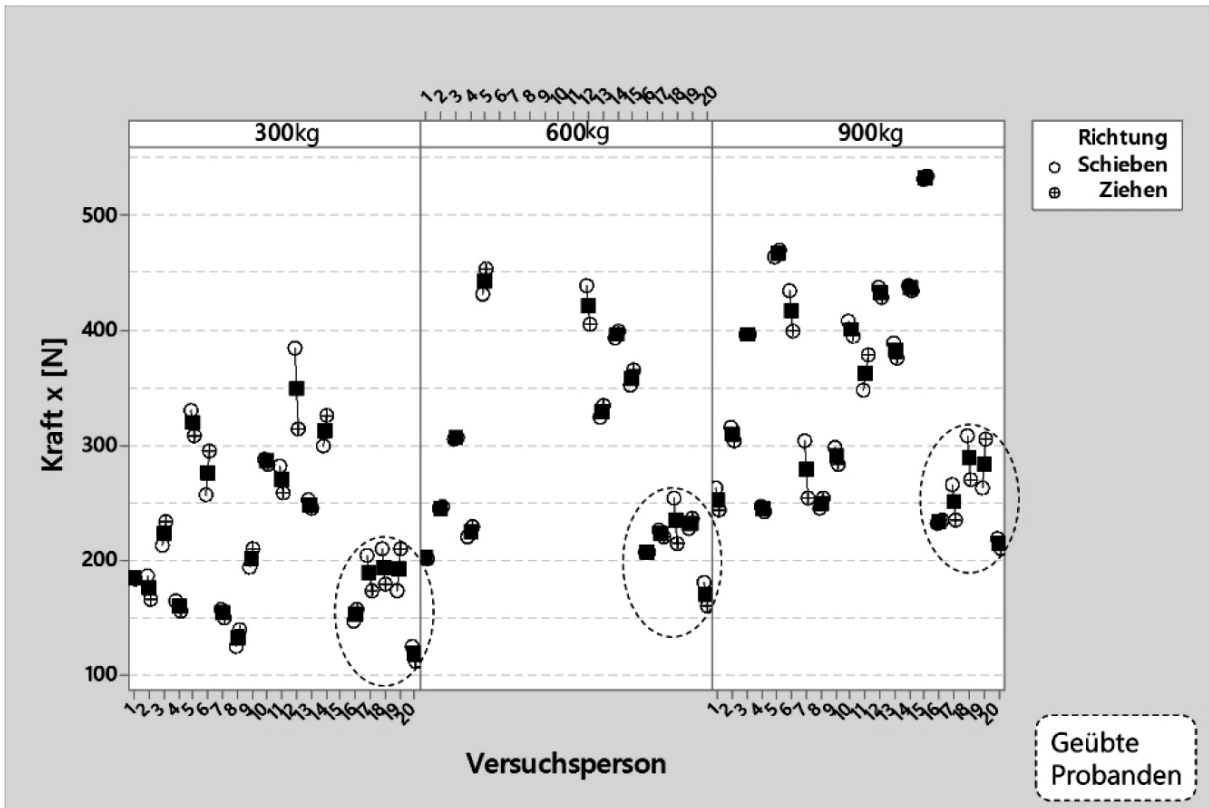


Abbildung 23: Multi-Vari-Chart der maximalen effektiven Aktionskraft der 20 Probanden. Unterteilt in drei Gewichtsvarianten sowie Ziehen und Schieben

Erkennbar ist die große Streuung der Mittelwerte, die bei den ungeübten Probanden wesentlich stärker ausgeprägt ist als bei den geübten Probanden. Dies ist auf eine abweichende Arbeitsweise zurückzuführen, die sich durch eine unterschiedliche Art der Beschleunigung des Transportwagens ausdrückt (vgl. Abbildung 19). Der durch einen t-Test statistisch nachgewiesene Unterschied beider Probandenkollektive ist in Abbildung 24 grafisch illustriert. Die Boxplots zeigen, dass geübte Probanden bei jeder Einzeltätigkeit weniger Kraft aufbringen als ungeübte. Der Median dieses Probandenkollektivs liegt folglich immer unter dem von ungeübten. Ferner ist die Streubreite und somit auch der Bereich vom 25. bis zum 75. Quartil bei Geübten kleiner als bei den Ungeübten. Die Ergebnisse bestätigen eine eingangs angenommene größere Streubreite σ^* bei Ungeübten zur Berechnung der benötigten Stichprobengröße n^* . Ungeübte Arbeitskräfte setzen häufig viel Kraft ein. Geübten Logistikfachkräften gelingt es hingegen, auch sehr schwere Transportwagen von 900 kg im Mittel mit ca. 300 N in Bewegung zu setzen und mit ca. 200 N bis 220 N zu stoppen.

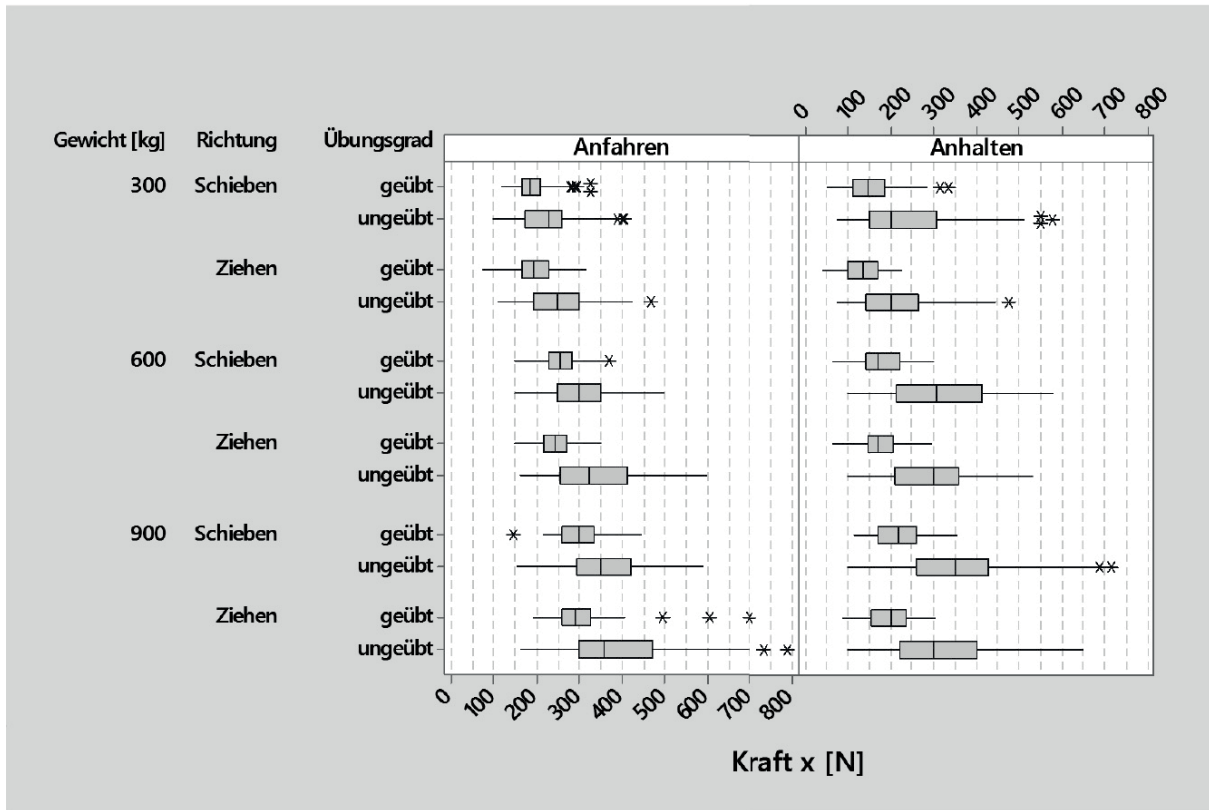


Abbildung 24: Boxplot-Chart der Aktionskraft mit Median, Quartilen und Spannweite von geübten und ungeübten Probanden; $n_{geübt} = 75$ je Messpunkt; $n_{ungeübt} = 225$ je Messpunkt

Zur Einordnung des Gefährdungsrisikos werden diese Ergebnisse mit Richtwerten des Merkblatts zur BK Nr. 2108 „Bandscheibenbedingte Erkrankungen“ verglichen (BMAS, 2006, S. 8). Tabelle 9 zeigt diese Richtwerte, bei deren Unterschreiten ein risikoarmes Arbeiten für gesunde Menschen gewährleistet werden kann.

Tabelle 9: Richtwerte für das Ziehen und Schieben nach BMAS (2006, S. 8)

Tätigkeit	Frauen	Männer
Ziehen	250 N	350 N
Schieben	300 N	450 N

Beim Vergleich der Werte aus Tabelle 9 mit den Ergebnissen aus Abbildung 24 wird deutlich, dass geübte Probanden auch bei der maximal zulässigen Gewichtslast von 900 kg in der Lage sind, diese empfohlenen Richtwerte einzuhalten. Bei den Ungeübten hingegen werden von einigen Probanden die Richtwerte der BK Nr. 2108 überschritten. Dies zeigt die Notwendigkeit, ungeübte Arbeitskräfte zu einem risikoarmen und ergonomischen Ausführen dieser Tätigkeit zu befähigen. Nach der Theorie der Lernkurve können Menschen ihre Fähigkeit und Fertigkeit in Bezug auf eine Tätigkeit ständig verbessern. Die Kurve verläuft über die Zeit degressiv. Somit ist der Lerneffekt zu Beginn am höchsten und nimmt mit zunehmender Tätigkeitshäufigkeit kontinuierlich ab (Kiener, 2012, S. 100). Aus diesem Grund kann bei ungeübten

Mitarbeitern der größte Lernerfolg realisiert werden. Um neue Mitarbeiter möglichst schnell zum risikoarmen Arbeiten zu befähigen, wird aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit ein Schulungskonzept für manuelle Lastenhandhabung entwickelt.

Als Zwischenfazit ist festzustellen, dass geübte Probanden durch ihre langjährige Tätigkeit implizit eine risikoärmere Arbeitsweise entwickelt haben. Aufgrund von Sensibilisierungsmaßnahmen zum risikoarmen Arbeiten ist davon auszugehen, dass alle Logistikfachkräfte zukünftig schnellstmöglich befähigt sein werden, die dargestellten Werte zu erzielen. Aus diesem Grund werden für die weitere Versuchsauswertung die Ergebnisse der geübten Logistiker herangezogen. Abbildung 25 zeigt mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit den Erwartungsbereich der Kraftmittelwerte an.

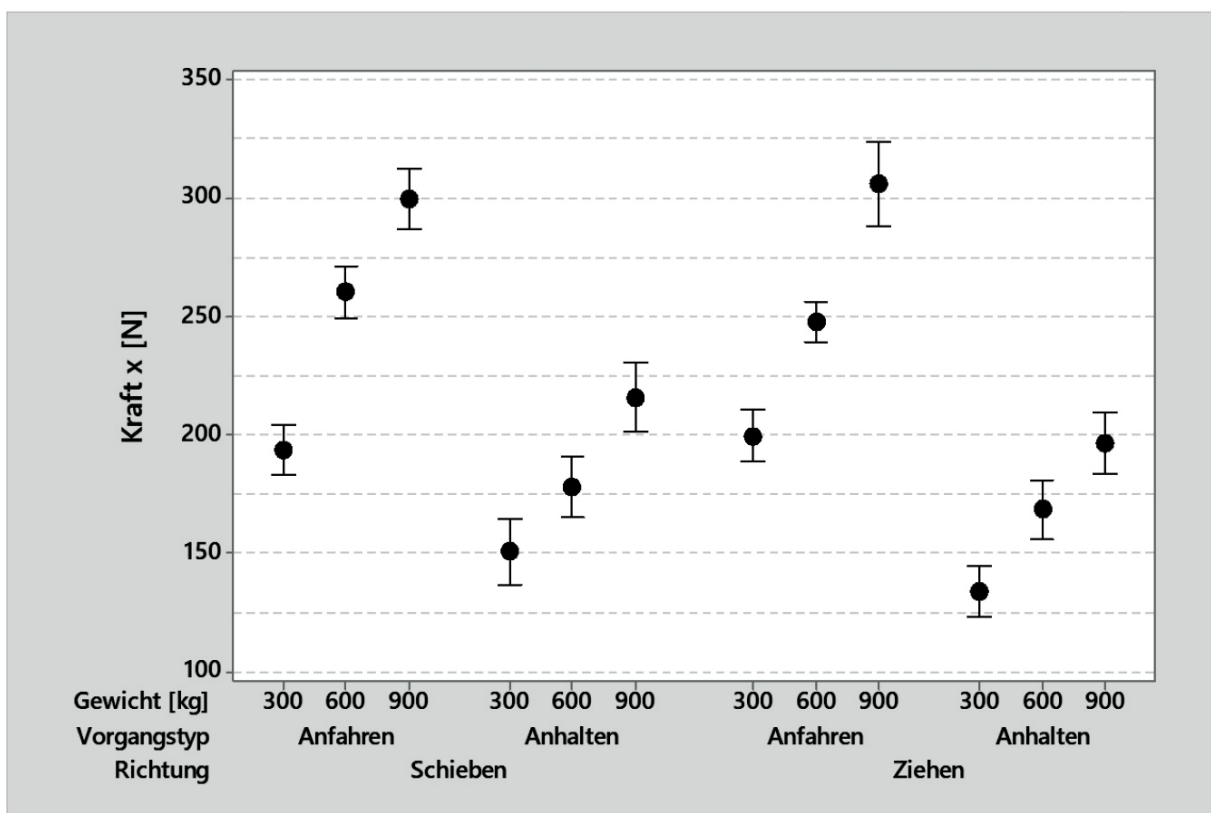


Abbildung 25: Mittelwert und 95%iges Konfidenzintervall geübter Logistikfachkräfte für das Ziehen und Schieben nach Anfahren und Anhalten und Gewichten unterteilt; n = 75 je Messpunkt

Zu erkennen ist die geringe Streubreite der Intervalle, die auf eine gleichbleibende Ausführungsweise der geübten Probanden zurückzuführen ist. Die Stopppkräfte beim Anhalten liegen immer unterhalb der Initialkräfte des Anschlebens. Dies verdeutlicht die intelligente Ausführungsweise, bei der sich die Probanden die abnehmende Geschwindigkeit, bedingt durch die Rollreibung, zu Nutze machen. Eine abrupte Verzögerung und damit einhergehend höhere Körperkräfte werden vermieden. Dies trägt zu einem physiologisch geringen Risiko bei. Neben den Reaktionskräften wirkt eine weitere Komponente belastend auf die Probanden. Diese ergibt sich nach

Hartmann et al. (2008, S. 459) neben den Kraftmaxima auch aus eingenommener Körperzwangshaltung. Aus diesem Grund wird auch die Körperhaltung bei Kraftmaxima mitberücksichtigt. Beobachtungen beim Ziehen und Schieben und dem dazugehörigen Anfahren und Anhalten zeigen deutliche Ausführungsunterschiede. Dies entspricht den Beobachtungen von Glitsch et al. (2004, S. 51) bei ähnlichen Untersuchungen. Aus diesem Grund wird im folgenden Unterkapitel näher auf die Körperhaltung während der manuellen Lastenhandhabung eingegangen und die Wirkung auf den Menschen mit einer biomechanischen Modellrechnung untersucht.

6.4 Beanspruchung durch manuelle Lastenhandhabung

In diesem Unterkapitel wird die auf den Menschen wirkende Belastung, bedingt durch manuelle Lastenhandhabung, untersucht. Die Höhe der Belastung des MSS hängt entscheidend von den aufgebrachten Körperkräften ab (Bundesverband der Unfallkassen, 2004, S. 22–23), die sich, wie zuvor gezeigt, aus Lastgewicht und Ausführungsweise der Arbeitspersonen ergeben. Jäger et al. (2011, S. 341–364) weisen in ihrer Studie „Occupational low-back exposure of persons with or without limbar disc-related diseases – Selected results of the German Spine Study EPILIFT“ einen Zusammenhang zwischen manueller Lastenhandhabung und/oder Arbeiten in häufiger Rumpfbeugehaltung und einem erhöhten Risiko von Bandscheibenerkrankungen nach, das in verstärktem Maße die Lendenwirbelsäule betrifft. Insbesondere die unterste Bandscheibe, die zwischen dem 5. Lenden- und dem 1. Sakralwirbel (L5-S1) liegt, ist besonders stark betroffen (Jäger und Luttmann, 2005, S. 252). Begründet ist dies durch das Stützen des gesamten Gewichts des Oberkörpers und der oberen Extremitäten sowie durch wirkende Hebelgesetze bei ungünstiger Körperhaltung. Eine ungünstige Körperhaltung in Verbindung mit einer Lastenhandhabung liegt dann vor, wenn der Kraftangriffspunkt weit entfernt vom Körper ist, große Hebelarme entstehen oder die Kraftwirkungslinie ungünstig ist. Auftretende Kräfte an der Lendenwirbelsäule können jedoch nur mit invasiven Methoden und unter einem erhöhten gesundheitlichen Schädigungsrisiko gemessen werden. Dazu müssen sterile, klinische Bedingungen herrschen. Deshalb eignet sich dieses Vorgehen nicht für Feldversuche, außerdem verbietet es sich allein aus ethischen Gesichtspunkten (Jäger und Luttmann, 2005, S. 251). Aus diesem Grund bietet sich die indirekte Bestimmung der Belastung der Wirbelsäule durch biomechanische Modelle an (Jäger und Luttmann, 1995, S. 15). Die Belastung von Körpersegmenten kann nach den Prinzipien der klassischen Mechanik berechnet werden (Schlick et al., 2010, S. 229). Aus ermittelten Daten wie Körperhaltung, Lastgewicht, Kraftrichtung und Krafthöhe lassen sich die Reaktionskräfte an der Lendenwirbelsäule berechnen (Hecktor et al., 2014, S. 13). Ein bewährtes Berechnungswerkzeug für die manuelle Lastenhandhabung ist der vom Leibniz-Institut für Arbeitsforschung der Technischen Universität Dortmund (IfaDo) entwickelte *Dortmunder*. Dieser basiert auf einer dreidimensionalen dynamischen Modellierung einer Belastungssituation. Dabei werden die Körperhaltung, die

Lastmassen des menschlichen Körpers und zu bewegendende externe Lasten bzw. Kräfte berücksichtigt. Daraus lassen sich verschiedene Kenngrößen der Wirbelsäulenbelastung wie Druck- und Scherkräfte sowie Beuge- und Torsionsmomente berechnen (Jäger und Luttmann, 2005, S. 252–253, 261). Neben der reinen Bestimmung der im Körperinneren wirkenden Reaktionskräfte ist es erforderlich, diese mit Belastbarkeitswerten der betroffenen biomechanischen Strukturen in Beziehung zu setzen. Nur so kann eine Aussage über deren Beanspruchung getätigt werden. Für die Bestimmung der Belastbarkeit wurden an mehreren tausend Bandscheiben und Wirbelkörpern von Autopsiematerial Druckversuche durchgeführt, um deren Festigkeit zu bestimmen. Daraus lassen sich Referenzgrößen für maximal zulässige Druckkräfte der Lendenwirbelsäule ableiten. Diese sind als „Dortmunder Richtwerte“ publiziert (Jäger et al., 2001, S. 364). Aus den Druckversuchen ergibt sich die Kompressionsfestigkeit der Bandscheiben, die mit zunehmendem Alter abnimmt. Dieser Effekt tritt bei Männern und Frauen in gleichem Maße auf (Jäger und Luttmann, 1995, S. 21); (ISO 11228-2:2007, S. 36). Die Wirbelsäule von Frauen weist im Mittel jedoch eine geringere Belastbarkeit als die von Männern auf (Jäger und Luttmann, 2005, S. 258). Ebenso zeigt sich hier ein weiteres Beispiel für eine Abnahme von physischen Belastbarkeitsparametern mit steigendem Lebensalter, wie in Kapitel 3.2.2 diskutiert und durch die Belegschaft des Untersuchungsraums in Kapitel 5 bestätigt. Auch die geringere physische Belastbarkeit von Frauen wird durch diese Erkenntnisse gestützt.

Anders als die Referenzwerte für die Belastung der Lendenwirbelsäule im *NIOSH*-Verfahren (siehe Kapitel 2.2.2), ist die Erkenntnis einer variierenden Belastbarkeit, bedingt durch Geschlecht und Lebensalter, in den *Dortmunder Richtwerten* berücksichtigt (Jäger, 2001, S. 232). Die Richtwerte sind in Tabelle 10 abgebildet.

Tabelle 10: Dortmunder Richtwerte – Empfehlungen für die maximale Kompressionsbelastung der Lendenwirbelsäule (Jäger et al., 2001, S. 365)

Alter [Jahren]	Dortmunder Richtwerte [kN]	
	Frauen	Männer
20	4,4	6,0
30	3,8	5,0
40	3,2	4,1
50	2,5	3,2
≥60	1,8	2,3

Die wirkenden Reaktionskräfte, bedingt durch die manuelle Lastenhandhabung, werden mit diesen Richtwerten verglichen, um eine Aussage über den Grad der Beanspruchung geben zu können. Wie zuvor erläutert, untergliedert sich die manuelle Lastenhandhabung in *Umsetzen* und *Ziehen und Schieben*. Da sich diese Belastungsfälle in der Wirkung auf die lumbale Wirbelsäule unterscheiden, werden die beiden Fälle getrennt untersucht.

6.4.1 Beanspruchung beim Umsetzen

Für den Teilbereich *Umsetzen* der manuellen Lastenhandhabung ist in Kapitel 6.1 der Nachweis erbracht, dass aufgrund deutlicher Unterschreitung von empfohlenen Lastgewichten keine schädlichen Spitzenbelastungen auftreten. Diese Tätigkeit kann für den Untersuchungsraum als unkritisch eingestuft werden. An dieser Stelle sei auf die Untersuchungen von Jäger et al. (2004) zu Belastungen der Lendenwirbelsäule bei branchenübergreifend auftretenden Arbeitssituationen mit Lastenhandhabung hingewiesen. Darin enthalten sind Verläufe der lumbosakralen²⁶ Bandscheibendruckkräfte beim Umsetzen von Gewichten zwischen 0 kg und 40 kg, die mit dem *Dortmunder* berechnet wurden. Weiterhin sind Kurvenverläufe für die lumbosakrale Druckkraft dargestellt, die sich auf das Heben von am Boden befindlichen Gewichten in einer sagittal symmetrischen Körperhaltung auf unterschiedliche Höhen beziehen. Dabei wird für den Beginn der Tätigkeit eine mittlere Wirbelsäulenkrümmung (kein Rundrücken, kein Hohlkreuz) und für den weiteren Verlauf eine natürliche Ausführungsweise angenommen. Dieser Ablauf ist mit unterschiedlichen Ausführungsgeschwindigkeiten angenommen; mit zunehmender Geschwindigkeit steigen die an der Wirbelsäule wirkenden Reaktionskräfte an. Diese Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang von Lastgewicht, Körperhaltung und Ausführungsgeschwindigkeit:

- Je schwerer die Last, desto höher die Druckkraft auf L5-S1
- Je weiter entfernt der Lastschwerpunkt vom Körper gehalten wird, desto höher ist die Druckkraft auf L5-S1
- Je schneller die Ausführungsgeschwindigkeit ist, desto höher ist die Druckkraft auf L5-S1

Für die Bestimmung der an der lumbosakralen Bandscheibe wirkenden Druckkräfte beim Umsetzen ist eine aufwendige biomechanische Modellrechnung mit dem *Dortmunder* nicht erforderlich. Ditchen et al. (2014, S. 263) haben eine Formel zur Berechnung der Bandscheibendruckkraft an L5-S1 für das Heben, Absenken und Umsetzen von Lasten bei normalen Ausführungsgeschwindigkeiten entwickelt:

$$\text{Bandscheibendruckkraft: } F_{L5-S1} = b + c * m$$

Die Bandscheibendruckkraft F_{L5-S1} errechnet sich aus der Komponente der Oberkörperhaltung b , der Lastgewichtskomponente c und der Masse m der zu bewegenden Last. Für den vorliegenden Fall werden für das aufrechte Umsetzen von Lasten nach Ditchen et al. (2014, S. 263) folgende Werte für b und c eingesetzt:

²⁶ Druckkräfte an unterster Bandscheibe zwischen unterstem Lendenwirbel und Kreuzbein (L5-S1)

Komponente der Oberkörperhaltung: $b = 800 \text{ N}$

$$\text{Lastgewichtskomponente: } c = \frac{45 \text{ N}}{\text{kg}}$$

Daraus errechnet sich für das Umsetzen der maximal möglichen Last von 15 kg folgende Bandscheibendruckkraft F_{L5-S1} :

$$\text{Bandscheibendruckkraft: } F_{L5-S1,max} = 800 \text{ N} + \frac{45 \text{ N}}{\text{kg}} * 15 \text{ kg} = 1.475 \text{ N} = 1,475 \text{ kN}$$

Die errechnete Bandscheibendruckkraft von 1,475 kN liegt deutlich unterhalb der empfohlenen *Dortmunder Richtwerte* aus Tabelle 10. Die Gewichte von KLT sind meist leichter als 15 kg (vgl. Auswertung Tabelle 7). Die Bandscheibenbelastung fällt somit tendenziell geringer aus. Die Berechnung zeigt, dass die Wirkung auf die Mitarbeiter beim manuellen Umsetzen, wie es im Untersuchungsraum auftritt, als unkritisch eingestuft werden kann. Aufgrund von individuellen falschen Ausführungsweisen, insbesondere durch eine zu schnelle Bewegung oder eine nicht ergonomische Körperhaltung, kann es jedoch in Einzelfällen zu einer überhöhten Beanspruchung kommen. Aus diesem Grund wird den Logistikfachkräften zukünftig ein Training zur verhaltensergonomisch korrekten Ausführungsweise angeboten. Dieses wird aufbauend auf den in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnissen entwickelt.

6.4.2 Beanspruchung beim Ziehen und Schieben

Die zweite Art der manuellen Lastenhandhabung ist das *Ziehen und Schieben*. Dieses beinhaltet in der Regel drei Phasen. Zuerst wird die zu bewegende Masse beschleunigt. In der nächsten Phase wird die Masse bei konstanter Geschwindigkeit weiterbewegt, bis sie zuletzt abgebremst wird. Mit dem Anhalten endet der Vorgang. Da beim Schieben eine andere Körperhaltung eingenommen wird als beim Ziehen und die Krafrichtung jeweils entgegengesetzt ist, erfolgt die Untersuchung getrennt für diese beiden Teilvorgänge. Für jeden Teilvorgang ergeben sich unterschiedliche biomechanische Wirkungen auf die Wirbelsäule. Wie bei der Auswertung zuvor, wird auch hier eine Engpassbetrachtung vorgenommen. Die Berechnung der wirkenden Kräfte erfolgt unter Berücksichtigung der eingenommenen Körperhaltung bei maximal ausgeübten Kräften des zugehörigen Vorgangs. Zur biomechanischen Berechnung wird der *Dortmunder* angewendet. Nach Jäger und Luttmann (2005, S. 252–253, 261) eignet sich der *Dortmunder* für die dreidimensionale, dynamische Modellierung von Menschmodellen, auch mit externen Lasten und/oder Kräften, um lokale Belastungen für Handhabungsvorgänge des Berufsalltags wie das Ziehen und Schieben zu berechnen.

Abbildung 26 von Conrad und Jäger (2017) zeigt die eingenommene Körperhaltung eines Probanden beim Schieben gegenüber der Körperhaltung beim Ziehen. Neben der Momentaufnahme bei maximal ausgeübter Körperkraft sind die Biomechanikmodelle des *Dortmunder* in zwei Ansichten dargestellt. Diese Modelle entsprechen der Körperhaltung und der Anthropometrie²⁷ der Versuchsperson. Neben der Abbildung der Körperhaltung bei Ausübung der Maximalkraft werden der Modellrechnung die über die Handkraftmessgriffe ermittelten Kräfte (in x-, y-, und z-Richtung) hinzugefügt.

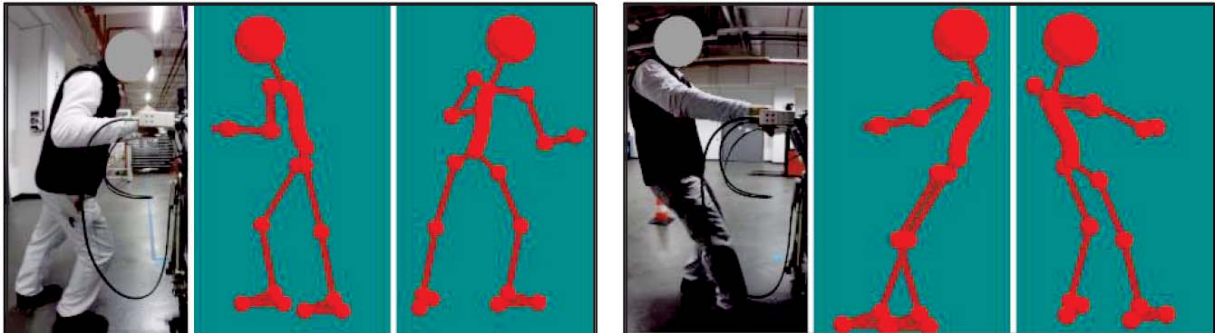


Abbildung 26: Eingenommene Körperhaltung eines geübten Logistikmitarbeiters mit menschlichen Körpermodellen, erzeugt mit dem ‚Dortmunder‘; Links: Schieben - Anfahren; Rechts: Ziehen - Anfahren (Conrad und Jäger, 2017)

Die Versuchsauswertung ergibt eine sehr ähnliche Körperhaltung beim *Ziehen-Anhalten* und *Schieben-Anfahren* sowie beim *Ziehen-Anfahren* und *Schieben-Anhalten*. Aus diesem Grund werden für die Berechnung mit dem *Dortmunder* die Berechnungsfälle gewählt, die bei gleicher Körperhaltung die höheren Kraftwerte in die horizontale Hauptkraftrichtung x aufweisen. Dies sind *Schieben-Anfahren* und *Ziehen-Anfahren*. Die Mittelwerte der experimentell erfassten Körperkräfte von geübten Logistikfachkräften für die beiden Vorgänge sind in Tabelle 11 abgebildet.

²⁷ Der Begriff „Anthropometrie“ stammt aus dem Griechischen (Anthropos = Mensch; Metrie = Messen) und steht für die Lehre von den Maßen und Maßverhältnissen des menschlichen Körpers (Zalpour, 2014, S. 52)

Tabelle 11: Experimentell ermittelte Kraftmittelwerte von geübten Logistikfachkräften beim Ziehen und Schieben von Transportwagen

x-Richtung: horizontal, vom Körper weg (+), hin zum Körper (-)

y-Richtung: vertikal, nach oben (+), nach unten (-)

z-Richtung: horizontal, nach links (+), nach rechts (-)

	Schieben [N]						Ziehen [N]					
	Anfahren			Anhalten			Anfahren			Anhalten		
Gewicht [kg]	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
300	194	-25	3	-151	17	-3	-200	51	5	134	-29	5
600	260	-6	5	-178	11	-5	-248	61	7	169	-24	13
900	300	-13	-1	-216	27	-4	-306	67	7	197	-35	11

Auch bei der Analyse mit dem *Dortmunder* steht die Belastung der unteren Bandscheibe L5-S1 im Fokus. Die Berechnung der auftretenden Bandscheibenkräfte wird jeweils für die Körperhaltung beim Schieben und Ziehen mit der zu bewegenden Lastmasse in den Versuchsvarianten von 300 kg, 600 kg und 900 kg durchgeführt. Zusätzlich wird als Vergleichswert eine Körperkraft von 0 N (in alle Raumrichtungen) bei gegebener Körperhaltung angenommen. Durch diese Annahme soll die Belastung, die allein auf die Körperhaltung zurückzuführen ist, aufgezeigt werden.

Beim Ziehen und Schieben wirken neben der Druckbelastung auf die Lendenwirbelsäule auch sagittale und laterale Scherkräfte (Glitsch et al., 2004, S. 52), woraus sich zusätzlich ein Sagittalmoment ergibt. Die biomechanisch errechneten Ergebnisse für die durchgeführten Versuche zeigt Abbildung 27.

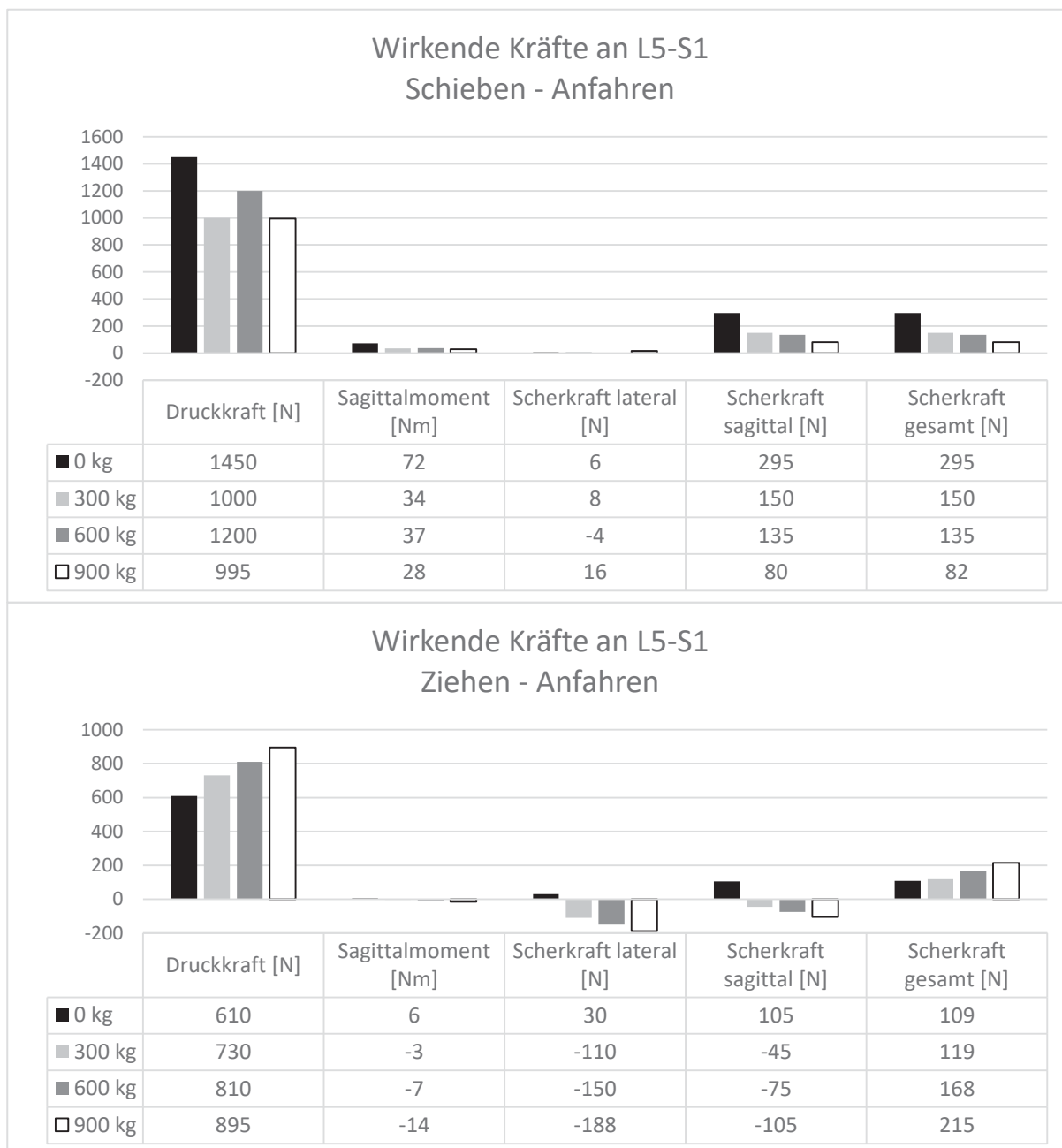


Abbildung 27: Belastung der Wirbelsäule beim Schieben und Ziehen ermittelt mit dem ‚Dortmunder‘

Auffällig sind die am höchsten ausfallenden Druckkräfte im oberen Teil der Abbildung, bei angenommenen 0 kg Gewicht (entspricht 0 N in alle Richtungen). Die verhältnismäßig hohe Belastung entsteht allein aufgrund der nach vorn gebeugten Körperhaltung. Die lumbal wirkenden Kräfte bei dem tatsächlich durchgeführten Versuch mit den Gewichten von 300 kg, 600 kg und 900 kg sind geringer. Dies zeigt, dass eine ausgeübte Aktionskraft – wenn diese nicht zu hoch ist – eine belastungsmindernde Wirkung haben kann. Die Aktionskraft bewirkt ein aufrichtendes Sagittalmoment. Dieses Aufrichtmoment wirkt den Beugemomenten des nach vorn gebeugten Rumpfes und der ausgestreckten Arme entgegen, das sich aus den

Lastschwerpunkten der einzelnen Körpersegmente in Verbindung mit der Erdanziehung ergibt. Durch das Aufrichtmoment verringern sich die Druck- und Scherkräfte auf die Bandscheibe sowie auch das Sagittalmoment.

Beachtenswert sind die Werte der Bandscheibendruckkräfte bei den drei Gewichtsvarianten. Beim *Schieben-Anfahren* lässt sich kein kontinuierlich ansteigender oder abfallender Verlauf feststellen. Alle Werte liegen in einem unkritischen Bereich zwischen 1 kN und 1,2 kN (vgl. mit Richtwerten in Tabelle 10). Die leicht erhöhte Lage der Druckkraft bei 600 kg lässt sich auf die beschriebene Wechselwirkung zwischen Beuge- und Aufrichtmoment zurückführen. Der niedrige Wert in y-Richtung von -6 N bei 600 kg (vgl. Tabelle 11) bedeutet ein geringeres Aufstützen des Oberkörpers auf die Handgriffe gegenüber den beiden anderen Versuchsvarianten. Dadurch lastet mehr Oberkörpergewicht auf der Bandscheibe, wodurch sich der leicht erhöhte Wert ergibt. Untersuchungen von Jäger et al. (2004, S. 18) haben gezeigt, dass für den Fall des Schiebens die Bandscheibenkompression ein Minimum bei anfangs zunehmender Aktionskraft durchläuft. Bei den hier getätigten Untersuchungen befinden sich die drei errechneten Werte kurz hinter dem unteren Wendepunkt dieses Minimums. Bei steigenden Körperkräften wird ab einem bestimmten Punkt ein erhöhtes Schädigungsrisiko der Bandscheiben erreicht (Jäger und Luttmann, 2005, S. 258).

Der Lage der lumbosakralen Bandscheibendruckkräfte beim *Ziehen-Anfahren* unterscheidet sich gegenüber der Lage beim *Schieben-Anfahren*. Wie der untere Teil der Abbildung 27 zeigt, nehmen die Druckkräfte mit steigenden Gewichten (und damit einhergehend steigenden Körperkräften, vgl. Tabelle 11) zu. Die zurückgelehnte Körperhaltung und die entgegengesetzte Krafrichtung zum Körper hin bedingen diesen Verlauf. Die niedrigsten Werte von 610 N bei einem angenommenen Gewicht von 0 kg resultieren allein aus der Belastung durch das Gewicht des Oberkörpers und der oberen Extremitäten. Eine Zugkraft wirkt bei einer zurückgelehnten Körperhaltung als Druck- und Scherkraft auf die Bandscheibe. Aus diesem Grund nehmen die Druck- und die Scherkräfte mit steigender Gewichtslast – die mit steigenden Aktionskräften einhergehen – zu. Sagittalmomente entstehen bei dieser Tätigkeit nahezu nicht.

Jäger und Luttmann (1992, S. 796) kommen zu dem Schluss, dass die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen maximal erträgliche Druckkräfte der Lendenwirbelsäule untersuchen. Die Referenzwerte bzw. *Dortmunder Richtwerte* in Tabelle 10 können deshalb als valide angenommen werden. Beim Vergleich der maximal berechneten Druckkräfte, die sich aus den durchgeführten Versuchen ergeben, treten mit 1,2 kN beim *Schieben-Anfahren* bei 600 kg die höchsten Werte auf. Damit liegen alle biomechanisch berechneten Druckkraftwerte unterhalb des minimalen Belastbarkeitswertes von 1,8 kN, der sich für Frauen über 60 Jahre ergibt. Die lumbal auftretenden Druckkräfte stellen ergo kein erhöhtes Schädigungsrisiko für gesunde Mitarbeiter dar.

Neben Druckkräften treten auch Sagittalmomente, Lateral- und Sagittalkräfte auf. Dazu finden sich in der wissenschaftlichen Literatur nur sehr wenige Quellen für experimentell erfasste Referenzwerte. Nach unveröffentlichtem Material von Paul et al.

(1998), zitiert aus Ayoub et al. (1997), können Bandscheiben maximal 900 N Scherkraft aufnehmen. Die Wirbelknochen bzw. deren Bögen können 3,1 kN bis 3,6 kN Scherkräfte aufnehmen. Der höchste Wert für die auftretende Scherkraft erreicht 215 N beim *Ziehen-Anfahren* bei 900 kg (die rein hypothetisch angenommenen Belastungen bei einem Transportwagen von 0 kg werden für den Vergleich nicht berücksichtigt). Da der Wert deutlich unter 900 N liegt, kann er ebenfalls als unkritisch für gesunde Menschen angesehen werden.

Zum Vergleich der berechneten Sagittalmomente kann die Publikation von Tichauer (1978) herangezogen werden. Dort findet sich ein Klassierungsschema zur Beurteilung von lumbal ertragbaren Momenten. Dieses Schema zeigt Tabelle 12. Die Werte sind durch zahlreiche muskelphysiologische Labormessungen und lumbal-biomechanische Modellrechnungen von Glitsch et al. (2004, S. 328) untermauert.

Tabelle 12: Beurteilungsschema der lumbosakralen Momente beim Handhaben von Lasten nach Tichauer (1978)

Moment an L5-S1 [Nm]	Belastungshöhe	Benötigte individuelle Eigenschaften
unter 40	Leicht	ungeübte Personen, Frauen oder Männer, Konstitution unerheblich
ab 40 bis 85	Mittelschwer	guter Körperbau, einige Übung
ab 85 bis 135	Schwer	ausgewählte Personen, eingehende Schulung, Ruhepausen
ab 135	Sehr schwer	große Sorgfalt bei Personenauswahl und Schulung, Schichtabschnitte

Unter 40 Nm kann die Belastungshöhe nach diesem Schema als leicht eingestuft werden. Kein mit dem *Dortmunder* berechneter Wert aus Abbildung 27 liegt darüber. Diese Belastung ist für ungeübte Personen, Frauen wie Männer, problemlos und schädigungsfrei ertragbar. Auch die Sagittalmomente können deshalb als risikoarm eingestuft werden.

Als kritische Diskussion dieses Kapitels wird angemerkt, dass eine wie hier vorgenommene Engpassbetrachtung keine physiologischen Belastungsfaktoren (wie energetisch-metabolische, muskuläre oder gynäkologische Einflüsse) berücksichtigt. Für eine ganzheitliche Betrachtung bieten sich nach Jäger et al. (2001, S. 369) Bewertungsverfahren (z. B. die *LMM*) an. Eine solche Risikobewertung physischer Belastungen wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit (Kapitel 8) entwickelt.

Fazit

Die Ergebnisse dieses Kapitels zeigen die wirkende Belastung bei der manuellen Lastenhandhabung. Diese setzt sich aus zu bewegendem Gewicht und der eingenommenen Körperhaltung zusammen. Die Versuche zu Körperkräften beim Ziehen und Schieben zeigen eindeutig Kraftspitzen beim Anfahren und Anhalten. Aus diesem Grund kann bei einer Risikoberechnung mittels Screeningverfahren die Häufigkeit als Berechnungsgröße nach dem Vorbild der *LMM ZS* oder *EAWS* herangezogen werden.

Biomechanische Berechnungen zeigen, dass die manuelle Lastenhandhabung im Untersuchungsraum keine Belastungsrichtwerte überschreitet und so in der singulären Betrachtungsweise – unter Vernachlässigung einer Dauerfestigkeit des MSS – für gesunde Menschen als risikoarm eingestuft werden kann.

6.5 Spitzenbelastungen unterschiedlicher Ausführungsbedingungen beim Ziehen und Schieben

Bei den Versuchen zum Ziehen und Schieben gab es einige wenige Situationen, in denen Körperkräfte von über 700 N aufgetreten sind. Dies geschieht, wenn die beiden vertikal axial gelagerten Räder des Transportwagens nicht parallel zur Fahrtrichtung ausgereichtet sind und ein Transportwagen aus dieser Stellung in Bewegung gesetzt werden muss. Um diesen Effekt personenunabhängig quantifizieren zu können, wird ein selbst entwickelter Versuch aufgebaut und durchgeführt. Ziel ist es, zu ermitteln, inwieweit unterschiedliche Rahmen- bzw. Ausführungsbedingungen die aufzubringende Körperkraft beeinflussen.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau gleicht der Vorgehensweise eines Zugversuchs nach DIN EN ISO 6892-1:2009-12. In diesem Versuch wird eine genormte Werkstoffprobe stoßfrei mit einer langsam und stetig höher werdenden Kraft (quasi statisch) beaufschlagt, bis diese letztlich zerreißt (Dankert und Dankert, 2013, S. 170, 174). Dieses Prinzip wird auf die vorliegende Fragestellung übertragen. Um einen Transportwagen verhältnismässig langsam und mit gleichbleibender Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen, wird ein ca. 2 m hohes Gestell mit einem oben angebrachten Elektrokettenszug gefertigt. Über eine Umlenkrolle ist der Kettenszug über ein Kunststoffseil mit einem Kraftmessgerät verbunden, das an der Deichsel des Transportwagens befestigt ist. Abbildung 28 zeigt den Versuchsaufbau.

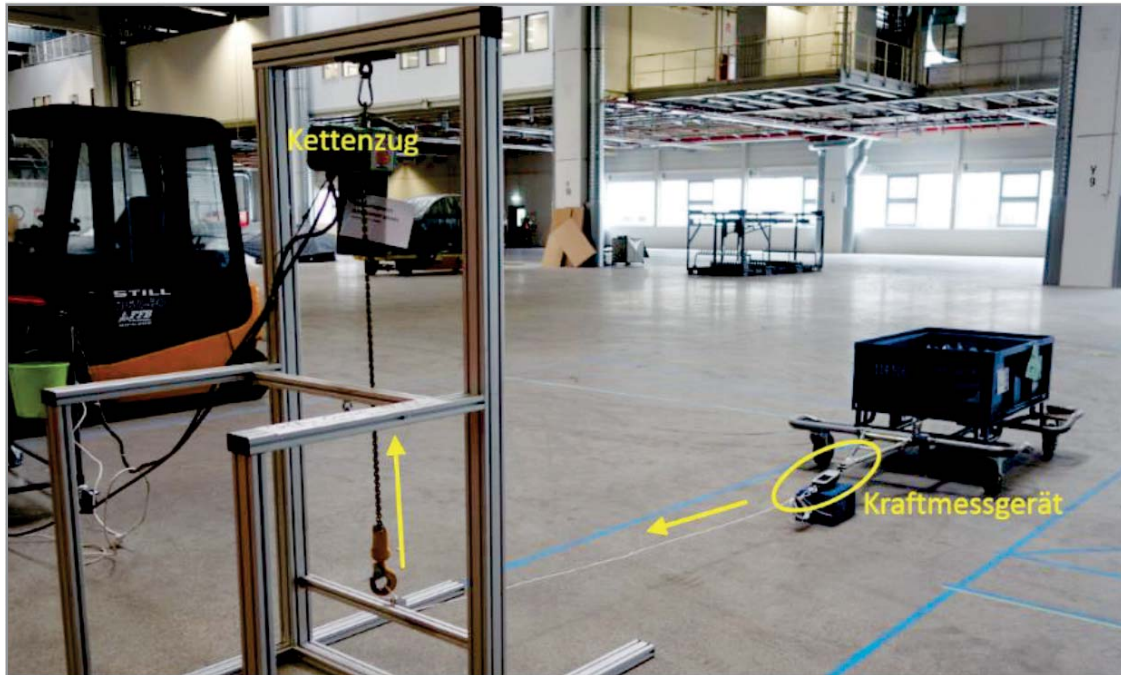


Abbildung 28: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Kräfte bei konstanter Zugkraft von Transportwagen

Der Kettenzug zieht über das Seil mit einer konstanten Geschwindigkeit v von 2 m/sec an dem Wagen. Zu Beginn des Versuchs, beim Stillstand des Transportwagens, wird dieser mit einer gleichbleibend größer werdenden Kraft beaufschlagt. Übersteigt diese Zugkraft die Haltekraft des Transportwagens, so setzt er sich in Bewegung. Die dabei entstehende Kraft wird kontinuierlich über ein Zugkraftmessgerät erfasst.

Ergebnisse der Zugversuche

In Abbildung 29 ist ein typischer Kraftverlauf eines 600 kg schweren Transportwagens abgebildet, wenn dieser dem Versuchsaufbau entsprechend gezogen wird. Erkennbar sind die vielen Kraftspitzen, obwohl der Motor des Kettenzuges gleichbleibend gezogen hat.

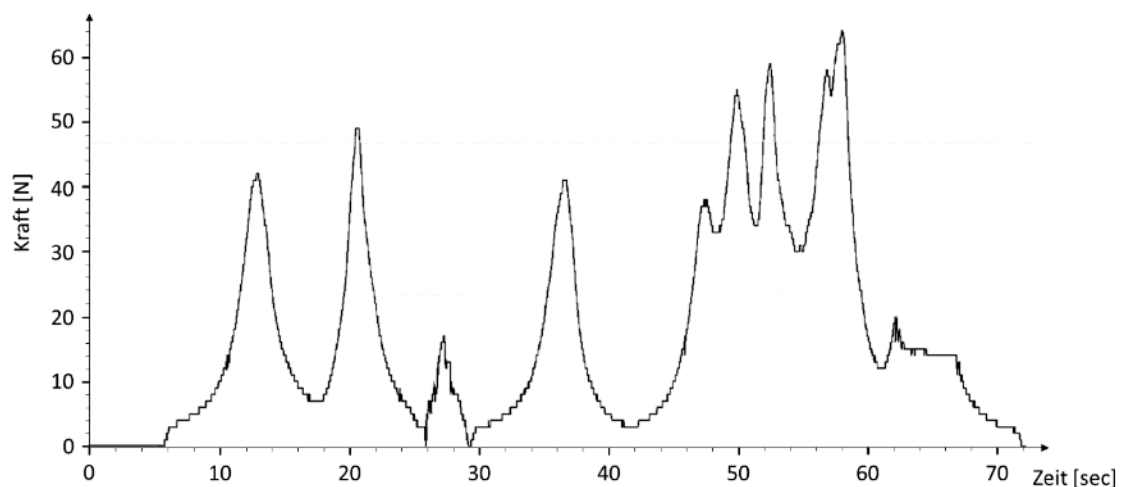


Abbildung 29: Charakteristischer Kraftverlauf beim Ziehen mit in Fahrrichtung ausgerichteten Rädern

Diese Kraftspitzen entstehen, da der Transportwagen nach einer Kraftspitze in Bewegung gerät und dann eine kurze Strecke ohne zusätzlichen Krafteinsatz zurücklegt. Meist stoppt der Transportwagen aufgrund der Rollreibung anschließend gänzlich ab und wird erneut durch den Kettenzug beschleunigt. Dieser Effekt ist auf die Dehnung ε von Kette, Seil und Messgerät zurückzuführen. Sie ist definiert als Quotient von Längenänderung Δl und der Ausgangslänge l_0 .

$$\text{Dehnung: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Die Gesamtdehnung $\varepsilon_{\text{gesamt}}$ ergibt sich aus den Einzeldehnungen der Bauteile (Kette, Seil und Messgerät).

$$\text{Gesamtdehnung: } \varepsilon_{\text{gesamt}} = \varepsilon_{\text{Kette}} + \varepsilon_{\text{Seil}} + \varepsilon_{\text{Messgerät}}$$

Die Gesamtdehnung $\varepsilon_{\text{gesamt}}$ ist eine elastische Dehnung. Die Bauteile speichern Energie und geben diese bei Entlastung wieder ab. Dieser Effekt tritt dann ein, wenn sich die Zugkraft auf die Bauteile nach dem In-Bewegung-Setzen verringert. Die gespeicherte Energie wirkt nach dem In-Bewegung-Setzen weiter auf den rollenden Transportwagen. Dies mag eine Erklärung sein, weshalb der Wagen ohne eine Konstantkraft weiter rollt. Ein weiterer Effekt ist die Gewichtskraft von Seil und Messgerät, die als zusätzliche Zugkraft in weitgehend horizontaler Richtung fungiert. Da die Haftreibung μ_{haft} größer als die Gleitreibung μ_{gleit} ist (Bannwarth et al., 2013, S. 42), wirkt die gespeicherte Zugkraft von Messgerät und Seil stärker beschleunigend auf den Transportwagen, sobald dieser sich in Bewegung setzt. Auch dies mag ein Grund für den Kurvenverlauf der Zugkraft sein.

Der dargestellte Versuch wird mehrfach in den Gewichtsvarianten 300 kg, 600 kg und 900 kg wiederholt. In einer Variante mit in Fahrtrichtung parallel ausgerichteten Rädern, in der anderen mit chaotischer Position der vertikal drehbar gelagerten Räder. Die Ergebnisse der Maximalkraft sind in Boxplot-Charts in Abbildung 30 dargestellt. Auf der linken Seite sind die Ergebnisse auf dem glattesten Boden (geschliffener Estrich) im Werk Neckarsulm abgebildet. Auf der rechten Seite die Werte, die auf dem rauesten Werkboden (Sikafloor 261 mit Quarzsand) gemessen wurden. Die oberen Charts zeigen die Messwerte, wenn die Räder nicht in Fahrtrichtung ausgerichtet sind, die unteren Charts, wenn sie in Fahrtrichtung ausgerichtet sind.

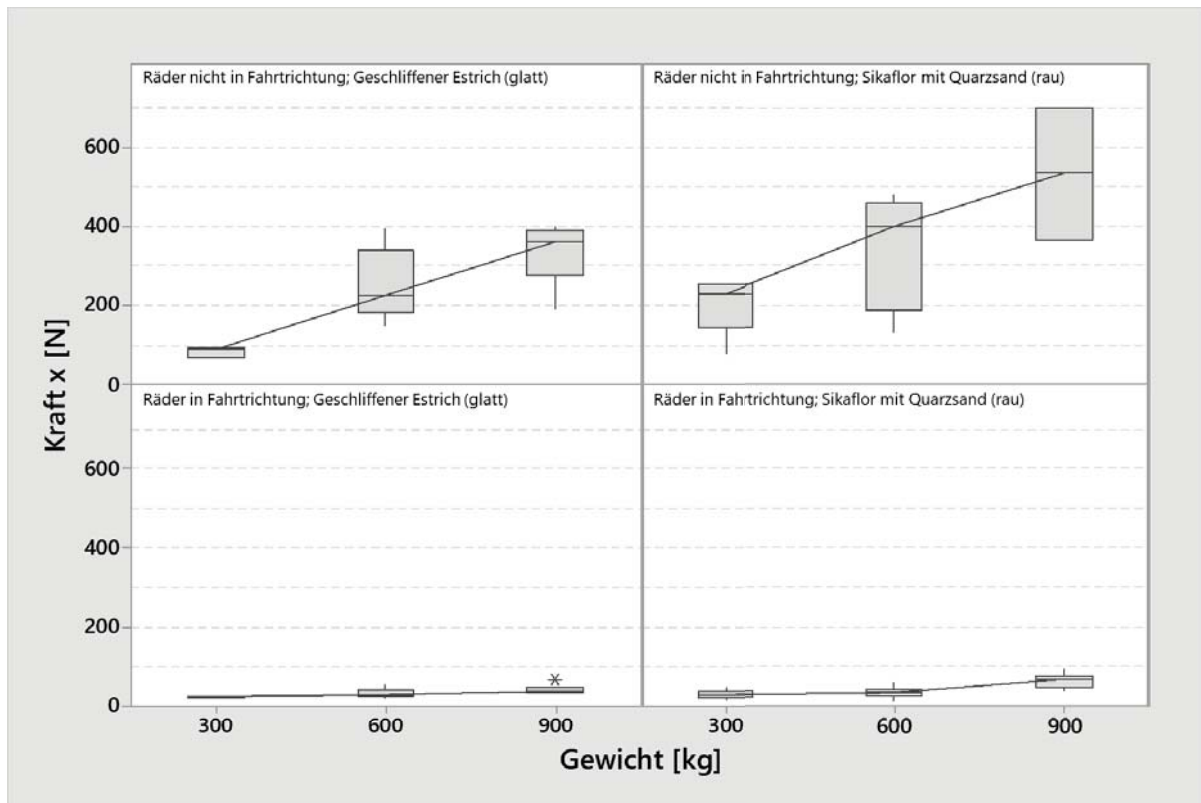


Abbildung 30: Boxplot-Charts mit Median und Quartilen der experimentell ermittelten Kraft auf zwei unterschiedlichen Böden, in drei Gewichtsvarianten und mit unterschiedlich ausgerichteten Rädern; $n = 8$ je Messpunkt (ausgenommen Messpunkt Räder nicht in Fahrtrichtung auf rauem Boden, $n = 2$) (Conrad und Schmauder 2016)

Sind die Räder in Fahrtrichtung ausgerichtet, so liegen die Kraftwerte zwischen 16 N und 100 N. Sind die Räder nicht in Fahrtrichtung ausgerichtet, treten besonders auf dem rauhen Boden sehr hohe Kraftwerte von bis zu 700 N bei einem 900 kg schweren Transportwagen auf. Auf dem glatten Boden sind es in diesem Fall bis zu 400 N. Die Werte auf dem rauhen Boden sind somit vier bis zehn Mal höher. Diese Untersuchungen zeigen, dass die Ausrichtung der Räder beim Anfahren und der Untergrund maßgeblich für die Höhe der aufzubringenden Kraft sind (Conrad und Schmauder, 2016). Diese Ergebnisse erfordern eine Berücksichtigung von Ausführungsbedingungen beim Ziehen und Schieben. Aus ermittelten Gründen wird ein solcher Bewertungsparameter in der zu entwickelnden Risikobewertung im weiteren Verlauf der Arbeit integriert.

Fazit

Die Untersuchungen zur manuellen Lastenhandhabung zeigen, dass diese Tätigkeit insgesamt risikofrei ausführbar ist. Ein Grund ist die deutliche Unterschreitung von empfohlenen Richtwerten von umzusetzenden Gewichten. Die Untersuchungen zum Ziehen und Schieben haben gezeigt, dass Kraftspitzen kurzzeitig beim Anfahren und Anhalten auftreten, Richtwerte von geübten Fachkräften dabei jedoch nicht überschritten werden. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass die Maximalbelastungen beim Anfahren und Anhalten auftreten. Deshalb wird die zu entwickelnde

Risikobewertung bei kurzem Ziehen und Schieben, gemäß den Vorgaben des *EAWS*, die Häufigkeit als maßgebende Bewertungsgröße beinhalten.

Ferner hat sich bei den Untersuchungen zum Ziehen und Schieben gezeigt, dass neben dem Gewicht auch die individuelle Ausführungsweise einen wesentlichen Einfluss auf die auftretenden Körperkräfte hat. Die Berechnung der biomechanisch wirkenden Reaktionskräfte und Momente zeigt die risikofreie Ausführung geübter Logistikfachkräfte. Alle lumbosakral wirkenden Kräfte liegen deutlich unterhalb von Referenzwerten. Stark abweichende Körperhaltungen und/oder das Aufwenden unnötig hoher Körperkräfte können hingegen zu einem Überschreiten wissenschaftlich publizierter Richtwerte führen. Um einer falschen Ausführungsweise bei dieser Tätigkeit vorzubeugen, haben Steinberg et al. (2008) einen Leitfaden zum risikoarmen Ziehen und Schieben veröffentlicht. Aufbauend auf diesem Leitfaden und den Erkenntnissen aus dieser Arbeit wird den Mitarbeitern bei Audi eine Schulung, bestehend aus theoretischen und praktischen Inhalten, angeboten. Auch die möglichen Spitzenbelastungen durch nicht in Fahrtrichtung ausgerichtete Räder werden thematisiert. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird das richtige Anfahren mit den Zugmaschinen an Abgabestationen erläutert. Bei korrekter Ausführung sind die Räder bei voll beladenen Transportwagen so immer optimal positioniert. Physiologische Schädigungen durch Überbelastungen, bedingt durch falsche Arbeitsweise bei Logistikfachkräften, können so vermieden werden.

Hinsichtlich variierender Ausführungsbedingungen beim Ziehen und Schieben wird es für diesen Teil der manuellen Lastenhandhabung einen Bewertungsparameter innerhalb der Risikobewertung geben. Dies machen die Ergebnisse der getätigten Versuche aus Kapitel 6.5 erforderlich. Berücksichtigt werden unter anderem sehr gute Ausführungsbedingungen bis hin zu einem Losreißen oder auch sehr hohe Rollwiderstände. Für die Integration dieses Parameters bietet sich das Bewertungsschema beispielsweise nach *MLT*, *LMM ZS* oder *EAWS* an (vgl. Potenzialanalyse in Kapitel 4).

7 Analyse des Einflusses der Körperhöhe durch Simulation von charakteristischen intralogistischen Kerntätigkeiten

Beobachtungen haben gezeigt, dass bei Standardtätigkeiten größere Personen eine andere Körperhaltung einnehmen als kleinere. Diesen Sachverhalt verdeutlicht Abbildung 31. Darin kommissionieren links eine Frau mit einer Körperhöhe von 161 cm und rechts ein Mann mit 186 cm aus einem Standardregal. Erkennbar ist die abweichende Ausführungsweise und Körperhaltung: Die Frau steigt zur (besseren) Erreichbarkeit der oberen Regalebene unten auf das Regal. Für den Mann ist das obere Regalfach deutlich einfacher zu erreichen.



Abbildung 31: Vergleich der eingenommenen Körperhaltung einer kleinen Frau und eines größeren Mannes beim Kommissionieren

Gestützt wird diese Beobachtung durch die Erkenntnisse der Mitarbeiterbefragung aus Kapitel 5.3, wonach sich kleinere Personen stärker beansprucht fühlen als größere. Dieser Sachverhalt wird in diesem Kapitel für logistische Standardarbeitssysteme näher untersucht. Ziel ist es, zu ergründen, ob und inwieweit die Körperhöhe Einfluss auf die Ausführungsweise hat und ob sich daraus eine höhere Belastung für bestimmte Nutzer ergibt. Um einem eventuellen subjektiven und dadurch möglicherweise fehlerhaften Einfluss einer Beobachtung zu entgehen, werden standardisierte Arbeitssysteme der Intralogistik simuliert. Dazu werden zunächst häufig vorkommende Arbeitssysteme identifiziert und anschließend nachgebildet und mit anthropometrisch veränderbaren Menschmodellen besetzt, die gleiche Arbeitsabläufe durchführen. Besonderes Augenmerk liegt bei dieser Untersuchung auf der Analyse der eingenommenen Körperhaltung. Für diesen Zweck muss zunächst ein geeignetes Simulationswerkzeug ausgewählt werden.

Es gibt eine Vielzahl verschiedener digitaler Menschmodelle und Simulationssoftware. Eine Übersicht und ein Vergleich von aktuell gängigen digitalen Menschmodellen finden sich in dem Artikel von Plegge et al. (2015). Weiterführende Informationen dazu geben Babirat et al. (1998). Diese Modelle haben mittlerweile einen hohen Detailgrad erreicht und enthalten beispielsweise nach Kaiser et al. (2015) integriertes gelenkwinkelabhängiges Maximalkraftvermögen oder auch Sichtbewertung sowie Körperhaltungsbewertungen nach Kamusella und Schmauder (2013, S. 2–3). Abgeleitet von natürlichen Bewegungsmustern ist es aktuell möglich, digitale Menschmodelle verschiedenste Verrichtungen mit natürlich anmutenden und flüssigen Bewegungsfolgen durchführen zu lassen (Schönherr, 2013, S. 133).

Eine Simulation, die umfassende Analysemöglichkeiten bietet – insbesondere zur Untersuchung einer variierenden Körperhaltung aufgrund anthropometrisch unterschiedlicher Körperhöhen – ist *CharAT Ergonomics*. Diese Software wird für die hier zu untersuchende Fragestellung ausgewählt, im Folgenden näher beschrieben und anschließend werden die damit simulierten Szenarien und Ergebnisse vorgestellt.

7.1 Beschreibung des Simulationswerkzeugs CharAT Ergonomics

Für Planungsprozesse, aber auch zur Beurteilung für Ist-Analysen, wurde an der Professur für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Dresden das sogenannte *Ergotyping-Tool* entwickelt. Dieses beinhaltet die Software *CharAT Ergonomics*. Mit Hilfe dieser Software können Arbeitssysteme modelliert werden, in denen sich ein anthropometrisch veränderbares Menschmodell bewegt und vorgegebene Arbeitsabläufe verrichtet. Während des simulierten Arbeitsablaufes kann in Echtzeit die physische Belastung nach unterschiedlichsten ergonomischen Bewertungsverfahren, wie z. B. *RULA* oder *OWAS*, angezeigt werden. Ebenfalls können mit dieser Simulation Kraft-, Sicht- sowie Körperhaltungsbewertungen durchgeführt werden. In der Software ist ergonomisches Wissen aus diversen Regelwerken und weiteren gesicherten Quellen berücksichtigt. Das Menschmodell selbst enthält anthropometrische Datensätze mit physiologischen Eigenschaften aus verschiedenen Datenbanken. Diese enthalten eine potenzielle Nutzerpopulation, die sich aus variablen Körpermaßen und Kraftperzentilen unterschiedlichen Alters und diverser Nationalitäten zusammensetzt. Damit lassen sich verschiedenste Testkollektive, besonders unter Beachtung demographischer Entwicklungen, für aktuelle und zukünftige Nutzerpopulationen zusammensetzen und differenzierte Untersuchungen durchführen (Kamusella, 2012, S. 1–2); (Kamusella und Schmauder, 2013, S. 3); (Kamusella, 2014).

7.2 Darstellung der simulierten Szenarien und Ergebnisse

Mithilfe des beschriebenen Simulationstools *CharAT Ergonomics* werden vier Szenarien erstellt, die sich aus den realen Arbeitssystemen der Intralogistik des Untersuchungsraums ableiten. Dazu gehören das *Kommissionieren aus GLT* sowie das *Kommissionieren aus standardisierten Regalsystemen*, der *Routenverkehr GLT* und der *Routenverkehr KLT*. Bei diesen Szenarien handelt es sich um identifizierte Kerntätigkeiten der Intralogistik eines Automobilherstellers. Untersucht wird der Einfluss der Körperhöhe auf die eingenommene Körperhaltung anhand von unterschiedlich großen Menschmodellen. Dazu wird jedes Szenario mit weiblichen und männlichen Menschmodellen des 5., 50. und 95. Körperhöhenperzentils simuliert. Die Randbedingungen von Zugriffsräumen und Häufigkeiten bleiben unverändert. Da der Untersuchungsfokus auf der Körperhaltung liegt, wird OWAS zur Risikobeurteilung verwendet. Wie Kapitel 2.2.2 gezeigt hat, eignet sich dieses Verfahren besonders gut für die Bewertung von Körperzwangshaltungen. Im Folgenden werden zwei der vier Szenarien näher vorgestellt.

Kommissionieren aus GLT

Teile größerer Bauart werden häufig sortenrein in GLT angeliefert. Da am Verbauplatz an der Montagelinie meist nicht ausreichend Platz zur Bevorratung aller Varianten eines Teileumfangs zur Verfügung steht, werden die benötigten Umfänge zuvor in Supermärkten kommissioniert und dann in Verbaureihenfolge sequenziert. Diese Aufgabe wird von Logistikfachkräften übernommen. Die GLT sind standardisiert und entsprechen der in Abbildung 32 maßstäblich dargestellten Größe. Für dieses Szenario wird eine GLT-Befüllung in Fächern angenommen, wie sie beispielsweise bei Heckleuchten verwendet wird. Eine farbliche Zuordnung des OWAS-Wertes in Form eines Würfels, der sich aus der eingenommenen Körperhaltung ergibt, ist oberhalb der Menschmodelle dargestellt.



Abbildung 32: Auszüge aus dem simulierten Szenario ‚Kommissionieren GLT‘ mit fortlaufender OWAS-Bewertung (Kamusella 2014)

Im linken Teil der Abbildung ist ein männliches Menschmodell des 95. Körperhöhenperzentils dargestellt, daneben ein weibliches des 5. Perzentils. Die Untersuchungen zeigen, dass gewisse Arbeitsbereiche von einigen Menschmodellen nicht auf die vorgesehene Arbeitsweise erreicht werden können (siehe Abbildung 32, Mitte). Bei erschwerter Erreichbarkeit werden in der Realität individuelle Lösungsweisen zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe gewählt, die nicht unbedingt Vorgaben der Arbeitssicherheit entsprechen. Eine Ausführbarkeit nach dem Schema von Rohmert (1977) aus Kapitel 3 ist für kleine Personengruppen bei dieser Tätigkeit nur sehr erschwert gegeben, die Erträglichkeit äußerst fraglich. Für das männliche Menschmodell des 95. Körperhöhenperzentils (siehe Abbildung 32, rechts) sind hingegen auch die am weitesten entfernt liegenden Fächer erreichbar.

Kommissionieren von Kleinteilen aus standardisierten Regalsystemen

Ein anderes Szenario ist in Abbildung 33 in Auszügen dargestellt. Hier werden aus standardisierten Regalsystemen Teile kommissioniert, die meist unter 1 kg wiegen. Die Teile werden aus den oberen drei Regalebenen entnommen. Ist ein KLT leer, so wird dieser vom Mitarbeiter im untersten Regalfach abgelegt. Bei der Zuordnung von KLT zu Fächerebenen wird auf die Entnahmehäufigkeit geachtet. Teile des obersten Regalfachs werden weniger häufig benötigt, Teile der zweiten und dritten Ebene etwa gleich häufig.



Abbildung 33: Auszüge aus dem simulierten Szenario ‚Kommissionieren aus Standardregalsystemen‘ (Kamusella 2014)

Abbildung 33 verdeutlicht links die Spannweite der Körperhöhe einer kleinen Frau W5 bis hin zu einem großen Mann M95. Neben der reinen OWAS-Bewertung wird auch hier wieder deutlich, dass einige Bereiche nicht von allen Nutzern auf konventionelle Weise erreicht werden können (siehe Abbildung 33 rechts). Bezogen auf die Körperhaltung in diesem Szenario ergibt sich eine OWAS-Bewertung für die vier Regalebenen, die Tabelle 13 zeigt.

Tabelle 13: OWAS-Bewertung für Körperhaltungen vier unterschiedlicher Menschmodelle

Menschmodell	Regalebene			
	1 (oben)	2	3	4 (unten)
M95	■	■	■	■
M50 / W95	■	■	■	■
M5 / W50	-	■	■	■
W5	-	■	■	■

Der Inhalt des oberen KLT ist von kleinen Männern (M5) und Frauen (W5) und mittelgroßen Frauen (W50) nicht erreichbar. Bei mittelgroßen Männern (M50) und großen Frauen (W95) sind die oberen beiden Regalebene mit einer nicht optimalen Haltung zu erreichen. Lediglich große Männer (M95) können aus allen drei Ebenen mit einer günstigen Körperhaltung kommissionieren. Das Ablegen von leeren KLT im untersten Regalfach ist bedingt durch die leicht hockende und nach vorn gebeugte Haltung bei allen Menschmodellen im roten Haltungsbereich. Zusammenfassend lässt sich eine unterschiedliche Körperhaltung bei gleicher Arbeitsaufgabe feststellen.

Ein analoges Bild in Bezug auf eingenommene Körperhaltungen ergibt sich aus einem weiteren Szenario, in dem die Regalsysteme bestückt werden. Dieses und das vierte Szenario lieferten sehr ähnliche Ergebnisse und werden aus Gründen der Redundanz hier nicht näher vorgestellt.

Fazit

Die erzielten Ergebnisse aller Szenarien zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Körperhöhe und eingenommener Körperhaltung bei gleicher Aufgabenstellung. Die genutzte OWAS-Bewertung zeigt am Beispiel des Kommissionierens von Kleinteilen eine unterschiedliche Belastung bei anthropometrisch variierenden Menschmodellen, bei gleich gestalteten Arbeitssystemen und Arbeitsaufgaben. Ferner wird deutlich, dass einige Zugriffsräume mit einer herkömmlichen Arbeitsweise von kleinen Menschmodellen nicht erreichbar sind. Nach Bokranz und Landau (2006, S. 276, 284) und Schmauder und Spanner-Ulmer (2014, S. 106) sollen Arbeitssysteme jedoch für M5 bis zu M95 ausgelegt sein. Aus diesem Grund ist es erforderlich, den Einfluss der Körperhöhe in einer Risikobewertung zu berücksichtigen, um diese Defizite der Arbeitssystemgestaltung transparent zu machen. Nur dann kann auch eine Optimierung angestoßen werden.

8 Entwicklung einer Risikobewertung physischer Belastungen unter Berücksichtigung personenbezogener Parameter

Die vorigen Kapitel haben den aktuellen Stand der Risikobewertung physischer Belastungen aufgezeigt. Durch eine Potenzialanalyse sind Anforderungen für eine Risikobewertung in Bezug auf die Zielsetzung dieser Arbeit dargestellt und mit gängigen Bewertungsverfahren verglichen. Verfügbare Risikobewertungen, die einen hohen Erfüllungsgrad für die Zielstellung dieser Arbeit aufweisen, sind dadurch identifiziert. *EAWS* erzielt den höchsten Potenzialwert und wird aus diesem Grund als Basis für die Weiterentwicklung in dieser Arbeit genutzt. Durch wissenschaftliche Recherche und eine Mitarbeiterbefragung bestätigte sich eine subjektiv höhere Beanspruchung bestimmter Mitarbeitergruppen. Entscheidende Einflussparameter sind Lebensalter, Geschlecht und Körperhöhe. Ein geschlechterspezifischer Einfluss in Form einer höheren subjektiv empfundenen Beanspruchung von Frauen ist durch die Mitarbeiterbefragung bestätigt und durch wissenschaftliche Untersuchungen gestützt. Auch das Lebensalter hat einen Einfluss auf die (subjektiv empfundene) Beanspruchung, was die Mitarbeiterbefragung und Publikationen von Schultetus (1980) gezeigt haben. Näher untersucht wurde die manuelle Lastenhandhabung, die die Kerntätigkeit intralogistischer Arbeitssysteme darstellt. Erforderlich für die vorliegende Zielsetzung der Arbeit ist die Bewertung der Häufigkeit der manuellen Lastenhandhabung, da Kraftspitzen am Anfang und Ende einer Tätigkeitsabfolge auftreten. Auch unterschiedliche Ausführungsbedingungen sind experimentell untersucht und werden im Folgenden in einer Risikobewertung berücksichtigt. Ebenfalls untersucht und bestätigt ist der Einfluss der Körperhöhe auf die Ausführungsweise durch Simulation.

Ziel dieses Kapitels ist es, die identifizierten und als relevant eingestuften Logistikkalen anzupassen und die individuellen Bewertungsparameter von Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe in eine Risikobewertung physischer Belastungen zu integrieren, den Analyseaufwand dabei jedoch nicht zu erhöhen.

8.1 Entwicklung eines anforderungsgerechten Ansatzes zur Integration relevanter Bewertungseinflüsse

In Kapitel 2.2 sind die Komplexitätsgrade von Verfahren zur Risikobewertung vorgestellt. Für den hier vorliegenden Anwendungsfall soll ein Screeningverfahren entwickelt werden, das von ergonomisch geschulten betrieblichen Praktikern angewendet werden kann. Das Ergebnis der zu entwickelnden Risikobewertung soll die ergonomische Güte eines Arbeitssystems in Form einer Kennzahl widerspiegeln und eine Risikoklassifikation nach DIN EN 614-1:2009-06 (S. 20–21) in Ampelfarben ermöglichen. Die Analyse soll in einem ökonomischen Maß bezüglich Aufwand und Nutzen liegen. Um dieser Forderung gerecht zu werden, sollen nach Schmidtke

(1976, S. 12) und Bullinger (1994, S. 216) relevante Teile der Einflussgrößen für ergonomische Bewertungsverfahren berücksichtigt werden. In der Intralogistik liegen multiple physische Belastungen vor, die in großen Teilen durch manuelle Lastenhandhabung geprägt sind. Statische Körperhaltungen sowie Körperkräfte treten jedoch auch vereinzelt auf. Für diesen komplexen Anwendungsfall gibt die Potenzialanalyse aus Kapitel 4 das *EAWS* als Risikobewertung mit der höchsten Zweckdienlichkeit aus. Demzufolge werden auf dieser Basis die weiteren personenbezogenen Einflussparameter Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe integriert. Das Vorgehen dazu wird in diesem Kapitel erläutert, nachdem zuvor die Basismethode aus der Kategorie der Screeningverfahren näher dargestellt wird.

Ergonomic Assessment Worksheet

Das *EAWS* entstand in Kooperation zwischen dem IAD und dem Internationalen MTM-Direktorat. Die Bewertungsgrundlagen des *EAWS* entstammen einschlägigen internationalen, europäischen und nationalen Normen (Schaub et al., 2012). *EAWS* erlaubt eine physische Gefährdungsbeurteilung nach den Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes sowie von EU-Richtlinien und Normen (Richtlinie 89/391/EWG, Richtlinie 90/269/EWG, Maschinenrichtlinie 98/37/EG, DIN EN 614, DIN EN 1005). *EAWS* besteht aus fünf Modulen zur Bewertung multipler physischer Belastungen und ist im Anhang A4 – *EAWS-Bewertungsbogen* abgedruckt. Für die Bewertung der Tätigkeiten eines Automobilherstellers sind die Module *Körperhaltung* (Modul 1), *Aktionskräfte* (Modul 2) und *manuelle Lastenhandhabung* (Modul 3) ausschlaggebend. Für einige Tätigkeiten, meist aus dem Bereich der Fahrzeugmontage, sind auch die *Extrapunkte* (Modul 0) von Bedeutung. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, *repetitive Tätigkeiten* im Modul 4 zu bewerten. Da diese Tätigkeiten für den vorliegenden Untersuchungsraum nicht relevant sind, wird auf die Darstellung und die weitere Erläuterung dieses Moduls verzichtet. Aus den Modulen errechnet sich schlussendlich ein gemeinsamer Risikowert, der sich nach DIN EN 614-1 (2009-06, S. 20–21) in ein Drei-Zonen-Modell auf Basis von Ampelfarben mit zugehörigem Risikobereich klassifiziert (Schaub, 2004, S. 91–111). Je nach erreichter Punktsumme bzw. Ampelfarbe wird aufsteigend die Dringlichkeit einer Arbeitssystemoptimierung festgelegt.

Grundsätzlich kann eine Analyse personenbezogen durchgeführt werden. Im Kopf des Bogens kann das Geschlecht des Mitarbeiters und die Körperhöhe angegeben werden. Diese Angaben eignen sich, wenn ein Arbeitsplatz nur mit einer Person besetzt wird, was innerhalb des Automobilbaus jedoch nicht praktiziert wird, da durch Rotation und Schichtarbeit diverse Mitarbeiter an den Arbeitsplätzen tätig sind. Für die Risikobeurteilung würde dies bedeuten, dass für jeden Mitarbeiter, der an einem Arbeitsplatz tätig wird, eine eigene Risikobewertung erstellt werden müsste. Dieser Aufwand lässt sich ökonomisch nicht begründen. Deshalb wird ein Arbeitsplatz derzeit für einen ‚Durchschnittsmenschen‘ analysiert und bewertet, der zumeist männlich und 175 cm groß ist (bei der Festlegung von ‚Durchschnittsmenschen‘ mag es Abweichungen geben). Eine ausführliche Erläuterung zum *EAWS* und das zugehörige

Regelwerk ist in der Lehrgangsunterlage zum *EAWS*-Praktiker der Deutschen MTM-Vereinigung e. V. (2014, S. 111) publiziert. Anhand dessen werden die relevanten Module für diese Arbeit einzeln erläutert:

Modul 0 - Extrapunkte

Im Modul 0 werden Belastungen, die in den übrigen Modulen nicht berücksichtigt werden, erfasst. Dabei handelt es sich um Beeinträchtigungen durch Arbeit an sich bewegenden Objekten, eingeschränkte Zugänglichkeit, Rückschläge, Impulse oder Schwingungen, extreme Gelenkstellungen sowie andere körperliche Belastungen. Zur korrekten Festlegung von Risikopunkten wird dem Anwender eine separate *EAWS*-Einstufungsanleitung zur Verfügung gestellt. Anwendung findet das Modul häufiger im Bereich der Fahrzeugmontage.

Für logistische Tätigkeiten, wie sie bei einem Automobilhersteller vorkommen, ist dies jedoch eher nebensächlich. Aus diesem Grund wird dieses Modul im weiteren Verlauf nicht weiter berücksichtigt.

Modul 1 – Körperhaltung

Mit Modul 1 werden statische Körperhaltungen, also Körperhaltungen mit einer Dauer von mindesten vier Sekunden, sowie hochfrequente Bewegungen von Oberkörper und Armen bewertet. Hochfrequent bedeutet in diesem Zusammenhang mindestens zwei extreme Rumpfbeugungen, Knien oder Hocken pro Minute oder mindestens zehn extreme Armbewegungen pro Minute. Im Modul enthalten sind manuell zu handhabende Lasten, die weniger als 3 kg wiegen, und Fingerkräfte unter 30 N bzw. Ganzkörperkräfte unter 40 N. Bewertet werden zudem asymmetrische Haltungen wie Rumpfdrehung und Neigung, aber auch die Reichweite bis zum Verrichtungsort. Dabei setzt sich der Risikowert dieses Moduls aus Dauer oder Häufigkeit der eingenommenen Haltung und deren Höhe zusammen.

Kapitel 7 hat einen Unterschied zwischen anthropometrisch variierenden Menschmodellen und eingenommener Körperhaltung bei gleicher Arbeitsaufgabe belegt. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit die Körperhöhe bezogen auf die Arbeitsaufgabe verbunden mit deren Arbeitsräumen beachtet werden.

Modul 2 – Aktionskräfte

Das Modul 2 bewertet aufzubringende Aktionskräfte, wenn diese größer als 30 N bei Fingerkräften und größer als 40 N bei Arm- oder Ganzkörperkräften sind. Im Falle einer Zwangshaltung ohne Kräfte wird Modul 1 angewendet. Der Risikowert errechnet sich aus dem Produkt von Intensitätspunkten, die sich aus aufgebracht Kraft im Verhältnis zur Maximalkraft errechnen, und Dauer- bzw. Häufigkeitspunkten. Hier kann zwischen einer Planungs- und Ist-Analyse unterschieden werden. Dazu sind Maximalkraftwerte des 15. Kraftperzentils (Planung) und des 40. Kraftperzentils (Ist) angegeben. Diese setzen sich aus einer gemischten Population von Männern und Frauen zusammen, was zwangsläufig zu einer Bewertung eines durchschnittlichen Nutzerkollektivs führt. Für

die Bewertung von Fingerkräften werden dem Anwender acht unterschiedliche Greifarten in Form von Piktogrammen angeboten. Jeder Greifform sind verschiedene Maximalkraftwerte zugeordnet. Bei Arm-/Ganzkörperkräften ist die Maximalkraft abhängig von Körperhaltung (Stehen, Knien, Sitzen) und Krafrichtung im Raum.

Die Ergebnisse der vorigen Kapitel dieser Arbeit belegen eine unterschiedliche Belastung in Abhängigkeit von Geschlecht und Lebensalter. Dementsprechend werden die Maximalkraftwerte der Nutzergruppe nach dem *Montagespezifischen Kraftatlas* von Wakula et al. (2009) geschlechterspezifisch angepasst und mit einem Faktor für das Lebensalter verrechnet.

Modul 3 – Manuelle Lastenhandhabung

Mit Modul 3 werden Belastungen durch manuelles Handhaben von Lasten bewertet. Darunter wird das Umsetzen, Tragen, Halten und das Ziehen und Schieben von Lasten ab einem Gewicht von 3 kg verstanden. Die resultierende Belastung ist abhängig vom Lastgewicht, der Körperhaltung, der Position der Last, den Ausführungsbedingungen²⁸ sowie der Häufigkeit, der Haltedauer oder der zurückgelegten Wegstrecke. In diesem Modul wird ein geschlechtsabhängiger Risikowert berechnet. Dieser ergibt sich aus höheren Belastungspunkten für Frauen bei einem identischen Gewicht und deckt sich mit den Erkenntnissen dieser Arbeit. Bezüglich der Wahl zwischen einer Beurteilung von Häufigkeit, Dauer oder Wegstrecke werden unterschiedliche Kriterien angewendet. Innerhalb der Automobilindustrie haben praktische Erfahrungen gezeigt, dass Grenzen für kurzes Ziehen und Schieben sowie Umsetzen, Halten und Tragen bei 20 Metern und einer Dauer unterhalb von 15 Sekunden realistische Risikobewertungen ergeben (Deutsche MTM-Vereinigung e. V., 2014, S. 53, 111). Dies ist im vorliegenden Fall immer gegeben, sodass die Häufigkeit als maßgebendes Bewertungskriterium gewählt wird. Versuche aus dieser Arbeit zu aufgebrachten Körperkräften zeigen, dass die Häufigkeit das relevante Maß zur Bewertung ist, da die Kraftspitzen und somit die Belastungsspitzen im Moment des Anfahrens und Anhaltens auftreten.

Darüber hinaus konnten weiterführende Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Belastung und den Ausführungsbedingungen bezogen auf die Stellung der Räder und den Untergrund belegen. Aus diesem Grund werden bei der Bewertung des Ziehens und Schiebens die Ausführungen zur Risikoberechnung mitberücksichtigt.

Da sich Bewertungsbereiche der einzelnen Module überlappen können, gilt es grundsätzlich Doppelseinstufungen zu vermeiden. Eine Mehrfachbewertung einer Tätigkeit in unterschiedlichen Modulen ist nicht gestattet. Eine Ausnahme stellt lediglich die Bewertung der Fingerkräfte dar. Treten diese auf, wird die dazu eingenommene Körperhaltung auch in Modul 1 bewertet. Der finale Risikopunktwert,

²⁸ Beziehen sich nur auf das Ziehen und Schieben

bezogen auf die Tätigkeitsinhalte einer Schicht, errechnet sich aus der Summe der Risikowerte der einzelnen Module. Überschreitet dieser Wert 25 Punkte, so besteht ein mögliches Risiko und es sollten Maßnahmen zur Optimierung ergriffen werden. Werden 50 Punkte überschritten, sind risikominimierende Maßnahmen schnellstmöglich erforderlich.

8.1.1 Integration der personenbezogenen Einflussparameter Geschlecht, Lebensalter und Körperhöhe

In diesem Unterkapitel wird die erweiterte Entwicklung einer nutzergruppenbezogenen Risikobewertung, bestehend aus geschlechterspezifischen, demografischen und anthropometrischen Kriterien, erläutert. Ziel ist eine Risikobewertung, die diese Kriterien beinhaltet, während der Analyseaufwand gegenüber einer konventionellen Bewertung nicht steigen soll.

Berücksichtigung variierender Körperhöhen

Die Untersuchungen aus Kapitel 7 verdeutlichen die – je nach Körperhöhe und Arbeitsraum unterschiedliche – vorliegende Belastung bei derselben Arbeitsaufgabe. Aus diesem Grund wird ein Parameter zur Berücksichtigung der Körperhöhe für ein Kollektiv von W5 bis M95, die die Grenzwerte der Auslegung von Arbeitsplätzen nach europäischer Normung darstellen (Schmauder und Spanner-Ulmer, 2014, S. 106), im Modul 1 berücksichtigt. Deshalb ist es im ersten Schritt erforderlich, erreichbare Arbeitsräume in unterschiedlichen Körperhaltungen für das Nutzerkollektiv zu kennen. Im zweiten Schritt ist es dann möglich, Rückschlüsse von der Entfernung eines Arbeitsraumes zu einer Person und deren physiologisch erwarteten Körperhaltung zu ziehen. Die erreichbaren Arbeitsräume werden nach Kamusella (2015a) mit dem Simulationstool *CharAT Ergonomics* ermittelt. Dazu werden Menschmodelle des 5., 50. und 95. Körperhöhenperzentils von Männern und Frauen in repräsentative Körperhaltungen versetzt und der zugehörige Arbeitsraum des physiologisch großen Greifraums ermittelt. Der physiologisch große Greifraum ergibt sich aus ausgestreckten Armen und nicht nach vorne bewegten Schultergelenken und liegt in der Mitte der Handflächen (ca. 10 % geringer als der physiologisch maximale Greifraum) (Merkel und Schmauder, 2012, S. 44). Die Menschmodelle werden, wie Abbildung 34 zeigt, in die drei Grundhaltungen Stehen, Sitzen und Knien/Hocken positioniert und der gesamte Greifraum in Form von Halbkugeln sichtbar gemacht.

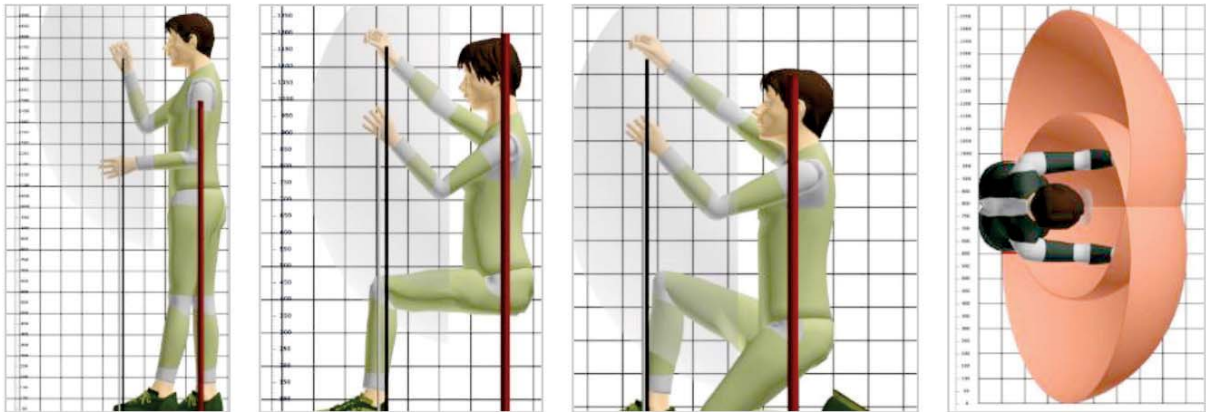


Abbildung 34: Menschmodelle in den drei Grundhaltungen Stehen, Sitzen, Knien/Hocken mit physiologisch großem Greifraum (Kamusella 2015a)


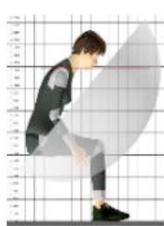

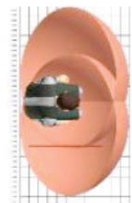
Da die Konventionen des *EAWS*-Moduls 1 als Basis für die Weiterentwicklung dienen, werden die möglichen Arbeitsräume den Körperhaltungen entsprechend des Bewertungsbogens im Simulationsprogramm eingestellt. Daraus lässt sich ableiten, dass eine *aufrechte Haltung* des Oberkörpers zwischen 0° und 20° Neigung liegt. Bei einer Neigung des Oberkörpers zwischen 20° und 60° gilt die Haltung als *gebeugt* und bei über 60° als *stark gebeugt*. Abbildung 35 gibt einen Überblick dieser Haltungsvarianten in unterschiedlichen Grundhaltungen.



Abbildung 35: Menschmodelle in unterschiedlich stark vorgeneigten Körperhaltungen (Kamusella 2015a)

Für die Grenzwerte des maximal erreichbaren physiologisch großen Greifraums und der Körperhaltungen ergeben sich für die untersuchten Perzentile die Werte in Tabelle 14. Die Menschmodelle stammen aus Simulationen von Kamusella (2015a) und bilden die Basis für die Bestimmung der Tabellenwerte.

Tabelle 14: Physiologisch großer Greifraum für unterschiedliche Menschmodelle bei verschiedenen Körperhaltungen

	Perzentil	Männer			Frauen		
		5.	50.	95.	5.	50.	95.
Grundhaltung	Reichweite	Physiologisch großer Greifraum [cm]					
Stehen							
	Max. oben	197,5	207,5	220,5	184,0	194,5	202,5
	Körperhöhe	165,0	175,0	185,5	153,5	162,5	172,0
	Schulterhöhe	134,5	145,0	155,0	126,0	134,5	142,5
	Unten gebeugt 20°	63,0	65,0	70,5	55,0	63,0	65,0
	Unten gebeugt 60°	43,5	44,5	48,5	35,5	43,5	44,5
Sitzen (Werte bezogen auf Sitzfläche)							
	Max. oben	118,0	123,5	131,5	111,5	118,0	121,5
	Körperhöhe	85,5	91,0	96,5	81,0	86,0	91,0
	Schulterhöhe	57,0	62,5	67,0	54,0	59,0	63,0
	Unten gebeugt 20°	-14,5	-17,5	-17,5	-17,0	-12,5	-14,5
	Unten gebeugt 60°	-34,0	-38,0	-39,5	-36,5	-32,0	-35,0
Knien/Hocken							
	Max. oben	152,5	161,6	180,7	163,6	179,1	189,7
	Körperhöhe	138,0	143,4	153,8	125,1	135,5	142,9
	Schulterhöhe	107,5	113,4	123,3	97,6	107,5	113,4
	Unten gebeugt 20°	17,7	17,7	18,7	16,8	17,7	17,7
Vorn & Seitlich (Vorn; ab Körperhülle Brustbein)							
	Max. vorn 100 %	42,5	45,5	43,5	38,0	40,0	40,5
	Vorn 80 %	34,0	36,4	34,8	30,4	32,0	32,4
	Vorn 60 %	34,0	36,4	34,8	30,4	32,0	32,4
	Seitlich	79,0	85,0	94,0	72,0	79,0	85,0

Für die Haltungen Stehen und Knien/Hocken beziehen sich die Werte auf den Abstand zum Boden; beim Sitzen auf den Abstand zur Sitzfläche nach oben bzw. bei negativen Werten nach unten. Die Werte nach vorn beziehen sich auf den Abstand des Messpunkts der Körperhülle auf Höhe des Brustbeins zum Ort der Verrichtung.

Durch diese Ergebnisse wird ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen der Spannweite des 5. bis zum 95. Perzentil erkennbar, wie exemplarisch Abbildung 36 für die Haltung Sitzen bei Frauen zeigt. Die Abmessungen für die dazwischenliegenden Perzentile können über Geradengleichungen errechnet werden.

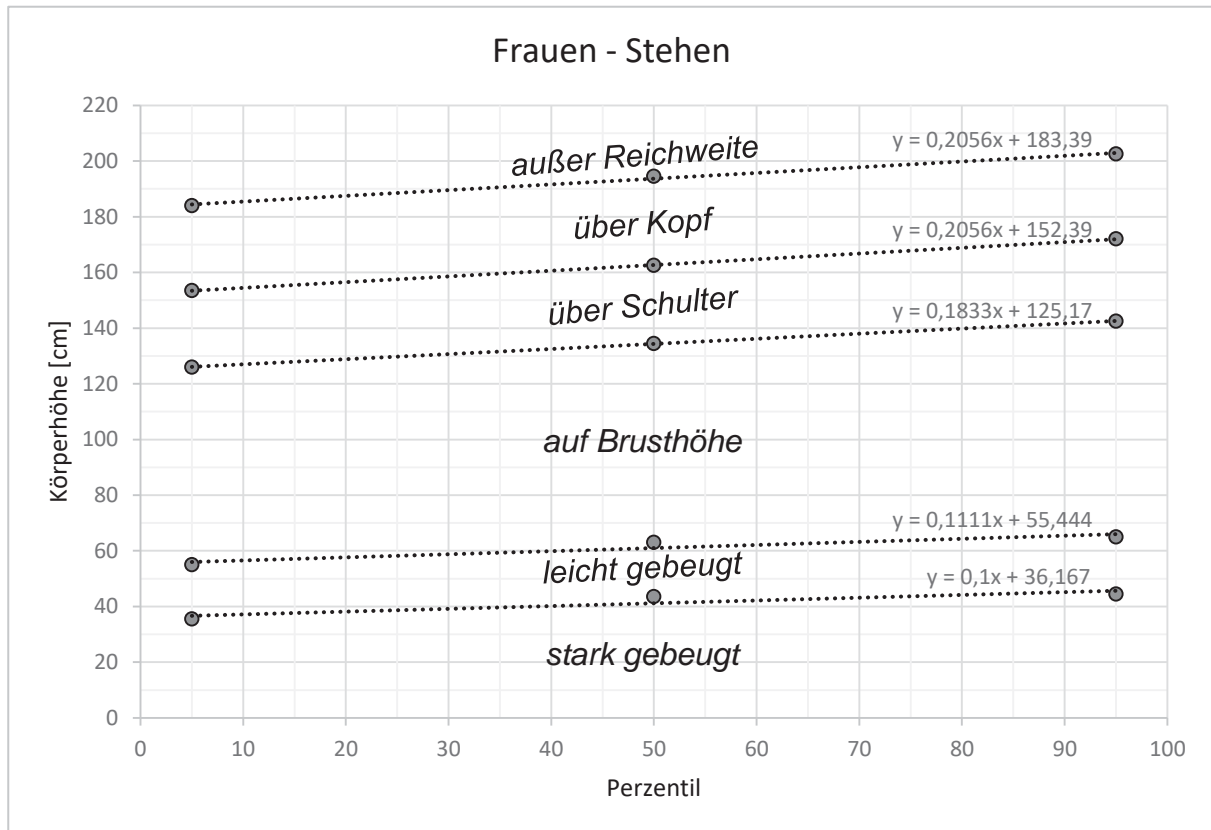


Abbildung 36: Zugriffsräume für Frauen zwischen dem 5. und 95. Körperhöhenperzentil in stehender Körperhaltung

Für jede Körperhaltung (Stehen, Sitzen, Knien/Hocken) bei Männern und Frauen liegen eigene Diagramme vor. Diese Daten ermöglichen Rückschlüsse auf die eingenommene Körperhaltung unterschiedlich großer Menschen bei Angabe des Verrichtungsortes (Höhe vom Boden bzw. Sitzfläche und Abstand zum Körper). Je nach eingenommener Körperhaltung werden dann für unterschiedliche Personen entsprechende Belastungspunkte nach EAWS-Modul 1 vergeben.

Beispiel: Muss auf einer Höhe von 160 cm für 12 Sekunden bei einer Taktzeit von einer Minute ein Schrauber gehalten werden, der weniger als 3 kg wiegt, dann arbeiten Frauen unter dem 40. Körperhöhenperzentil bereits ‚über Kopf‘, größere Frauen hingegen im ‚Über-Schulter-Bereich‘ (vgl. Abbildung 36). Nach EAWS-Modul 1 ergibt dies 17 Haltungspunkte für Frauen oberhalb des 40. Perzentils und 26 für Frauen, die kleiner sind.

Durch die Ergebnisse ist es nun möglich, anhand der Abmessungen eines Arbeitssystems und der erforderlichen Zugriffsräume eine Körperhaltung von Menschen zwischen W5 und M95 zu bestimmen. Diese Körperhaltung dient dann der Zuweisung von Belastungspunkten innerhalb der Risikobewertung.

Geschlechtsspezifischer Einfluss

Unger et al. (2014) fordern bei der Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen den höher werdenden Frauenanteil stärker zu berücksichtigen. Notwendig macht dies die geringere Körperkraft von Frauen gegenüber Männern. Dieser Forderung kommt *EAWS* mit einer geschlechterspezifischen Analyse bereits mit Modul 3 nach. Innerhalb des Moduls 2 ist dieser Grundsatz jedoch nicht gegeben. Darin setzen sich die Maximalkraftwerte (abgeleitet aus dem *Montagespezifischen Kraftatlas*) aus einem durchschnittlichen Wert für Männer und Frauen zusammen. Deshalb wird in diesem Modul das Risiko für Männer überbewertet. Frauen hingegen werden zu optimistisch bewertet, sodass ein tatsächlich vorhandenes Risiko für diese Personengruppe eventuell nicht erkannt wird. Deshalb ist es für diese Arbeit opportun die Maximalkraftwerte für Frauen und Männer geschlechterspezifisch aufzuteilen. Vor diesem Hintergrund werden publizierte Maximalkraftwerte von männlichen und weiblichen Probanden aus dem *Montagespezifischen Kraftatlas* von Wakula et al. (2009) herangezogen. Bei den Werten handelt es sich um experimentell ermittelte isometrische Maximalkräfte von männlichen Probanden. Wakula et al. (2009, S. 166) geben für Frauen einen Korrekturfaktor dieser Maximalkraftwerte von 0,65 an. Zurückzuführen ist dieser Faktor auf die Verfahren von Siemens und Derivate und wird von Walter und Plaumann (2008, S. 8) gestützt. Nach diesen Vorgaben sind die geschlechtsspezifischen Werte für Männer und Frauen für das 15. und 40. Kraftperzentil getrennt in Tabelle 15 und Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 15: Maximalkräfte des 15. und 40. Kraftperzentils für Männer nach Wakula et al. (2009, S. 80)

Fmax Arm-, Ganzkörperkräfte (männlich) P15 für Planungs- u. P40 für Ist-Analysen	ST aufrecht		ST gebeugt		ST über Kopf		Fmax Fingerkräfte männlich			
	P15	P40	P15	P40	P15	P40				
<p>median plane</p> <p>Daten aus: * Montagespezifischer Kraftatlas* (Wakula et al. 2009)</p>		*A 380 *A 405 *B 260 *B 380 *C 205 *C 170	480 500 320 485 290 255		*A 320 *A 305 *B 315 *B 440 *C 225 *C 140	435 370 395 605 310 205		*A 360 *A 410 *B 245 *B 395 *C 160 *C 150	430 495 305 480 210 210	A1 (Umfassungsgriff, Zangengriff: OW 70%) F _{max} P15 P40 240 320
		*A 320 *A 345 *B 335 *B 370 *C 225 *C 180	420 430 445 495 300 245		*A 275 *A 290 *B 335 *B 340 *C 220 *C 160	380 345 495 445 290 205		*A 345 *A 410 *B 320 *B 340 *C 200 *C 200	425 495 410 425 275 280	A2 (Kontaktgriff) F _{max} P15 P40 175 235
		*A 315 *A 375 *B 330 *B 315 *C 190 *C 175	405 440 405 380 250 235		*A 295 *A 300 *B 380 *B 325 *C 205 *C 155	385 375 455 425 270 205		*A 330 *A 395 *B 305 *B 325 *C 155 *C 150	395 455 365 372 200 210	B1 (Zufassungsgriff, Daumenkontaktgriff) F _{max} P15 P40 85 125
										B2 (Zeigefinger-Daumen, Zeigefinger) F _{max} P15 P40 70 85
										C (Daumen auf 2 Finger) F _{max} P15 P40 80 95

Tabelle 16: Maximalkräfte des 15. und 40. Kraftperzentils für Frauen nach Wakula et al. (2009, S. 80)

Fmax Arm-, Ganzkörperkräfte (weiblich) P15 für Planungs- u. P40 für Ist-Analysen	ST aufrecht		ST gebeugt		ST über Kopf		Fmax Fingerkräfte weiblich			
	P15	P40	P15	P40	P15	P40	A1 (Umfassungsgriff, Zangengriff: OW70%)		A2 (Kontaktgriff)	
<p>median plane</p> <p>Daten aus: "Montagespezifischer Kraftatlas" mit Korrekturfaktor (0,65) für Frauen (Wakula et al. 2009)</p>	*A 247 312		*A 208 283		*A 234 280		F _{max}		P15 P40	
	*A 263 325		*A 198 241		*A 267 322		156 208			
	*B 169 208		*B 205 257		*B 159 198					
	*B 247 315		*B 286 393		*B 257 312					
	*C 133 189		*C 146 202		*C 104 137					
	*C 111 166		*C 91 133		*C 97,5 137					
	KN aufrecht		KN gebeugt		KN über Kopf					
	*A 208 273		*A 179 247		*A 224 276					
	*A 224 280		*A 189 224		*A 267 322					
	*B 218 289		*B 218 322		*B 208 267					
	*B 241 322		*B 221 289		*B 221 276					
	*C 146 195		*C 143 189		*C 130 179					
*C 117 159		*C 104 133		*C 130 182						
SI aufrecht		SI gebeugt		SI über Kopf						
*A 205 263		*A 192 250		*A 215 257						
*A 244 286		*A 195 244		*A 257 296						
*B 215 263		*B 247 296		*B 198 237						
*B 205 247		*B 211 276		*B 211 242						
*C 124 163		*C 133 176		*C 101 130						
*C 114 153		*C 101 133		*C 97,5 137						
								F _{max}		
								P15 P40		
								45,5 55,3		
								F _{max}		
								P15 P40		
								52 61,8		

Durch die angepassten Werte wird es ermöglicht, eine geschlechtsspezifische Bewertung im Modul *Aktionskräfte* vorzunehmen.

Alterseinfluss

In den beiden zuvor beschriebenen Modulen der *Körperkräfte* und *Lastenhandhabung* ist die variierende Beanspruchung bedingt durch das Lebensalter zu berücksichtigen, da in diesen Modulen physisch anstrengende Tätigkeiten bewertet werden. Die Diskussion zur nachlassenden physischen Leistungsfähigkeit mit steigendem Lebensalter in Kapitel 3.2.2 und das Ergebnis der Mitarbeiterbefragung aus Kapitel 5 machen die Integration eines solchen Parameters unabdingbar. Die Potenzialanalyse aus Kapitel 4 hat gezeigt, dass dieser Parameter im *Siemens-Verfahren* durch eine Alterskurve berücksichtigt wird. Für diese Arbeit wird die Kurve – wie in Abbildung 37 dargestellt – als Korrekturwert zur Berücksichtigung des Lebensalters eines Nutzerkollektivs gewählt. Dieser Kurvenverlauf deckt sich mit den Angaben von Bokranz und Landau (2006, S. 232–235), wonach Personen mit Erreichen des Rentenalters noch über rund 80 % der Maximalkraft ihres 30. Lebensjahrs verfügen. Für das Lebensalter zwischen 20 und 60 Jahren lässt sich so ein altersabhängiger Wert bestimmen. Die Werte für die Einstufung der physischen Leistungsfähigkeit y können mit dem Lebensalter LA auch über folgende Formel berechnet werden:

$$y = -4E - 07LA^4 + 8E - 05LA^3 - 0,0053LA^2 + 0,1562LA - 0,6433$$

Diese polynomische Gleichung vierten Grades ergibt sich näherungsweise aus dem Altersverlauf des *Siemens-Verfahrens*.

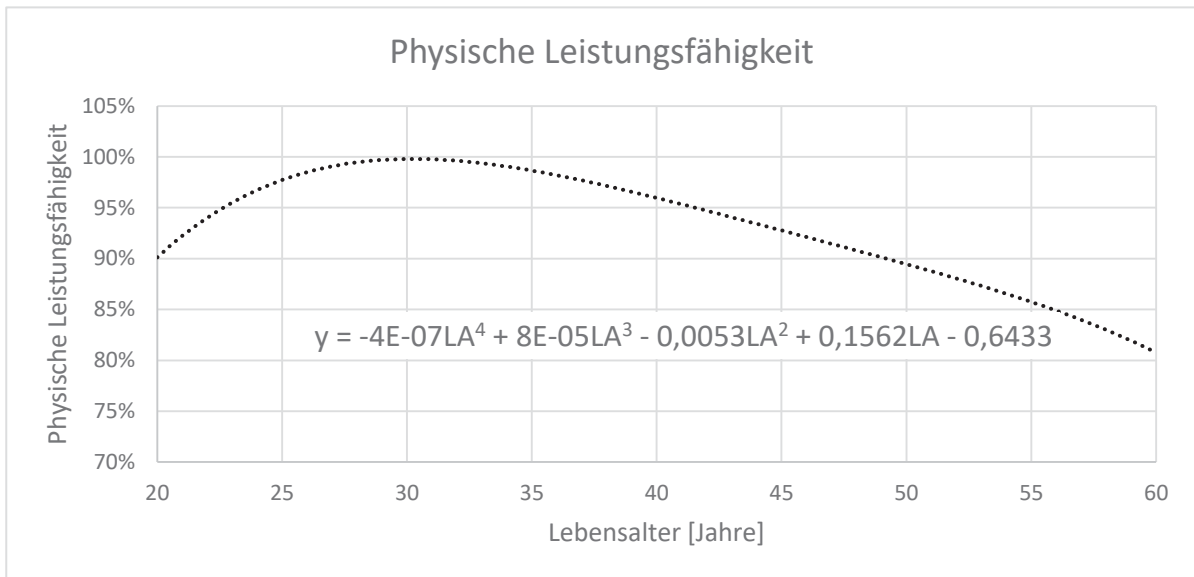


Abbildung 37: Idealisierter Altersverlauf nach Siemens und Derivaten (Glitsch et al., 2004, S. 101); (Wakula et al., 2009, S. 167)

Die dargestellte Kurve gleicht in ihrer (inversen) Form dem Verlauf der Intensität und Häufigkeit von gesundheitlichen Beschwerden aus Abbildung 16. Daraus geht hervor, dass junge und alte Menschen einer höheren Beanspruchung unterliegen, die (auch) auf eine verminderte Maximalkraft zurückgeführt werden kann. Für eine Aktionskraftbewertung in Abhängigkeit vom Lebensalter wird im Modul 2 das *Kraftniveau_{LA}* berechnet. Dieses setzt sich aus dem Quotienten von aufgebrauchter Kraft F_{real} und verfügbarer Maximalkraft $F_{max,LA}$ zusammen. Daraus errechnet sich ein altersspezifisches Kraftniveau, wodurch entsprechende Risikopunkte vergeben werden.

$$Kraftniveau_{LA} = \frac{F_{real}}{F_{max,LA}}$$

$$F_{max\ 20} < F_{max\ 30} > F_{max\ 40} > F_{max\ 50} > F_{max\ 60}$$

Mittels beschriebener Vorgehensweise werden für mehrere Altersgruppen in der späteren Risikobewertung eigene Werte für das Modul *Aktionskräfte* berechnet.

Nach dem 2. newtonschen Axiom setzt sich eine Kraft aus einer Masse m und der angreifenden Beschleunigung a zusammen (Holzmann et al., 2012, S. 61):

$$F = m * a \Leftrightarrow m = \frac{F}{a}$$

Im Falle einer manuellen vertikalen Lastenhandhabung ergibt sich aus der Gewichtslast [kg] und der Erdbeschleunigung [$a = g = 9,81\ m/s^2$] somit eine Kraft [N]. Für des Ziehen und Schieben setzt sich die Schubkraft aus Reibungs-, Hangabtriebs- und Massenkraft zusammen (siehe Kapitel 6.1). Da Masse und Kraft unmittelbar zusammenhängen, muss zwangsläufig auch ein Korrekturwert zur Berücksichtigung des Lebensalters für die

manuelle Lastenhandhabung gelten. Da in den Tabellen des Moduls 3 *Lastenhandhabung* keine Kräfte, sondern Gewichtslasten angegeben sind, muss ein anderer Ansatz zur Berücksichtigung eines Korrekturwertes gewählt werden als bei dem Modul 2 *Körperkraft*. Um den Parameter im Modul *Lastenhandhabung* zu berücksichtigen, wird die zu bewegende Gewichtslast mit dem Kehrwert des zugehörigen Altersfaktors verrechnet.

$$m_{LA} = m * 1^{-y}$$

Diese rechnerisch erzeugte Gewichtslast m_{LA} [kg] wird innerhalb der zu entwickelnden Risikobewertung als Lastgewicht für die entsprechende Altersklasse verwendet und daraus werden die jeweiligen Risikopunkte in Modul 3 berechnet. Der physischen Leistungsfähigkeit mit altersbedingter Beanspruchungsveränderung wird so auch im Modul *Lastenhandhabung* Rechnung getragen.

Zusammenfassung

Die Körperhöhe, das Geschlecht und das Lebensalter haben nachgewiesenermaßen einen Einfluss auf die Einstufung innerhalb einer Risikobewertung für multiple physische Belastungen. Deshalb ist es erforderlich, diese Parameter innerhalb einer Risikobewertung zu berücksichtigen. Dadurch wird es ermöglicht, eine nutzergruppenbezogene Bewertung zu erstellen, die nicht allein auf einem ‚Durchschnittsmenschen‘ basiert. Wird diese jedoch für jede erdenkliche Kombination aus Arbeitssystem und potenziellem Mitarbeiter erstellt, besteht aktuell die Problematik der sehr hohen Variantenkombinationen. Dies mag der Grund dafür sein, dass die genannten Parameter in ihrer Variationsbreite kaum in Risikobewertungen berücksichtigt worden sind. Eine automatische Berechnung des Risikowertes für definierte Kollektive kann diese Problemstellung jedoch lösen. Deren Entwicklung wird im nun folgenden Unterkapitel erläutert.

8.1.2 Berechnung des Risikospektrums mit der entwickelten Risikobewertung

Die Berechnung des Risikospektrums erfolgt durch eine eigens entwickelte Programmierung mittels *Visual Basic for Applications* (VBA) innerhalb der Software *Microsoft Office Excel*. Microsoft Office-Anwendungen sind in Unternehmen sehr weit verbreitet, was die Akzeptanz erhöht und eine Übertragung in unternehmerische IT-Landschaften problemlos ermöglicht.

Der Nutzer kann in der Eingabemaske alle relevanten Inhalte in die drei Module *Körperhaltung*, *Aktionskräfte* sowie *Manuelle Lastenhandhabung* eintragen. Die einzelnen Belastungspositionen werden in der betreffenden Kategorie in die grauen Felder untereinander geschrieben.

Modul 1 - Körperhaltung

Dieses Modul beinhaltet Lasten unter 3 kg und Aktionskräfte bis 30 N. Den Aufbau des Moduls mit Beispielen zeigt Tabelle 17. Der Analyst gibt zuerst die Körpergrundhaltung bei der als relevant eingestuften Tätigkeit über eine definierte Auswahl ein. Diese Auswahl besteht aus *Stehen/Gehen*, *Sitzen* und *Knien/Hocken* und ist zumeist durch das Arbeitssystem definiert. Anschließend werden die Höhe, Entfernung, Winkel Zugriffspunkte/Arbeitsräume eingetragen.

Tabelle 17: Eingabeoberfläche des Moduls ‚Körperhaltung‘ mit Beispielen

Körpergrundhaltung	Zugriffspunkte / Arbeitsräume				Dauer		
	Höhe [cm]	Entfernung [cm]	Winkel [°] Rumpfdrehung	Winkel [°] Rumpfsseitneigung	sec/min	min/8h	%/Schicht
Stehen / Gehen	170	30	15		5		
Sitzen	110	20					6
Knien oder Hocken	65	40					5

Liegt eine asymmetrische Körperhaltung vor, so kann diese durch den Winkel der Rumpfdrehung oder Rumpfsseitneigung eingegeben werden. Aus der Eingabe der Körpergrundhaltung, der Arbeitshöhe und der Entfernung wird automatisch eine zu erwartende Körperhaltung für die Population von W5 bis zu M95 berechnet. Dieser innovative Ansatz unterscheidet sich von der gewohnten Eingabe konventioneller Verfahren (Bewertung der Haltung eines ‚Durchschnittsmenschen‘), da er bei einmaliger Eingabe die Haltung für ein breites Nutzerkollektiv automatisch berechnet.

Die Dauer der jeweiligen Exposition kann in Sekunden, Minuten oder Prozent angegeben werden. Dies unterscheidet sich nicht vom *EAWS*, das als Basisbewertung dient. Wird die Dauer in Sekunden ausgewählt, so ist es erforderlich, die Taktzeit auf 60 Sekunden zu normieren, falls diese davon abweicht. Hier bietet die Oberfläche der Tabellenkalkulation den Vorteil, die Berechnung direkt in die Zelle schreiben zu können. Der Wert der gesuchten Normierung wird dann darin ausgegeben. Dies spart Rechenzeit gegenüber einer Papier- und Bleistiftmethode. Die Dauer einer Teiltätigkeit bezogen auf eine Schicht kann unverändert in der entsprechenden Zeile eingetragen werden. Gleiches gilt für die prozentuale Dauer in der ganz rechten Spalte.

Modul 2 - Aktionskräfte

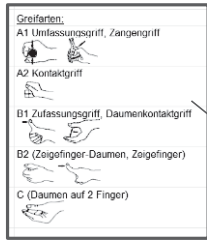
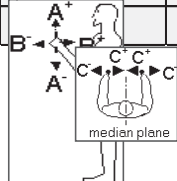
Die Eingabe für Aktionskräfte zeigt Tabelle 18. Diese teilt sich in die Felder *Arm-, Ganzkörperkräfte* ab 40 N und *Fingerkräfte* über 30 N. Für die Bewertung der Arm-, Ganzkörperkräfte müssen die Körperhaltung und Krafrichtung über eine Drop-Down-Liste ausgewählt und die aufzubringende Kraft und die Häufigkeit oder Dauer eingetragen werden. Ähnlich ist das Vorgehen für die Bewertung der Fingerkräfte. Dazu wird eine der acht möglichen Greifarten nach den Piktogrammen ausgewählt. Es folgt die Eingabe der ausgeübten Kraft und die der Häufigkeit pro Minute oder Dauer. Die

Auswahl dieses Moduls unterscheidet sich nicht vom Basisverfahren. Die Berechnung hingegen schon, da die Parameter Lebensalter und Geschlecht bei der hier entwickelten Risikoberechnung mitberücksichtigt werden.

Tabelle 18: Eingabeoberfläche für das Modul ‚Körperhaltung mit Aktionskräften‘ mit Beispieleingaben

Arm-, Ganzkörperkräfte (≥ 40 N)				<i>Dauer</i>	
<i>Körperhaltung</i>	<i>Kraft [N]</i>	<i>Kraftrichtung</i>	<i>Häufigkeit/min</i>	<i>sec/min</i>	<i>%/Schicht</i>
Stehen gebeugt	200	B-	0,20		
Stehen aufrecht	50	A+	0,13		

Fingerkräfte (≥ 30 N)				<i>Dauer</i>	
<i>Greifart</i>	<i>Kraft [N]</i>	<i>Häufigkeit/min</i>	<i>sec/min</i>	<i>%/Schicht</i>	
A2 Kontaktgriff	30	2			
A1 Umfassungsgriff, Zangengriff	45	3			

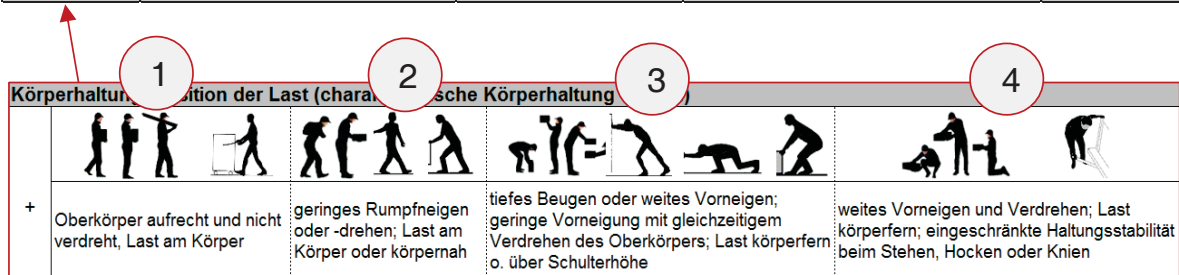


Modul 3 - Manuelle Lastenhandhabung

Im letzten Modul werden Belastungsgrößen, bedingt durch manuelle Lastenhandhabungen, eingetragen. Eine Einstufungshilfe für die Körperhaltung und Position zur Last gibt das Piktogramm in Tabelle 19. Im Feld Handhabungsart wird ausgewählt, ob es sich um Umsetzen oder Ziehen und Schieben von Lasten handelt. Es folgt die Eingabe des Lastgewichts. Wird Ziehen und Schieben ausgewählt, müssen zusätzlich Angaben zu den Ausführungsbedingungen getätigt werden. Die Notwendigkeit der zusätzlichen Einstufung von vorliegenden Ausführungsbedingungen haben die Versuchsergebnisse aus Kapitel 6.5 gezeigt. Unterschiedliche Beschreibungen lassen sich über eine Drop-Down-Liste auswählen. Hinter dieser textuellen Beschreibung verbergen sich Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Risikopunkte dieses Moduls, die auf der Basismethode EAWS fußen. Die Ergebnisse aus den Versuchen zum Ziehen und Schieben (Kapitel 6.3) haben gezeigt, dass Kraftspitzen beim Anfahren und Anhalten auftreten. Aus diesem Grund ist die Häufigkeit das Maß der Bewertung für den vorliegenden Untersuchungsraum. Im EAWS sind zusätzlich die Felder Dauer und Strecke als Auswahlmöglichkeit vorhanden, die hier aufgrund der Definition von kurzem Ziehen und Schieben jedoch keine Verwendung finden.

Tabelle 19: Eingabeoberfläche für die Parameter des Moduls ‚Manuelle Lastenhandhabung‘ mit Beispielingaben

Körperhaltung	Handhabungsart	Lastgewicht [kg]	Ausführungsbedingungen (nur bei Z&S)	Häufigkeit/Schicht
1	Umsetzen, Tragen, Halten	4		320
2	Ziehen und Schieben	450	sehr geringer Rollwiderstand	35

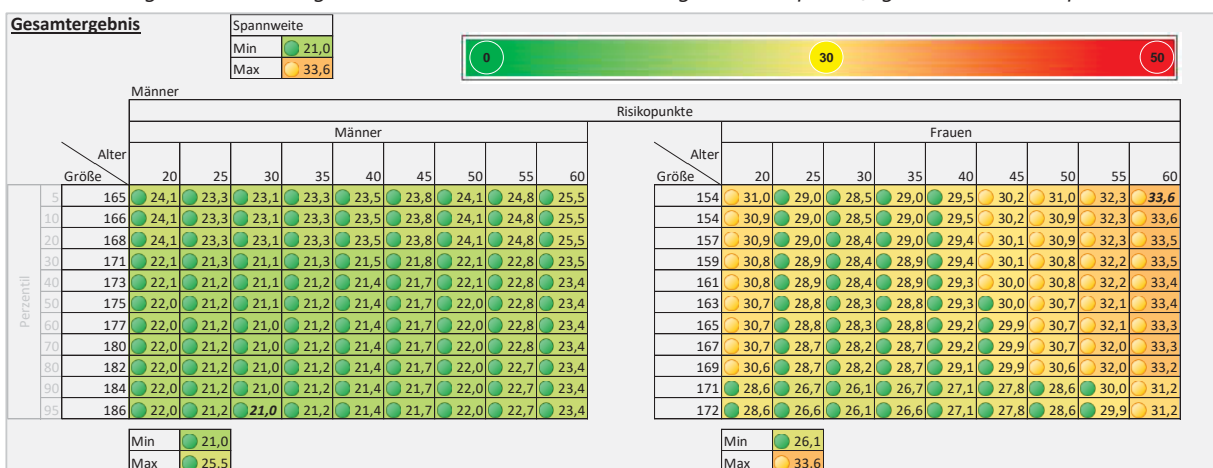


Nachdem alle Angaben für einen Arbeitsplatz eingetragen sind, wird die Berechnung über eine Schaltfläche gestartet und dauert nur wenige Sekunden. Bei dieser Art der Eingabe ist es nicht mehr erforderlich, dass der Analyst händisch interpolierte Risikopunkte berechnet. Dies ist bei einer Papier- und Bleistiftmethode meistens der Fall, da beispielsweise reale Gewichte nicht den Werten der Bewertungstabellen entsprechen. Bei der hier entwickelten Berechnung geschieht die Interpolation automatisch, wodurch viel Zeit eingespart wird.

Ausgabe

Nach der Berechnung wird das Ergebnis automatisch ausgegeben. Ein Beispiel für die Berechnung eines zufällig gewählten Arbeitsplatzes zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Ergebnisdarstellung der entwickelten Risikoberechnung eines beispielhaft gewählten Arbeitsplatzes



Die Ergebnisdarstellung gliedert sich zwischen Männern und Frauen auf. In horizontaler Richtung ist darunter das Lebensalter in einer Abstufung von fünf Jahren von 20 bis 60 Jahren berücksichtigt. In vertikaler Richtung sind die Daten der Körperhöhe vom 5. bis

95. Perzentil nach DIN 33402-2:2005-12 eingetragen. Daraus ergeben sich 198 Einzelwerte, wobei jeder für eine Populationsgruppe steht. Die Spannweite vom kleinsten zum größten Risikowert für Männer und Frauen ist jeweils unter dem zugehörigen Tabellenbereich ersichtlich. Die gesamte Spannweite ist oben links zu sehen. In diesem Beispiel liegt der niedrigste Wert bei 21,0 Punkten (30-jährige Männer, 186 cm groß) und der höchste Wert bei 33,6 Punkten (60-jährige Frauen, 154 cm groß). Es ergibt sich somit eine Spannweite von 12,6 Risikopunkten. Im oberen Bereich ist die Farbskala dargestellt, die abgegrenzte Risikostufen in Form eines farblichen Punktes (Ampelfarben) ausweist. Männer unterliegen nach allgemeiner Definition in diesem Beispiel einem grünen/niedrigen Risiko, wohingegen etwa die Hälfte der Werte für Frauen im gelben/mittleren Gefährdungsbereich liegt. Im vorliegenden Beispiel überschreiten die meisten Frauen unter 20 Jahren und die meisten Frauen ab 45 Jahren den risikofreien Bereich. Auch die Körperhöhe hat einen Einfluss. Kleinere Personen sind in diesem beispielhaft gewählten Arbeitssystem höher belastet.

Die unterlegte Zellfärbung verdeutlicht die reale Lage auf der angegebenen Farbskala. Mittels dieser visuell unterstützten Ergebnisse wird die grundsätzliche ergonomische Güte umgehend ersichtlich. Durch die Untergliederung in Nutzergruppen wird zusätzlich erkennbar, welche Teilgruppen wie stark belastet sind. Diese transparente Darstellungsweise ermöglicht eine sofortige Identifikation von Belastungsschwerpunkten und unterstützt bei der gezielten Gestaltung und/oder Optimierung von Arbeitssystemen.

Ein weiterer Vorteil der entwickelten Risikobewertung zeigt sich bei der Um- oder Neuplanung von Arbeitssystemen. Mittels der einfachen Eingabe kann erprobt werden, wie sich geplante Gestaltungsmaßnahmen eines Arbeitssystems generell und auf die vielen Nutzergruppen konkret auswirken. Verschiedenste Lösungsvarianten in Form einer anderen räumlichen Anordnung, reduzierter Kräfte bzw. Gewichte oder veränderter Häufigkeiten können automatisiert berechnet werden. Erst wenn ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird, wird der Arbeitsplatz dementsprechend gestaltet bzw. realisiert.

Innerhalb dieser computergestützten Risikobewertung sind im Wesentlichen die *EAWS*-Regeln (Deutsche MTM-Vereinigung e. V., 2014) im VBA-Programmcode berücksichtigt. In einigen Fällen wird jedoch davon abgewichen. Beispielsweise wird ein berechnetes Zwischenergebnis von Risikopunkten eines Moduls nicht auf den nächsten halben Punktwert gerundet, sondern in seiner Ausgabeform weiter verwendet. Das Endergebnis wird somit genauer. Wie bereits zuvor beschrieben, werden personenbezogene Parameter innerhalb der Berechnung integriert, was teilweise die Eingabe verändert, im Wesentlichen aber die Ausgabe stark detailliert. So wird die Aussagekraft deutlich gesteigert, ohne die Eingabe- und Bewertungszeit zu erhöhen.

Zur Prüfung der entwickelten Risikobewertung wird diese nun an mehreren Arbeitsplätzen angewendet. Die entwickelte Risikobewertung wird *RANG* abgekürzt, was für **Risiko**Analyse **Nutzer**Gruppenbezogen steht.

8.2 Erprobung der entwickelten nutzergruppenbezogenen Risikobewertung RANG

Um die Anwendbarkeit und Risikobeurteilung von RANG zu prüfen, wird diese an mehreren realen Arbeitsplätzen getestet. Um eine Vergleichbarkeit zu gängigen Risikobewertungen herzustellen, werden dafür die Daten der 15 Referenzarbeitsplätze, die in Kapitel 4.2 erläutert sind, genutzt. Wie beschrieben, decken diese Arbeitsplätze das Spektrum aller intralogistischen Tätigkeiten des referenzierten Untersuchungsraumes ab. Jedes der drei programmierten RANG-Module kommt zum Einsatz. Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse der 15 Arbeitsplätze und deren Zuordnung zu den Logistikclustern.

Tabelle 21: Risikopunkte von 15 intralogistischen Arbeitsplätzen, bewertet durch EAWS, NPW, IAD-BkB, MLT, APSA und die hier entwickelte Risikobewertung RANG

		Risikobewertung		EAWS		NPW		IAD-BkB		MLT		APSA*		RANG*			
		Bewertungsbasis		Durchschnittsmensch										40 Jahre, 50. Perzentil		Spannweite	
Cluster	Nr. Arbeitsplatz	Geschlecht		m	w	m	w	-	m	w	-	m	w	m	w	min.	max.
Stapler­tätigkeit	1 LKW Entladung	●17	●17	●15	●15	●9	-	-	●9	●17	●17	●17	●17	●17	●17	●17	●17
	2 GLT Auftrailern	●32	●37	●30	●35	●30	●13	●17	●22	●30	●35	●30	●37	●30	●37	●30	●37
	3 GLT Stapelung	●17	●17	●15	●15	●9	-	-	●9	●17	●17	●17	●17	●17	●17	●17	●17
	4 Motorentransport	●22	●22	●23	●23	●22	-	-	●15	●24	●27	●24	●29	●24	●29	●24	●29
Kommissionieren	5 Supermarkt	●22	●24	●16	●19	●24	●8	●11	●16	●14	●16	●14	●16	●14	●16	●14	●16
	6 Kardanwelle/Bremssch.	●29	●35	●30	●36	●48	●36	●42	●29	●30	●35	●29	●39	●30	●35	●29	●39
	7 Waschen und Passivieren	●33	●44	●35	●46	●16	●15	●24	●19	●34	●49	●34	●57	●34	●49	●34	●57
Routenverkehr GLT	8 GLT Fahrer	●36	●47	●36	●47	●46	●38	●49	●24	●38	●48	●38	●53	●38	●48	●38	●53
	9 GLT Aufzug	●18	●20	●18	●20	●33	●28	●33	●20	●18	●20	●18	●22	●18	●20	●18	●22
	10 AKL Auslagern	●45	●56	●42	●52	●42	●42	●55	●27	●46	●57	●45	●64	●46	●57	●45	●64
Routenverkehr KLT	11 Kanban Fahrer	●30	●40	●28	●38	●24	●25	●33	●20	●33	●44	●33	●49	●33	●44	●33	●49
	12 KLT Deckel	●36	●44	●35	●43	●47	●40	●50	●20	●36	●45	●36	●50	●36	●45	●36	●50
	13 AKL Einlagern	●25	●35	●25	●35	●20	●20	●30	●23	●22	●38	●22	●44	●22	●38	●22	●44
Schleppertransport	14 Fächerwagentransport	●44	●51	●41	●46	●54	●36	●45	●21	●43	●50	●42	●55	●43	●50	●42	●55
	15 Plattenwagentransport	●2	●2	●0	●0	●0	-	-	●0	●3	●3	●3	●3	●3	●3	●3	●3

m: männlich
w: weiblich



*APSA und RANG Grenze grün-gelb bei 30 Punkten

Die Ergebnisse der fünf konventionellen Risikobewertungen EAWS, NPW, IAD-BkB, MLT, APSA mit entsprechenden farblichen Einstufungen sind im mittleren Teil der Tabelle abgebildet. Die Ergebnisse der hier entwickelten Risikobewertung RANG stehen im rechten Teil. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Werte von männlichen und weiblichen Probanden des 50. Körperhöhenperzentils mit einem Lebensalter von 40 Jahren bei den Ergebnissen von RANG gewählt. Dieser Bezugswert stellt die Bewertungsgrundlage („Durchschnittsmensch“) der anderen Verfahren dar. Die gesamte Spannweite der Ergebnisse von RANG ist rechts zu sehen.

Vergleicht man die Werte untereinander, so besteht eine Deckungsgleichheit der Ergebnisse von EAWS, NPW, in Teilen auch IAD-BkB und der neu entwickelten Methode RANG. Sind Tätigkeiten mit einem großen Anteil an Lastenhandhabung verbunden, dann liegen auch die Werte des MLT auf ähnlichem Niveau. Dies liegt darin begründet, dass das MLT ein Screeningverfahren speziell zur Anwendung für intralogistische Tätigkeiten ist und die manuelle Lastenhandhabung ähnlich bewertet wie das gleichnamige Modul in RANG.

Betrachtet man die Spannweite der Ergebnisse des entwickelten Verfahrens *RANG*, dann ist diese besonders groß, wenn physisch anstrengende Tätigkeiten, also der Einsatz von Körperkraft und Lastenhandhabung, gefordert werden. In einigen Fällen kommt es deshalb zu einer Einstufung von Populationsgruppen in unterschiedliche Risikobereiche, da innerhalb dieser Module das Lebensalter und die Geschlechterzugehörigkeit die Berechnung beeinflussen.

Die zugrunde gelegten Tabellen und das Regelwerk von *RANG* fußen auf dem *EAWS*. Die hinzugefügten individuellen Parameter (Lebensalter, Geschlecht und Körperhöhe) basieren teils auf bekannten wissenschaftlichen Ergebnissen und teils auf eigenen Untersuchungen. Eine veränderte physische Beanspruchung über verschiedene Lebensphasen ist durch den Fragebogen nachgewiesen. Der zur Risikobewertung verwendete Altersverlauf leitet sich aus den Verfahren von Siemens und Derivaten ab. Die unterschiedliche Körperkraft zwischen Männern und Frauen kann ebenfalls aus den Ergebnissen des Fragebogens abgeleitet werden und ist darüber hinaus hinreichend wissenschaftlich untersucht und begründet. Die Zuweisung von perzentilabhängigen Körperhaltungen stützt sich auf eigene Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der Technischen Universität Dresden.

Aus genannten Gründen kann die entwickelte Risikobewertung *RANG* als ein valides und plausibles Instrument zur Einschätzung der Ergonomiegüte von Arbeitssystemen angesehen werden. Dies zeigt zum einen der Vergleich der gewählten Referenzpersonen (40 Jahre, 50. Körperhöhenperzentil, jeweils männlich und weiblich), zum anderen die errechnete Spannweite, die mit ihrem Ergebnisbereich die zum Vergleich herangezogenen Ergebnisse einschließt. Vorgaben zur physischen Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz, EU-Richtlinien und Normen (Richtlinie 89/391/EWG, Richtlinie 90/269/EWG, Maschinenrichtlinie 98/37/EG, DIN EN 614, DIN EN 1005) können deshalb als erfüllt angesehen werden.

8.3 Möglichkeiten der entwickelten Risikobewertung *RANG*

Durch die dargestellte Lösung ist es möglich, für standardisierte Tätigkeiten nutzergruppenspezifische Risikowerte automatisiert zu berechnen. Durch die Verwendung der in diesem Projekt ermittelten körperhöhenabhängigen Körperhaltungen, die Nutzung geschlechtsspezifischer Daten bei physisch belastenden Tätigkeiten und die Berücksichtigung eines Korrekturwertes für die variierende, altersabhängige physische Leistungsfähigkeit, wird eine detaillierte Risikobewertung für unterschiedliche Populationsgruppen ermöglicht. Der zeitliche Aufwand eines herkömmlichen Screeningverfahrens in Form einer Papier- und Bleistiftbewertung wird dadurch jedoch nicht überschritten. Da die Berechnung zur Normierung, zur Interpolation und des Gesamtergebnisses automatisch geschieht, kann – bei gleichzeitig maximiertem Ergebnisoutput – sogar ein geringerer zeitlicher Aufwand angenommen werden.

Neben der Bewertung von bestehenden Arbeitssystemen ermöglicht dieses Instrument bereits in der Planungsphase – dem PEP – Arbeitssysteme risikoarm zu planen. Unger et al. (2014) schlagen vor, Ergonomie bereits in der Entwicklung als gleichberechtigte Zielgröße neben Qualität, Kosten und Investment zu etablieren. Dadurch können in der frühen Phase Modifizierungen vorgenommen werden, die nach Jacob et al. (2010, S. 65) sonst zu hohen Belastungen durch extreme Griffweiten, starke Kraftanwendungen oder ungünstige Körperhaltungen führen würden. Kugler et al. (2010, S. 38) schlagen im Projektablauf sogenannte Quality Gates vor, deren Kriterien zur ergonomischen Arbeitsgestaltung im PEP erfüllt werden müssen. Der Forderung einer Vermeidung von gesundheitsschädigenden Faktoren vor ihrem Wirksamwerden von Schell et al. (2001) kann somit entsprochen werden.

Die hier entwickelte Methode *RANG* erfüllt diese Anforderungen und weist eine zeitgemäße und einfache Bedienung auf. Die Ergebnisdarstellung liefert eine detaillierte Belastungsaufschlüsselung von nahezu 200 Personengruppen und somit wesentlich mehr als ein einzelner, zusammengefasster Risikowert, wie es bei gängigen Risikobewertungen der Fall ist. Durch die hier gewählte Darstellung wird sehr schnell erkenntlich, welche Populationsgruppen einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind. Für den geschulten Praktiker wird es möglich, die Treiber und Hauptursachen eines potenziellen Risikos zu identifizieren. Durch iteratives Vorgehen können auch von wenig geschulten Anwendern – schnell und einfach – Optimierungspotenziale identifiziert werden. Dies ermöglicht es, spätere Arbeitssysteme bereits in der Planung zielgerecht zu designen. Die Eingabe von Arbeitsplatzdaten, die häufig aus Enterprise-Resource-Planning-Systemen entnommen werden können, gepaart mit Abmessungen von Arbeitsräumen, reicht aus, um eine abschätzende präventive Bewertung vorzunehmen. Somit wird hier ein Werkzeug geschaffen, welches nicht nur korrektiv sondern auch präventiv eingesetzt werden kann. Der Vorteil einer Früherkennung sind die geringen Änderungskosten. Denn je später ein Fehler im PEP oder sogar der laufenden Serie entdeckt und behoben wird, umso teurer wird seine Behebung (Ehrlenspiel, 2009, S. 140, 615). Eine präventive Arbeitssystemgestaltung birgt also Potenziale durch Einsparung von Änderungskosten und bietet den Mitarbeitern von Anfang an ergonomisch hoch ausgereifte Arbeitsplätze.

9 Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Die ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen ist für Unternehmen aus gesetzlichen, ökonomischen und ethischen Gründen von zentraler Bedeutung. Um konkrete Maßnahmen zur Arbeitssystemgestaltung ableiten zu können, ist es erforderlich, Verbesserungspotenziale zu erkennen. Aus diesem Grund werden Risikobewertungen zur Quantifizierung physischer Belastung angewendet. Gängige Bewertungen dieser Art wurden meist für Montageprozesse entwickelt. Arbeitsplätze, die nicht unmittelbar diesem Tätigkeitsfeld zugehören, wie die operative Intralogistik, lassen sich häufig mit diesen Verfahren nicht anforderungsgerecht erfassen bzw. bewerten. Ein Grund dafür ist die unzureichende Berücksichtigung der abweichenden Tätigkeitsanforderungen. Um diese Lücke zu schließen, ist eine Auswahl und Integration von relevanten Einflussgrößen erforderlich. Um geeignete Risikobewertungen zu finden, die dieser Forderung nachkommen, wurden etablierte Verfahren durch ein Expertengremium in Form einer Potenzialanalyse untersucht. Die vier Verfahren mit dem höchsten Potenzialwert wurden mit der unternehmenseigenen Risikobewertung *APSA* an 15 Referenzarbeitsplätzen der operativen Intralogistik angewendet und verglichen. Mittels dieses Vergleichs konnten Module identifiziert werden, die eine adäquate Bewertung intralogistischer Tätigkeiten ermöglichen.

Neben der reinen Tätigkeitsbewertung bestand eine weitere Lücke in der unzureichenden Berücksichtigung einzelner Nutzergruppen der verschiedenen Arbeitssysteme. In der Ausgangslage wird für die Risikobewertung eines Arbeitssystems in der Regel nur ein ‚Durchschnittsmensch‘ betrachtet und für diesen lediglich ein Risikowert ausgewiesen. Da im Untersuchungsraum über Arbeitsplätze rotiert, mehrschichtig gearbeitet und eine Belegschaft durch unterschiedlichste Mitarbeiter repräsentiert wird, ist es erforderlich, auch personenbezogene Parameter in einer Risikobewertung zu berücksichtigen. In dieser Arbeit wurden das Lebensalter, das Geschlecht und die Körperhöhe als relevante Einflussparameter identifiziert. Dies geschah durch eine repräsentative Vollbefragung der Mitarbeiter der operativen Intralogistik und aufgrund wissenschaftlich publizierter Erkenntnisse. Neben der Identifikation von Belastungsschwerpunkten, die bewertet werden müssen, wurde ein idealisierter altersabhängiger Verlauf der Leistungsfähigkeit zugrunde gelegt. Untermauert wurde diese Feststellung anhand einer Diskussion von Beispielen aus der Literatur zur Degeneration der physischen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter bei Männern und Frauen. Die Maximalleistungskurve verläuft in ihrer Form bei beiden Geschlechtern sehr ähnlich, jedoch liegt die der Frauen etwa ein Drittel unter der Kurve der Männer.

Die Befragung der operativen Logistikfachkräfte ergab zusätzlich einen Unterschied in der empfundenen Beanspruchung der Geschlechter: Frauen fühlen sich stärker beansprucht. Diese Tatsache ist auf physiologische Geschlechterunterschiede zurückzuführen und wissenschaftlich belegt.

Ebenfalls durch die Umfrage – aber auch durch Beobachtung – wurde eine variierende Belastung aufgrund unterschiedlicher Körperhöhen erkannt. Zur Analyse dieses Einflusses bedurfte es weiterführender Untersuchungen. Deshalb wurde eine Simulation mehrerer intralogistischer Standardtätigkeiten erstellt. Diese erzeugten Szenarien wurden mit in Geschlecht und Körpermaßen variierenden Menschmodellen besetzt. Die einzelnen Menschmodelle simulierten bei gleicher Aufgabe unterschiedliche Körperhaltungen. Mittels der dafür gut geeigneten Methode OWAS wurden die unterschiedlichen Haltungen in den Szenarien bewertet. Es wurde deutlich, dass unterschiedliche Körperhaltungen zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe eingenommen werden und daraus unterschiedliche Belastungen für die Menschmodelle resultieren. Diesen Untersuchungen zufolge ist es erforderlich, auch die Körperhöhe in einer Risikobewertung zu berücksichtigen.

Einen für die Intralogistik wesentlichen Tätigkeitsbestandteil stellt die manuelle Lastenhandhabung dar. Dazu zählt das Umsetzen von KLT sowie das Ziehen und Schieben von Transportwagen. Die wirkende Belastung wurde ermittelt und deren Auswirkung auf den Menschen untersucht. Für das Ziehen und Schieben war es notwendig, eigene Versuche durchzuführen, um real aufgebrachte Aktionskräfte zu erfassen. Die Ergebnisse zeigen Belastungsspitzen, die beim Anfahren und Anhalten von Transportwagen auftreten. Daraus lässt sich ableiten, dass neben dem Gewicht, der Körperhaltung und den Ausführungsbedingungen die Häufigkeit solcher Tätigkeiten den entscheidenden Belastungsfaktor für die Risikoeinstufung darstellt.

Die gewonnenen Erkenntnisse und die Berücksichtigung personenbezogener Parameter wurden in die in Kapitel 8 entwickelte Risikobewertung *RANG* integriert. Da die Berechnung unter Berücksichtigung dieser Parameter für herkömmliche Papier- und Bleistiftbewertungen viel zu komplex und langwierig wäre, wurde die in dieser Arbeit entwickelte Risikobewertung *RANG* mit *VBA* in *Microsoft Office Excel* programmiert. Die gesamte Berechnung ist damit automatisiert, was letztlich zu einer Reduzierung des zuvor notwendigen hohen manuellen Berechnungsaufwandes führt. Trotz reduzierter Eingabezeit gibt *RANG* ein deutlich detaillierteres Ergebnis in Form einer Risikospanne für nahezu 200 unterschiedliche Nutzergruppen. Dies führt zu einer wesentlich genaueren Risikobewertung unter Berücksichtigung einzelner Personengruppen. Die Aussagefähigkeit und Effizienzsteigerung im Vergleich zu konventionellen Risikobewertungen ist immens.

9.2 Kritische Würdigung

Zur kritischen Würdigung wird die in dieser Arbeit entwickelte Risikobewertung systematisch mit einer *SWOT*-Analyse bewertet. Dazu werden ***Strengths*** (Stärken), ***Weaknesses*** (Schwächen), ***Opportunities*** (Chancen) und ***Threats*** (Gefahren) in Form einer Matrix aufgeführt. Diese *SWOT*-Analyse zeigt Tabelle 22.

Die größte Stärke von *RANG* liegt in einer detaillierten und visualisierten Risikoaussage kleiner Personengruppen, die eine hohe Transparenz schafft und aufgrund der *VBA*-Programmierung in *Microsoft Office Excel* schnell durchführbar ist. Die integrierten personenbezogenen Parameter basieren auf wissenschaftlich bekannten und eigenen Untersuchungen. Obgleich jeder Mensch einzigartig ist und physische Gegebenheiten inter- und intraindividuelle Variabilität unterliegen, kann bei gesunden Menschen dennoch ein Muster bzw. eine altersabhängige Veränderung einzelner Parameter beobachtet werden. Sicherlich mögen die hier angenommenen idealisierten Werte nicht die exakten Ausprägungen eines jeden Einzelnen in Gänze abdecken, dennoch ist diese Art der Bewertung um ein Vielfaches genauer als die Betrachtung nur eines einzelnen ‚Durchschnittsmenschen‘, wie es zumeist bei den etablierten Verfahren der Fall ist. Durch den hier entwickelten Ansatz der Bewertung kann es deshalb gelingen, Arbeitssysteme noch zielgerichteter auf deren Nutzer anzupassen.

Die zur Entwicklung von *RANG* verwendete Basis ist die Risikobewertung *EAWS*. Diese stellt ein valides, akzeptiertes und weit verbreitetes Analyse- und Bewertungswerkzeug dar. Vorgaben zur physischen Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz, EU-Richtlinien und Normen (Richtlinie 89/391/EWG, Richtlinie 90/269/EWG, Maschinenrichtlinie 98/37/EG, DIN EN 614, DIN EN 1005), die für die Basismethode gelten, können deshalb als ebenso erfüllt angesehen werden.

Da ersichtlich wird, welche Personengruppen einem geringeren Risiko ausgesetzt sind, besteht eine Schwäche darin, dass das Ergebnis einer Bewertung allein für die Personalauswahl genutzt werden könnte. Der gezielte Personaleinsatz sollte jedoch immer die *Ultima Ratio* sein und nur angewendet werden, wenn alle technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Arbeitssystemgestaltung ausgeschöpft sind. Nach arbeitswissenschaftlichen Grundsätzen sollen die Arbeitsbedingungen an den Menschen angepasst werden – nicht umgekehrt. Dieser Punkt ist jedoch weniger eine Gefahr der Methode, sondern vielmehr eine Gefahr der Fehlinterpretation durch den Anwender.

Die in *RANG* genutzten Einflussparameter der Körperhöhe entsprechen nach DIN 33402-2:2005-12 der Wohnbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Für die Nutzung in anderen Kulturkreisen können diese Daten problemlos durch anthropometrische Datensätze der jeweils zutreffenden Population in der Programmierung substituiert werden. Dies ist als Chance zur weiteren Verbreitung und Nutzung von *RANG* anzusehen. Da eine umfassende ergonomische Risikobewertung durch die Bewertbarkeit von Körperhaltung, Kräften und Lastenhandhabung gegeben

ist, ist eine Übertragbarkeit von der Intralogistik auf andere Gewerke und Branchen möglich und als weitere Chance anzusehen.

Die Ablehnung von Neuem durch potenzielle Nutzer stellt eine denkbare Gefahr für die Anwendung der entwickelten Methode dar. Durch ein zielgerichtetes Change-Management bei einer Einführung können solche Barrieren jedoch abgebaut werden.

Tabelle 22: SWOT-Analyse der entwickelten Risikobewertung RANG

<ul style="list-style-type: none"> • Detaillierte Risikobewertung • Erkennen von ergonomischen Schwachstellen • Schnell durchführbar • Automatische Berechnung • Von ergonomischen Praktikern anwendbar • Personalauswahl möglich • Entspricht gesetzlichen Forderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung allein zur Personalauswahl, ohne technische oder organisatorische Anpassung der Arbeitssysteme
<ul style="list-style-type: none"> • Zielgerichtete Anpassung von Arbeitssystemen an die Mitarbeiter • Bei Anpassung der Populationsdaten auch in anderen Kulturkreisen anwendbar • Übertragbar auf andere Gewerke 	<ul style="list-style-type: none"> • Nichtakzeptanz

Abschließend ist festzustellen, dass die Anforderungen aus der Ausgangslage in Kapitel 1 vollumfänglich mit dieser Arbeit erfüllt werden konnten:

- Entscheidende logistikrelevante Tätigkeiten wurden identifiziert und in die Risikobewertung integriert.
- Darüber hinaus ist es gelungen, einen Ansatz zu wählen, bei dem personenbezogene Parameter der allgemeinen Arbeitsbevölkerung innerhalb der Bewertung automatisiert berücksichtigt werden. Dies gestattet eine sehr detaillierte Ergebnisberechnung ohne den zeitlichen Analyseaufwand zu steigern.

Mit den gewonnenen Informationen kann es im nächsten Schritt gelingen, Arbeitssysteme besser an die Nutzer anzupassen oder auch geeignete Mitarbeiter auszuwählen.

9.3 Ausblick

Trotz der Entwicklung von *RANG* entlang des Beispiels der Intralogistik ist die Bewertung in der hier entstandenen Form auch auf andere Bereiche mit zyklisch wiederkehrenden, manuellen Tätigkeiten anwendbar. Dies ist durch die Betrachtung von Körperhaltung, Körper-, Arm- und Fingerkräften sowie manueller Lastenhandhabung sichergestellt. Die Möglichkeit einer breiten Anwendung in unterschiedlichen Gewerken und Branchen ist somit gegeben.

Integration weiterer Belastungsfälle

Ditchen und Brandstädt (2015, S. 18) weisen darauf hin, dass Risikobewertungen wie *EAWS* durch die Berücksichtigung mehrerer physischer Belastungen eine breite Anwendung im Bewertungsansatz gewährleisten. Jedoch bestünden auch Belastungssituationen, die mittels dieser Methode nicht entsprechend erfasst werden könnten. Dazu zählen hochdynamische, komplexe oder kraftintensive Tätigkeiten. Eine Integration aktuell nicht bewertbarer Tätigkeiten in konventionelle Screeningverfahren wie beispielsweise das *EAWS* wird derzeit im Projekt *MEGAPHYS* angestrebt. Eine Erweiterung um den in dieser Arbeit entwickelten Ansatz ist anschließend zu prüfen.

Berücksichtigung repetitiver Tätigkeiten

In dieser Arbeit wurden sehr kurzzyklische Tätigkeiten bewusst nicht betrachtet, da sie im gewählten Untersuchungsraum einer automobilen Intralogistik nicht vorkommen. Sollte die hier entwickelte Risikobewertung *RANG* jedoch zukünftig auch für derartige Industriezweige bzw. Arbeitssysteme an Interesse gewinnen, so ist eine Erweiterung um diese Art der Bewertung erforderlich und auch möglich.

Erweiterung um nicht regelmäßige Verrichtungen

Tätigkeiten, die keinen regelmäßig wiederkehrenden Zyklen unterliegen, wie beispielweise in Manufakturen, im Handwerk oder auf Baustellen, können mit dieser Art der Bewertung nicht adäquat erfasst werden. Das Problem liegt in der Erhebung der Belastungssituationen. Diese treten häufig nur einmalig, sehr selten oder in unregelmäßigen, längeren Zeitabschnitten auf. Eine wirtschaftlich vertretbare Analyse ist aus diesem Grund nicht gegeben, da keine erneute Beobachtung oder nur eine Beobachtung zu einem viel späteren Zeitraum möglich ist. Eventuelle Verifizierungen der erstmaligen Beobachtung oder das Nachtragen fehlender Belastungsinformationen werden nahezu unmöglich. Für die Bewertung langzyklischer Tätigkeiten ist eine Bewertungsmethode erforderlich, die ein wesentlich gröberes Bewertungsraster als die hier gewählte Basismethode *EAWS* aufweist. Bestrebungen zur Entwicklung einer solchen Methode stellt das IAD an. Es muss geprüft werden, ob die Parameter des Geschlechts, der Körperhöhe und des Lebensalters nach den Erkenntnissen dieser Arbeit darin integriert werden können. Nach Veröffentlichung

einer solchen Risikobewertung für langzyklische Tätigkeiten ist eine Überprüfung und Erweiterung um den hier gewählten Ansatz möglich.

Einsatzsteuerung von LGW-Mitarbeitern und Reintegration

Weiteres Potenzial bietet sich für die gezielte Einsatzsteuerung von LGW-Mitarbeitern. Dieses kann durch den Vergleich von Tätigkeitseinschränkung und Belastungsanforderung des jeweiligen Arbeitssystems ermöglicht werden. Beispielsweise ist durch eine Erkrankung oder einen Unfall eine Tätigkeitseinschränkung im Bereich des Schultergelenks eines Mitarbeiters entstanden, wodurch nicht mehr über Kopf gearbeitet werden kann. Dann kann der hier gewählte Ansatz durch eine Erweiterung der Programmierung prüfen, welches Mitarbeiterkollektiv im entsprechenden Arbeitssystem von einer solchen Körperhaltung betroffen wäre. Gehört der LGW-Mitarbeiter zum Kollektiv, so darf dieser dort nicht eingesetzt werden.

Des Weiteren ist auch der gezielte Einsatz zur Reintegration von Mitarbeitern mit temporären Einschränkungen möglich. Arbeitsplätze, die ein spezielles Belastungskriterium in niedriger Dosis beinhalten, könnten über eine erweiterte Abfrage in der Programmierung ebenfalls leicht identifiziert werden. In beiden genannten Fällen kann die entwickelte Risikobewertung so für den gezielten Personaleinsatz bezogen auf (temporäre) LGW-Mitarbeiter genutzt werden.

Beobachtung des Langzeiteffektes

Tendenziell ist zu erwarten, dass die konsequente Anwendung einer dezidierten und belastungsgerechten Risikobewertung physischer Belastungen eine Reduzierung von krankheitsbedingten Ausfällen von operativen Mitarbeitern ergibt, herbeigeführt durch das Erkennen defizitärer Bedingungen im Arbeitssystem, die durch geeignete Maßnahmen eliminiert werden. Darüber hinaus kann eine Langzeitbeobachtung etwaige Verbesserungsmöglichkeiten aufdecken, die zu einer Methodenanpassung führen könnten.

Insgesamt betrachtet ist es möglich, durch den hier gewählten Ansatz mit der Eingabe von objektiven Arbeitsplatz- und Belastungsdaten eine differenzierte Bewertung für eine sehr breite Nutzergruppe zu erstellen. Die Anwendung dieser Methode an 15 realen Arbeitsplätzen hat die Operationalisierbarkeit erwiesen. Gezielte Arbeitssystemoptimierungen können nun präventiv in der Planungs- und reaktiv in der Serienphase dezidiert abgeleitet werden. Die zu Beginn der Arbeit genannte Forschungslücke besteht nun nicht mehr.



***„Im Grunde haben die Menschen nur zwei Wünsche:
alt zu werden und dabei jung zu bleiben.“***

Peter Bamm

Deutscher Schriftsteller (1897 - 1975)



Literaturverzeichnis

DIN EN 547-1:2009-01: Sicherheit von Maschinen - Körpermaße des Menschen - Teil 1: Grundlagen zur Bestimmung von Abmessungen für Ganzkörper-Zugänge an Maschinenarbeitsplätzen.

DIN EN 547-2:2009-01: Sicherheit von Maschinen - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Grundlagen für die Bemessung von Zugangsöffnungen.

DIN EN 547-3:2009-01: Sicherheit von Maschinen - Körpermaße des Menschen - Teil 3: Körpermaßdaten.

DIN EN ISO 14738:2009-07: Sicherheit von Maschinen - Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen.

DIN CEN ISO/TR 7250-1:2010-06: Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung - Teil 2: Anthropometrische Datenbanken einzelner nationaler Bevölkerungen.

DIN EN ISO 26800:2011-11: Ergonomie - Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte.

DIN 33411-1:1982-09: Körperkräfte des Menschen - Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen.

DIN 33411-3:1986-12: Körperkräfte des Menschen - Maximal erreichbare statische Aktionsmomente männlicher Arbeitspersonen an Handrädern.

DIN 33411-4:1987-03: Körperkräfte des Menschen - Maximale statische Aktionskräfte (Isodynien).

DIN 33411-5:1999-11: Körperkräfte des Menschen Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte.

DIN 1319-1:1995-01: Grundlagen der Messtechnik - Teil 1: Grundbegriffe.

DIN EN ISO 10075-1:2000-11: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe.

DIN EN ISO 10075-2:2000-06: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze.

DIN EN ISO 10075-3:2004-12: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 3: Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung.

DIN 33402-2:2005-12: Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte.

DIN 33402-2:2005-12 Beiblatt 1: Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte; Beiblatt 1: Anwendung von Körpermaßen in der Praxis.

- DIN EN 1005-1:2009-04: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 1: Begriffe.
- DIN EN 1005-2:2009-05: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen.
- DIN EN 1005-3:2009-01: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung.
- DIN EN 1005-4:2009-01: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen.
- DIN EN 1005-5:2007-05: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 5: Risikobeurteilung für kurzzyklische Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen.
- DIN EN 614-1:2009-06: Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze.
- DIN EN ISO 6892-1:2009-12: Metallische Werkstoffe - Zugversuch - Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur.
- DIN EN ISO 6385:2014-10: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.
- ISO 11228-1:2003-05: Ergonomics - Manual handling - Part 1: Lifting and carrying.
- ISO 11228-2:2007-04: Ergonomics - Manual handling - Part 2: Pushing and pulling.
- ISO 11228-3:2007-03: Ergonomics - Manual handling - Part 3: Handling of low loads at high frequency.
- VDI Richtlinie 3590-1994: Kommissioniersysteme, Blatt 1 - Grundlagen.
- VDI/VDE/DKD-Richtlinie 2638:2008-10: Kenngrößen für Kraftaufnehmer - Begriffe.
- Ayoub, M.; Dempsey, P. G.; Karwowski, W. (1997): Manual Materials Handling. In: Salvendy, G. (Herausgeber): Handbook of Human Factors and Ergonomics. New York, S. 1085 - 1123.
- Babirad, D.; Küchmeister, G.; Nagel, K. (1998): Körpermaße des Menschen. Komfortbereich der Gelenkwirbel der Körpergelenke. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft.
- Back, S.; Weigel, H. (2014): Design for Six Sigma. Kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. München: Hanser.
- Backhaus, C.; Jubit, K.-H.; Ellegast, R.; Felten, C.; Hedtmann, J. (2012): Belastung des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben von Müllgroßbehältern. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (66), S. 327 - 346.

Backhaus, C.; Post, M.; Jubb, K.-H.; Ellegast, R.; Felten, C.; Hedtmann, J. (2013): Handkraftmessung beim Bewegen von zwei- und vierrädrigen Müllgroßbehältern. In: Dokumentation des 59. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses: Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung - Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen (23). 27.02.-01.03.2013, Krefeld, S. 241 - 244.

Badura, B.; Ducki, A. (2014): Erfolgreiche Unternehmen von morgen - gesunde Zukunft heute gestalten. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft (Fehlzeiten-Report, 2014). Berlin: Springer.

Bannwarth, H.; Kremer, B. P.; Schulz, A. (2013): Basiswissen Physik, Chemie und Biochemie. Vom Atom bis zur Atmung - für Biologen, Mediziner und Pharmazeuten. 3., erweiterte und aktualisierte Auflage. Berlin: Springer Spektrum.

Becker, M.; Hettinger, T.; Wobbe, G. (Herausgeber) (1993): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl.

Biermann, H.; Weißmantel, H. (1998): Regelkatalog SENSI - Geräte. Bedienungsfreundlich und barrierefrei durch das richtige Design. Darmstadt: Institut für Elektromechanische Konstruktionen.

Bierwirth, M. (2012): Entwicklung eines Managementmodells zur Integration einer systematischen Verhältnisprävention in die Arbeitsgestaltung in Industrieunternehmen. Technische Universität, Darmstadt, 2012. Stuttgart: Ergonomia-Verlag.

BKK Dachverband e. V. (17.12.2013): BKK Gesundheitsreport 2013. Rückenschmerzen sorgen für meiste Ausfalltage - Krankenstand 2013 steigt marginal über den Wert von 2012. Berlin.

Böge, A. (2011): Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik. 22., erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

Bokranz, R.; Landau, K. (2006): Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Bongwald, O.; Luttmann, A.; Laurig, W. (1995): Leitfaden für die Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten. Gesundheitsgefährdung, gesetzliche Regelungen, Messmethoden, Beurteilungskriterien und Beurteilungsverfahren. Sankt Augustin: HVBG.

Botthof, A. (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Boutellier, U.; Ulmer, H.-V. (2007): Sport- und Arbeitsphysiologie. In: Robert F. Schmidt und Florian Lang (Herausgeber): Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. 30., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

- Brenner, M. G. (2013): Altersspezifische Ergonomie im Fahrzeug. 1. Auflage. Göttingen: Cuvillier (Audi-Dissertationsreihe, 80).
- Brütting, M.; Herrmanns, I.; Nienhaus, A.; Ellegast, R. (2015): Muskel - Skelett - Belastungen beim Schieben und Ziehen von Krankenbetten und Rollstühlen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25. - 27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.
- Bubb, H. (2007): Ergonomische Arbeitsbewertung. In: Schäfer, E.; Buch, M.; Pahls, I.; Pfitzmann, J. (Herausgeber): Arbeitsleben! Arbeitsanalyse - Arbeitsgestaltung - Kompetenzentwicklung. Kassel: Kassel University Press (Kasseler Personalschriften, Band 6), S. 152 - 177.
- Bubb, H.; Bengler, K.; Grünen, R. E.; Vollrath, M. (2015): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (ATZ/MTZ-Fachbuch).
- Bühl, A. (2008): SPSS 16. Einführung in die moderne Datenanalyse. 11., überarbeitete und erweiterte Auflage. München, Boston: Pearson Studium.
- Bühner, M. (2011): Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage. München, Boston: Pearson Studium (Psychologie).
- Bullinger, H.-J. (1994): Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Unter Mitarbeit von Ilg, R. und Schmauder, M. Reprint der 1. Auflage: Wiesbaden: Springer (Technologiemanagement).
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Herausgeber) (2007): Bericht Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse. Forschung Projekt F 1994. Unter Mitarbeit von Steinberg, U.; Caffier, G.; Schultz, K.; Jakob, M. und Behrendt, S. Dortmund, Berlin, Dresden: BAuA.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Herausgeber) (2016): Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung - Handbuch für Arbeitsschutzfachleute. 3. Auflage. Dortmund
- Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2015): Online verfügbar unter <http://www.demografie-portal.de/SharedDocs/Informieren/DE/ZahlenFakten/Bevoelkerungszahl.html>, zuletzt geprüft am 14.04.17.
- Bundesministerium der Finanzen (2016): Vierter Bericht zur Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen. Berlin.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (21.08.1996): Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vom 19.10.2013.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2006): Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2108 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV): Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2009): Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2112: Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knien oder vergleichbare Kniebelastung mit einer kumulativen Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13.000 Stunden und einer Mindesteinwirkungsdauer von insgesamt einer Stunde pro Schicht.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2010): Aufbruch in die altersgerechte Arbeitswelt. Bericht der Bundesregierung gemäß § 154 Absatz 4 Sechstes Buch Sozialgesetzbuch zur Anhebung der Regelaltersgrenze auf 67 Jahre. Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Referat Öffentlichkeitsarbeit. Berlin.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (Herausgeber) (2014): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2012. Unfallverhütungsbericht Arbeit. Deutschland; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) (1963): Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2105: Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck.

Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) (1990): Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zur Berufskrankheit Nr. 2102: Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten.

Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) (2002): Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2106: Druckschädigung der Nerven.

Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) (2007): Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2101: Erkrankungen der Sehnenscheiden oder des Sehngleitgewebes sowie der Sehnen- oder Muskelansätze, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können.

Bundesrat (20.12.1996): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung - LasthandhabV).

Bundestag (20.04.2007a): Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 16 Gesetz zur Anpassung der Regelaltersgrenze an die demografische Entwicklung und zur Stärkung der Finanzierungsgrundlagen der gesetzlichen Rentenversicherung.

Bundestag (20.04.2007b): Sechstes Buch Sozialgesetzbuch - Gesetzliche Rentenversicherung - §35 Satz 2 SGB VI.

Bundesverband der Unfallkassen (2004): GUV-I 8607 - Handverzug von Flurförderzeugen Information. Physische Belastungen und Beanspruchungen beim Ziehen und Schieben.

Burandt, U. (1978): Ergonomie für Design und Entwicklung. Köln: Schmidt, O.

Caffier, G.; Steinberg, U.; Liebers, F. (1999): Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen. Unter Mitarbeit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Dortmund.

Caldwell, L. S.; Chaffin, D. B.; Dukes-Dobos, F. N.; Kroemer, K. H.; Laubach, L. L.; Snook, S.; Wasserman, D. E. (1974): A proposed standard procedure for static muscle strength testing. In: American Industrial Hygiene Association journal, 1974 (35), S. 201 - 206.

Cohen, J. (1998): Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Second Edition. New York: Lawrence Erlbaum Associates.

Conrad, S. (2016): Ergonomiebewertung in der Intralogistik am Beispiel eines Automobilherstellers. Untersuchungen zu Körperkräften beim Ziehen und Schieben. In: T. Schmidt, M. Schmauder und S. Rank (Herausgeber): Tagungsband zum Forum technische Logistik und Arbeitssysteme 2016. Dresden: Selbstverlag der TU Dresden, S. 41 - 46.

Conrad, S.; Jäger, M. (2017): Auswirkungen von Aktionskräften beim Ziehen und Schieben auf die Wirbelsäulenbelastung am Beispiel der Intralogistik des Automobilbaus. Beitrag F.1.5. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels - kreativ, innovativ, sinnhaft. 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Brugg-Windisch, Schweiz, 15.-17.02. 2017. Dortmund: GfA-Press.

Conrad, S.; Schmauder, M. (2016): Ermittlung von Kräften beim Ziehen und Schieben von Trailern am Beispiel der Intralogistik eines Automobilherstellers. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): Arbeit in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?! 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Aachen, 02.-04.03.2016. Dortmund: GfA-Press.

Conrad, S.; Schmauder, M.; Wonka, F.; Wiegert, M. (2015): Entwicklung einer Methode zur Ergonomiebewertung von logistischen Tätigkeiten am Beispiel eines Automobilherstellers. Beitrag E 1.1. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Karlsruhe, 25. - 27.02.2015. Dortmund: GfA-Press.

Dankert, J.; Dankert, H. (2013): Technische Mechanik. Statik, Festigkeitslehre, Kinematik/Kinetik. 7. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (Herausgeber) (2013): Belastungen für Rücken und Gelenke - was geht mich das an? BGI/GUV-I 7011. Berlin.

Deutsche MTM-Vereinigung e. V. (2014): EAWS-Praktiker. Lehrgangsunterlage. Hamburg.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2003): DIN-Fachbericht 131. Leitlinien für Normungsgremien zur Berücksichtigung der Bedürfnisse von älteren Menschen und von Menschen mit Behinderungen. 1. Auflage. Berlin, Wien, Zürich: Beuth.

Ditchen, D.; Brandstädt, F. (2015): MEGAPHYS-Entwicklung eines Methodenpaketes zur Gefährdungsbeurteilung physischer Belastungen am Arbeitsplatz. In: Technische Sicherheit (Nr. 10), S. 17–23.

Ditchen, D.; Lundershausen, N.; Bergmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Haerting, J.; Haufe, E. et al. (2014): Abschätzung von lumbalen Bandscheiben-Druckkräften in BK-2108-Verfahren. In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin 64, 2014 (4), S. 258 - 269.

Dreves, F. (2012): Empirische Studie von Wirkmechanismen zum Wandel in der Arbeitswelt. - Am Beispiel "Ergonomie, Demografie und Führung". Chemnitz: Technische Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften, Band 95).

Drury, C. G. (1987): A Biomechanical Evaluation of the Repetitive Motion Injury Potential of Industrial Jobs. In: Seminar in Occupational Medicine, S. 41 - 49.

Egbers, J.; Neuberger, M.; Spillner, R.; Walch, D.; Williger, B. (2010): Definition einer altersgerechten Arbeitsgestaltung. In: Gerhäuser, H.; Lang, G.; Schilling, R. (Herausgeber): Fit4Work. Studie 2010 ; altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung in Produktion und Logistik ; Ergebnisse aus dem Bayerischen Forschungsverbund FitForAge. Garching, S. 11 - 14.

Ehrlenspiel, K. (2009): Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4., aktualisierte Auflage. München: Hanser.

- Ellegast, R.; Herrmanns, I.; Schiefer, C. (2009): Workload Assessment in Field Using the Ambulatory CUELA System. In: Duffy, V. G. (Herausgeber): Digital human modeling. Second international conference, ICDHM 2009, held as part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19 - 24, 2009. Berlin, Heidelberg, New York, NY: Springer (Lecture notes in computer science, 5620).
- Ellegast, R. P. (2005): Fachgespräch Ergonomie 2004. Zusammenfassung der Vorträge, gehalten während des Fachgespräches "Ergonomie" am 15./16. November 2004 in Dresden. Sankt Augustin: BGIA (BGIA-Report, 2005,4).
- Ewald, S.; Kohler, U. (1991): Handkraft: Richtwerte bei Erwachsenen. In: Ergotherapie, 1991 (9/91), S. 4 - 11.
- Flügel, B.; Sommer, K.; Greil, H. (1986): Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten; Alters- und Geschlechtsvariabilität des Menschen; 238 Tabellen. Frankfurt/Main: Wötzel.
- Gamweger, J. (2009): Design for Six Sigma. Kundenorientierte Produkte und Prozesse fehlerfrei entwickeln. München: Hanser.
- Glitsch, U.; Ottersbach, H.-J.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Feldges, W.; Schaub, K. H. et al. (2004): BIA-Report 5/2004. Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. Herausgegeben vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) und Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BIA. Sankt Augustin.
- Goldscheid, C. (2007): Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung in manuellen Kommissioniersystemen. Aachen: Shaker.
- Grötsch, A.; Wischniewski, S. (2015): Individuelle Arbeitsplatzgestaltung für Mensch-Roboter-Kollaborationen unter Verwendung digitaler Menschmodelle - Identifikation relevanter altersabhängiger muskuloskelettaler Beschwerden und Einschränkungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25. - 27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.
- Gudehus, T. (2012a): Logistik 1. Grundlagen, Verfahren und Strategien. Studienausgabe der 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gudehus, T. (2012b): Logistik 2. Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Studienausgabe der 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gudehus, T. C. (2009): Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch motion capturing. Kassel: Kassel University. Press.
- Günther, P. (2006): Intralogistik - eine starke Branche stellt sich vor. In: Arnold, D. (Herausgeber): Intralogistik. Potentiale, Perspektiven, Prognosen. 1. Auflage. Berlin: Springer (VDI), S. 5 - 16.



Günthner, W. A.; Koch, M. (2014): Erstellung einer ergonomischen Lagerstrategie und Organisation durch ein Arbeitslast analysierendes Warehouse-Management-System (ErgoWMS). Garching bei München: Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik (fml) TU München.

Gunzelmann, T. (2008): Ist Altern messbar? In: Oswald, W.D.; Fleischmann, U.M.; Gatterer, G. (Herausgeber): Gerontopsychologie. Grundlagen und klinische Aspekte zur Psychologie des Alterns. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Springer, S. 59 - 77.

Hahnzog, S. (2014): Betriebliche Gesundheitsförderung. Das Praxishandbuch für den Mittelstand. Wiesbaden: Springer Gabler.

Hainbuch, F. (2005): Die Verbesserung der Vitalkapazität der Lunge in Folge eines gezielten moderaten, halbjährigen Ausdauertrainings. Zugleich ein Beitrag zur Geroprophylaxe zur Steigerung der Alltagskompetenz 60-70-jähriger bislang untrainierter Menschen. 1. Auflage. Göttingen: Cuvillier.

Hartmann, B.; Ellegast, R.; Jäger, M.; Luttmann, A.; Pfister, E. A.; Liebers, F. et al. (2008): Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM). Bewertung körperlicher Belastungen des Rückens durch Lastenhandhabung und Zwangshaltungen im Arbeitsprozess. In: Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin (43), S. 455 - 462.

Hartmann, B.; Spallek, M.; Ellegast, R. (2013): Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen. Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation. Heidelberg: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm.

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Herausgeber) (2003): BK-Report 2/2003. Wirbelsäulenerkrankungen. (BK-Nr. 2108 - 2110). Unter Mitarbeit von Schilling, S. 1. Auflage. Sankt Augustin.

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Herausgeber) (2007): BGIA-Report 2/2007 - Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität. Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten. Unter Mitarbeit von Hoehne-Hückstädt, U.; Herda, C.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Hamburger R.; Ditchen, D. Sankt Augustin: (BGIA-Report).

Hecktor, K.; Schaub, K.; Jäger, M. (2014): Biomechanische Gefährdungsbeurteilung bei Montagearbeitsplätzen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (68).

Heer, O.; Baumhauer, D. (2015): Erfahrung und Innovation bewegen: Welche zündenden Ideen führen zu einem erfolgreichen Generationenmanagement bei Daimler? In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25. - 27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.

Hentschel, C.; Kunze, T.; Spanner-Ulmer, B. (2012): Erste Erkenntnisse zur Anwendbarkeit von vorhandenen Verfahren zur ergonomischen Bewertung von Belastungen in logistischen Prozessen. In: Schütte, M. (Herausgeber): Dokumentation des 58. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft in Kassel 22. - 24.02.2012. Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme - Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Dortmund: GfA-Press (Jahresdokumentation / Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V, 2012), S. 401 - 404.

Hoehne-Hückstädt, U. (2013): Handlungsanleitung "Carpaltunnel-Syndrom". Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Sankt Augustin.

Holzmann, G.; Dreyer, H.-J.; Meyer, H.; Schumpich, G.; Eller, C. (2012): Technische Mechanik, Kinematik und Kinetik. 11., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Hüter-Becker, A.; Dölken, M. (Herausgeber) (2005): Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre. Unter Mitarbeit von Klein, D.; Laub, W., Schomacher, J.; Voelker, B. Stuttgart: G. Thieme.

Jacob, H.; Toledo, B.; Busche, C.; Jendrusch, R. (2010): Durchgängige Ergonomieabsicherung im Produktentstehungsprozess bei Volkswagen. In: Mensch- und prozessorientierte Arbeitsgestaltung im Fahrzeugbau: Herbstkonferenz 2010 der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, S. 63 - 68.

Jäger, M. (2001): Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule beim Heben von Lasten - Kritische Wertung des biomechanischen Kriteriums im NIOSH-Verfahren. In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin. 51. Auflage.

Jäger, M.; Bergmann, A.; Blom-Audorff, U.; Ellegast, R.; Grifka, J.; Hofmann, F. et al. (2011): Occupational low-back exposure of persons with or without limbar disc-related diseases - Selected results of the German Spine Study EPILIFT. In: Grieshaber, R.; Stadeler, M.; Scholle, H.-C. (Herausgeber): Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. Jena: (17. Erfurter Tage), S. 341 - 365.

Jäger, M.; Bergmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Ditchen, D.; Ellegast, R.; Morfelde, P. et al. (2015): Die DWS-Richtwertestudie - Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie zum Dosis-Wirkung-Zusammenhang zwischen physischen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25. - 27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.

Jäger, M.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Gollner, R.; Luttmann, A. (2004): Belastung der Lendenwirbelsäule bei branchenübergreifend auftretenden Arbeitssituationen mit Lastenhandhabung. Kapitel IV-3.1. In: Konietzko, J.; Dupuis, H.; Letzel, S. (Herausgeber): Handbuch der Arbeitsmedizin. 36. Landsberg; S. 1 - 28.

Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R. (2001): Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule bei manueller Lastenhandhabung - Ableitung der „Dortmunder Richtwerte“ auf Basis der lumbalen Kompressionsfestigkeit. In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin. 51. Auflage, S. 354 - 372.

Jäger, M.; Luttmann, A. (1992): The load on the lumbar spine during asymmetrical bi-manual materials handling. In: Ergonomics 35, S. 783 - 805.

Jäger, M.; Luttmann, A. (1995): Möglichkeiten der biomechanischen Modellrechnung und Beurteilung von Wirbelsäulenbelastungen bei Lastenhandhabung. In: Pangert, R. (Herausgeber): Heben und Tragen von Lasten. Erfurt, S. 15 - 30.

Jäger, M.; Luttmann, A. (2005): Der "Dortmunder Denkansatz" zur biomechanischen Analyse der Wirbelsäulenbelastung bei Lastenhandhabung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (59), S. 249 - 262.

Jünemann, R.; Daum, M.; Piepel, U.; Schwinning, S. (1989): Materialfluss und Logistik. Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Berlin: Springer-Verlag.

Jürgens, H. W.; Aune, I. A.; Pieper, U. (1989): Internationaler anthropometrischer Datenatlas. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

Kabus, K.; Kretschmer, B. (2013): Mechanik und Festigkeitslehre. Mit 266 Lehrbeispielen und einer Beilage mit 42 Tabellen, 25 Diagrammen und zahlreichen Formeln. 7., aktualisierte Auflage. München: Hanser.

Kaiser, A.; Wimmer, P.; Bullinger, A. C. (2015): Gelenkwinkelabhängige Untersuchung von Maximalkraft und Dauerleistung zur Definition ergonomisch effizienter Arbeitsbereiche im digitalen Menschmodell. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25. - 27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.

Kamusella, C. (2012): Ergotyping-Tool "Körperhaltungsbewertung". In: Schütte, M. (Herausgeber): Dokumentation des 58. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft in Kassel 22. - 24.02.2012. Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme - Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. Dortmund: GfA-Press (Jahresdokumentation / Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V, 2012), S. 177 - 180.

Kamusella, C. (2014): Ergotyping. Technische Universität Dresden - Fakultät Maschinenwesen - Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme - Professur für Arbeitswissenschaft. Dresden. Online verfügbar unter <http://www.ergotyping.de>, zuletzt geprüft am 29.11.2016.

Kamusella, C. (2015a): Rechnergestützte Aufbereitung perzentil- und körperhaltungsbedingter Aktionsräume und Daten zur Ergonomiebewertung homogener und heterogener Kraftausübungsfälle in Anlehnung an den Montagespezifischen Kraftatlas. Unveröffentlichter Forschungsbericht der GWT-TUD GmbH im Auftrag der Audi AG. Dresden.

Kamusella, C. (2015b): Rechnergestützte Aufbereitung perzentilabhängiger Gesamtkörperbewegungsvariationen und Daten zur Ergonomiebewertung von Körperhaltungen in Anlehnung an OWAS. Unveröffentlichter Forschungsbericht der GWT-TUD GmbH im Auftrag der Audi AG. Dresden.

Kamusella, C.; Schmauder, M. (2013): Derzeitige Möglichkeiten der Bewertung von Arbeitssituationen mit Ergotyping®-Tools. In: sicher ist sicher - Arbeitsschutz aktuell, S. 12 - 18.

Karhu, O.; Kansi, P.; Kuorinka, I. (1977): Correcting working postures in industry. A practical method for analysis. In: Applied Ergonomics Vol. 8.4, S. 199 - 201.

Keil, M. (2011): Konsequenzen des demographischen Wandels für zukünftige Produktions- und Technologieabläufe. Am Beispiel der altersbedingten Veränderungen der Fähigkeit des Sehens. Chemnitz: IBF (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme).

Kelterborn, M.; Koch, M.; Günthner, W. (2013): Physische Belastung in der Produktionslogistik. Geeignete Verfahren zur Beurteilung der physischen Belastung für Arbeitsplätze in der Produktionslogistik. In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 846 - 849.

Kiener, S. (2012): Produktions-Management. Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. 10., erweiterte Auflage. München: Oldenbourg.

Kirchhoff, S.; Kuhnt, S.; Lipp, P.; Schlawin, S. (2008): Der Fragebogen. Datenbasis, Konstruktion und Auswertung. 4., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Klug, F. (2010): Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).

Koether, R. (2007): Technische Logistik. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser.

Kordt, M. (2014): Gesundheitsreport 2014. Die Rushhour des Lebens. Gesundheit im Spannungsfeld von Job, Karriere und Familie. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. DAK Forschung. Berlin. Online verfügbar unter https://www.dak.de/dak/download/Vollstaendiger_bundesweiter_Gesundheitsreport_2014-1374196.pdf, zuletzt geprüft am 09.04.17.

Kugler, M.; Bierwirth, M.; Schaub, K.; Sinn-Behrendt, A.; Feith, A.; Ghezal-Ahmadi, K.; Bruder, R. (2010): KoBRA. Ergonomie in der Industrie - aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements. Online verfügbar unter <http://www.kobra-projekt.de/page/handlungshilfe>, zuletzt geprüft am 01.10.2017.

Kühnapfel, J. B. (2014): Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. Wiesbaden: Springer Gabler.

Kuorinka, I.; Jonsson, B.; Kilbom, A.; Vinterberg, H.; Biering-Sorensen, F.; Andersson, G.; Jorgensen, K. (1987): Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptom. In: Applied Ergonomics, S. 233 - 237.

Kutsch, H. B. (2007): Repräsentativität in der Online-Marktforschung. Lösungsansätze zur Reduktion von Verzerrungen bei Befragungen im Internet. 1. Auflage. Lohmar, Köln: Eul (Reihe Electronic Commerce, Band 35).

Lange, K. (2004): Statistik Formelsammlung. 7. Auflage. Zwickau: Wissenschaftliche Scripten.

Lange, W.; Windel, A. (2013): Kleine ergonomische Datensammlung. 15., aktualisierte Auflage. Köln: TÜV-Media.

Laurig, W. (1992): Grundzüge der Ergonomie. Erkenntnisse und Prinzipien. 4. Auflage. Berlin, Köln: Beuth Verlag (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technische Universität München (2017): Logistik. München. Online verfügbar unter http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=N&title=Logistik, zuletzt geprüft am 14.04.2017.

Leiner, B. (1994): Stichprobentheorie. Grundlagen, Theorie und Technik. 3. Auflage. München: Oldenburg Wissenschaftsverlag

Louhevaara, V.; Suurnakki, T. (1992): OWAS. A method for the evaluation of postural load during work. Helsinki: Institute of Occupational Health, Centre for Occupational Safety (11).

Luczak, H. (1982): Lernen als informatorisch-mentale Arbeit. In: Berndt, J.; Walter Busch, D. (Herausgeber): Schul-Arbeit. Belastung und Beanspruchung von Schülern. 1., Auflage. Braunschweig: Westermann, S. 30 - 50.

Luczak, H.; Rohmert, W. (1997): Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Luczak, H.; Volpert, W. (Herausgeber): Handbuch Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Luczak, H.; Volpert, W.; Raeithel, A.; Schwier, W. (1989): Arbeitswissenschaft. Kerndefinition, Gegenstandskatalog, Forschungsgebiete. Eschborn, Köln: RKW-Verlag; Verlag TÜV Rheinland (RKW Praxisinformation).

- Lunau, S. (Herausgeber) (2013): Six sigma+lean Toolset. Mindset zur erfolgreichen Umsetzung von Verbesserungsprojekten. Unter Mitarbeit von Meran, R.; John, A.; Staudter, C.; Roenpage, O. 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Gabler.
- Martin, H. (2014): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Martini, K. H.; Bill, B.; Kloucek, F. (1995): Piezoelektrische und piezoresistive Druckmeßverfahren. In: Bonfig, K. W. (Herausgeber): Technische Druck- und Kraftmessung. Mit 3 Tabellen. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Renningen-Malmsheim: Expert-Verlag (Band. 254 : Mess- und Prüftechnik), S. 53 - 85.
- Mathiowetz, V.; Kashman, N.; Volland, G.; Weber, K.; Dowe, M.; Rogers, S. (1985): Grip and Pinch Strength: Normative Data for Adults. In: Arch Phys Med Rehabil, 1985 (66), S. 69 - 72.
- Melzer, A. (2015): Six Sigma - Kompakt und praxisnah. Prozessverbesserung effizient und erfolgreich implementieren. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Merkel, T.; Schmauder, M. (2012): Ergonomisch und normgerecht konstruieren. 1. Auflage. Berlin: Beuth.
- Mietzel, G. (2012): Entwicklung im Erwachsenenalter. 1., neue Ausgabe Göttingen, Niedersachs: Hogrefe Verlag.
- Mühlstedt, J.; Scherf, C.; Roscher, C.; Spanner-Ulmer, B.; Bullinger, A. C. (2013): Demografie in innovativen Arbeitswelten. Generationenheterogene Kommunikations- und Arbeitssysteme. In: Industrie Management 3/2013 - Demografische Veränderung der Arbeitswelt, S. 34 - 38.
- Müller, R. (1995): Kraftmeß- und Wägetechnik für industrielle Anwendungen. In: Bonfig, K. W. (Herausgeber): Technische Druck- und Kraftmessung. Mit 3 Tabellen. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Renningen-Malmsheim: Expert-Verlag (Band. 254 : Mess- und Prüftechnik), S. 163 - 188.
- Neugebauer, B. (2003): Mitarbeiterbefragungen. Ein Literaturbericht. ZUMA-Methodenbericht.
- Nohl, J. (1989): Verfahren zur Sicherheitsanalyse. Eine prospektive Methode zur Analyse und Bewertung von Gefährdungen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Nöllenheidt, C.; Brenscheidt, S. (2014): Arbeitswelt im Wandel. Zahlen – Daten – Fakten. Herausgegeben von Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Dortmund.
- Ohno, T. (2013): Das Toyota-Produktionssystem. Unter Mitarbeit von Hof, W. 3., erweiterte und aktualisierte Auflage. Frankfurt, M., New York,: Campus-Verlag.

- Paul, G.; Wakula, J.; Schaub, K.; Landau, K. (1998): Beurteilung der Belastungen und Beanspruchungen beim Bewegen von Handfahrzeugen auf geneigten Ebenen und beim Handhaben von Rollbehältern in Anlehnung an BK 2108. Abschlussbericht des Institutes der Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt. IAD. Unveröffentlichtes Material.
- Pfister, G.; Renn, O. (1997): Nachhaltigkeit und Humanressourcen. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (Arbeitsbericht / Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Nr. 88).
- Phillips, J. M.; Lindstrom-Hazel, D. K. (2013): Grip and Pinch Strength Norms for Michigan Workers. In: The Open Journal of Occupational Therapy, 2013 (1).
- Pilshofer, B. (2001): Wie erstelle ich einen Fragebogen? Ein Leitfaden für die Praxis. Unter Mitarbeit von Preamberger, E. Herausgegeben von Wissenschaftsladen Graz. Institut für Wissens- und Forschungsvermittlung. Graz.
- Plegge, C.; Bonin, D.; Wischniewski, S.; Alexander, T. (2015): Transfer von Bewegungs- und Körperhaltungsdaten in der Digitalen Ergonomie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25. - 27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.
- Prezewowsky, M. (2007): Demografischer Wandel und Personalmanagement. Herausforderungen und Handlungsalternativen vor dem Hintergrund der Bevölkerungsentwicklung. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Rasch, B.; Friese, M.; Hofmann, W.; Naumann, E. (2014): Quantitative Methoden. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. 4., überarbeitete Auflage. Berlin: Springer.
- Rat der Europäischen Gemeinschaft (12.06.1989): Richtlinie 89/391/EWG des Rates über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit.
- Rat der Europäischen Gemeinschaft (2007): Richtlinie 90/269/EWG des Rates über die 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, 02/2007.
- Rebscher, H. (Herausgeber) (2016): Gesundheitsreport 2016. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Schwerpunkt: Gender und Gesundheit. DAK-Gesundheit. Heidelberg: medhochzwei Verlag GmbH,
- REFA Bundesverband e. V. (Herausgeber) (2002): Ausgewählte Methoden zur prozessorientierten Arbeitsorganisation. 1. Auflage. Darmstadt: (REFA-Sonderdruck Methodenteil).
- Roddeck, W. (2012): Einführung in die Mechatronik. 4., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Springer Vieweg Studium. Grundlagen Maschinenbau).

- Roenpage, O.; Lunau, S. (2007): Six Sigma+Lean Toolset. Verbesserungsprojekte erfolgreich durchführen. 2., überarbeitete Auflage. Berlin, New York: Springer.
- Rohmert, W. (1960): Statische Haltearbeit des Menschen. Berlin: Beuth.
- Rohmert, W. (1972): Zur psycho-physischen Beanspruchung von Fluglotsen. Arbeit und Leistung.
- Rohmert, W. (1977): Umdruck zur Vorlesung Arbeitswissenschaft 1 und 2. Darmstadt.
- Rohmert, W. (1984): Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38, 3, S. 193 - 200.
- Rohmert, W.; Rutenfranz, J. (1975): Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn: Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit.
- Sachs, L. (2004): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden; mit 317 Tabellen. 11., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schäfer, K.; Luttmann, A.; Jäger, M. (2005): Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten: Vergleich von Leitmerkmalmethode und Mainz-Dortmunder Dosismodell. In: Zentralblatt der Arbeitsmedizin, 2005 (55), S. 218 - 236.
- Scharla, S. H. (2001): Altersbedingte Veränderungen des Bewegungsapparates - eine Übersicht. In: Journal für Menopause, S. 27 - 31.
- Scharnbacher, K. (2004): Statistik im Betrieb. Lehrbuch mit praktischen Beispielen. 14. Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- Schaub, K. (2004): Das "Automotive Assembly Worksheet" (AAWS). In: Landau, K. (Herausgeber): Montageprozesse gestalten. Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation. Stuttgart: ergonomia Verlag, S. 91 - 111.
- Schaub, K.; Berg, K.; Wakula, J.; Glitsch, U.; Ellegast, R.; Bruder, R. (2011): Kraftbewertungsverfahren zum montagespezifischen Kraftatlas als Screening Ansatz. In: Schütte, M. (Herausgeber): Mensch, Technik, Organisation - Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess. Vom 23. - 25.03.2011. Dortmund: GfA-Press (Jahresdokumentation / Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., 2011), S. 619 - 622.
- Schaub, K.; Caragnano, G.; Britz, B.; Bruder, R. (2012): The European Assembly Worksheet. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2012 (01/2012).
- Schaub, K.; Ghezal-Ahmadi, K. (2007): Vom AAWS zum EAWS. Ein erweitertes Screening-Verfahren für körperliche Belastungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Herausgeber): Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen. Bericht zum 53. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 28.02. - 02.03 2007. Dortmund: GfA-Press.

- Schaub, K.; Landau, K. (2004): Ergonomie und Prävention in der betrieblichen Praxis. In: *Angewandte Arbeitswissenschaft - Zeitschrift für die Unternehmenspraxis*, 2004 (Nr. 180), S. 52 - 70.
- Schaub, K. H. (2006): Einstufungshilfen zum Screening-Verfahren "Bewertung körperlicher Belastungen". IAD-BkB. Version 1.3.2. Darmstadt.
- Schell, H. M.; Schlichtherle, S.; Lauterbach, K. W. (2001): Evidenzbasierte Medizin zur Sicherung der Qualität der betrieblichen Gesundheitsförderung. In: Pfaff, H.; Slesina, W. (Herausgeber): *Effektive betriebliche Gesundheitsförderung. Konzepte und methodische Ansätze zur Evaluation und Qualitätssicherung*. Weinheim: Juventa (Gesundheitsforschung), S. 117 - 125.
- Scheuch, K. (1998): Überlegungen zum Belastung-Beanspruchung-Konzept aus arbeitsmedizinischer Sicht. In: *Zentralblatt für Arbeitsmedizin* 48, S. 498 - 503.
- Scheuch, K.; Schröder, H. (1990): *Mensch unter Belastung. Stress als ein humanwissenschaftliches Integrationskonzept*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Schiltenswolf, M.; Schwarz, M. (Herausgeber) (2013): *Lexikon - Begutachtung in der Medizin*. Unter Mitarbeit von Petruschka, W.; Gaidzik, P.; Müller, W. Berlin Heidelberg: Springer (Springer Medizin).
- Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H. (2010): *Arbeitswissenschaft*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmauder, M.; Hoffmann, H. (2009): Effect Chains - A Method for Analysing Qualitative Effects in Occupational Health and Safety at Work. In: Schlick, C.; Luczak H. (Herausgeber): *Industrial engineering and ergonomics. Visions, concepts, methods and tools; Festschrift in Honor of Professor Holger Luczak*. Dordrecht, New York: Springer, S. 196 - 209.
- Schmauder, M.; Paritschkow, S. (2007): Humanressourcen und Nachhaltigkeit. In: Ludwig, J.; Moldaschl, M.; Schmauder, M.; Schmierl, K. (Herausgeber): *Arbeitsforschung und Innovationsfähigkeit in Deutschland*. Mering: Rainer Hampp Verlag, S. 181 - 192.
- Schmauder, M.; Spanner-Ulmer, B. (2014): *Ergonomie - Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation*. München: Hanser, Carl (REFA-Fachbuchreihe Arbeitsgestaltung).
- Schmidtke, H. (1976): *Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen. Entwurf eines Verfahrens*. 1. Auflage. München, Wien: Hanser.
- Scholz, G. (2013): *Arbeitsplatzgestaltung: Produktivitäts-Vorsprung durch Ergonomie*. In: *Automobilwoche*, 20.11.2013.

- Schönherr, R. (2013): Simulationsbasierte Absicherung der Ergonomie mit Hilfe digital beschriebener menschlicher Bewegungen. Dissertation. Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz. Institut für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme.
- Schultetus, W. (1980): Montagegestaltung. Daten, Hinweise und Beispiele zur ergonomischen Arbeitsgestaltung. Köln: Verlag TÜV Rheinland (Praxis der Ergonomie).
- Seeck, S. (2010): Erfolgsfaktor Logistik. Klassische Fehler erkennen und vermeiden. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- Silbernagl, S.; Despopoulos, A. (2012): Taschenatlas Physiologie. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Spanner-Ulmer, B.; Keil, M. (2009): Konsequenzen des demographischen Wandels für zukünftige Produktions- und Technologieabläufe am Beispiel der Automobilindustrie. In: Industrie Management. Technologietriebene Veränderung der Arbeitswelt 2/2009, S. 17 - 20.
- Spanner-Ulmer, B.; Mühlstedt, J.; Scherf, C.; Roscher, C. (2012): Alte Menschen, neue Technik, veränderte Organisation. In: Müller, E. (Herausgeber): Demographischer Wandel. Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation der Zukunft. Berlin: GITO-Verlag. (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e. V. (HAB)), S. 383 - 411.
- Statistisches Bundesamt (2017): 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/bevoelkerungspyramide>, zuletzt geprüft am 18.11.2017.
- Statistisches Bundesamt (2017): Zusammengefasste Geburtenziffer nach Kalenderjahren. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Geburten/Geburten.html>, zuletzt geprüft am 13.04.2017.
- Steinberg, U.; Caffier, G.; Liebers, F.; Behrendt, S. (2008): Ziehen und Schieben ohne Schaden. 4. Auflage. Dortmund-Dorstfeld: BAuA.
- Steinberg, U.; Windberg, H.-J. (1998): Leitfaden Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten. Empfehlungen für den Praktiker. 2. Auflage. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für Neue Wissenschaft (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Sonderschrift).
- Theimer, W. (1973): Altern und Alter. Stand der experimentellen Gerontologie. Stuttgart: Thieme.
- Tichauer, E. R. (1978): The biomechanical basis of ergonomics. Anatomy applied to the design of work situations. New York: Wiley.
- Toledo, B. (2012): Global ergonomics strategy in Volkswagen: from the product construction, over the planning until the serial process. In: Work (41).

Toutenburg, H.; Knöfel, P. (2008): Six Sigma. Methoden und Statistik für die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Ueberle, M.; Greiner, W. (2010): Kennzahlenentwicklung. In: Badura, B.; Hehlmann, T.; Walter, U. (Herausgeber.): Betriebliche Gesundheitspolitik. Der Weg zur gesunden Organisation. 2. vollständig überarbeitete Auflage. Berlin: Springer, S. 253 - 261.

Unger, K.; Becker, M.; Keil, M. (2014): „Wir für uns. Aktiv in die Zukunft“ – Herausforderungen an die Ergonomie-Strategie der Audi AG. In: Dokumentation des 60. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses - Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft.

United Nations (2005): Population challenges and development goals. New York: Geneva; United Nations (United Nations publication. ST/ESA/SER. A/248).

Valentin, H.; Klosterkötter, W.; Lehnert, G. (1979): Arbeitsmedizin. Ein kurzgefasstes Lehrbuch für Ärzte und Studenten in 2 Bänden. Stuttgart: Thieme.

Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften (VMBG) (2001): BGI 523 Mensch und Arbeitsplatz. VMBG. Düsseldorf, Hannover, Mainz, Stuttgart.

Wakula, J.; Berg, K.; Schaub, K.; Bruder, R. (2009): Der montagespezifische Kraftatlas. Hannover, Sankt Augustin: Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek; BGIA (BGIA-Report, 2009, 3).

Walch, D.; Günthner, W. (2009): Erhalt der Erwerbsfähigkeit von Mitarbeitern in der physischen Logistik vor dem Hintergrund des demographischen Wandels. In: Schütte, M. (Herausgeber): Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert. Dortmund: GfA-Press (Jahresdokumentation / Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V, 2009), S. 609 - 612.

Walch, D.; Günthner, W. A. (2010 a): Belastungsorientierte Job Rotation für eine altersgerechte Arbeitsorganisation am Beispiel der Logistik. In: Gerhäuser, H.; Günthner, W. A. (Herausgeber): Fit4Work. Studie 2010; altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung in Produktion und Logistik; Ergebnisse aus dem Bayerischen Forschungsverbund FitForAge. Garching: Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, S. 65 - 77.

Walch, D.; Günthner, W. A. (2010 b): Die demografische Entwicklung in Gesellschaft und Arbeitswelt. In: Gerhäuser, H.; Günthner, W. A. (Herausgeber): Fit4Work. Studie 2010 ; altersgerechte Arbeitsplatzgestaltung in Produktion und Logistik; Ergebnisse aus dem Bayerischen Forschungsverbund FitForAge. Garching: Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, S. 7 - 10.

Walch, D. (2011): Belastungsermittlung in der Kommissionierung vor dem Hintergrund einer altersgerechten Arbeitsgestaltung der Intralogistik. München: Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik.

- Walter, U.; Flick, U.; Neuber, A.; Fischer, C.; Schwartz, F.-W. (2006): Alt und gesund? Altersbilder und Präventionskonzepte in der ärztlichen und pflegerischen Praxis. 1. Auflage. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften (Alter(N) und Gesellschaft, 11).
- Walter, U.; Plaumann, M. (2008): Grundlagen zum Bewegungsapparat, Beeinträchtigungen und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems und Ansätze ihrer Prävention. In: KKH Kaufmännische Krankenkasse (Herausgeber): Beweglich? Muskel-Skelett-Erkrankungen-Ursachen, Risikofaktoren und präventive Ansätze. Heidelberg: Springer Medizin Verlag (Weißbuch Prävention, 2007/20), S. 3 - 14.
- Walther, M.; Kunze, T.; Toledo Munioz, B.; Kaiser, A.; Bullinger, A. C. (2013): Kraftmessungen an Schnappverbindungen in der Automobilproduktion. In: Schütte, M. (Herausgeber): Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung. Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen; 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft Fachhochschule Krefeld, 27.02. - 01.03.2013. Dortmund: GfA-Press (Jahresdokumentation / Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V, 2013), S. 237 - 240.
- Wappis, J.; Jung, B. (2013): Null-Fehler-Management. Umsetzung von Six Sigma. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser (Praxisreihe Qualitätswissen).
- Waters, T. R.; Putz-Anderson, V.; Garg, A. (1994): Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. Cincinnati (Ohio), USA: U.S. Department of Health and Human Services.
- Weineck, J. (2004): Sportbiologie. 9. Auflage. Balingen: Spitta.
- Weltbank (2014): Entwicklung Fruchtbarkeitsrate Deutschland. Online verfügbar unter <http://data.worldbank.org/country/germany>, zuletzt geprüft am 28.11.2014.
- Winkler, R. (2008): Merkmale junger und alter Stimmen. Analyse ausgewählter Parameter im Kontext von Wahrnehmung und Klassifikation. Berlin: Logos-Verlag (Mündliche Kommunikation, Band 6).
- Zalpour, C. (2014): Springer Lexikon Physiotherapie. 2. Auflage. Berlin: Springer.
- Zglinicki, T. von; Nikolaus, T. (2007): Alter und Altern. In: Schmidt, R. F.; Lang, F. (Herausgeber): Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. 30., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.



Anhang

A1 – Potenzialanalyse

		Risikobewertungen																																																																													
Zelle	Relative Wichtigkeit Wichtigkeit (1-10)	Anforderungen	Anzahl Rang gesamt Rang Lastenhandhabung	Grob-Screening														Screening				Experten				Mes- sungen																																																					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																				
				BGI 504-46 / BGI 7011	AVMS light	DIN EN 1005-2, Verfahren 1	LMH-HHT	LMH-ZS	LMH-MA	RULA	OCRA Checkliste	Multiple-Lasten-Tool	AAWS	IAD-BIB	DIN EN 1005-2, Verfahren 2	DIN EN 1005-2, Verfahren 3	OWAS	EAW5	NPW	Siemens und Derivate	APSA	NIOSH	OCRA-Index	MIDD	Montagespezifischer Kraftindex	CUELA	Krafteinmessungen																																																				
				<table border="1"> <tr> <td>Berücksichtigung</td> <td>Stark</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>mäßig</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>schwach</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>keine</td> <td>-</td> </tr> </table>																								Berücksichtigung	Stark	9		mäßig	3		schwach	1		keine	-																																								
Berücksichtigung	Stark	9																																																																													
	mäßig	3																																																																													
	schwach	1																																																																													
	keine	-																																																																													
				<table border="1"> <tr> <td>Bewertungsmethode</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>21</td> <td>22</td> <td>23</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Anforderungen</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>15</td> <td>11</td> <td>8</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>18</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>17</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>19</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>19</td> <td>12</td> <td>19</td> <td>12</td> <td>19</td> <td>16</td> <td>19</td> </tr> </table>																								Bewertungsmethode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Anforderungen	14	13	15	11	8	19	19	18	1	3	5	9	9	17	2	3	19	6	7	19	12	19	12	19	16	19
Bewertungsmethode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																							
Anforderungen	14	13	15	11	8	19	19	18	1	3	5	9	9	17	2	3	19	6	7	19	12	19	12	19	16	19																																																					
				Personenbezogene Faktoren																																																																											
1	4%	10		Geschlecht	3	9	-	9	9	-	-	-	9	3	-	-	-	3	3	9	-	9	-	9	9	-	-																																																				
2	4%	10		Alter	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	9	-	-	-	-	3	-	-																																																				
3	4%	10		Körperhöhe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-																																																				
				Belastungsarten																																																																											
4	4%	10		Manuelle Lastenhandhabung	9	9	9	9	-	-	-	-	9	9	9	9	9	1	9	9	-	9	9	-	9	-	3	-																																																			
5	4%	9		Körperhaltung	-	-	1	9	9	-	-	-	9	9	9	1	1	9	9	9	-	9	3	-	3	-	9	-																																																			
6	4%	9		Lastgewicht	3	9	9	3	9	-	-	1	9	9	3	9	9	3	9	9	-	9	9	-	9	-	3	-																																																			
7	4%	9		Häufigkeit / Dauer	3	9	3	9	9	-	-	9	9	9	9	9	9	-	9	9	-	9	9	-	9	-	1	-																																																			
8	4%	10		Umsetzen	3	1	3	9	-	-	-	-	9	9	9	9	9	-	9	9	-	9	9	-	9	-	-	-																																																			
9	2%	5		Position Last zum Körper	-	-	3	3	-	-	-	-	3	3	3	9	9	-	3	3	-	3	9	-	-	-	1	-																																																			
10	1%	2		Greifbedingung	-	-	3	-	-	-	-	-	-	3	9	9	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-																																																				
11	0%	1		Bewegungsraum	1	-	1	9	1	-	-	-	9	3	3	1	1	-	1	3	-	1	-	-	3	-	-																																																				
12	4%	10		Ziehen & Schieben	9	1	-	-	9	-	-	-	9	9	9	-	-	9	9	-	3	-	-	-	-	-	-																																																				
13	3%	7		Ausführungsbedingungen (ZS)	-	-	-	-	9	-	-	-	9	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																				
14	0%	1		Positioniergenauigkeit	-	-	-	-	9	-	-	-	9	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																				
15	1%	2		Art Transportmittel	1	-	-	-	9	-	-	-	3	9	9	-	-	-	9	9	-	9	-	-	-	-	-																																																				
16	4%	9		Zwangshaltung (statisch)	9	9	1	-	-	-	9	-	-	9	9	1	1	9	9	9	-	9	-	-	-	-	9	-																																																			
17	4%	9		Rumpfhaltung	9	9	-	-	-	-	9	-	-	9	9	-	-	9	9	9	-	9	-	-	-	-	9	-																																																			
18	3%	7		Beinhaltung	-	9	-	-	-	-	9	-	-	9	9	-	-	9	9	9	-	3	-	-	-	-	9	-																																																			
19	3%	8		Armhaltung	9	9	-	-	-	-	9	3	-	9	9	-	-	9	9	9	-	3	-	3	-	-	9	-																																																			
20	2%	5		Reichweite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	-	-	-	9	9	-	-	-	-	-	-	9	-																																																			
21	2%	5		Asymmetrie	-	3	-	-	-	-	9	-	-	9	9	-	1	9	9	9	-	1	-	-	-	-	3	-																																																			
22	0%	1		Liegen, Klettern	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	9	3	-	-	-	-	-	-	-																																																				
23	1%	2		Knien	9	9	-	-	-	-	-	-	-	9	9	-	-	9	9	9	-	9	-	-	-	-	9	-																																																			
24	4%	9		Stehen	9	9	1	-	-	-	9	-	-	9	9	1	1	9	9	9	-	3	-	-	-	-	9	-																																																			
25	4%	9		Sitzen	9	9	-	-	-	-	9	-	-	9	9	-	-	9	9	9	-	3	-	-	-	-	9	-																																																			
26	4%	9		Kräfte	3	3	-	-	-	9	1	1	-	9	9	-	-	9	9	9	9	-	3	-	9	1	9																																																				
27	4%	9		Höhe	1	1	-	-	-	3	9	1	-	9	1	-	-	-	9	9	9	1	-	3	-	9	1	9																																																			
28	4%	9		Häufigkeit	-	9	-	-	-	3	1	9	-	9	9	-	-	-	9	9	9	9	-	9	-	9	1	-																																																			
29	4%	9		Dauer	-	9	-	-	-	9	9	9	-	9	9	-	-	-	9	9	9	-	-	9	-	1	1	9																																																			
30	2%	5		Ganzkörper- / Armkräfte	-	1	-	-	-	9	9	1	-	9	9	-	-	-	9	9	9	1	-	1	-	9	-	9																																																			
31	4%	9		Körperhaltung	-	-	-	-	-	9	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-	3	-	-	1	-	9	9	-																																																			
32	1%	3		Fingerkräfte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	9	-	-	-	1	1	9	1	-	9	-	9	-	9																																																			
33	1%	2		Greifbedingung			1	-	-	9	-	3	-	-	9	-	-	-	9	-	-	-	-	3	-	-	-																																																				
34	1%	2		Gelenkstellung	-	-	-	-	-	9	9	3	-	9	9	-	-	-	9	9	9	9	-	3	-	1	9	-																																																			
35	0%	1		Impulse / Rückschläge	-	-	-	-	-	1	-	1	-	9	-	-	-	-	9	9	-	-	-	1	-	-	-																																																				
36	0%	1		Repetition	3	1	-	-	-	1	1	9	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	9	-	-	-																																																				
				Potenzialwert Lastenhandhabung	267	272	259	393	424	0	0	90	615	549	510	415	415	118	610	549	0	487	432	0	372	0	152	0																																																			
				Rang Lastenhandhabung	14	13	15	11	8	19	19	18	1	3	5	9	9	17	2	3	19	6	7	19	12	19	16	19																																																			
				Potenzialwert gesamt	750	1061	279	493	524	380	748	330	705	1578	1440	433	438	640	1689	1578	621	968	522	303	462	527	824	315																																																			
				Rang gesamt	8	5	24	16	14	20	9	21	10	2	4	19	18	11	1	2	12	6	15	23	17	13	7	22																																																			



A2 – Fragebogen

Demographische Angaben

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.

Männlich <input type="checkbox"/>	Weiblich <input type="checkbox"/>
--------------------------------------	--------------------------------------

Auf welcher Schicht sind Sie aktuell?

Frühschicht <input type="checkbox"/>	Spätschicht <input type="checkbox"/>	Nachtschicht <input type="checkbox"/>
---	---	--

Wie alt sind Sie?

Bis 20 Jahre <input type="checkbox"/>	21- 30 Jahre <input type="checkbox"/>	31-40 Jahre <input type="checkbox"/>	41-50 Jahre <input type="checkbox"/>	51-60 Jahre <input type="checkbox"/>	Über 60 Jahre <input type="checkbox"/>
--	--	---	---	---	---

Wie groß sind Sie (in m)?

< 1,5 <input type="checkbox"/>	1,51 – 1,55 <input type="checkbox"/>	1,56 – 1,60 <input type="checkbox"/>	1,61 – 1,65 <input type="checkbox"/>	1,66 – 1,70 <input type="checkbox"/>	1,71 – 1,75 <input type="checkbox"/>	1,76 – 1,80 <input type="checkbox"/>	1,81 – 1,85 <input type="checkbox"/>	1,86 – 1,90 <input type="checkbox"/>	> 1,90 <input type="checkbox"/>
-----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

Für die heutige Tätigkeit fühle ich mich körperlich fit.










Trifft voll zu <input type="checkbox"/>	Trifft weitgehend zu <input type="checkbox"/>	Trifft teils-teils zu <input type="checkbox"/>	Trifft kaum zu <input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu <input type="checkbox"/>
--	--	---	--	---

Für die heutige Tätigkeit fühle ich mich ausreichend qualifiziert.

Trifft voll zu <input type="checkbox"/>	Trifft weitgehend zu <input type="checkbox"/>	Trifft teils-teils zu <input type="checkbox"/>	Trifft kaum zu <input type="checkbox"/>	Trifft überhaupt nicht zu <input type="checkbox"/>
--	--	---	--	---

Arbeitsmittel und Bereiche

Womit bzw. in welchem Bereich arbeiten Sie bei Ihrer heutigen Tätigkeit am meisten?
Sie können bis zu 3 Dinge ankreuzen.

	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<p>Großladungsträger</p>		<p>Kleinladungsträger</p>	
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<p>Gabelstapler</p>		<p>Supermarkt Kommissionieren</p>	
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<p>KLT-Routenverkehr</p>		<p>GLT-Routenverkehr</p>	
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<p>Waschen und Passivieren</p>		<p>Plattenwagenverkehr</p>	
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<p>Supermarkt Routenverkehr</p>		<p>Fächerwagen</p>	



Merkmale der Arbeitstätigkeit

Beziehen Sie sich bitte wieder auf die Tätigkeit, die Sie am heutigen Tag ausgeführt haben. Kreuzen Sie an, wie häufig die folgenden Aussagen auf Sie zutreffen.

Wie häufig trifft das auf Sie zu?					
Bei der Arbeit...	Andauernd	Häufig	Manchmal	Fast nie	Nie
... muss ich über Kopf arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich mich bücken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich ziehen und schieben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich heben (mit beiden Händen).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich stehen und/oder gehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... sind mein Kopf und/oder mein Hals in einer unbequemen Haltung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... ist mein Rücken in einer unbequemen Haltung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... sind meine Arme und/oder Hände in einer unbequemen Haltung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich sitzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich Teile/Behälter von Hand umsetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... muss ich meinen Oberkörper drehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Auswirkung der Arbeitstätigkeit

Geben Sie bitte an, ob Sie in einem Körperbereich **während der letzten 3 Monate aufgrund Ihrer Arbeit** Schmerzen oder Beschwerden hatten. Falls Sie Schmerzen hatten, geben Sie bitte auch an, wie häufig Sie an Beschwerden leiden und wie stark diese Beschwerden sind.

		Hatten Sie während der letzten 3 Monate zu irgendeiner Zeit Beschwerden oder Schmerzen in den folgenden Körperregionen?				Wie häufig leiden Sie an Beschwerden?					Wie stark sind Ihre Beschwerden?				
		Haben Sie Beschwerden?		Ständig	Mehrere Male täglich	Mehrere Male wöchentlich	Mehrere Male monatlich	Sehr stark	Stark	Mittel	Schwach	Sehr schwach			
Nacken	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Schulter	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Oberer Rücken/ Brustwirbelsäule	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Ellenbogen	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Hand/ Handgelenke	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Unterer Rücken /Kreuz	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Hüfte/ Oberschenkel	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Ein oder beide Knie	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Ein oder beide Knochen/Füße	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					



A3 – Prüfung der Hypothesen

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Über Kopf arbeiten' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Über Kopf	rs	0,066	0,37	0,489	0,36	0,281	0,379	0,321	0,335	0,317
	p	0,234	0	0	0	0,013	0	0	0,002	0,001
	N	122	109	109	104	63	106	127	74	96

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Über Kopf arbeiten' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Über Kopf	rs	0,17	0,288	0,293	0,177	0,334	0,217	0,128	0,133	0,632
	p	0,035	0,001	0,001	0,096	0	0,008	0,153	0,108	0
	N	114	107	102	56	106	122	66	88	131

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Bücken' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Bücken	rs	0,066	0,181	0,148	-0,011	0,172	0,117	0,09	0,109	0,217
	p	0,157	0,004	0,021	0,456	0,01	0,032	0,177	0,087	0,004
	N	232	209	188	101	181	253	108	159	147

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Bücken' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Bücken	rs	0,055	0,258	0,287	-0,071	0,101	0,136	0,015	0,076	0,231
	p	0,22	0	0	0,245	0,102	0,019	0,439	0,18	0,003
	N	201	187	166	96	160	231	105	148	140

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Ziehen und Schieben' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Ziehen und Schieben	rs	0,007	0,123	0,243	0,059	0,049	0,136	-0,02	-0,01	0,171
	p	0,458	0,037	0	0,281	0,256	0,015	0,425	0,442	0,019
	N	235	212	191	99	182	257	109	160	146

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Ziehen und Schieben' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Ziehen und Schieben	rs	0,084	0,22	0,272	0,018	0,043	0,141	-0,1	0,023	0,154
	p	0,117	0,001	0	0,431	0,292	0,015	0,156	0,392	0,035
	N	204	190	168	95	162	234	106	147	139

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Heben' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Heben	rs	-0,049	-0,018	0,085	-0,08	0,083	-0,014	-0,11	-0,05	0,09
	p	0,235	0,4	0,128	0,224	0,137	0,411	0,142	0,283	0,148
	N	224	200	182	93	175	245	105	157	137

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Heben' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Heben	rs	0,156	0,156	0,167	-0,047	0,105	0,081	-0,12	0,017	0,217
	p	0,015	0,019	0,018	0,336	0,098	0,115	0,117	0,418	0,007
	N	196	177	160	85	153	221	101	143	129

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Stehen/Gehen' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Stehen/Gehen	rs	-0,017	0,139	0,139	-0,057	0,112	0,138	0,043	0,074	0,233
	p	0,401	0,024	0,031	0,288	0,067	0,015	0,331	0,181	0,003
	N	225	203	183	98	178	246	107	154	140

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Stehen/Gehen' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Stehen/Gehen	rs	0,027	0,104	0,222	-0,016	0,127	0,177	0,051	0,124	0,327
	p	0,351	0,08	0,002	0,44	0,055	0,004	0,305	0,07	0
	N	199	185	164	93	159	226	104	143	133

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Sitzen' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Sitzen	rs	0,054	0,082	-0,031	0,084	-0,073	-0,039	-0,09	0,041	-0,09
	p	0,212	0,124	0,342	0,219	0,173	0,27	0,178	0,308	0,146
	N	223	199	177	88	170	244	102	154	138

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Sitzen' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Sitzen	rs	-0,065	-0,101	-0,126	0,011	-0,115	-0,082	-0,01	-0,05	-0,17
	p	0,183	0,09	0,055	0,461	0,077	0,109	0,453	0,293	0,025
	N	198	179	163	86	156	225	103	145	135

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Umsetzen' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Umsetzen	rs	-0,015	0,016	0,158	0,09	0,043	0,047	0,22	0,148	0,294
	p	0,414	0,412	0,018	0,201	0,287	0,235	0,013	0,035	0
	N	220	202	178	89	171	240	102	151	135

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Umsetzen' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Umsetzen	rs	0,139	0,137	0,19	0,195	0,115	0,148	0,188	0,206	0,249
	p	0,027	0,034	0,009	0,039	0,081	0,014	0,032	0,008	0,002
	N	193	177	155	82	149	219	98	138	128

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Oberkörperdrehungen' und der Häufigkeit der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Oberkörperdrehungen	rs	0,092	0,123	0,141	0,043	0	0,164	0,118	0,194	0,147
	p	0,079	0,037	0,026	0,336	0,5	0,004	0,108	0,006	0,037
	N	237	213	191	99	183	258	111	163	147

Korrelationen zwischen dem Merkmal 'Oberkörperdrehungen' und der Intensität der Beanspruchungsfolgen in den Körpersektionen										
		Nacken	Schulter	Oberer Rücken	Ellenbogen	Hände	Unterer Rücken	Hüfte	Knie	Füße
Oberkörperdrehungen	rs	0,146	0,172	0,171	-0,014	0,005	0,229	0,122	0,218	0,147
	p	0,017	0,008	0,013	0,445	0,475	0	0,104	0,003	0,04
	N	209	193	170	95	164	239	109	152	142



A4 – EAWS-Bewertungsbogen

Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3		
Werk	Geschlecht Werker/in <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w <input type="checkbox"/>	Körpergröße
Linie	MTM-Analyse	Analyst
Arbeitsplatz/-aufgabe	Takt-/Zykluszeit [sec]	Datum

Gesamtergebnis der Analyse:




















<input type="checkbox"/> Grün	Gesamtkörper	=	Haltung	+	Kräfte	+	Lasten	+	Extra	Obere Extremit.
<input type="checkbox"/> Gelb		=		+		+		+		
<input type="checkbox"/> Rot										

EAWS Bewertung	0-25 Punkte	Grün	Niedriges Risiko: empfehlenswert; Maßnahmen nicht erforderlich
	>25-50 Punkte	Gelb	Mögliches Risiko: nicht empfehlenswert; Maßnahmen zur erneuten Gestaltung / Risikobeherrschung ergreifen
	>50 Punkte	Rot	Hohes Risiko: vermeiden; Maßnahmen zur Risikobeherrschung erforderlich

Extrapunkte "Gesamtkörper" (pro Minute / Schicht)						Extrapunkte		
0a	Beeinträchtigung durch Arbeit an sich bewegenden Objekten	0 keine	3 mittel	8 stark	15 sehr stark	Belastungshöhe		
0b	Zugänglichkeit (z. B. Ein-/Aussteigen in Motorraum)	0 gut	2 erschwert	5 schlecht	10 sehr schlecht	Status		
0c	Rückschlagkräfte, Impulse, Schwingungen 	0 gering	1 sichtbar	2 stark	5 sehr stark	Belastungshöhe x Häufigkeit		
		0	1	2,5	4		6	8
		[n]	1 - 2	4 - 5	8 - 10		18 - 20	> 20
0d	Gelenkstellung (insb. Handgelenk) 	0 neutral	1 ~ 1/3 max	3 ~ 2/3 max	5 maximal	Belastungshöhe x Dauer oder Häufigkeit		
		0	2	2,5	4		6	8
		[sec]	3	10	20		40	60
		[n]	1	8	11		16	20
	[%]	5	17	33	67	100		
0e	Andere körperliche Belastungen (bitte beschreiben)	0 keine	5 mittel	10 stark	15 sehr stark	Belastungshöhe		
Extra = Σ Zellen 0a – 0e		Achtung: Max. Punktzahl = 40 Pkt. (Zellen 0c, 0d), 15 Pkt. (Zellen 0a, 0e) bzw. 10 Pkt. (Zelle 0b)			Achtung: Werte korrigieren, wenn Takt-/Zykluszeit ≠ 60s		=	
<i>Bitte EAWS Einstufungsanleitung beachten</i>								

Daten für die Bewertung der repetitiven Tätigkeiten			Bemerkungen / Verbesserungsvorschläge
Beschreibung	Formel	Ergebnis	
Tatsächliche Schichtdauer [min]			
Mittagspause [min]	-		
Andere offizielle Pausen [min]	-		
Nichtrepetitive Tätigkeiten [min] (z. B. Reinigung, Materialbeschaffung, etc.)	-		
Nettodauer der repetit. Tätigkeit/en (a) [min]	=		
Anzahl an Einheiten (od. Takten/Zyklen) (b)			
Netto-Takt-/Zykluszeit [sec]	(a/b x 60) =		
Beobachtete Takt-/Zykluszeit [sec]			



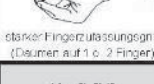
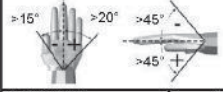




Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3																
Körperstellung / Rumpf- und Armhaltungen (pro Schicht)										Körperhaltung						
(inkl. Lasten <3 kg und Aktionskräfte von 30-40 N) Statische Körperhaltungen > 4 sec Hochfrequente Bewegungen: 2 Rumpfbeugungen oder 10 mal Arme heben >60° pro Minute										Bewertung statischer Körperhaltungen und/oder hochfrequenter Bewegungen des Rumpfes/der Arme $Dauer [sec/min] = \frac{Dauer\ Körperhaltung(en) \times 60}{Taktzeit}$		Asymmetrie				
												Rumpfdrehung 1) 	Rumpfneigung 1) 	Reichweite (RW) 2) 		
[%]	5	7,5	10	15	20	27	33	50	67	83	Höhe	Dauer	Höhe	Dauer	Höhe	Dauer
[sec/min]	3	4,5	6	9	12	16	20	30	40	50	0-5	0-3	0-5	0-3	0-5	0-2
[min/8h]	24	36	48	72	96	130	160	240	320	400	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer
Stehen (und Gehen)																
1		Stehen & Gehen im Wechsel, Stehen mit Abstützung	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1,5	2				
2		Stehen, keine Abstützung (für andere Einschränkungen s. Extrapunkte)	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13				
3		Nach vom gebeugt (20-60°) Mit geeigneter Abstützung	2	3	5	7	9,5	12	16	23	32	40				
4		Stark gebeugt >60° Mit geeigneter Abstützung	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63				
5		Aufrecht, Ellenbogen auf / über Schulterhöhe	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63				
6		Aufrecht, Hände über Kopfhöhe	5,3	8	14	19	26	33	47	60	80	100				
Sitzen																
7		Aufrecht mit Rückenstütze, ggf. leicht nach vorne/hinten geneigt	0	0	0	0	0	0,5	1	1,5	2					
8		Aufrecht ohne Rückenstütze (für Einschränkungen s. Extrapunkte)	0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5,5	7				
9		Nach vom gebeugt	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13				
10		Ellenbogen auf / über Schulterhöhe	2,7	4	7	10	13	16	23	30	40	50				
11		Hände über Kopfhöhe	4	6	10	14	20	25	35	45	60	75				
Knien oder Hocken																
12		Aufrecht	3,3	5	7	9	12	15	21	27	36	45				
13		Nach vom gebeugt	4	6	10	14	20	25	35	45	60	75				
14		Ellenbogen auf / über Schulterhöhe	6	9	16	23	33	43	62	80	108	135				
Liegen & Klettern																
15		(Liegen auf Rücken, Brust oder Seite) Arme über Kopf	6	9	15	21	29	37	53	68	91	113				
16		Klettern	6,7	10	22	33	50	66								
1)	Rumpf		Höhe				Reichweite (RW)				Σ		Σ	Σ	Σ	
	Dauer		Dauer				Dauer				(a)		(max.=15)	(max.=15)	(max.=10)	
	0		0				0									
	1		1				1									
	3		3				3									
	5		5				5									
	leicht <10°		leicht <10°				körp.nah						60%	80%	Arm gestreckt	
	mittel 15°		mittel 15°				6%						6%	15%	20%	
	stark 25°		stark 25°				15%						15%	20%		
	extrem >30°		extrem >30°				20%						20%			
	0		0				0									
	1,5		1,5				1									
	2,5		2,5				1,5									
	3		3				2									
	nie		nie				nie									
	4 sec		4 sec				4 sec									
	10 sec		10 sec				10 sec									
	13 sec		13 sec				13 sec									
	0%		0%				0%									
	6%		6%				6%									
	15%		15%				15%									
	20%		20%				20%									
Achtung: Max. Einstufungsdauer = Taktzeit bzw. Dauer der Tätigkeit oder 100%!												Achtung: Werte korrigieren, wenn Takt-Zykluszeit ≠ 60s				
Haltung = Σ Zeilen 1 - 16												(a)	+	(b)	=	

Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3

Aktionskräfte (pro Minute / Schicht)										Kräfte				
17		Fingerkräfte (z. B. Clipse, Stecker)	0	7	15	25	50	Kraftniveau x Dauer oder Häufigkeit	Σ					
			~1,6 F _{max}	~1/3 F _{max}	~1/2 F _{max}	~2/3 F _{max}	F _{max}							
			[sec]	0	1	1	1,5			2	3,5	7		
			[%]	0	1,5	2	2,5			3				
18		Arm-, Ganzkörperkräfte	0	7	15	25	50	Kraftniveau x Dauer oder Häufigkeit	Σ					
			~1,6 F _{max}	~1/3 F _{max}	~1/2 F _{max}	~2/3 F _{max}	F _{max}							
			[sec]	0	1	1	1,5			2	4	8,5		
			[%]	0	1,5	2	3			4,5	6,5	10		
			[n]	1-2	3	6	8	10	12					
F _{max} Arm-, Ganzkörperkräfte (gevohlrechtneutral) P15 für P15-Analysen, P40 für P40-Analysen			ST aufrecht		ST gebeugt		ST über Kopf		Fingerkräfte (gevohlrechtneutral)					
 median plane Daten aus: "Montage spezifischer Kartentaschen" (Wakab, Beig, Schaub, Gföckl, Ellgass 2009), so angepasst, dass geschlechtsspezifisch ist. Die Punkte hier können schrittweise/abschließend des Kalibrierprojekts ändern			P15		P40		P15		P40		A1 (Umfassunggriff, Zaungriff, 0/100%)			
			A		A		A		A		F _{max}			
			B		B		B		B		P15		P40	
			C		C		C		C		F _{max}			
			A		A		A		A		P15		P40	
			B		B		B		B		F _{max}			
			C		C		C		C		P15		P40	
			A		A		A		A		F _{max}			
			B		B		B		B		P15		P40	
			C		C		C		C		F _{max}			
			A		A		A		A		P15		P40	
			B		B		B		B		F _{max}			
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				
C		C		C		C		F _{max}						
A		A		A		A		P15		P40				
B		B		B		B		F _{max}						
C		C		C		C		P15		P40				
A		A		A		A		F _{max}						
B		B		B		B		P15		P40				



Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3																																									
Belastung der oberen Extremitäten bei repetitiven Tätigkeiten															Obere Extremitäten																										
Kraft, Häufigkeit & Greifbedingungen															Anzahl der realen Aktionen pro Min. bzw. Anteil stat. Aktionen (zu betrachten ist die am meisten belastete Extremität)																										
  															Kraft & Dauer Greifbedingungen Relativer Zeitanteil ((Kraft & Dauer) + (Griff x Zeitanteil))					Sehr lang (ca. 10 min), stat. Aktionen: >= 75% Lang (ca. 5 min), stat. Aktionen: 50% Einzel der Umfang stat. Aktionen: >= 25% Mittlerer Umfang statischer Aktionen: ~15% Geringer Umfang statischer Aktionen: < 10% Sehr geringer Umfang stat. Aktionen: < 5% Keine Greifbedingungen Mittlere Greifbedingungen Schlechte Greifbedingungen Armbewegungen setzen Lange Armbewegungen Regelmäßige kurze Unterbrechungen Keine oder nur sehr wenige Armbewegungen Kurze Unterbrechungen Relativ schnelle Armbewegungen, kurze Wartezeiten, unregelmäßige Unterbrechungen Schnelle Armbewegungen, gelegentliche und unregelmäßige kurze Pausen Sehr schnelle Armbewegungen, Wartezeiten an Unterbrechungen, schneller Start/Stop, keine Unterbrechungen Sehr hohe Frequenzen, absolute keine Unterbrechungen Nicht höherer Frequenzen					((Kraft & Frequenz) + Griff) Relativer Zeitanteil ((Kraft & Frequenz) + Griff) x Anteil																
Kraft [N]		Berechnung stat.			Statische reale Aktionen					Greifbeding.			Dynamische reale Aktionen					Berechn. dyn.																							
FFS	GS	%	FFGp	>=45	30	20	10	5	3	0	2	4	5	10	15	20	25	30	35	>=40	FFG	%	FFGp																		
0-5				1	1	0	0	0	0	abc				0	0	0	1	2	3	4	7																				
>5-20				4	2	1	1	0	0	ab	bc			0	0	1	2	3	4	6	9																				
>20-35				7	5	3	2	1	1	ab	b	c		0	1	2	3	4	6	8	12																				
>35-90				11	8	5	3	2	1	a	b	b		1	2	3	5	7	9	12	18																				
>90-135				16	11	7	4	3	2	a	ab	b		2	3	5	7	9	12	15	24																				
>135-225				21	14	10	6	4	3	a	a	b		4	5	6	8	11	14	20	32																				
>225-300				28	18	12	8	5	4	a	a	b		5	6	7	9	12	16	26	40																				
20a		FFGS = Σ FFGp			FFG = FFGS + FFGD					FFGD = Σ FFGp																															
Hand- / Unterarm- / Schultergelenkstellungen (Zeitanteil der stärksten Belastung von Hand-, Unterarm- oder Schulter)																																									
Handgelenk (Flex/Ext, Ul/Rad)						Ellbogen (Sup/Pron, Flex/Ext)						Schulter (Flex/Ext, Abduktion)																													
 >15° >20° >45° >45°						 >60° >60° >60°						 >20° >60°																													
Hand-/Armhaltungspunkte						10%						25%						33%						50%						65%						85%					
0						0,5						1						2						3						4											
Zusatzfaktoren																																									
20c Ungeeignete Handschuhe (welche die Handhabung beeinträchtigen) müssen für über die Hälfte der Zeit verwendet werden 2 <input type="checkbox"/> Arbeitsbewegungen implizieren Rückschläge mindestens 2 Mal pro Minute (z. B. Hämmern, Schlagen auf harter Oberfläche) 2 <input type="checkbox"/> Arbeitsbewegungen implizieren Rückschläge (Hand wird als Werkzeug benutzt), mindestens 10 Mal pro Stunde 2 <input type="checkbox"/> Arbeit bei Kälte oder Kühlung/Kühlströmen (unter 0° C), über die Hälfte der Zeit oder mehr 2 <input type="checkbox"/> Arbeit mit vibrierenden Werkzeugen, über ein Drittel der Zeit oder mehr 2 <input type="checkbox"/> Verwendung von stark vibrierenden Werkzeugen 4 <input type="checkbox"/> Die verwendeten Werkzeuge verursachen Kompressionen der Haut (Rötungen, Schwielen, Blasen etc.) 2 <input type="checkbox"/> Präzisionsaufgaben (Aufgaben mit einer räumlichen Genauigkeit von < 2-3 mm), über die Hälfte der Zeit oder mehr 2 <input type="checkbox"/> Zwei oder mehr Zusatzfaktoren treten gleichzeitig und über die ganze Zeit hinweg auf 3 <input type="checkbox"/> Zusatzpunkte (den höchsten auftretenden Wert wählen) = []																																									
Dauer der repetitiven Bewegungen																																									
20d Dauer [h/Schicht] + Zeitanteilsunkte [] Arbeitsorganisation + Organisationspunkte [] Pausen (≥ 8 min) [# / Schicht] + Pausenpunkte [] Dauerpunkte []																																									
Gesamtbewertung der Belastung der oberen Extremitäten bei repetitiven Tätigkeiten																																									
20 ((a)Fingerpunkte + (b) Hand-/Armhaltungspunkte + (c) Zusatzpunkte) X (d) Dauerpunkte = Obere Extremitäten																																									



