

Dissertation

Analyse und Bewertung der physischen Belastung und Beanspruchung des Oberkörpers bei repetitiven Montagetätigkeiten

Vom Fachbereich Maschinenbau an der Technischen
Universität Darmstadt zur Erlangung des
akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-
Ing.) angenommene

DISSERTATION

Vorgelegt von

M. Sc. Markus Jürgen Heidl
aus Offenbach am Main

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing Karsten Kluth

Tag der Einreichung: 13.02.2018

Tag der mündlichen Prüfung: 22.05.2018

Darmstadt 2018

D17

Heidl, Markus Jürgen: Analyse und Bewertung der physischen Belastung und Beanspruchung des Oberkörpers bei repetitiven Montagetätigkeiten

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt,

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUprints: 2018

URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-75501

Tag der mündlichen Prüfung: 22.05.2018

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/>

Disclaimer

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Robert Bosch GmbH.

In der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Schreibweise verwendet. Die Betrachtungen schließen weibliche Personen in gleichem Maße mit ein.

Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder für seine Unterstützung während der gesamten Doktorandenzeit. Vielen Dank für die hilfreichen Rückmeldungen, die stets zu Denkanstößen führten. Weiterhin danke ich für die Mühe, die es gekostet hat, mich an das wissenschaftliche Arbeiten heranzuführen sowie die Integration in das Institut für Arbeitswissenschaft, wo ich von Beginn an große Unterstützung fand.

Weiterhin bedanke ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Karsten Kluth für die Übernahme des Koreferats. Bei ihm, der sich zu seiner Doktorandenzeit selbst mit dem Thema der repetitiven Montagetätigkeiten auseinander gesetzt hat, fühlte ich mich in den besten Händen.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Svenja, die stets an mich glaubte, mich ermunterte und antrieb. Danke für den Rückhalt. Ebenso danke ich meiner Familie, die zwar stets behauptete, von meinem Thema nichts zu verstehen, dennoch aber keinen Zweifel daran hatte, dass ich zu einem erfolgreichen Abschluss kommen würde.

Einen ganz entscheidenden Anteil an der vorliegenden Arbeit hat mein Betreuer im Unternehmen, Dr. Alexandre Boespflug. Trotz vieler Aufgaben blieb immer Zeit übrig, um jeden Arbeitsschritt zu besprechen. Kein Detail wurde dabei ausgelassen und immer Potential für Verbesserungen gefunden. Danke für die vielen Rückmeldungen, durch die ich das Thema so viel tiefer durchdrungen habe.

Dr. Wakula und allen Kollegen vom Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt danke ich für die ehrliche Kritik, die freundliche Atmosphäre und das konstruktive Miteinander. Erst durch das wissenschaftliche Umfeld wurden die Begrifflichkeiten eindeutig und der rote Faden lückenlos. Danke, dass ich dazugehören durfte.

Ein abschließender Dank geht an die Robert Bosch GmbH für die Möglichkeit, eine Industriepromotion anzustreben. Ich danke meinen Vorgesetzten, die mir großes Vertrauen entgegenbrachten und mir viele Freiheiten gaben. Insbesondere danken möchte ich weiterhin meinen Kollegen Matthias Baar, Michael Simon, Gunter Saagberger, Thomas Schlund und Bernd Volz, die mir vor Ort ihre volle Unterstützung zuteil werden ließen. Schließlich wäre diese Dissertation und die darin enthaltene Untersuchung nicht ohne die bereitwillige Teilnahme der vielen Freiwilligen möglich gewesen. Allen anonymen Beteiligten ein großes Dankeschön!

Kurzzusammenfassung

Repetitive manuelle Montagetätigkeiten werden mit verschiedenen Belastungen assoziiert, so beispielsweise mit zu hohen Bewegungshäufigkeiten, zu hohen Gewichten und Kräften oder auch fordernde Greifbedingungen. In dieser Arbeit wurden ebensolche repetitive Tätigkeiten untersucht. Es wird schnell klar, dass die höchste Beanspruchung von der Körperhaltung und der Arbeitsorganisation ausgehen. Beschwerden der oberen Extremitäten sind weitaus seltener. Der Fokus bei der Auslegung und Bewertung solcher Arbeitsplätze muss folglich über die Betrachtung der oberen Extremitäten hinausgehen.

Für Bewertungen bzw. Risikoabschätzungen muss der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung klar sein. Kern dieser Arbeit ist es deshalb, Belastungsfaktoren von repetitiven Montagetätigkeiten zu identifizieren, die bestimmten Beschwerden zugeordnet werden können. Die Datengrundlage dafür bildeten Befragungen von 249 Mitarbeitern an 66 Arbeitsplätzen mit repetitiven Montagetätigkeiten. Auf dieser Basis kann sinnvoll beurteilt werden, welche Tätigkeiten ein Risiko darstellen, Beschwerden zu erleiden.

Schlagwörter: Repetition, repetitive Tätigkeiten, manuelle Arbeitsprozesse, Gefährdungsbeurteilung

Short cyclical work tasks occur with associated risks such as: overload through repetition, movement frequencies being too high, handling excessive weight or excessive forces. Therefore, such repetitive workplaces have been examined. 249 questionnaires showed that the highest perceived stresses lie mostly with posture during work and work organization. Pain in the upper extremities, which are used all the time, is less frequent. Therefore, the focus of assessment for such working tasks must be extended.

For evaluations respectively risk-assessments, the relationship between cause and effect has to be clear. The core of this work therefore is the identification of stress factors of repetitive assembly tasks that can be assigned to specific complaints. The data base consisted of surveys of 249 employees on 66 manual repetitive assembly tasks. On this basis, it can be reasonably judged which activities are a risk of suffering complaints.

Key words: repetition, repetitive tasks, manual operations, risk assessment

Les activités d'assemblage manuelles répétitives sont associées à des charges diverses, telles que les fréquences élevées de mouvement avec des poids et des forces élevés ou des conditions de préhension. Dans ce travail de telles activités répétitives ont été examinées. Avec l'analyse des questionnaires, il est devenu clair que la charge maximale des collaborateurs vient de la posture et de l'organisation du travail. Les plaintes au niveau des extrémités supérieures sont beaucoup plus rares. L'accent dans la conception et l'évaluation de ces tâches doit donc aller au-delà de l'examen des extrémités: il est nécessaire d'aller au-delà de l'analyse des extrémités supérieures lors de la conception et de l'évaluation de ces tâches.

Pour les évaluations des risques appelées, la relation entre la cause et l'effet doit être clair. Le noyau de ce travail est donc d'identifier les facteurs de stress de tâches d'assemblage répétitives lesquelles peuvent affectées certaines plaintes. La base de données pour la formation d'enquêtes auprès des 249 employés à 66 tâches d'assemblage répétitives. Sur cette base, on peut juger des activités utiles qui représentent un risque de souffrance de plaintes.

Mots clés: Répétition, tâches répétitives, travail manuel, évaluation des risques

Inhaltsverzeichnis

Disclaimer	ii
Erklärung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Danksagung	i
Kurzzusammenfassung	ii
Inhaltsverzeichnis	iv
Abkürzungsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	xi
1. Einleitung	1
1.1. Ausgangslage	1
1.2. Problemstellung und Motivation.....	2
1.3. Ziel der Arbeit	3
1.4. Untersuchungsansatz und Aufbau der Arbeit	3
2. Stand der Forschung und Technik	5
2.1. Belastungsbewertung repetitiver Montagetätigkeiten.....	5
2.1.1. Definition einer Tätigkeit	5
2.1.2. Definition der Repetitivität	6
2.1.3. Verfahren der Belastungsbewertung.....	10
2.2. Beanspruchung und Beschwerden bei repetitiven Montagetätigkeiten	15
2.2.1. Beanspruchung bei repetitiven Montagetätigkeiten.....	15
2.2.2. Methoden zur Erfassung von Beanspruchung	19
2.2.3. Beschwerden bei repetitiven Tätigkeiten	27
2.3. Der Zusammenhang von Belastungsbewertung und subjektivem Empfinden	29
2.3.1. Vergleich der Bewertungsergebnisse fünf gängiger Screening-Bewertungsverfahren	29
2.3.2. Vergleich fünf gängiger Screening-Bewertungsverfahren mit dem subjektiven Belastungsempfinden 31	
3. Entwicklung eines Konzepts zur Ermittlung von Risikofaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten	35
3.1. Definition der Forschungsfragen	35
3.2. Erstellung des Arbeitsmodells: Beantwortung der Forschungsfragen 1 und 2	38
3.2.1. Definition von Belastungsfaktoren (Forschungsfrage 1).....	41
3.2.2. Definition der zugehörigen Grenzwerte (Forschungsfrage 2)	43
3.2.3. Finalisierung des Arbeitsmodells	45
4. Empirische Studie zur Überprüfung des Arbeitsmodells.....	46
4.1. Auswahl von Methoden zur Ableitung der Belastung und Beanspruchung.....	46
4.1.1. Erhebung der Randparameter von Montagearbeitsplätzen.....	49
4.1.2. Erstellung des Fragebogens zur Erhebung der subjektiven Beanspruchung und Beschwerden der Montagemitarbeiter	49
4.1.3. Screening-Verfahren	56
4.2. Der Ablauf der Befragung.....	56

4.3.	Die Ergebnisse der empirischen Studie zur Überprüfung des Arbeitsmodells.....	57
4.3.1.	Voruntersuchungen bezüglich der Qualität der erhobenen Daten sowie der Unterschiede im Probandenkollektiv.....	57
4.3.2.	Identifikation der zu erwartenden Beschwerden	74
4.3.3.	Überprüfung der Hypothesen (Beantwortung der Forschungsfrage 3)	76
4.3.4.	Überprüfung der Hypothesen anhand der Untergruppen.....	82
5.	Darstellung und Vergleich der Belastungsbewertung repetitiver Montagetätigkeiten.....	90
5.1.	Vorstellung der verwendeten Screening-Methoden.....	90
5.1.1.	Der Strain Index.....	90
5.1.2.	Das Occupational Risk Assessment	91
5.1.3.	Das Ergonomic Assessment Worksheet.....	92
5.1.4.	Die Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse	93
5.1.5.	Die Hand Arm Risk-assessment Method.....	94
5.2.	Überprüfung der für die Bewertung repetitiver Tätigkeiten relevanten Merkmale.....	95
5.3.	Überprüfung der im Modell identifizierten Risikofaktoren.....	97
5.4.	Überblick und Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen (Beantwortung der Forschungsfrage 4)	100
6.	Diskussion	103
6.1.	Vergleich des Work Ability Index.....	104
6.2.	Vergleich des Beschwerde- und Schmerzempfindens	106
6.3.	Belastungsfaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten	108
6.4.	Identifikation von Verbesserungspotentialen für die Risikobewertung repetitiver Montagetätigkeiten 109	
7.	Fazit und Ausblick	110
8.	Zusammenfassung.....	112
9.	Literaturverzeichnis	114
10.	Anhang.....	135
10.1.	Lebens- und Bildungsgang.....	135
10.2.	Fragebogen	136
10.3.	Expertenrating	143
10.4.	Weitere Daten	144

Abkürzungsverzeichnis

AAWS	.....	Automotive Assembly Worksheet
AMSE	.....	Arbeitsbezogene Muskelskeletterkrankungen
BAuA	.....	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BGIA	.....	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
BWS	.....	Brustwirbelsäule
bzw.	.....	Beziehungsweise
cd	.....	Candela
cm	.....	Zentimeter
CTD	.....	Cumulative Trauma Disorders
CUELA	.....	Computer-unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems
dB	.....	Dezibel
df	.....	Freiheitsgrade
EA	.....	Elektromyographische Aktivität
EAWS	.....	Ergonomic Assessment Worksheet
EKG	.....	Elektrokardiogramm
EMG	.....	Elektromyographie
FCT	.....	Fundamental work cycle time
FEBA	.....	Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Belastung am Arbeitsplatz
g	.....	Gramm
ggf.	.....	Gegebenenfalls
h	.....	Höhe
HARM	.....	Hand Arm Risk Assessment Method
Hrsg.	.....	Herausgeber
HWS	.....	Halswirbelsäule
Hz	.....	Hertz, abgeleitete SI-Einheit für die Frequenz
IAD	.....	Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt
K	.....	Kelvin
kg	.....	Kilogramm
LMM MA	.....	Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse
LWS	.....	Lendenwirbelsäule
li	.....	Links
lx	.....	Lux
m	.....	Meter
MF	.....	Movement frequency
MRT	.....	Magnetresonanztomographie
MTM	.....	Methods-Time Measurement
MVC	.....	Maximal Voluntary Contraction
N	.....	Newton, SI-Einheit für die Kraft
NLD	.....	Neck and Upper Limb Disorders
NPW	.....	New Production Worksheet
Nr.	.....	Nummer

OCD	.....Occupational Cerviobrachial Disorders
OCRA	.....Occupational Risk Assessement
OEMG	.....Oberflächen-Elektromyographie
OOS	.....Occupational Overuse Syndrome
p	.....Wahrscheinlichkeit
Pa	.....Pascal
Q _{sd}	.....Quotient aus statischem und dynamischem Anteil der Muskelaktivität
r	.....Effektstärke
RA	.....Reale Aktionen
re	.....Rechts
RMI	.....Repetitive Motion Injury
RPE	.....Rating of Perceived Exertion
s	.....Sekunde
S.	.....Seite
SD	.....Standardabweichung
SI	.....Strain Index
TA	.....Technische Aktionen
u. a.	.....Unter anderem
vgl.	.....Vergleiche
WAI	.....Work Ability Index
WT	.....Werkstückträger
z. B.	.....Zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Störung bzw. Adaption von Strukturen und/oder Funktionen bei unterschiedlicher Beanspruchungsverteilung (Hartmann & Spallek, 2009)	20
Abbildung 2: Skala der Expertenratings	23
Abbildung 3: Das CUELA-Messsystem (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2013).....	24
Abbildung 4: Darstellung der subjektiven Beanspruchungsbewertungen für die verschiedenen Ergebnisbereiche der Verfahren EAWS 1.3.3 (oben links), OCRA CL (oben rechts), LMM MA (unten links), HARM (unten Mitte) und SI (unten rechts)	32
Abbildung 5: Der grundsätzliche Aufbau des Arbeitsmodells (nach dem einfachen Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert (1984c)).....	39
Abbildung 6: Die auf den Menschen wirkende physische Belastung repetitiver Montagetätigkeiten.....	40
Abbildung 7: Ausführliche Darstellung des Arbeitsmodells in Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept von Luczak (1975a), Rohmert (1984c) und Kirchner (1986b)	40
Abbildung 8: Der grundsätzliche Aufbau des Arbeitsmodells ergänzt um die Belastungsfaktoren.....	41
Abbildung 9: Das Arbeitsmodell in der Übersicht nach Bernard (1997), Nordander et al. (2016), Garcia et al. (2015) sowie Waters und Dick (2015)	43
Abbildung 10: Das finale Arbeitsmodell, *mindestens zwei der drei Faktoren	45
Abbildung 11: Detaillierte Darstellung der oberen Extremitäten für die Möglichkeit der Angabe der subjektiven Beschwerden in allen Bereichen	55
Abbildung 12: Verteilung der Zykluszeiten.....	58
Abbildung 13: Aufbau und Abstände des Arbeitsplatzes Nr. 19	60
Abbildung 14: Gesamtaufnahme des Arbeitsplatzes (links) und Nahaufnahme der Einlagefläche (rechts) des Arbeitsplatzes Nr. 19	61
Abbildung 15: Presse (links), Adapter (Mitte) und O-Ring-Maschine und Förderband des Arbeitsplatzes Nr. 19	61
Abbildung 16: Bewegungshäufigkeiten und Taktzeiten.....	62
Abbildung 17: Einfluss von Sport auf die körperliche Arbeitsfähigkeit (n = 81 (ja), n = 47 (früher), n = 111 (nein))	65

Abbildung 18: Einfluss von Sport auf die psychische Arbeitsfähigkeit (n = 81 (ja), n = 47 (früher), n = 111 (nein))	66
Abbildung 19: Einfluss der Einsatzdauer am Arbeitsplatz auf die körperliche Arbeitsfähigkeit (n = 40 (≤ 6 Monate), n = 40 (6 – 36 Monate), n = 92 (≥ 3 Jahre))	66
Abbildung 20: Einfluss der Einsatzdauer am Arbeitsplatz auf die psychische Arbeitsfähigkeit (n = 40 (≤ 6 Monate), n = 40 (6 – 36 Monate), n = 92 (≥ 3 Jahre))	67
Abbildung 21: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden aller 248 Probanden	67
Abbildung 22: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der männlichen (links) und weiblichen Probanden. Berücksichtigt wurden 79 (links) bzw. 125 (rechts) Fragebögen.....	68
Abbildung 23: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der jüngeren (links) und älteren (Grenze: 50 Jahre) Probanden. Berücksichtigt wurden 138 (links) bzw. 73 (rechts) Fragebögen.	69
Abbildung 24: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der Probanden mit unterschiedlicher Arbeitsplatzerfahrung. Links dargestellt ist das Beschwerde- und Schmerzempfinden der Probanden mit < 6 Monaten Arbeitsplatzerfahrung, in der Mitte mit 6 – 36 Monaten Arbeitsplatzerfahrung und rechts mit > 3 Jahren Arbeitsplatzerfahrung. N = 40 bzw. 90	70
Abbildung 25: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der Probanden, aufgeteilt nach sportlicher Betätigung der oberen Extremitäten. Links dargestellt sind die Probanden, die Sport treiben, in der Mitte diejenigen, die früher Sport trieben und rechts diejenigen, die keinen Sport der oberen Extremitäten ausüben. N = 79 bzw. 47 bzw. 111	70
Abbildung 26: Die Häufigkeit der vorkommenden Beschwerdewerte für den Nacken (links) und dem rechten Ellenbogen zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Verteilungen.....	79
Abbildung 27: Das überprüfte Arbeitsmodell für das Gesamtkollektiv (n = 249)	81
Abbildung 28: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach dem Geschlecht. Links die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des weiblichen Probandenkollektivs (n = 146), rechts die des männlichen Probandenkollektivs (n = 88).....	83
Abbildung 29: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach dem Alter. Links die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs < 50 Jahre (n = 151), rechts die des Probandenkollektivs > 50 Jahre (n = 92)	84
Abbildung 30: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach zusätzlicher sportlicher Betätigung. Oben links sind die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs, das früher Sport der oberen Extremitäten (OE) ausübte (n = 47), oben rechts das	

Probandenkollektiv, das keinen Sport der OE ausübt (n = 107) und unten das Probandenkollektiv, das Sport der OE ausübt (n = 79) dargestellt.....85

Abbildung 31: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach Einsatzdauer am Arbeitsplatz. Oben links sind die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs, das weniger als sechs Monate am Arbeitsplatz arbeitet (n = 26, keine vorhanden), oben rechts das Probandenkollektiv, das zwischen sechs Monaten und drei Jahren am Arbeitsplatz arbeitet (n = 59) und unten das Probandenkollektiv, das bereits länger als drei Jahre am Arbeitsplatz arbeitet (n = 148) dargestellt.....86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definitionen repetitiver Arbeit in der Literatur	7
Tabelle 2: Das 3-Zonen-Bewertungssystem nach DIN EN 614-1 (S. 20-21).....	14
Tabelle 3: Belastungen durch Montagetätigkeiten	17
Tabelle 4: Beanspruchte Körperteile durch Montagetätigkeiten.....	18
Tabelle 5: Vergleich der Bewertungsergebnisse der fünf gängigen Screening-Verfahren	30
Tabelle 6: Überblick der subjektiven Belastungsbewertungen aller aufgenommenen repetitiver Montagetätigkeiten.....	30
Tabelle 7: Belastungsfaktoren und zugehörige Grenzwerte repetitiver Tätigkeiten	44
Tabelle 8: Borgs RPE-Skala (links) und category-ratio-scale (nach Borg, 1982a); in Klammern die deutsche Übersetzung nach Tschopp (2001, S. 32)	52
Tabelle 9: Auszug aus dem FEBA (Slesina, 2009b).....	54
Tabelle 10: Teilegewichte und Kräfte des Arbeitsplatzes Nr. 19.....	61
Tabelle 11: Deskriptive Angaben zum Probandenkollektiv.....	64
Tabelle 12: Subjektive Einstufung ihrer körperlichen und psychischen Arbeitsfähigkeit (Anzahl der Nennungen in den Bereichen) der Probanden	64
Tabelle 13: Beispielhafter Arbeitsablauf	75
Tabelle 14: Zusammenfassung der mit Belastungsfaktoren identifizierten Arbeitsplätze	76
Tabelle 15: Signifikanzniveaus nach Fisher (1990)	77
Tabelle 16: Einteilung der Effektstärke nach Cohen (1992, 2013)	78
Tabelle 17: Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung.....	79
Tabelle 18: Ergebnisse des Welch two sample t-Tests.....	80
Tabelle 19: Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für das Gesamtkollektiv.....	81
Tabelle 20: Zusammenfassende Darstellung der Überprüfung des Arbeitsmodells.....	88
Tabelle 21: Bewertungstabelle des SI nach ISO 11228-3 (S. 67)	91
Tabelle 22: Checklistenwerte und zugehöriger OCRA-Index sowie Farbkodierung und Bewertung (Colombini et al., 2002)	92
Tabelle 23: Ampelschema von EAWS.....	93

Tabelle 24: Bewertungstabelle der LMM MA (BAuA, 2012, S. II).....	94
Tabelle 25: Bewertungstabelle der Methode HARM nach Kraker und Douwes (2009).....	95
Tabelle 26: Vergleich der berücksichtigten Merkmale in ausgewählten Screening-Bewertungsverfahren (Anpassung der Merkmaltabelle von Steinberg und Liebers et al. (2011, S.44)). Das Vorhandensein des jeweiligen Merkmals markiert ein „x“.....	97
Tabelle 27: Vergleich der berücksichtigten Belastungsfaktoren in den ausgewählten Screening-Bewertungsverfahren. Das Vorhandensein der Faktoren symbolisiert ein Häkchen, das Nichtvorhandensein ein „x“. Ist der Faktor in einem anderen inkludiert, ist das Häkchen in Klammern gesetzt.....	98
Tabelle 28: Vergleichswerte des Work Ability Index.....	105
Tabelle 29: Beschwerdewerte einzelner Körperbereiche unterschiedlicher Studien im Vergleich.....	107

1. Einleitung

Um die Einführung in das Thema der „Analyse und Bewertung der physischen Belastung und Beanspruchung des Oberkörpers bei repetitiven Montagetätigkeiten“ übersichtlicher zu gestalten, wird die Einleitung viergeteilt. Zunächst werden die Ausgangslage, die Problemstellung sowie die Motivation dargestellt, bevor in den Untersuchungsansatz und in den Aufbau der Arbeit eingeführt werden.

1.1. Ausgangslage

Durch große Fortschritte im Bereich der Automatisierung konnte in den letzten Jahren in der Produktion eine deutliche Steigerung der Produktivität und eine Senkung der Kosten erreicht werden. Wegen des hohen Zeit- und Kostenaufwands ist eine vollständige Automatisierung in einigen Bereichen aber nicht sinnvoll, dort überwiegen die Vorteile der manuellen Produktion, wie beispielsweise durch mehr Flexibilität in der Fertigung. Auch Ganschar et al. (2013, S. 46) sind davon überzeugt, dass der Mensch ein Schlüsselfaktor für die Produktion bleibt, weil die Automatisierung in der Flexibilität ihre Grenzen hat.

Durch die Optimierung der Arbeitsorganisation und der Ökonomie steigt im selben Umfang allerdings die Intensität der Arbeit an, die Produktion wird an den Takt der Produktionsmaschinen angepasst, wobei sich die Effekte der industriellen und kommerziellen Organisation kumulieren (Boisard et al., 2003). Hagberg et al. sprechen schon 1995 von einer „Epidemie“ in allen Industrienationen, weil die arbeitsbedingten Erkrankungen der oberen Extremität und der Wirbelsäule heutzutage so weit verbreitet sind. Die Erkrankungen bedeuten für die Arbeitnehmer Schmerzen, für die Arbeitgeber eine Beeinträchtigung der Wirtschaftlichkeit und auch für die Gesellschaft erhöhte Ausgaben für Sozialversicherungen (Takala, 2007), weshalb für die manuelle Produktion scharfe Richtlinien gelten. Ferner wird es für die Arbeitgeber immer schwieriger, qualifizierte Mitarbeiter zu finden. Den EU-Gesetzen zum Arbeitsschutz mit wichtigen Anforderungen an die Ergonomie und die Prävention von Schäden am Muskel-Skelettsystem wird also strikt Folge geleistet, weil zum einen unergonomische und psychosoziale Arbeitsbedingungen nicht attraktiv sind, zum anderen eine langfristige Planung mit der Belegschaft möglich sein soll. Die Tätigkeiten müssen also bis ins hohe Alter schädigungslos ausführbar sein, die Plätze „altersstabil“ (Klußmann, Mühlemeyer, Wendt & Dolfen, 2014) gestaltet werden. In dieser Hinsicht muss sich etwas ändern, sodass die so wichtigen Mitarbeiter nicht immer früher in Rente gehen (müssen) (Kotzab, 2015).

Gefragt ist demzufolge eine explizite, intensive ergonomische Bewertung der Arbeitsplätze, möglichst bereits in der Planungsphase, um Änderungskosten zu vermeiden. Bewertungsmethoden gibt es bereits einige. Viele davon wurden beispielsweise auch von Steinberg et al. (2011) theoretisch und allgemein miteinander verglichen. In diesen theoretischen Vorvergleichen weisen die einzelnen Belastungsbewertungsverfahren sogar eine hohe Konvergenzvalidität auf. Insbesondere wurde schon früh (Steinberg et al., 1998) festgestellt, dass die

verschiedenen Methoden im Bereich der mittleren Bedingungen eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse zeigen, erst bei extremer Ausprägung einzelner Merkmale weichen die Ergebnisse immer stärker voneinander ab.

1.2. Problemstellung und Motivation

Innerhalb der manuellen Montagetätigkeiten scheinen die repetitiven Tätigkeiten einen solchen Sonderfall mit extremer Ausprägung darzustellen. Silverstein, Fine und Armstrong (1986) schlagen vor, eine „hoch repetitive Tätigkeit“ dann anzunehmen, wenn ein Arbeitszyklus weniger als 30 Sekunden dauert. Diese Grenze taucht ebenso – als „Beurteilungsrichtwert“ – bei der Bewertung maschinenbezogener repetitiver Tätigkeiten in der Norm DIN EN 1005-5 (2007) auf. Studien (Bruder & Kaiser, 2012 und Heidl, 2013), in denen die Ergebnisse der Methoden anhand von realen, repetitiven Arbeitsplätzen miteinander verglichen werden, legen große Unterschiede in den Ergebnissen offen: Diese reichen so weit, dass ein und derselbe Platz von einer ersten Methode als unbedenklich, von einer zweiten mit zeitlicher Beschränkung und von einer dritten Methode als potentiell gesundheitsgefährdend eingestuft wird. Bisher gibt es zwischen den Methoden OCRA Index, OCRA CL, EAWS-OE, LMM MA, ART, SI und HARM für repetitive Tätigkeiten keine Übereinstimmung.

Obwohl Aufwärm- (Debitz, 2005), Trainings- und Lerneffekte (Joiko, Schmauder & Wolff, 2010) beobachtet werden, können die häufigen gleichartigen Bewegungen im Hand/Arm-Bereich zu einer Vielzahl von Beschwerden führen. Hartmann, Spallek und Ellegast (2013) nennen als Beispiele für Beschwerdebilder und Erkrankungen, die aus repetitiven Handlungen resultieren, etwa die Styloiditis, das Karpaltunnelsyndrom und Sehnenscheidenentzündungen. Den Arbeitgebern ist folglich sehr daran gelegen, dass die Belastung bei allen Montagetätigkeiten realitätsnah eingeschätzt werden kann. Es sei an dieser Stelle festgehalten, dass „intensives“ Arbeiten das Gegenteil von „nachhaltigem“ Arbeiten ist (Boisard et al., 2003, S. 69).

Da sich nun aber die verschiedenen Methoden in ihren Ergebnissen unterscheiden, weil sie für andere Tätigkeiten mit längeren Zykluszeiten ausgelegt wurden, scheint es angebracht, die Ergebnisse weiter zu hinterfragen. Erforscht werden muss zum einen, wo genau die durch die Arbeit hervorgerufenen Schmerzen auftreten und inwieweit sich die Beschwerden der Mitarbeiter auf die oberen Extremitäten beschränken. Zum anderen müssen die Zusammenhänge zwischen bestimmten Bewegungen oder Tätigkeiten und resultierenden Beschwerden aufgedeckt werden. Dafür bietet sich eine empirische Studie an, die das subjektive Empfinden mit den objektiv zu erfassenden Messdaten in Verbindung bringt. Es müssen Zusammenhänge zwischen Risikofaktoren und Beschwerden ermittelt werden.

Derzeit wird versucht, die als hoch angenommene Belastung durch repetitive Tätigkeiten durch Variation zu verringern. Das Konzept, genannt Job Rotation, sieht vor, dass nicht durchgängig an einem Arbeitsplatz gearbeitet, sondern in regelmäßigen Abständen gewechselt wird (Weise, 2016). Die aktuelle Forschung kann

allerdings nicht nachweisen, dass Job Rotation ein wirksames Mittel gegen muskuloskeletale Erkrankungen ist (Padula et al., 2017, S. 386). Eine höhere Anzahl geplanter Pausen sorgt hingegen nachweislich für weniger Muskelermüdung (Santos et al., 2016, S. 78). Letzteres spiegelt sich auch in den Belastungsbewertungsmethoden wider.

1.3. Ziel der Arbeit

Infolge der unklaren Ausgangslage ist das Ziel dieser Arbeit, die Bewertung und Einstufung repetitiver Montagetätigkeiten stärker mit den tatsächlich auftretenden Beschwerden zu korrelieren: dafür gilt es zunächst zu ergründen, welche Bewegungen bei repetitiven Tätigkeiten zu Beschwerden führen. Der Zusammenhang von Bewegungen – mit zugehörigen Grenzwerten, ab wann eine Bewegung bei dauernder Wiederholung zu einem Risiko wird – und Beschwerden ist die notwendige Ausgangslage, die bisher nicht ausreichend erfasst wurde.

Auf einer Basis, die mithilfe der Literatur geschaffen wird, gilt es dann festzustellen, welche Belastungen zu welchen Beanspruchungen führen und wie sich die Ausprägung von Beschwerden bei repetitiven Montagetätigkeiten gestaltet: welche Auswirkungen haben diese Belastungen und welche Beschwerden hängen mit welchen Bewegungen zusammen?

Erst wenn diese Fragestellungen zufriedenstellend beantwortet sind, kann eine Antwort auf die Frage gegeben werden, wie die Belastung sich aller Wahrscheinlichkeit nach auswirken wird. Erst durch diese Zusammenhänge kann eine Risikobewertung bei repetitiven Montagetätigkeiten Sinn ergeben. Das letzte Ziel dieser Arbeit ist infolgedessen eine Einschätzung, ob sich ein bereits vorhandenes Screening-Verfahren dafür eignet, eine Belastungsbewertung durchzuführen.

1.4. Untersuchungsansatz und Aufbau der Arbeit

Um eine Grundlage für eine sinnvolle Risikobewertung repetitiver Montagetätigkeiten zu schaffen, werden in dieser Arbeit Belastungsfaktoren identifiziert, die mit bestimmten Beschwerden korrelieren. Diese Zusammenhänge können dann dazu dienen, die Bewertungsgrundlage der Screening-Verfahren zu kalibrieren.

Dafür wird zunächst ein Überblick über den Stand der Technik gegeben, mit wichtigen Definitionen und dem Aufzeigen von Möglichkeiten, wie Belastung und Beanspruchung gemessen werden können. Vergleichswerte für die Belastungsfaktoren mit den zugehörigen Grenzwerten werden recherchiert, dann werden diese festgelegt und zum Arbeitsmodell zusammengeführt.

Darauf aufbauend wird ein Fragebogen entworfen, mit dem insgesamt 249 Mitarbeiter hinsichtlich ihres subjektiven Beanspruchungsempfindens sowie der Beschwerden und Schmerzen befragt werden. Die Ergebnisse der Befragung werden dann zur Überprüfung des Arbeitsmodells herangezogen.

Das validierte Modell ist der Kern dieser Arbeit und wird wiederum dafür verwendet, die bestehenden Screening-Verfahren auf ihre Eignung zur Bewertung von repetitiven Montagetätigkeiten zu untersuchen. Das langfristige Ziel dieses Ansatzes ist es, den in der Produktion arbeitenden Menschen weder zu über- noch zu unterfordern. Schließlich soll das beste Arbeitsergebnis – nach Menge und Güte – erreicht werden.

2. Stand der Forschung und Technik

Im Grundlagenteil dieser Arbeit wird auf den Stand der Wissenschaft und Technik eingegangen, worauf die weiteren Teile der Dissertation aufbauen. Zunächst wird erläutert, was Belastungsbewertung ist. In diesem Zusammenhang wird ebenso definiert, wann eine Tätigkeit als repetitiv einzustufen ist. Nachfolgend wird erläutert, wie der Zusammenhang von der Belastungsbewertung und dem subjektiven Empfinden erfasst werden kann. Zum Abschluss des zweiten Kapitels wird dieser Zusammenhang anhand von Literatur und einer eigenen Studie dargestellt.

2.1. Belastungsbewertung repetitiver Montagetätigkeiten

In diesem Kapitel wird die Frage beantwortet, um was es sich bei der Belastungsbewertung handelt. Vorher werden Abgrenzungen und Bestimmungen der Begriffe Tätigkeit und Repetitivität festgelegt, um sicherzustellen, dass beim Gebrauch dieser Begriffe von der gleichen Sache gesprochen wird. Um in den Aussagen Eindeutigkeit zu schaffen, wird im ersten Schritt der Stand der Forschung definiert, über welche Sachverhalte diese Arbeit handelt.

Anschließend werden sogenannte Screening-Verfahren vorgestellt, mit denen eine Belastungsbewertung von repetitiven Montagetätigkeiten vorgenommen werden kann.

2.1.1. Definition einer Tätigkeit

Bevor die Repetition für repetitive Tätigkeiten definiert werden kann, muss zunächst die Tätigkeit an sich definiert werden. Laut REFA (1993) ist eine Tätigkeit dadurch gekennzeichnet, dass der Mensch im Sinne der Erfüllung der Aufgabe des Arbeitssystems tätig ist. Diese Aufgabenerfüllung wird in drei Tätigkeitsarten untergliedert: die Haupttätigkeit, die Nebentätigkeit sowie die Zusatztätigkeit. Innerhalb der Haupttätigkeit wird die Arbeitsaufgabe planmäßig und unmittelbar erfüllt. Im Gegensatz dazu ist die Nebentätigkeit zwar ebenso planmäßig, dient der Arbeitsaufgabe aber nur mittelbar. Ein gutes Beispiel für eine Nebentätigkeit ist das Wechseln eines Teilebehälters. Zusatztätigkeiten schließlich umfassen Vorkommen oder Abläufe, die nicht planbar sind, wie das Bewältigen von Störungen oder Tätigkeiten ohne Auftrag. Im Sinne dieser Definition können folglich nur Haupttätigkeiten einen repetitiven Charakter aufweisen. Im Folgenden werden der Einfachheit halber alle Haupttätigkeiten als Tätigkeiten bezeichnet. Nebentätigkeiten werden in der Analyse nur erfasst, wenn sich besondere Belastungen ergeben, Zusatztätigkeiten werden aufgrund ihrer Nichtplanbarkeit nicht mit aufgenommen.

2.1.2. Definition der Repetitivität

Die weitverbreitetste Definition für repetitive Tätigkeiten stammt von Silverstein et al. (1986). Dort wurde festgeschrieben, dass Repetition dann einen Risikofaktor darstellt und als hoch repetitive Arbeit bezeichnet wird, wenn entweder die Zykluszeit kleiner als 30 Sekunden beträgt oder aber, wenn ein Zyklus zu mindestens 50 % der Zeit durch einen fundamentalen Arbeitszyklus ausgefüllt ist.

Anders ausgedrückt ist ein Zyklus dann repetitiv, wenn ein Arbeitszyklus wieder und wieder durchgeführt wird, was durch die sich immer wiederholenden, gleichförmigen Bewegungen zu Überlastungen von Muskeln und Sehnen führen kann. Zusätzlich verstärkt werden kann der Effekt durch Kraftanstrengungen oder extreme Gelenkstellungen. Häufig betroffen von Überlastungen durch Repetition sind die Bereiche der Schulter, der Ellenbogen und der Handgelenke (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung [DGUV], 2013, S. 7).

Repetitive Tätigkeiten entstehen vor allem dadurch, dass die Arbeitsteilung bis ins Extreme getrieben wurde. Die Aufgabenteilung kann dabei bis zu einem so hohen Grad fortgeführt werden, dass nur noch wenige, in der Regel sehr einfache Handgriffe ohne einen erkennbaren sinnvollen Zusammenhang auszuführen sind, was sich zum einen für die Mitarbeiter als dequalifizierend als auch durch eine hohe Monotonie manifestiert. Weiterhin ist die Steuerung der Werker stark von den produktionstechnischen Anlagen vorgegeben und damit hochgradig fremdbestimmt, hinzu kommen Zeitzwänge, um im Takt zu bleiben (Bartsch, 2009).

Endgültige Einigkeit darüber, wann eine Tätigkeit als repetitiv gilt, herrscht noch nicht. In Tabelle 1 werden einige der bisher getroffenen Definitionen aufgelistet und gegenübergestellt. Diese Literaturzusammenfassung basiert auf wissenschaftlicher Literatur der Themenfelder Ergonomie, Arbeitsmedizin, Arbeitswissenschaft und Physiologie. Die Reihenfolge der aufgeführten Quellen ist alphabetisch und nicht als Wertung zu verstehen.

Tabelle 1: Definitionen repetitiver Arbeit in der Literatur

Autor	Zyklusdauer
Bartsch (2009)	Repetieren/Repetition = Wiederholen. Im arbeitswissenschaftlichen Kontext versteht man darunter vor allem: von Menschen auszuführende Arbeitstätigkeiten mit einem relativ hohen Wiederholungsgrad.
Colombini, Occhipinti und Fanti (2005)	Fundamental work cycle time (FCT) < 8 s: high stereotypy FCT 8 - 15 s: low stereotypy > 15 s: no stereotypy effect
DIN EN 1005-5	Eine Aufgabe, bei der eine Person kontinuierlich denselben Arbeitszyklus, die gleichen Teiltätigkeiten und Bewegungen ausführt
Hansson, Balogh, Ohlsson, Rylander und Skerfving (1996)	High repetitiveness: FCT < 2 s Moderately high repetitiveness: 2 s ≤ FCT ≤ 5 s Moderately low repetitiveness: 5 s < FCT ≤ 10 Low repetitiveness: FCT > 10 s
Hartmann et al. (2013, S. 133-134)	Repetitive Belastungen im Hand-Arm-Bereich sind gekennzeichnet durch Tätigkeiten, in denen ähnliche Arbeitszyklen mit besonders häufigen gleichartigen Bewegungen, ggf. mit Kraftaufwendungen, die Belastungen bestimmen. Sie können zu Gesundheitsrisiken führen, wenn sie dauerhaft ohne wirksame Pausen durchgeführt werden
Huppés (1992)	Sehr kurzzyklisch: FCT < 30 s
ISO 11228-3	Repeated cycles of the same work task(s) (Cycle: A sequence of similar repeated movements or actions used to perform a work task(s))
Kanawaty (1992)	<i>Indirect definition:</i> work cycles shorter than 0,17 minutes [10,2 s] are considered to induce muscular fatigue and therefore require a certain rest allowance, which increases in duration as the duration of the work cycle diminishes.
Kilbom (1994a)	Duration of the work cycle is less than 30 seconds, or when one fundamental work cycle constitutes more than 50 % of the total cycle, independent of its length. Additionally, it is assumed that the repetitive work must be performed

Autor	Zyklusdauer
	continuously for a minimum of 60 minutes in order to be considered repetitive.
Kilbom (1994b)	High repetitiveness: <ul style="list-style-type: none"> • Shoulder movement frequency > 2,5 motions/min • Upper arm, elbow, forearm, wrist movement frequency > 10 motions/min • Finger movement frequency (MF) > 200 motions/min
Konz (1990)	Fundamentaler Arbeitszyklus < 30 s
Kuhlang et al. (2015)	Zyklusdauer < 30 s Hohes Beschwerderisiko ab 20 realen Aktionen pro Minute
Kuorinka und Koskinen (1979)	2 bis 9 s kurzzyklisch 7 bis 26 s langzyklisch
Latko et al. (1999)	Repetition is defined in terms of hand activity, or how busy the hands are during the work cycle. Ratings of repetition take into account two factors: 1) amount of recovery time within the cycle, and 2) how fast the hands are moving (scale) Scale of 0 (no stress) to 10 (most possible stress) 0: hands idle most of the time; no regular exertions 2: consistent, conspicuous, long pauses OR very slow motions 4: slow steady motion/exertions; frequent brief pauses 6: steady motion/exertion; infrequent pauses 8: rapid steady motion/exertion; no regular pauses 10: rapid steady motion/exertion; difficulty keeping up each hand is rated independently by several observers, their average value is classified into three possibilities. 0 - 3,3: low repetitiveness; 3,3 - 6,6: medium repetitiveness; 6,6 - 10: high repetitiveness
Li und Buckle (1998)	Repetitiveness dependent on the number of motions at the wrist High repetitiveness: > 20 motions/minute Moderate repetitiveness: 10 < motions/min ≤ 20 Low repetitiveness: motions/min ≤ 10

Autor	Zyklusdauer
Luczak (1983b)	Element < 4 s und < 1/7 der Muskelmasse aktiv (Einseitig dynamische Muskelarbeit)
Macmillan Dictionary (2016)	Repetition: something that happens in the same way as an earlier event Repetitive: involving repeating the same action over long periods of time
McAtamney und Corlett (1993)	High repetitiveness: forearm/elbow/arm/shoulder MF \geq 4 motions/min Low repetitiveness: forearm/elbow/arm/shoulder MF < 4 motions/min
Rodgers (2004)	< 30 s: Hoch repetitiv < 2 min \geq eine Arbeitsschicht: Repetitiv
Schmidtke und Jastrzebska-Fraczek (2013, S. 659)	Eine Arbeitsform, in der gleichartige und wenig anregende Tätigkeiten über einen längeren Zeitraum auszuführen sind
Silverstein et al. (1986)	Zykluszeit < 30 s oder mindestens 50 % der Zeit durch einen fundamentalen Arbeitszyklus ausgefüllt
Sluiter, Rest und Frings-Dresen (2001)	High repetitiveness: > 2 ... 4/min, cycle duration < 30 s
Wirtschaftslexikon.co (2013)	Allgemeine Bezeichnung der Arbeitssoziologie für Arbeitstätigkeiten bzw. Arbeitsplätze in der industriellen Produktion, die durch einfache Tätigkeiten, die einen kleinen, genau abgegrenzten Teilprozess des Produktionsganges betreffen, durch ständige Wiederholung in kurzen Zeitabständen und durch starke Bestimmung aller Arbeitshandlungen und -bewegungen des Arbeiters durch die Maschinen gekennzeichnet sind. Für typisch wird meist die Arbeit an Fließbändern genommen; repetitive Arbeit tritt aber auch an anderen Arbeitsplätzen auf.
You und Kwon (2005)	The extent of use of similar motions at work

Aus den in Tabelle 1 getroffenen Konventionen wird für diese Arbeit das folgende Kriterium abgeleitet: Es zeigt sich, dass allein die Zykluszeit nicht ausreicht, um Tätigkeiten in ihrer Repetition zu klassifizieren. Außerdem sind unter anderem besonders die Faktoren der Bewegungshäufigkeit, der Griffbedingungen und der Kraft beteiligt. Um allerdings zunächst die Auswahl der zu beurteilenden Plätze in den Werken zu vereinfachen und unter der Annahme, dass eine hohe Bewegungsfrequenz mit kurzen Taktzeiten korreliert, wird als Kriterium, ob ein Arbeitsplatz für den Vergleich aufgenommen wird und somit als repetitiv gilt, die Zykluszeit von 30 Sekunden

der von Silverstein et al. (1986) getroffenen Konvention übernommen. Diese rein zeitliche Definition wird dann um folgende Bewegungsfrequenzen ergänzt:

Als repetitiv gelten Montagetätigkeiten am Arbeitsplatz in dieser Dissertation, wenn die Zykluszeit weniger als 30 Sekunden beträgt (vgl. Silverstein et al., 1986; Huppel, 1992; Kilbom, 1994a und Rodgers, 2004). Weiterhin gelten Tätigkeiten ebenso als repetitiv, wenn bestimmte Körperbereiche der oberen Extremitäten mehr als einen Grenzwert an Bewegungen pro Minute ausführen. Für die Schulter (Flexion oder Abduktion > 60 Grad) liegt dieser Wert bei 2,5 Bewegungen pro Minute, für die Arme, die Ellbogen sowie die Handgelenke bei 10 Bewegungen (reale Aktionen) pro Minute (vgl. Kilbom, 1994b).

2.1.3. Verfahren der Belastungsbewertung

Bei der Analyse von Arbeitssystemen lassen sich vier Kategorien unterscheiden: Beobachtung, Befragung, physiologische Messtechnik sowie physikalische und chemische Messverfahren. Die arbeitswissenschaftlichen Methoden zur Arbeitsplatzbewertung beinhalten oder kombinieren meist mehrere Erhebungsmethoden (Schlick et al., 2010, S. 51) und geben als Ergebnis eine Einschätzung zur Höhe der Belastung.

Insbesondere in der Praxis eignen sich sogenannte Belastungsbewertungsmethoden, um mithilfe von Checklisten oder Katalogen die Arbeitsbelastung schnell einstufen zu können. In diesem Kapitel wird eine genauere Vorstellung von Screening-Bewertungsmethoden im Allgemeinen und für repetitive Montagetätigkeiten im Speziellen gegeben.

Dafür werden zunächst Hintergründe sowie das 3-Zonen-Bewertungssystem eingeführt, bevor dann fünf Screening-Verfahren erläutert werden, die sich für die Analyse repetitiver Montagetätigkeiten eignen.

Hintergründe der Belastungsbewertung

Im fünften Paragraphen des Arbeitsschutzgesetzes (vollständige Bezeichnung: Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit) (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 1996, letzte Fassung vom 07.09.2015) wird der Arbeitgeber dazu verpflichtet, durch eine Gefährdungsbeurteilung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Dafür gibt es beispielsweise sogenannte Screening-Verfahren, die als Ergebnis Punktwerte zurückgeben, mit denen quantitativ abgeschätzt wird, wie hoch die Gefährdung am analysierten Arbeitsplatz ist. Unterteilt wird in drei Bereiche (grün, gelb und rot), die im folgenden Kapitel (2.4.2) genauer vorgestellt werden.

Die Präventionspflichten für Arbeitgeber gehen schon einige Jahre zurück. Bereits 1998 wurde von Bergamasco, Girola und Colombini die Einführung von präventiven Maßnahmen diskutiert, um durch repetitive Tätigkeiten

auftretende arbeitsbedingte Muskelskeletterkrankungen zu minimieren. Im Jahr 2000 entstand das erste „Consensus Document“, in dem Definitionen, Kriterien und nützliche Verfahren aufgelistet werden, um Arbeitsanforderungen zu bewerten (Colombini et al., 2001). Diese Arbeit wurde konsequent fortgesetzt, sodass es heute in vielen Ländern gesetzliche Bestimmungen gibt. In Deutschland machen es das Arbeitsschutzgesetz oder auch das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz für den Arbeitgeber erforderlich, dass schnell einsetzbare und robuste Verfahren zur ergonomischen Gefährdungs- und Risikoanalyse angewandt werden. Bei diesen Analysen geht es um eine umfassende Einschätzung, wie hoch die Wahrscheinlichkeit und die Höhe des Schweregrades möglicher Verletzungen oder Gesundheitsschädigungen ausfallen können, um auf dieser Grundlage Sicherheitsmaßnahmen ergreifen zu können. Mithilfe der praxisorientierten Belastungsbewertungsverfahren, auch „Screening-Verfahren“ genannt, sollen die Belastung, Ermüdung und körperliche sowie psychische Fehlbeanspruchung des Personals auf das mögliche Mindestmaß reduziert werden (Schlick et al., 2010, S. 1130–1134).

Es existieren viele verschiedene Belastungsbewertungsmethoden. Die Schwierigkeit besteht darin, die für den Anwendungsfall passende Methode auszuwählen. Erste Veröffentlichungen für die Analyse repetitiver Arbeitstätigkeiten tauchen schon Ende der 1980er Jahre auf (Drury, 1987 und Putz-Anderson, 1988). Kern der Methoden ist es, die Hauptrisikofaktoren (Repetitivität, Kraft, Haltungen/Bewegungen und fehlende Erholzeiten (Colombini et al., 2001)) zu identifizieren und zu bewerten.

Wie bereits in der Einleitung diskutiert, gibt es für Screening-Verfahren allerdings keinen „goldenen Standard“ (Takala et al., 2010), sodass Grenz- und Punktwerte unterschiedlich festgelegt wurden. Als Resultat existieren vielfältige Methoden, die die Belastung bei der Arbeit einschätzen, um das Risiko zu ermitteln, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, arbeitsbedingt zu erkranken. Die Ergebnisse der Methoden weichen in der Folge teils stark voneinander ab. Viele dieser Belastungsbewertungsmethoden wurden von Steinberg und Liebers et al. (2011) theoretisch und allgemein miteinander verglichen. In diesen theoretischen Vorvergleichen weisen die einzelnen Screening-Verfahren sogar eine hohe Konvergenzvalidität auf. Insbesondere wurde schon früh (Steinberg et al., 1998) festgestellt, dass die verschiedenen Methoden im Bereich der mittleren Bedingungen gute Übereinstimmung der Ergebnisse zeigen, erst bei extremer Ausprägung einzelner Merkmale weichen die Ergebnisse immer stärker voneinander ab, obwohl angestrebt wird, dass beispielsweise OCRA und EAWS (siehe Kapitel 5.1.2 und 5.1.3) gleiche Arbeitssituationen auch gleich bewerten (vgl. beispielsweise Lavatelli et al., 2012).

An dem Missstand, dass es an einer allgemein anerkannten „ergonomischen Messlatte“, an der man ergonomische Verbesserungen oder Gestaltungszustände qualitativ messen und mit anderen vergleichen kann, fehlt, wird seit Jahren geforscht. Das NPW sollte beispielsweise Abhilfe schaffen. Dafür wurden an 258 Stationen einer Montagelinie die zu diesem Zeitpunkt anerkannten arbeitswissenschaftlichen Verfahren mit dem

subjektiven Beschwerdeempfinden und ergänzenden Expertenratings verglichen (Schaub & Landau, 2004, S. 56). Bis heute existiert eine ähnliche Studie für den Sonderfall der repetitiven Tätigkeiten nicht.

Steinberg et al. (2011) weisen auf das „Grundproblem“ hin, dass zum einen mehrere klinisch differenzierte Beschwerden des Hand-Arm-Schulter-Bereichs zusammengefasst bewertet werden und zum anderen davon ausgegangen wird, dass eine Korrelation zwischen dem Auftreten von arbeitsbedingten Beschwerden und der Belastungssituation bestehe, obwohl eine direkte Kausalität nur bei hohen Belastungen nachweisbar sei, und diese nur in wenigen Fällen vorhanden ist. Ferner ist bei der Belastungsbewertung zu beachten, dass die Einschätzungen immer für den normierten Fall einer acht Stunden Schicht gelten. Wird zwischen Tätigkeiten gewechselt, ist die Belastung wahrscheinlich geringer (Colombini & Occhipinti, 2012) und muss für eine Einschätzung des personenspezifischen Belastungswerts aus den Einzelwerten zusammengesetzt werden.

Im Rahmen einer Voruntersuchung (Heidl, 2013), in der 30 repetitive Arbeitsplätze mit neun verschiedenen Screening-Bewertungsverfahren bewertet wurden, konnte festgestellt werden, dass sich die Verfahren Occupational Risk Assessment (OCRA), European Assessment Worksheet (EAWS), Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (LMM MA), Strain Index (SI) und Hand Arm Risk Assessment Method (HARM) (siehe Kapitel 5.1) am ehesten dazu eignen, den Extremfall der repetitiven Tätigkeiten realitätsnah einzustufen. In Kapitel 2.3 werden diese fünf Screening-Verfahren miteinander sowie mit dem subjektiven Beanspruchungsempfinden verglichen.

Schema zur Belastungsbewertung

Die Arbeitssituation an sich ist weder gut noch schlecht, erst die physischen und psychischen Reaktionen, die beim Menschen hervorgerufen werden, führen zu einer Bewertung und Beurteilung. Durch die beim Menschen hervorgerufenen physischen und psychischen Reaktionen wird die durch die Arbeitssituation entstehende Belastung erst durch die korrespondierende Beanspruchung (vgl. Kapitel 2.2.1) der Arbeitsperson bewertet (Schlick et al., 2010, S. 63).

Das grundsätzliche Schema zur Tätigkeitsbeurteilung geht auf Kirchner (1972a) zurück und wurde ebenso von Rohmert (1972b) behandelt. Es beinhaltet vier Bewertungsebenen: die Ausführbarkeit, die Erträglichkeit, die Zumutbarkeit sowie die Zufriedenheit.

Die Ausführbarkeit beschreibt in dieser Definition die physische Möglichkeit, eine Tätigkeit ausführen zu können. Eine Schraube ohne Schraubendreher fest anzuziehen ist beispielsweise nicht ausführbar, auch ein Gewicht von mehreren hundert Kilo mit Muskelkraft zu heben, fällt als physische Unmöglichkeit in diese Kategorie.

Die Erträglichkeit betrachtet im Gegensatz dazu nicht die kurzfristige Ausführbarkeit sondern betrachtet die langfristigen Folgen. Überkopfarbeit ist beispielsweise kurzfristig ausführbar, durchgängig über einen 8-h-Arbeitstag aber nicht erträglich.

Die Zumutbarkeit in der nächsten Ebene des Schemas beschäftigt sich mit den kulturellen Hintergründen. Manche Tätigkeiten können in einer Kultur als normal gelten, in anderen aber unzumutbar erscheinen. Ein Beispiel für die Zumutbarkeit der Arbeit ist die Arbeitszeitdiskussion mit z. B. der Wochenend- oder Schichtarbeit (häufig wechselnde Arbeitszeiten, Umstellung des Biorhythmus, Überschneidungen mit regelmäßigen, sozialen Terminen).

Die Zufriedenheit schließlich betrachtet die psychologische Ebene der einzelnen Arbeitsperson. So kann eine Tätigkeit zwar ausführbar, erträglich und zumutbar sein, den Ausführenden aber frustrieren, wodurch seine Produktivität zunehmend eingeschränkt würde.

Weil die Ausführbarkeit Voraussetzung ist und die Arbeitszufriedenheit „kein brauchbares Kriterium für die Bewertung von Arbeit darstellt“ (unter anderen Ulich (2011)), wurde das Schema folglich über die Jahre von Luczak, Volpert, Raeithel und Schwier (1987) sowie Hacker (2014) weiterentwickelt, sodass das System ebenso in ausführbar, schädigungslos, beeinträchtigungsfrei und persönlichkeitsförderlich gegliedert werden kann.

Durch die Belastungsbewertung und die daraus abgeleiteten Schlüsse soll die Erträglichkeit gewährleistet werden. Indirekt wird dadurch auch auf die Zumutbarkeit eingegangen (Rohmert & Landau, 1979, S. 47), wodurch der Rahmen der naturwissenschaftlichen Betrachtung verlassen wird, weil ebenso soziale Aspekte mit einbezogen werden (Schlick et al., 2010, S. 64).

Das 3-Zonen-Bewertungssystem

Bewertet wird anhand des in der Norm DIN EN 614-1 (S. 20) beschriebenen 3-Zonen-Bewertungssystems – auch Ampelschema genannt – ein Modell, mit welchem die Risikobewertung strukturierter sein soll. Mit diesem System können ergonomische Risiken klassifiziert werden, um anschließend geeignete Maßnahmen abzuleiten. Dargestellt ist das System in Tabelle 2. Die Bewertung begründet sich mit der Tatsache, dass ergonomische Gefährdungen oft mehrdeutig sind, weil sie durch viele individuelle Voraussetzungen (wie z. B. Eigenschaften oder Fähigkeiten des Personals) beeinflusst werden und nur äußerst selten mit nur einem dieser Faktoren in Zusammenhang stehen. Diese Komplexität verhindert meist eine klare Ja-Nein-Entscheidung.

Beachtet werden muss dabei, dass einige der ergonomischen Anforderungen nicht als messbare Einheiten oder konkrete Maßnahmen angegeben werden können. Angewendet werden sollte das Modell hauptsächlich auf die physischen Aspekte der Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine.

Tabelle 2: Das 3-Zonen-Bewertungssystem nach DIN EN 614-1 (S. 20-21)

Zone	Bezeichnung	Kennzeichnung durch	Verwendung
1	Grüne Zone	<ul style="list-style-type: none"> • Sichere Konstruktion • Sicherer Betrieb • Ergonomische Grundsätze sind erfüllt: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei häufig genutzten Aufgaben ▪ Bei länger andauernden Aufgaben ▪ Mit Komfort (Wohlbefinden) 	Bei Aufgaben, die für einen sicheren Betrieb der Maschine erforderlich sind, um die Gesundheit und das Wohlbefinden des Bedienungspersonals sicherzustellen.
2	Gelbe Zone	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomische Grundsätze sind erfüllt: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei Aufgaben mit zeitlich begrenzter Nutzung ▪ Bei Aufgaben von kurzer Dauer 	Für sonstige Aufgaben
3	Rote Zone	<ul style="list-style-type: none"> • Ergonomische Grundsätze sind nicht erfüllt • Bedingungen, die zu einem unsicheren Betrieb führen können 	Für äußerst selten durchzuführende Aufgaben

Die Übergänge dieser Zonen sind bei der Bewertung durch Belastungsbewertungsmethoden fließend. So wird beispielsweise in der Einstufungshilfe des European Assembly Work-Sheets betont, dass es weder physiologisch notwendig, noch wirtschaftlich angemessen sei, diese Grenzen als Dogmen anzusetzen (IAD, 2009, S. 8). Geschützt würden vor allem physisch gering belastbare Beschäftigte, sodass sich die Grenzen für höher belastbare Beschäftigte durchaus verschieben ließen. Die Auswahl „geeigneter“ Mitarbeiter, die die betreffenden Tätigkeiten noch risikoarm ausführen können, während „normale“ Mitarbeiter bereits einem Risiko ausgesetzt sind, kann aber aufgrund des Arbeiterschutzgesetzes problematisch sein.

2.2. Beanspruchung und Beschwerden bei repetitiven Montagetätigkeiten

Das zweite Unterkapitel des Stands der Forschung beantwortet die Frage, wie der Zusammenhang von Belastungsbewertung und subjektivem Empfinden erfasst werden kann. Dafür wird zunächst die Beanspruchung definiert, dann auf deren Erfassung eingegangen und schließlich zu Beschwerden übergeleitet.

2.2.1. Beanspruchung bei repetitiven Montagetätigkeiten

Hinweise darauf, dass die Begriffe Belastung und Beanspruchung in der Arbeitsphysiologie unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen bekommen, finden sich erstmalig bei Lehmann (1953). 18 Jahre später liefern Valentin et al. (1971) eine erste gegenüberstellende Definition. Mittlerweile ist das Begriffspaar laut Norm wie folgt definiert:

So ist die Belastung die „Gesamtheit aller erfassbarer Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und auf ihn einwirken“ (DIN EN ISO 10075-1). Zu beachten ist die Neutralität dieser Definition, die Wirkung bleibt offen. Diese spielt erst bei der Beanspruchung eine Rolle, so kann beispielsweise Lesen entspannend oder auch belastend wirken. Geht es um die Erfassung des subjektiven Empfindens, wird folglich die Beanspruchung versucht zu quantifizieren.

Die Beanspruchung ist die „unmittelbare (nicht langfristige) Auswirkung der Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien“ (DIN EN ISO 10075-1). Die Beanspruchung ist also die Gesamtheit der individuellen psychophysiologischen Reaktionen auf einwirkende Belastungen.

Aus diesen Definitionen entwickelte sich schließlich das sogenannte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Rohmert, 1984c), welches die Wechselwirkungen der Begriffe darstellt und mit dem schließlich ein theoretischer Ansatz zur Verfügung steht, mit welchem die Auswirkungen der Arbeit in einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang gestellt werden kann. Es wird gezeigt, dass die Beanspruchung von der Belastung abhängt. Sind die Eigenschaften des Menschen konstant, führt eine Veränderung der Belastung zu einer Veränderung der Beanspruchung. Gleichzeitig beeinflussen ebenso die Eigenschaften die Beanspruchung. So sind verschiedene Menschen bei gleicher Belastung auch verschieden beansprucht. Dieses Modell ist Bestandteil aller Grundlagenwerke, weshalb an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen wird.

Wichtig zu erwähnen bleibt aber, dass dieses erste, einfache Modell eine reine Ursache-Wirkungs-Beziehung darstellt. Unberücksichtigt bleibt beispielsweise, dass sich menschliche Eigenschaften (wie z. B. die Muskelkraft) durch Belastung verändern können. So kann Belastung beispielsweise zu Ermüdung führen. Diese wiederum kann reversibel sein und wiederum, etwa durch Trainingseffekte, dazu führen, dass sich die Ausführung der Tätigkeit und dadurch die Belastung ändert. Aufgrund solcher Überlegungen wurde das Belastungs-

Beanspruchungs-Konzept erweitert: Beanspruchungen können kumulativ wirken oder auch kompensiert werden. So kann erklärt werden, dass Menschen unterschiedlich beansprucht sind, da die jeweilige aktive Handlung angepasst wird. Wenn die aktive Handlung nicht beeinflusst werden kann, die Beanspruchung aber konstant hoch ist, kann Schaden entstehen. Dieser mögliche Schaden in Form von Beschwerden ist großer Bestandteil dieser Arbeit.

Während Belastungen meist einfach zu erfassen sind, sind Beanspruchungen nicht direkt messbar. Es können lediglich physikalische Größen am Menschen gemessen und diese in Relation zu den Beanspruchungen gesetzt werden. Die Wirkungen auf den Menschen werden dadurch abgeschätzt (Strasser, 2007a). Ferner fließt auch die mentale Beanspruchung in die Messung mit ein. Bei vorwiegend körperlicher Arbeit scheint die Herzfrequenz ein geeigneter Beobachtungswert zu sein.

In Tabelle 3 wird versucht, einen vollständigen Überblick über die Belastungen durch Montagetätigkeiten zu geben. Das Ziel ist dabei stets, die physiologischen Kosten zu minimieren, um in der Folge Beschwerden zu vermeiden.

Tabelle 3: Belastungen durch Montagetätigkeiten

Belastung	Physikalische Messgröße
Lärm	<ul style="list-style-type: none"> • Schalldruckpegel [dB]
Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur [K] • Relative Feuchte [%] • Luftgeschwindigkeit [m/s] • Luftdruck [hPa]
Beleuchtung (Helligkeit, Kontrast; auch Akkomodation, Adaption, Fixation)	<ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtungsstärke [lx] • Leuchtdichte [cd/m²] • Reflexion [cd/m²/lx] • Sehabstand [cm]
Schwingung	<ul style="list-style-type: none"> • Frequenz [Hz]
Gewicht	<ul style="list-style-type: none"> • Masse [kg]
Kraft	<ul style="list-style-type: none"> • Gewichtskraft [N]
Präzision	<ul style="list-style-type: none"> • Genauigkeit [mm]
Frequenz, mit Verteilung	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Bewegungen pro Zeit [n/t]
Pausen	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl und Dauer [n, min]
Rotation	<ul style="list-style-type: none"> • Häufigkeit [n]
Organisation	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtmodell
Arbeitsablauf, Reihenfolge	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplan

Im nächsten Schritt fasst Tabelle 4 die Körperteile bzw. –regionen zusammen, welche bei Montagetätigkeiten beansprucht werden (können) und zeigt weiterhin auf, mit welchen Messmethoden die Beanspruchungen in Relation gesetzt werden können. Nicht alle möglichen Messmethoden sind in der Praxis anwendbar.

Tabelle 4: Beanspruchte Körperteile durch Montagetätigkeiten

Körperteil	Physikalische Messmethoden
Gesamtsystem	<ul style="list-style-type: none"> • Subjektive Einschätzung der Beanspruchung sowie der Beschwerden/Schmerzen durch Fragebögen (siehe Kapitel 2.2.2) • Arbeitsenergieumsatz
Skelett	<ul style="list-style-type: none"> • Röntgen • Magnetresonanztomographie (MRT)
Muskeln	<ul style="list-style-type: none"> • Aktionspotentiale der Muskulatur • Magnetresonanztomographie (MRT) • Elektromyographie (EMG) • Laktatmessung • Biopsie • Handschuhe zur Messung der Muskelkraft der Hände
Sehnen	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetresonanztomographie (MRT) • Biopsie
Bänder	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetresonanztomographie (MRT) • Biopsie
Bandscheiben	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetresonanztomographie (MRT) • Biopsie
Herz-Kreislauf-System	<ul style="list-style-type: none"> • Herzschlagfrequenz • Elektrokardiogramm (EKG) • Blutdruck • Zusammensetzung von Körperflüssigkeiten
Atmung	<ul style="list-style-type: none"> • Atemfrequenz • Atemgasanalyse
Sinnesorgane	<ul style="list-style-type: none"> • Lidschlagfrequenz • Spannungsschwankungen bei Bewegungen des Augapfels
Zentralnervensystem	<ul style="list-style-type: none"> • Biopsie
Haut	<ul style="list-style-type: none"> • Haut-/Körperkerntemperatur

Körperteil	Physikalische Messmethoden
	<ul style="list-style-type: none"> • Hautwiderstand
Kognitive Fähigkeiten (Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Erinnerung, Lernen, Problemlösen, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Kognitive Tests

Zusätzlich zu den in Tabelle 4 aufgeführten Messmethoden kann die wahrgenommene Beanspruchung natürlich ebenso abgefragt werden. Welche Werkzeuge sich dazu eignen wird nachfolgend näher beleuchtet.

2.2.2. Methoden zur Erfassung von Beanspruchung

Speziell für repetitive Tätigkeiten ist es sehr schwierig, eine Korrelation zwischen Arbeitsgeschwindigkeit und Gesundheit zu finden, weil kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen Arbeit und Gesundheit besteht. So kann eine Arbeitsbelastung für viele Krankheiten ursächlich sein, welche aber teilweise erst Jahrzehnte später auftreten können (Boisard et al., 2003, S. 51). Weil eine direkte Messung der Belastung des Menschen durch eine Arbeit sehr schwierig ist (Auernhammer, 1986), müssen vielerlei Studien als Orientierung dienen, welche sich mit dem Nachweis der Korrelation zwischen Muskel- und Skeletterkrankungen und arbeitsbedingten Körperhaltungen beschäftigten (z. B. Corlett und Bishop (1976), Corlett und Manenica (1980), Grandjean und Hünting (1977), Haslegrave (1994), Karhu, Kansu und Kuorinka (1977), Keyserling (1986), van Wely (1970) und Whistance, Adams, van Geems und Bridger (1995)). Gleichzeitig ist zu beachten, dass – wie auch in Abbildung 1 gezeigt – nicht jede Belastung oder Beanspruchung sofort eine negative Ausprägung mit sich bringt (Bretschneider-Hagemes, 2011) und eine gewisse Belastung im Sinne eines Trainingsprogramms dringend empfohlen wird (Jeschke und Zeilberger (2004) und Titze et al. (2010, S. 10-17)). Sowohl Unter- als auch Überforderungen sind zu vermeiden.

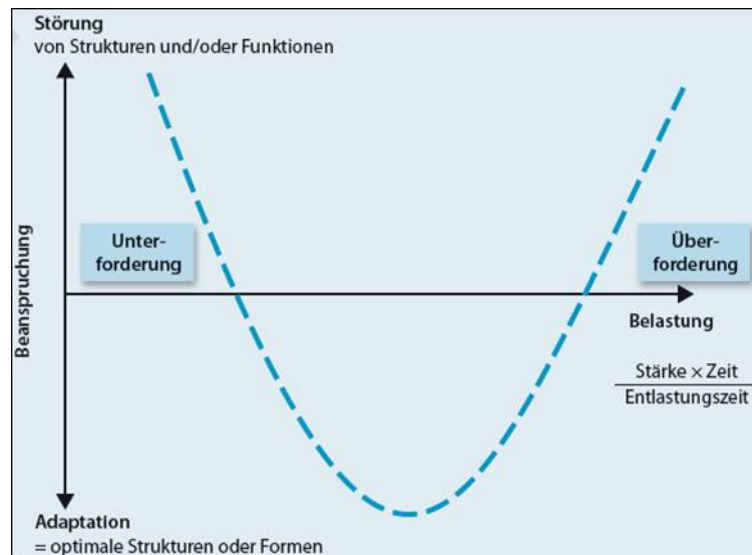


Abbildung 1: Störung bzw. Adaption von Strukturen und/oder Funktionen bei unterschiedlicher Beanspruchungsverteilung (Hartmann & Spallek, 2009)

Laut Erdil und Dickerson (1977, S. 25) hätte die Industrialisierung die Anzahl der Erkrankungen der arbeitenden Bevölkerung verringern sollen. Durch die Wegrationalisierung der „überflüssigen“ Bewegungen sind die meisten Arbeitstätigkeiten aber gleichförmig und „belastungswechselfrei“ geworden (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [BAuA], 2012). Dadurch schafft die moderne Arbeit Symptome, die sich auf die oberen Extremitäten, die Wirbelsäule sowie die psychische Verfassung auswirken. Die daraus resultierenden Fehlzeiten bei der Arbeit, welche einen erheblichen volkswirtschaftlichen Schaden anrichten (Knieps & Pfaff, 2014), stellen laut Triebig, Kentner und Schiele (2014, S. 693) das Zusammenspiel aus Gesundheit, Befindlichkeit und individueller Einstellung zur Arbeit und dem sozialen Umfeld dar, welches wiederum entscheidend von den Führungs- und Organisationsstrukturen geprägt wird. In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse einer europaweiten Befragung sehr interessant, in der sich zeigt, dass „gute“ Arbeitsbedingungen auch für die Arbeitgeber erhebliche Vorteile gegenüber „schlechten“ Arbeitsbedingungen haben. So ist dort die Gesundheit deutlich weniger gefährdet, die Anzahl der krankheitsbedingten Fehlzeiten deutlich geringer und die Fähigkeit, die Arbeit noch im Alter von 60 Jahren ausführen zu können, erheblich höher (Houten, Cabrita & Vargas, 2014, S. 55).

Wie bereits im Arbeitstitel definiert und in Kapitel 2.1.2 diskutiert, wird in dieser Dissertation nur die physische Belastung untersucht. Zunächst mit einer ganzheitlichen Analyse, dann, wie in der Praxis üblich, mit sogenannten Screening-Bewertungsmethoden, die in Kapitel 2.1.3 vorgestellt wurden. Diese geben für jede analysierte Tätigkeit einen Zahlenwert zurück, der wiederum in eine Farbkategorie übersetzt wird, was die Gefährdung der Angestellten an diesem Arbeitsplatz einordnen soll.

Üblicherweise gibt es bei Bewertungen wie diesen zwei Grundmuster (Schlick et al., 2010, S. 56): Entweder liefert die gemessene Größe direkte Hinweise auf einen Engpass im betroffenen Teilsystem oder aber es werden Veränderungen eines Organsystems als Indikator für einen übergeordneten, zentraleren Prozess interpretiert.

Im Nachfolgenden werden die Möglichkeiten vorgestellt, wie die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung erhoben werden kann.

Bei der Analyse von Arbeitssystemen werden empirische Methoden und Techniken angewandt. Die Beobachtung ist die erste von vier Kategorien – neben der Befragung, der physiologischen Messtechnik und physikalischen Messverfahren, die in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt werden – die dabei unterschieden werden können. Begonnen wird mit der Einführung in die Beobachtung.

Beobachtung

Friedrichs (1976) unterscheidet bei der Beobachtung an sich zwischen fünf Kriterien:

- offen oder verdeckt: der Beobachter ist als solcher erkennbar oder nicht
- teilnehmend oder nicht-teilnehmend: der Beobachter nimmt am Arbeitsablauf teil oder nicht
- systematisch oder unsystematisch: die Beobachtung erfolgt nach standardisiertem Schema oder nicht
- künstliche oder natürliche Situation: die Situation wurde nur für die Beobachtung hergestellt oder nicht
- Selbst- oder Fremdbeobachtung: der Beobachter ist die eigene Versuchsperson oder nicht

Wie in der arbeitswissenschaftlichen Forschung üblich (Schlick et al., 2010, S. 52) herrscht auch in dieser Arbeit die offene, nicht-teilnehmende Fremdbeobachtung vor.

Subjektive Einschätzung der Beanspruchung

Neben all den physikalischen Messgrößen (vgl. Kapitel 2.2.1), mit denen versucht werden kann, auf die Beanspruchung rückzuschließen, gibt es eine ganz einfache Möglichkeit, die Beanspruchung zu erfassen: die Befragung. Verschiedene Skalen und standardisierte Fragebögen, die nun eingeführt werden, versuchen dabei, die subjektive Einschätzung möglichst objektiv zu machen. Denn dort liegt die Schwierigkeit der subjektiven Einschätzung der Beanspruchung: die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

Dennoch sollte die Meinung der Mitarbeiter keinesfalls außen vor gelassen werden. Als qualifiziertester Sprecher der Belastungssituation ist die Werkermeinung wichtig und laut Montreuil und Laville (1986) sowie anderer eine essentielle Informationsquelle. Und obwohl die Meinungen von Werkern und Experten bei der Bewertung von Belastungen beispielsweise durch hohe Gewichte nicht korrelieren (Lawaczeck, 2001), ist die Werkermeinung in der Validierung von Belastungsbewertungsmethoden (Schaub, 2004) ein wichtiger Faktor geworden. Strasser (2007a) hält Erhebungen zur subjektiven Bewertung der Arbeitsbedingungen gar für „unerlässlich“.

In Bezug auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit gibt es bei subjektiven Bewertungen verschiedene Befunde. Bei Einschätzungen der Dauer von kurzzyklischen komplexeren Belastungen und stark wechselnden Aufgaben sind Selbsteinschätzungen laut den Untersuchungen von Ditchen, Ellegast, Hartmann und Rieger (2013), Hartmann, Ellegast und Glitsch (2011), Palmer, Haward, Griffin, Bendall und Coggon (2000) sowie Corlett (1991), Caffier, Steinberg und Kössler (1996) und Frauendorf, Cammerer, Steinberg und Caffier (1997) wenig präzise.

Im Gegensatz dazu stellen Occhipinti und Colombini (2004) bei einer Studie mit über 5000 Werkern fest, dass die auftretenden arbeitsbedingten Erkrankungen der oberen Extremitäten sehr gut wiedergegeben werden. Zusammenfassend scheint derjenige gut beraten zu sein, der die Werkermeinung mitberücksichtigt und schätzt, sich aber dennoch im Klaren ist, dass verschiedene Faktoren die Ergebnisse verfälschen können. Im Folgenden werden drei Verfahren vorgestellt, die sich etabliert haben, um die Beanspruchung subjektiv einzuschätzen: der Work Ability Index, die sogenannte Borg-Skala sowie der Fragebogen nach Slesina.

Subjektives Beschwerde- und Schmerzempfinden am Bewegungsapparat

Die Erfassung von Beschwerden und Schmerzen erfolgt auf ähnliche Art und Weise wie die Einschätzung der Beanspruchung. Klar unterteilt werden kann hier allerdings zwischen der subjektiven Selbsteinstufung und der Untersuchung durch einen Mediziner. Während sich für die subjektive Selbsteinstufung der sogenannte Nordische Fragebogen, der aktuell als Standard zur Erfassung der subjektiven Beschwerden am Bewegungsapparat gilt, eignet, muss für die objektive Beurteilung ein Mediziner hinzugezogen werden. In den einzelnen Standorten sind dafür die Werksärzte verantwortlich.

Expertenratings

Neben den objektiven Messwerten, die an den Arbeitsplätzen gemessen werden, sowie der Erhebung der subjektiven Meinung der Arbeitenden, ist es bei der Validierung oder bei Methodenvergleichen von Belastungsbewertungsverfahren üblich (siehe z. B. Schaub (2004), Landau et al. (2008), Bruder und Kaiser (2012) oder Ghezel-Ahmadi und Diaz Meyer (2016)), sogenannte Expertenratings als Vergleichswert für die interne Validierung heranzuziehen. Dabei schätzen anerkannte Experten die durch den Arbeitsplatz entstehende Belastung mittels des Ampelschemas ein, um zur Verifizierung der Analysen ein Plausibilitätskriterium zu erhalten.

Bei Bewertungen durch Experten ist es wichtig, einer Person einen Wert auf einer Einstellungsdimension zuzuweisen, wofür sich die Likert-Skala als Vorbild eignet (Härtig, Kauertz, Neumann & Fischer, 2010). Als Dimensionen der Einstufungsskala für Arbeitsplätze scheinen sich aber die Bezeichnungen „grün“, „grün-gelb“, „gelb“, „gelb-rot“ und „rot“, gezeigt in Abbildung 2, wie sie auch bei der Einführung des New Production

Worksheets (NPW) verwendet wurden (Schaub & Landau, 2004), am besten zu eignen. Abgefragt wurde, „mit welchem Risiko Sie es bewerten würden, täglich acht Stunden am bewussten Platz zu arbeiten“.

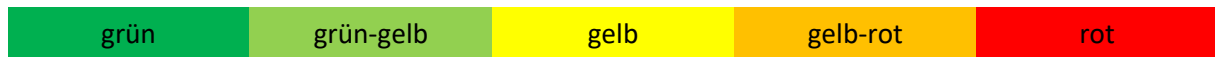


Abbildung 2: Skala der Expertenratings

Schwierig zu definieren bei solchen Ratings ist und bleibt der Begriff des Experten. Bei Landau et al. (2008) wurden die Expertenratings durch drei Personen realisiert: dem leitenden Werksarzt, einem Produktionsplaner und einem Ergonomen. Unabdingbar scheint die Abfrage der Kompetenzen, um gegebenenfalls unterqualifizierte Experten auszusortieren. Im Kontext dieser Arbeit könnten Personen als Experten gelten, die seit mehreren Jahren in der Ergonomie tätig und in der Anwendung mehrerer Belastungsbewertungsverfahren geübt sind.

Objektive Erfassungsmöglichkeiten

Um psychische Beanspruchungen in Arbeits- und Lernprozessen analysieren und bewerten zu können – wovon in dieser Arbeit abgesehen wird –, würde sich weiterhin das an der Technischen Universität Dresden entwickelte BMS-Verfahren eignen, mit welchem zuverlässig und trennscharf Beanspruchungsfolgen wie psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung und Stress erfasst werden können. Veröffentlicht wurde das Verfahren von Plath und Richter (1984).

In eine ähnliche Richtung geht der Fragebogen der Salutogenetischen Subjektiven Arbeitsanalyse (SALSA). Dieses Verfahren wurde von Rimann und Udris (Rimann & Udris, 1993; Rimann & Udris, 1997; Udris & Rimann, 1999) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entwickelt, um die innerbetrieblichen, im Bereich der Humanressourcen liegenden Entwicklungspotentiale zu identifizieren und deren Möglichkeiten zu entfalten. Das Ziel der SALSA ist es, die subjektiv wahrgenommene Arbeitssituation zuverlässig und gültig zu erfassen, weshalb Schlüsselmerkmale psychischer und sozialer Befindlichkeit aufgenommen werden. Gefolgt wird dem Gesundheitsbegriff von Antonovsky (Antonovsky & Franke, 1997).

Weiterhin sollen auch Systeme Erwähnung finden, die sich dazu eignen, Beobachtung und Befragung zu ergänzen – Systeme, die beispielsweise Belastungen und Beanspruchungen automatisiert erfassen. Das CUELA-Messsystem und die Elektromyographie bieten zumindest Ansätze, um die beobachtenden Bewertungsverfahren zu ergänzen und sollen deshalb im Folgenden vorgestellt werden.

- **CUELA-Messsystem**

Weil die Bewertungsverfahren repetitiver Tätigkeiten überwiegend als Beobachtungsverfahren konzipiert sind und deshalb durch die Subjektivität des Untersuchers beeinflusst werden, empfiehlt Ellegast (2005) diese durch

Messverfahren zur arbeitsphysiologischen und biomechanischen Analyse zu ergänzen. Eine Möglichkeit dafür bietet das sogenannte CUELA-Messsystem (Computer-unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems, siehe Abbildung 3) des berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BGIA), welches subjektive Befragungen oder Beobachtungen langfristig ersetzen soll (Ellegast & Hermanns, 2006).



Abbildung 3: Das CUELA-Messsystem (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 2013)

Durch Neigungs- und Winkelsensoren auf den Gelenken und auf den Körpergliedern der Probanden, die die erforderlichen Lage- und Winkelinformationen liefern (siehe Abbildung 3), wird es möglich gemacht, alle Bewegungen kinematisch zu rekonstruieren und somit die physischen Belastungsfaktoren objektiv und authentisch zu erfassen und zu bewerten (Ellegast et al., 2004). Im Basissystem werden die Sensoren auf der Brust- (BWS) und Lendenwirbelsäule (LWS) sowie auf dem Hüft- und auf dem Kniegelenk angebracht. Zusätzliche Sensoren, welche ebenso kontinuierlich mit einer Abtastfrequenz von 50 Hz aufgezeichnet werden, sind am Kopf, an der Halswirbelsäule (HWS), am Schultergürtel und -gelenk, am Ellbogengelenk, am Unterarm, am Handgelenk und am Becken möglich. Zusätzlich werden die Bodenreaktionskräfte mithilfe von Fußdruckmesssohlen erfasst. Je nach Ausführung beträgt das Gesamtgewicht des Systems, welches vom Probanden getragen werden muss, zwischen 2,4 und 4,2 kg (Ellegast & Hermanns, 2006, S. 2-4).

- **Elektromyographie (EMG)**

Mit der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) können die elektrischen Vorgänge in der Muskulatur analysiert und dargestellt werden. Die OEMG ist kein direktes Messverfahren, denn es wird die elektrische Muskelaktivität bei De- und Repolarisationsvorgängen an der Muskelfasermembran erfasst, die wiederum mit Kenngrößen wie Muskelspannung, Muskelkontraktionen oder Bewegungen assoziiert werden (Basmajian & De Luca, 1985; Tassinari, Cacioppo & Vanman, 2007) und Informationen über die Dauer sowie die Amplitude der

Muskelaktivität liefern (Möttig-Klenner, 2010, S. 81). Dabei offenbart das Elektromyogramm ein Interferenzmuster von positiven und negativen Peaks, aus denen die muskuläre Beanspruchung und die Muskelermüdung berechnet werden können, womit eine Bewertung muskulärer Aktivitäten möglich ist (Strasser et al., 2013b, S. 3). Wie viele motorische Einheiten dabei vom OEMG erfasst werden, ist von der Ableitfläche der Elektroden abhängig (Möttig-Klenner, 2010, S. 82).

Für die Signalableitung wird meist ein bipolares Elektrodenpaar in Faserlängsrichtung des Muskels bevorzugt, weil sich diese Art im Vergleich zur monopolarer Ableitung durch eine höhere Störfestigkeit auszeichnet (Strasser et al., 2013b, S. 4). Vor der Anbringung der Messelektroden sollten Schmutz, Haare und abgestorbene Hautpartikel entfernt werden, um Störsignale (durch Leuchtstofflampen, Mobilfunk, Netzfrequenz etc.) so gering wie möglich zu halten und außerdem ein besseres Anhaften der Elektroden zu gewährleisten (De Luca, 2002). Als Abtastfrequenz werden – das Nyquist-Theorem berücksichtigend, um Aliasing-Effekten vorzubeugen – mindestens 1000 Hz empfohlen (Pfeifer, Vogt & Banzer, 2003).

Der Durchmesser der aktiven Fläche und der Zwischen-Elektrodenabstand sollten immer angegeben und bei Wiederholungsmessungen gleich gehalten werden, obwohl der Abstand bis 40 mm nur einen geringen Einfluss auf die Signalcharakteristik der OEMG hat (Hermens et al., 2000; Beck et al., 2008). Für die Auswahl der Muskeln gibt es Empfehlungen von Zipp (1982), Lippold (1967), Hermens et al. (2004) sowie das Vorbild von Kluth und Groos (2014). Als geeignet für die Messung der oberen Extremitäten erscheinen die folgenden acht Muskeln: triceps brachii, deltoideus pars clavicularis, biceps brachii, abductor pollicis brevis, pronator teres, extensor digitorum, flexor digitorum superficialis und flexor carpi ulnaris. Pignini, Colombini, Rabuffetti und Ferrarin (2010), die sich das Ziel setzten, die Einstufung der Kraft-Bewertungsskala innerhalb der Methode OCRA objektiver zu gestalten, haben zusätzlich die Aktivität des Trapezius gemessen.

Für die Platzierung der Elektroden wird eine mittlere Position zwischen der Innervationszone des Muskels und dem distalen Muskel-Sehnen-Übergang empfohlen (Hermens et al., 2000). Dabei ist darauf zu achten, dass die Elektroden auch nach einer Muskelverkürzung noch auf der aktiven Muskelmasse verbleiben (Konrad, 2005). Die Referenzelektrode wird meist über einer muskelfreien Region befestigt (Pfeifer et al., 2003). Ein grundlegendes Verständnis der elektromyographischen Aktivitätsmuster vermitteln unter anderem die Arbeiten von Laurig (1970a), Laurig (1974b), Rau (1977), Tichauer (1978), Einars (1979) und Göbel (1996).

Der Nachteil der OEMG ist die Zugänglichkeit, weil nur oberflächennahe Muskeln mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden können. Deshalb muss bei jeder Messung abgewogen werden, welche Aussagen und Ergebnisse erwartet werden können (Strasser et al., 2013b, S. 3). Ein weiterer Nachteil liegt im Preis: günstige Geräte bedeuten laut van den Berg (2007, S. 227) einen Kompromiss für die Signalqualität.

Vor Beginn jeder Messung sollten die Signale visuell überprüft werden, wozu der Proband die abzuleitende Muskulatur kontrahieren sollte, um lose Kabel oder Elektroden bzw. technische Defekte auszuschließen

(Soderberg & Knutson, 2000). Gleichfalls darf die untersuchte Person durch Messinstrumente oder Kabel in ihrer Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt sein (Strasser et al., 2013b, S. 6).

Begründet durch anatomische und physiologische Unterschiede in der Muskulatur (Burden, 2010) und unterschiedliche Dämpfung des Signals durch subkutanes Fettgewebe (Nordander et al., 2003) unterliegt die OEMG einer hohen inter- und intraindividuellen Variabilität. Um die Messwerte vergleichbar zu machen, müssen diese normiert werden (Soderberg & Knutson, 2000). Als Referenzwert wird typischerweise der geringste, der Mittel- oder der maximale Wert genommen, wobei Minima die Aktivität in der Erschlaffungsphase und Maxima die Kontraktionsphase eines Muskels darstellen. Häufig wird die sogenannte MVC-Normierung (maximal voluntary contraction) angewendet (Pfeifer et al., 2003). Wenn dafür die Testperson aufgefordert wird, den maximalen Kräfteinsatz aufzubringen, liegt allerdings in der Motivation eine mögliche Fehlerquelle (Strasser et al., 2013b, S. 14-16). Ab 10 % der maximal gemessenen Amplitude in der Bewegungsaktion wird ein Muskel als aktiv angesehen (Senner & Schaff, 1999).

Für repetitive Bewegungen, wie sie in dieser Dissertation untersucht werden sollen, empfehlen Pfeifer et al. (2003) zunächst die Roh-Aufzeichnungen gleichzurichten und dann mit einem Tiefpass zu filtern (Hüllkurvenbildung). Weiterhin wird das Signal in die einzelnen Zyklen zerlegt und zeitnormiert, sodass die absolute Bewegungszeit in eine relative Zeiteinheit, wie beispielsweise 0-100 %, umgewandelt wird. Abschließend wird das Signal gemittelt, um ein charakteristisches Mittelwertprofil zu erhalten.

Von Strasser et al. (2013b, S. 21) wird betont, dass die OEMG „die einzig nicht-invasive und im Feld anwendbare Methode zur individuellen muskulären Beanspruchungsbeurteilung“ bleibt. Damit könnten, laut Pignini et al. (2010) verschiedene Arbeitsplatzlösungen verglichen werden, weil weniger EMG-Aktivität weniger muskuläre Belastung bedeute. Auch Groos und Kluth (2014) stellen eine gute Korrelation zwischen subjektiver Wahrnehmung und der elektromyographischen Aktivität (EA) bei Löschvorgängen fest. Laut Winter, Schaub, Bopp und Feith (2007) eignet sich die Messung der EA aber hauptsächlich für die Ermittlung der „physiologischen Kosten“ manueller Arbeiten, d. h. für die Quantifizierung dessen, was der Organismus an Muskelaktivierung aufwenden muss, um bei gegebenen Arbeitsverhältnissen eine Aufgabe zu verrichten.

Häufig wird über die EA auf die Muskelermüdung rückgeschlossen. Laut Rohmert (1968a) sinkt die Kraft, während die EA steigt. Auch bei Wittekopf und Rühl (1984) erhöht sich die EA, Ahonen (1994) stellt eine erhöhte Amplitude und einen verlangsamten Rhythmus fest. Später wird zwischen Synergist und Agonist unterschieden: so stellen Thornauer (2001), Michel (2003) und Werner (2006) bei Muskelermüdung ein Sinken der EA beim Synergisten sowie eine Erhöhung der EA beim Agonisten fest.

Die Grenzen der EMG zeigt Magness (2011) auf, dem es wichtig ist, dass verstanden wird, über was die EMG keine Auskunft gibt. Nicht festgestellt werden kann nämlich, wo der Nervenimpuls der Muskelaktivierung herkam, ob als willentliche Kontraktion, als Reflex vom zentralen Nervensystem oder als Reaktion auf eine

vorherige Bewegung. Ebenso wenig gebe das EMG Aufschluss darüber, was der Muskel tue, denn nur weil er aktiv sei, heißt es nicht, dass der Muskel primär für eine Kraftproduktion verwendet wird und ob er an der ausgeführten Bewegung beteiligt ist.

2.2.3. Beschwerden bei repetitiven Tätigkeiten

Zunächst wird auf das Thema der Beschwerden etwas allgemeiner eingegangen, bevor spezifisch die Beschwerden repetitiver Montagetätigkeiten behandelt werden.

Im deutschen Wortgebrauch (Duden, 2016) bezeichnet eine Beschwerde, vorausgesetzt, es wird sich nicht über jemanden beschwert, eine Anstrengung, eine Strapaze oder Schmerzen und körperliches Leiden.

Für die Arbeitswissenschaft gilt es, Arbeitsplätze so zu gestalten, dass diese „altersstabil“ (Klußmann et al., 2014) sind. Die Mitarbeiter sollen ihr Berufsleben schädigungslos überstehen, ohne wegen arbeitsbedingter Beschwerden aussetzen zu müssen.

Eine schädigungslose Arbeit ist insbesondere durch die sehr hohe Wiederholungstätigkeit repetitiver Handhabungen gefährdet, weil diese zu einer hohen Belastung des Stütz- und Bewegungsapparates führen. Zusammengefasst wird das Erkrankungsrisiko unter Repetitive Strain Injuries (RSI) oder Work Related Upper Limb Disorders (WRULD).

Das RSI bezeichnet unspezifische Beschwerden im Nacken-, Schulter-, Arm- und/oder Handbereich, wenn diese nach repetitiven Tätigkeiten auftreten. Laut Bartsch (2009) verstärken psychische Arbeitsbelastungen wie Monotonie, Zeitdruck, geringer individueller Handlungsspielraum und soziale Isolation das Krankheitsbild noch.

Auch andere Abkürzungen von Beschwerdebildern können unter dem Sammelbegriff RSI zusammengefasst werden (Wakula, 2009): Zu nennen sind die sich durch Störungen akkumulierende Mikrotraumen CTD (Cumulative Trauma Disorders), die Verletzungen aus wiederholten Bewegungen RMI (Repetitive Motion Injury), Störungen im Halsbereich und im Bereich der oberen Extremitäten NLD (Neck and Upper Limb Disorders), berufsbedingte Störungen im Hals-, Nacken- und Armbereich OCD (Occupational Cerviobrachial Disorders) sowie das berufsbedingte Überlastungssyndrom OOS (Occupational Overuse Syndrome).

Ebenso wird als Folge von Tätigkeiten mit häufigen gleichartigen Bewegungen von Beschwerden im Bereich der oberen Extremitäten sowie im Hals- und Brustwirbelbereich gesprochen, die unter dem Begriff der arbeitsbedingten Muskelskeletterkrankungen (AMSE) (Englisch: Work Related Upper Limb Disorders (WRULD)) zusammengefasst werden. Verdeutlicht wird dadurch, welche vielfältigen Strukturen, über Gelenke und Schleimbeutel, Muskeln, Sehnen und Bänder bis zu peripheren Nerven und Blutgefäßen, von den Beschwerden betroffen sein können (Hartmann et al., 2013, S. 134). Beispiele für Beschwerdebilder und Erkrankungen, die in der internationalen Literatur unter WRULD zusammengefasst werden, sind die Styloiditis oder das Karpaltunnelsyndrom.

Dass weiterhin nicht nur die Bewegungshäufigkeit, sondern ebenso die arbeitsbedingten Körperhaltungen mit Muskel- und Skeletterkrankungen korrelieren, zeigt eine Studie in der Metallindustrie. Osterholz und Karmaus (1989) offenbaren, dass Hocken, Knien, über-Kopf-Arbeit oder auch dauerndes Sitzen oder Stehen zu einer erhöhten Gefahr für die Gesundheit der Stütz- und Bewegungsapparate führen.

Verschiedene Studien zeigen, dass repetitive Tätigkeiten – insbesondere bei zusätzlichen Anforderungen an die Präzision (Visser, Looze, Graaff & van Dieen, 2004) oder psychosozialen Faktoren (Lundberg, 2002) – einen Risikofaktor für Überbeanspruchungsreaktionen darstellen, weil zusätzlich weitere Muskeln für die Stabilisation des betroffenen Gelenks einbezogen werden und somit mehr Muskeln beansprucht werden, als eigentlich notwendig (Strasser et al., 2013b, S. 19-20). Ngcamu, Zschernak und Göbel (2009) liefern als Erklärung für dieses Phänomen die gleichzeitige Aktivierung antagonistisch wirkender Muskeln zur Bewegungsstabilisierung. Zusätzlich zu den teils hohen physischen Belastungen kommt eine erhöhte Unfallgefahr für Arbeitnehmer, die hauptsächlich körperliche Arbeit leisten, womit diese einem erhöhten Gesundheitsrisiko am Arbeitsplatz ausgesetzt sind (Bokranz & Landau, 1991).

Die Repetition ist einer der drei Faktoren, die die körperliche Belastung auf die oberen Extremitäten bestimmen (Kraft, Präzision und Wiederholbarkeit). Trotz des Wandels in der Arbeitswelt sind weiterhin an vielen Arbeitsplätzen solche, sich wiederholende Tätigkeiten, auszuführen. Laut Liebers, Brendler und Latza (2013, S. 367) führen 63 % der Beschäftigten in mehr als 25 % ihrer Arbeitszeit repetitive Tätigkeiten mit den oberen Extremitäten aus. Für die Beschäftigten resultiert ein hohes Risiko, arbeitsbezogene Muskelskeletterkrankungen (AMSE) zu erleiden (Simoneau, St-Vincent & Chicoine, 1996; Colombini & Occhipinti, 2009), was dann ein Problem darstellt, wenn repetitive Tätigkeiten entweder mehr als eine Stunde pro Arbeitstag ausgeführt werden und/oder wenn eine muskuloskeletale Erkrankung der oberen Extremitäten vorliegt, die nicht auf Tätigkeiten außerhalb der Arbeitszeit zurückgeführt werden kann (Kilbom, 1994a). Dieses Risiko wurde von verschiedensten epidemiologischen, klinischen oder physiologischen/biomechanischen Studien zu quantifizieren versucht. Die verschiedenen Studien können nicht miteinander verglichen werden, weil die verwendeten Begriffe häufig nicht definiert werden (wie beispielsweise bei van Tulder, Malmivaara und Koes (2007) oder Sorgatz (2002)). Steinberg et al. stellten schon 2007 (S. 22) fest, dass die „begriffliche Einengung und Quantifizierung der „Repetition“ nur selten vorgenommen“ wird. Zusätzlich ergeben sich durch Übersetzungen aus dem und ins Englische Verständnisprobleme. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2010, S. 16) bringt es dadurch auf den Punkt, dass niedrige Bewegungsfrequenzen ein geringeres Gesundheitsrisiko ergeben als hohe Bewegungsfrequenzen und statische Haltungen. Diese Risiken sollen mit Hilfe der Screening-Bewertungsverfahren minimiert werden.

Häufig wird parallel zu den physischen Anforderungen, welche von repetitiven Tätigkeiten hervorgerufen werden, ebenso die psychische Belastung diskutiert. Sich ständig wiederholende Arbeitsaufgaben gelten als

Risikofaktor für Monotonie, wodurch das Arbeitsvermögen unterfordert wird, was wiederum dazu führt, dass die Belastung der Arbeiter steigt (z. B. DIN EN ISO 10075-3; Ulich, 2011; Lavatelli, Schaub & Caragnano, 2012). In der Erwerbstätigenbefragung der BAuA von 2012 (Rohrbach-Schmidt & Hall, 2012) wird allerdings im Gegensatz dazu berichtet, dass sich der Großteil der von monotonen Arbeitsanforderungen betroffenen Beschäftigten sich durch diese Arbeitsbedingungen nicht belastet fühlt. Betroffen sind 43,0 % der Männer und 52,2 % der Frauen. Als belastend werden monotone Arbeitsanforderungen aber lediglich von 7,7 % der Männer und 10,0 % der Frauen eingestuft. Aufgrund dieser Zahlen wird sich in dieser Dissertation nicht weiter mit dem psychischen Aspekt der repetitiven Tätigkeiten befasst.

2.3. Der Zusammenhang von Belastungsbewertung und subjektivem Empfinden

Im letzten Kapitel der Stand der Forschung werden die Ergebnisse einer Studie vorgestellt, in der fünf gängige Screening-Bewertungsverfahren miteinander sowie mit dem subjektiven Beanspruchungsempfinden verglichen werden. Aus diesen Ergebnissen ergeben sich die Fragestellungen dieser Arbeit.

2.3.1. Vergleich der Bewertungsergebnisse fünf gängiger Screening-Bewertungsverfahren

Für die Bewertung der Belastung repetitiver Montagetätigkeiten haben sich in einer Voruntersuchung (Heidl, 2013) die in Kapitel 2.1.3 vorgestellten fünf gängigen Screening-Bewertungsverfahren als geeignete Instrumente herausgestellt: EAWS, OCRA CL, LMM MA, HARM und SI.

Von Heidl, Boespflug und Wakula (2018) wurden 66 verschiedene repetitive Montagetätigkeiten mit ebendiesen Screening-Verfahren (von je zwei geschulten Analytikern unabhängig voneinander) analysiert. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Belastungsanalysen mit den fünf Screening-Verfahren der 66 ausgewählten Arbeitsplätze mit repetitiven Montagetätigkeiten. Unterschieden wird zwischen den zwei geschulten Analytikern (A und B). Die Ergebnisse der Belastungsanalysen mit den verschiedenen Screening-Tools fallen teils sehr unterschiedlich aus. Die EAWS-Version 1.3.3 stuft den Großteil der repetitiven Montagetätigkeiten, wie auch bei der Leitmerkalmethode und HARM, im Bereich zwischen grün und gelb ein. Die OCRA Checkliste sowie das SI-Verfahren bewerten strenger, mit sehr vielen Einstufungen der Arbeitsplätze im roten Risikobereich. Die sich vereinzelt unterscheidenden Bewertungen der beiden Analytiker erklären sich durch Rundungen bei den Einstufungen und Interpretationen bezüglich Anzahl der realen oder technischen (je nach Verfahren) Aktionen und der Greifbedingungen.

Tabelle 5: Vergleich der Bewertungsergebnisse der fünf gängigen Screening-Verfahren

	EAWS 1.3.3		OCRA CL		LMM MA		SI		HARM	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Grün	35	39	11	18	45	41	11	19	25	26
Gelb	22	20	13	13	21	25	23	26	38	39
Rot	9	7	42	35	0	0	32	21	3	1

Unabhängig voneinander kommen beide Analytiker meist zu ähnlichen Ergebnissen. Für den Fall, dass vereinzelte Teiltätigkeiten unterschiedlich betrachtet wurden und es deshalb zu Abweichungen der beiden Bewertungsergebnisse kam, wurde für die weiteren Vergleiche der Mittelwert der beiden unterschiedlichen Bewertungsergebnisse gebildet und als Ergebnis der Bewertungsmethode gewertet. Dadurch sollen Ausreißer in den Bewertungen abgeschwächt werden.

Neben der Analyse mit Screening-Bewertungsverfahren fand eine Befragung des subjektiven Belastungsempfindens der Werker mittels RPE-Borg-Skala (vgl. Kapitel 4.1.2 dieser Arbeit) statt, die regelmäßig und längerfristig an diesen Plätzen eingesetzt werden. In Summe wurden 249 Fragebögen ausgefüllt. Insgesamt führte dies, weil einige Probanden regelmäßig an verschiedenen Arbeitsplätzen eingesetzt werden und folglich unterschiedliche repetitive Tätigkeiten ausführen und diese jeweils einzeln bewertet wurden, zu 652 Bewertungen.

Für jede repetitive Tätigkeit wurden diese verschiedenen subjektiven Belastungsbewertungen in einem Mittelwert zusammengefasst. Den Überblick zeigt Tabelle 6. Über alle Montagetätigkeiten reichten die gemittelten Einschätzungen von 9,35 (sehr locker) bis 17,4 (sehr hart) (deutsche Übersetzung nach Tschopp (2001, S. 32)). Bei einem Median von 12,27 beläuft sich der Mittelwert aller Tätigkeiten zu 12,58, was in der verbalen Beschreibung zwischen „locker“ und „ein wenig hart“ liegt.

Tabelle 6: Überblick der subjektiven Belastungsbewertungen aller aufgenommenen repetitiver Montagetätigkeiten

	Min	Max	Mittelwert	Median
RPE	9,35	17,4	12,58	12,27

Nachfolgend wurden die fünf Screening-Bewertungsverfahren für repetitive physische Belastungen anhand des subjektiven Belastungsempfindens evaluiert.

2.3.2. Vergleich fünf gängiger Screening-Bewertungsverfahren mit dem subjektiven Belastungsempfinden

Für die nachfolgenden Abbildungen werden die subjektiven Belastungsempfindungen für die einzelnen Ergebnisbereiche zusammengefasst, um die Ergebnisse der Screening-Verfahren mit den subjektiven Wahrnehmungen zu vergleichen. In der Einteilung der Ergebnisse wird sich dafür an der Verfahrensbeschreibung orientiert. Am Beispiel EAWS werden solche repetitiven Tätigkeiten wie folgt verglichen: Tätigkeiten mit Punktwerten von bis zu 25 Punkten mit Tätigkeiten mit Punktwerten von 25 bis 50 und Tätigkeiten mit Punktwerten von 25 bis 50 wiederum mit Tätigkeiten mit Punktwerten von über 50 Punkten. Die Ergebnisbereiche werden mit der Farbcodierung des Ampelschemas auf der x-Achse aufgetragen, für jeden Bereich wird ein Boxplot erstellt. Auf der y-Achse ist die RPE-Skala von 6 bis 20 aufgetragen.

Am besten für die Darstellung eignen sich Boxplots (auch Box-Whisker-Diagramme genannt), die die verschiedenen Streuungs- und Lagemaße auf einen Blick zeigen. Für die verschiedenen Ergebnisbereiche der Verfahren sind diese in Abbildung 4 gezeigt. Dargestellt werden darin stets der Median (mittlere Linie), die zwei Quartile (obere und untere Linie) – die Box entspricht damit dem Bereich, in welchem 50 % der Daten liegen – sowie die Extremwerte (schwarze „Whisker“). Für den kompletten Überblick werden zusätzlich die Mittelwerte anhand eines Punktes in den Grafiken markiert. Außerdem werden in zusätzlichen (gestrichelten) Boxen die Perzentile oberhalb des 95. und unterhalb des 5. dargestellt. Dadurch sollte ein umfassender Überblick über die einzelnen Punktwerte gegeben sein.

Die erste Grafik zeigt die subjektiven Belastungsempfindungen für die verschiedenen Bewertungsbereiche des Verfahrens EAWS: links den grünen Bereich (0 - 25 Punkte; n = 306), in der Mitte den gelben Bereich (> 25 - 50 Punkte; n = 264) und rechts den roten Bereich (n = 82). Alle weiteren Darstellungen sind ebenfalls in dieser Form aufgebaut.

Anhand der Mittelwerte sowie des Medians zeigt sich eine steigende Tendenz, je höher das Punkte-Bewertungsergebnis der Methode. Der Streuungsbereich der subjektiven Belastung der als gelb bewerteten Tätigkeiten überschneidet sich allerdings mit den als grün bewerteten Tätigkeiten.

Auch gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen grünem und gelbem Bereich ($p = 0,409$, $r = -0,04$). Zwischen gelbem und rotem Bereich allerdings gibt es einen signifikanten Unterschied ($p = 0,019$) mit kleiner Effektstärke ($r = -0,132$), ebenso gibt es einen höchst signifikanten Unterschied ($p = 0,00085$) mit kleiner Effektstärke ($r = -0,177$) zwischen grünem und rotem Bereich.

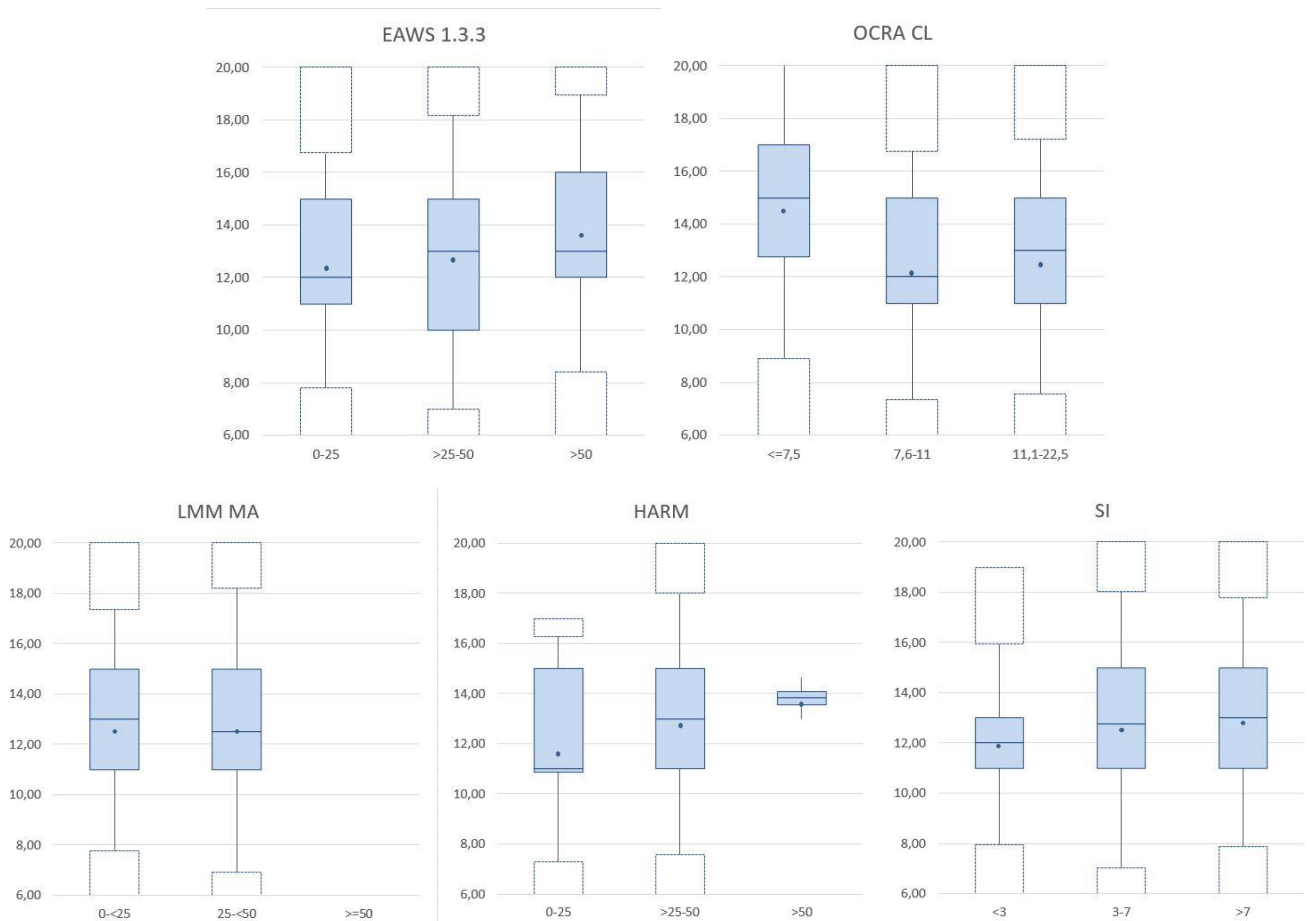


Abbildung 4: Darstellung der subjektiven Beanspruchungsbewertungen für die verschiedenen Ergebnisbereiche der Verfahren EAWS 1.3.3 (oben links), OCRA CL (oben rechts), LMM MA (unten links), HARM (unten Mitte) und SI (unten rechts)

In der zweiten Grafik von Abbildung 4 (oben rechts) sind die subjektiven Beanspruchungsbewertungen für die verschiedenen Ergebnisbereiche des Verfahrens OCRA Checklist dargestellt. Es fehlt der Boxplot für die lila bewerteten Tätigkeiten, weil keine der ausgewählten repetitiven Tätigkeiten mit einem solch hohen Punktwert bewertet wurde.

Im Gegensatz zum EAWS-Verfahren zeigt sich eine fallende Tendenz, wobei sich die Bereiche der als gelb und rot bewerteten Tätigkeiten überschneiden. Der Mittelwert der subjektiven Belastungsempfindungen ist für den grünen Bereich ($\leq 7,5$ Punkte; $n = 86$) mit Abstand am höchsten, sinkt im gelben Bereich (7,6 - 11 Punkte; $n = 141$) stark ab, und steigt dann im roten Bereich ($n = 425$) wieder an. Der Median zeigt denselben Effekt etwas stärker.

Weiterhin kann ein höchst signifikanter Unterschied zwischen grünem und gelbem Bereich ($p = 8,4 \cdot 10^{-8}$) mit mittlerer Effektstärke ($r = -0,375$) gemessen werden. Ebenso unterscheidet sich der grüne vom roten Bereich höchst signifikant ($p = 3,7 \cdot 10^{-8}$, $r = -0,25$). Zwischen gelbem und rotem Bereich gibt es hingegen keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,43$, $r = -0,034$).

Wie bei der OCRA Checklist wurde auch bei der LMM MA keine der ausgewählten repetitiven Tätigkeiten im höchsten Risikobereich bewertet, daher wurde auch hier auf einen weiteren Balken im Boxplot verzichtet. Die subjektiven Beanspruchungsbewertungen überschneiden sich für beide Ergebnisbereiche der LMM MA. Unterschiede sind nur in den berechneten Werten zu erkennen: sowohl der Mittelwert als auch der Median ist im grünen Bereich höher als im gelben. Auch diese Unterschiede sind statistisch aber nicht signifikant ($p = 0,75$, $r = -0,013$).

In den subjektiven Belastungsempfindungen für die verschiedenen Ergebnisbereiche des Verfahrens HARM kann bei Betrachtung des Medians sowie des Mittelwertes eine steigende Tendenz ausgemacht werden. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass nur eine einzige Tätigkeit im roten Risikobereich bewertet wurde.

Auffällig ist weiterhin, dass sich, obwohl sich die Boxplots des grünen ($n = 145$) und gelben ($n = 505$) Ergebnisbereichs überdecken, der Median als auch der Mittelwert stark voneinander unterscheiden.

Für die Ergebnisse von HARM muss gesondert berücksichtigt werden, dass nur einer repetitiven Tätigkeit eine Belastung im roten Bereich ($n = 2$) zugeordnet wurde und dass ferner für diese Tätigkeit nur zwei subjektive Belastungsbewertungen vorliegen. Möchte man dennoch rechnerisch überprüfen, ob es einen Unterschied zwischen dem gelben und roten Bereich gibt, ist dieser Unterschied nicht signifikant ($p = 0,61$, $r = -0,023$). Gleiches gilt für den Unterschied zwischen grünem und rotem Bereich ($p = 0,378$, $r = -0,008$). Der Unterschied zwischen grünem und gelbem Bereich ist hingegen bei kleiner Effektstärke ($r = -0,119$) sehr signifikant ($p = 0,0034$).

Abschließend sind in Abbildung 4 die subjektiven Beanspruchungsbewertungen für die verschiedenen Bewertungsbereiche des Strain Index gezeigt. Besonders beachtet werden muss im Zusammenhang mit diesem Screening-Verfahren, dass, anders als bei den anderen Verfahren, die die Belastung bewerten, der SI die Beanspruchung berücksichtigt.

Lediglich die im grünen Bereich bewerteten Tätigkeiten unterscheiden sich von den anderen Belastungsbewertungen mittels BORG-Skala. Die subjektiven Bewertungen des gelben und roten Ergebnisbereichs weisen einen ähnlichen Mittelwert und Median auf.

Statistisch gesehen gibt es weder zwischen grünem ($n = 105$) und gelbem ($n = 277$) ($p = 0,23$, $r = -0,64$) noch zwischen gelbem und rotem ($n = 270$) ($p = 0,20$, $r = -0,057$) Punktebereich einen signifikanten Unterschied. Ein signifikanter Unterschied kann beim Vergleich des grünen mit dem roten Bereich gemessen werden. Hier beträgt die Wahrscheinlichkeit $p = 0,0142$ bei einer kleinen Effektstärke von $r = -0,222$.

Damit muss ein weiteres Mal festgehalten werden, dass repetitive Tätigkeiten mit der extremen Ausprägung einzelner Merkmale (z. B. der Bewegungshäufigkeit) in der Bewertung eine Herausforderung darstellen, für den

sich die Bewertungsergebnisse der Screening-Verfahren deutlich voneinander unterscheiden. Nun könnte man versuchen, beispielsweise mit dem ausführlich dargelegten Vergleich von Heidl, Boespflug und Wakula (2018) von subjektivem Beanspruchungsempfinden mit den Verfahrensergebnissen ein Screening-Verfahren zu identifizieren, welches sich am besten dafür eignet, repetitive Montagetätigkeiten zu analysieren. Teilweise, wie bei EAWS, zeigten sich auch richtige Tendenzen, teilweise scheinen sich die Verfahren weniger gut zu eignen. Dennoch muss die Analyse spezieller sein: der Gesamtansatz, bei welchem die verschiedenen Belastungsarten in einem einzigen Risikowert zusammengefasst wird, taugt nur bedingt. Dadurch summieren sich zwar die Belastungen der verschiedenen Körperbereiche, einzelne Spitzen gehen aber unter. Um Beschwerden zuverlässig vorhersagen zu können, könnte sich der Ansatz, Belastungsfaktoren für einzelne Körpersegmente zu identifizieren und für jeden Bereich ein Risiko zu beurteilen, lohnen. Hieraus ergeben sich die Forschungsfragen.

3. Entwicklung eines Konzepts zur Ermittlung von Risikofaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten

Die Ergonomie hat die Pflicht, für eine sachkundige und verantwortungsbewusste Bewertung der Belastung während der Arbeit zu sorgen (Strasser, 2007a). Für die Bewertung repetitiver Montagetätigkeiten muss deshalb ein Verfahren gefunden werden, welches die Belastung zuverlässig ermittelt. Auf der Fragestellung aufbauend müssen diese Belastungen folglich zuverlässig für jeden Körperbereich ermittelt werden. Um die Ergebnisse dann abgleichen zu können, müssen Vergleichswerte ermittelt werden. Dafür werden die betroffenen Mitarbeiter befragt.

In vorgeschalteten Schritten müssen dafür zunächst die Forschungsfragen konkretisiert und in der Literatur Zusammenhänge zwischen Belastungsfaktoren und Beschwerden in den verschiedenen Körperbereichen aufgedeckt werden, die als Ergebnis im Arbeitsmodell festgehalten werden. Diese Zusammenhänge werden dann in einer empirischen Studie überprüft, wobei sich für die Körperbereiche auf den Oberkörper beschränkt wird, weil repetitive Tätigkeiten hauptsächlich diesen belasten. Abschließend werden die Zusammenhänge auf Vorhandensein in den Belastungsbewertungsmethoden hin überprüft.

3.1. Definition der Forschungsfragen

Es lassen sich vier Forschungsfragen entwickeln, womit gleichzeitig die Schwerpunkte dieser Arbeit dargestellt werden. Der erste Teil befasst sich damit, welche Bewegungen bei repetitiven Montagetätigkeiten theoretisch zu Beschwerden führen. Ausgangspunkt dafür ist die Literatur, auf der das Arbeitsmodell (vgl. Kapitel 3.2) aufgebaut wird, sowie die objektive Erhebung aller Randdaten der jeweiligen Tätigkeit. Aus den Ergebnissen dieser ersten Analyse ergibt sich die zweite Fragestellung, nämlich welche Grenzwerte definiert werden können, ab welchen die Bewegungen zu einem Risiko für Beschwerden werden. Als Ergebnis der ersten beiden Forschungsfragen ergibt sich das klar definierte Arbeitsmodell.

Dieses Modell wird anschließend mit der dritten Forschungsfrage, die sich damit befasst, wie Belastung und Beanspruchung der repetitiven Montagetätigkeiten tatsächlich wahrgenommen werden, überprüft. Um zu erfassen, welche Bewegungen in der Praxis zu Beschwerden führen, wird im Anschluss an die Entwicklung des Arbeitsmodells ein Fragebogen konzipiert und eingesetzt (vgl. Kapitel 4.1).

Abschließend ergibt sich die Frage, ob und in welchem Umfang die festgestellten Belastungsfaktoren von den verschiedenen Screening-Bewertungsmethoden abgebildet werden und ob sich die Methoden ebenso dazu eignen, für die unterschiedlichen Körperbereiche jeweils spezifische Risikobewertungen zu errechnen. Aus dieser vierten Fragestellung lassen sich Empfehlungen für die Praxis ableiten.

Im Folgenden werden die vier Forschungsfragen genauer vorgestellt und erläutert. Aus der dritten Forschungsfrage ergeben sich Hypothesen zur Überprüfung des Arbeitsmodells. Dabei beschreiben die

aufgestellten Nullhypothesen (H_0) den Zustand, der mit den jeweiligen Alternativhypothesen (H_1) nicht zu vereinbaren ist (Bortz & Döring, 2006).

1. Der Zusammenhang von Belastungsfaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten mit Beschwerden in einzelnen Körperbereichen

Diese Forschungsfrage beschäftigt sich mit der Ursache-Wirkungs-Beziehung der Belastungen und Beanspruchungen von repetitiven Montagetätigkeiten. Grundlage für die Erwartungen bieten Meta-Studien wie beispielsweise von Bernard (1997) und Nordander et al. (2016), die bereits durch repetitive Montagetätigkeiten besonders gefährdete Körperregionen identifiziert haben.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wird ein Arbeitsmodell erstellt. Dabei werden in Kapitel 3.2 alle in der Literatur identifizierten Belastungsfaktoren bestimmten Körperbereichen zugeordnet. So werden beispielsweise Repetition, Kraft und Körperhaltung mit Beschwerden im Nacken sowie im Nacken-Schulterbereich assoziiert (Bernard, 1997). Auch für den Rücken, die Schultern, die Ellenbogen sowie für die Hände bzw. Handgelenke sind Belastungsfaktoren identifiziert worden, die einzeln abgeglichen werden, um somit abzuleiten, in welchen Bereichen Beschwerden erwartet werden.

2. Grenzwerte für die Bewegungshäufigkeiten und –amplituden, ab welchen die in Forschungsfrage 1 identifizierten Bewegungen zu einem Risiko werden

In Forschungsfrage 1 werden Zusammenhänge zwischen bestimmten Bewegungen und resultierenden Beschwerden hergestellt. Sicher führt aber nicht jede Bewegung zu Beschwerden, weshalb hierbei die Definition von Grenzwerten von besonderer Wichtigkeit ist. Diese müssen zum einen in Bezug auf die Häufigkeit, zum anderen in Bezug auf die Ausführung getroffen werden. Für die Schulter muss beispielsweise sowohl definiert werden, ab welchem Winkel ein Risiko für Beschwerden vorliegt, als auch ab welcher Häufigkeit diese Bewegung zu einem Risiko für Beschwerden wird. Diese Konventionen werden, nach der Erstellung des Arbeitsmodells, ebenso in Kapitel 3.2 festgelegt.

3. Empirische Überprüfung des Zusammenhangs von Belastungsfaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten mit Beschwerden in einzelnen Körperbereichen

Die dritte Forschungsfrage beschäftigt sich mit der Praxisanwendung des Arbeitsmodells. Es wird empirisch überprüft, wo und in welchem Maß die im Arbeitsmodell identifizierten Bewegungen die Grenzwerte überschreiten, und in welchem Umfang bei regelmäßiger Ausführung solcher repetitiver Montagetätigkeiten

Beschwerden resultieren. Mit dieser dritten Forschungsfrage werden die theoretischen Ergebnisse der Forschungsfragen 1 und 2 mit den tatsächlich auftretenden Beschwerden in Relation gesetzt.

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wird im Folgenden (siehe Kapitel 4.1) ein Fragebogen konzipiert, mit dem das subjektive Beanspruchungsempfinden wie auch die Beschwerden von Mitarbeitern erfasst werden, die regelmäßig an repetitiven Montagearbeitsplätzen eingesetzt werden. Der Einsatz des Fragebogens sowie die Ergebnisse werden in Kapitel 4 dargestellt.

Zunächst wird dafür nachvollzogen, ob sich das gesamte Probandenkollektiv für die Auswertung eignet, oder ob bestimmte Gruppen – wie beispielsweise Mitarbeiter, die durch Sport eine zusätzliche Belastung der oberen Extremitäten verursachen – ausgeschlossen werden müssen.

Daran schließt sich die Überprüfung des Arbeitsmodells an. Zur Überprüfung der Ergebnisse der Forschungsfragen 1 und 2 werden im Folgenden Hypothesen formuliert, die Klarheit darüber schaffen sollen, ob die erwarteten Belastungsfaktoren auch in der Realität zu mehr Beschwerden führen als ohne:

H₀1: Repetitive Montagetätigkeiten, bei welchen gestanden werden muss und/oder gehoben bzw. kraftvolle Bewegungen ausgeführt werden müssen, verursachen mehr Rückenbeschwerden als Tätigkeiten, bei denen diese Belastungsfaktoren nicht vorkommen.

H₁1: Repetitive Montagetätigkeiten, bei welchen gestanden werden muss und/oder gehoben bzw. kraftvolle Bewegungen ausgeführt werden müssen, verursachen ebenso viele oder weniger Rückenbeschwerden als Tätigkeiten, bei denen diese Belastungsfaktoren nicht vorkommen.

H₀2: Eine ungünstige Haltung des Nackens (statische Anspannung, statisches Halten, extreme Haltungen) führt bei repetitiven Montagetätigkeiten zu einer Häufung von Nackenbeschwerden.

H₁2: An repetitiven Montagearbeitsplätzen ohne ungünstige Haltung des Nackens treten ebenso viele oder mehr Nackenbeschwerden auf als bei Arbeitsplätzen mit einer solchen Haltung.

H₀3: Repetition (> 2,5 Schulterbewegungen pro Minute) und/oder Haltung (> 60° Flexion oder Abduktion) der Schulter führen bei repetitiven Montagetätigkeiten zu einer Häufung von Schulterbeschwerden.

H₁3: An repetitiven Montagearbeitsplätzen ohne Repetition und Haltung der Schulter treten ebenso viele oder mehr Schulterbeschwerden auf als bei Arbeitsplätzen mit diesen Risikofaktoren.

H₀4: Die Kombination von mindestens zwei der drei Faktoren Repetition (> 10 Ellenbogenbewegungen pro Minute), Haltung und Kraft (> 3 kg) führt bei repetitiven Montagetätigkeiten zu einer Häufung von Ellenbogenbeschwerden.

H₁₄: An repetitiven Montagearbeitsplätzen, an denen keine Kombination der Belastungsfaktoren (Repetition, Haltung und Kraft) auftritt, treten ebenso viele oder mehr Ellenbogenbeschwerden auf als bei Arbeitsplätzen mit dieser Kombination.

H₀₅: Die Kombination von mindestens zwei der drei Faktoren Repetition (> 10 Hand-/Handgelenksbewegungen pro Minute), Haltung und Kraft (> 3 kg) führt bei repetitiven Montagetätigkeiten zu einer Häufung von Hand- und/oder Handgelenksbeschwerden.

H₁₅: An repetitiven Montagearbeitsplätzen, an denen keine Kombination der Belastungsfaktoren (Repetition, Haltung und Kraft) auftritt, treten ebenso viele oder mehr Hand- bzw. Handgelenksbeschwerden auf als bei Arbeitsplätzen mit dieser Kombination.

Das Ergebnis der Überprüfung dieser Hypothesen wird in einem überarbeiteten Arbeitsmodell, welches folglich speziell für repetitive Montagetätigkeiten gilt, zusammengefasst.

4. Abbildung der durch repetitive Montagetätigkeiten hervorgerufenen Beschwerden durch Screening-Verfahren

Die vierte Forschungsfrage beschäftigt sich abschließend damit, ob die in den vorangegangenen Fragen ermittelten Ergebnisse von einer Belastungsbewertungsmethode widergespiegelt werden. Diese Forschungsfrage ist insbesondere auch für die Praxis interessant, weil für die Abschätzung der Belastung und Beanspruchung sogenannte Screening-Verfahren eingesetzt werden. Dadurch können mit relativ geringem Aufwand ergonomische Schwachstellen offengelegt werden.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden verschiedene Belastungsbewertungsmethoden, die bereits zur Einleitung der Ableitung der Fragestellungen eingeführt wurden, auf die theoretische Eignung hin überprüft: so wird abgeglichen, ob die in Forschungsfrage 1 dargestellten Risikofaktoren abgebildet werden, ob die in Forschungsfrage 2 definierten Grenzwerte Verwendung finden und wie detailliert die Erfassung gefordert wird. Außerdem wird überprüft, mit welchem Anteil die verschiedenen Belastungsfaktoren in den Gesamtwert mit eingehen und ob sich eine körperbereichsbezogene Berechnung lohnt. Verbesserungspotentiale werden identifiziert und nach Möglichkeit ausgefüllt. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 dargestellt.

3.2. Erstellung des Arbeitsmodells: Beantwortung der Forschungsfragen 1 und 2

Das Definieren eines Arbeitsmodells soll dazu dienen, Zusammenhänge besser erklären und verstehen zu können. Mithilfe des Arbeitsmodells dieser Arbeit wird mit der Ursache-Wirkungs-Beziehung begründet, warum

sich zum einen die Beanspruchung verschiedener Menschen bei gleicher Belastung unterscheidet, zum anderen, warum über die Zeit Verschleißerscheinungen, Schmerzen und Schäden – kurz Beschwerden – auftreten können. Als Ausgangspunkt dient das einfache Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Rohmert 1983), welches kurz und bündig den Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung aufzeigt: je höher die Belastung, desto höher die individuelle Beanspruchung, die sich von Person zu Person unterscheiden kann. Dieses einfache Modell wird im ersten Schritt um ein Element der erweiterten Version ergänzt: den Beschwerden. In Abbildung 5 ist der grundsätzliche Aufbau des Arbeitsmodells dieser Arbeit gezeigt, welches einerseits den Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung veranschaulicht, andererseits aber ebenso andeutet, dass eine Beanspruchung zu Beschwerden führen kann.

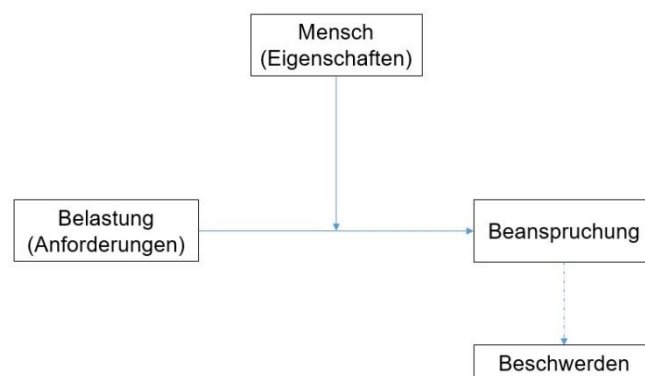


Abbildung 5: Der grundsätzliche Aufbau des Arbeitsmodells (nach dem einfachen Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert (1984c))

Eine Detaillierung der Belastungsseite dieses Schemas zeigt Abbildung 6. Sie gibt eine Übersicht über die auf den Oberkörper wirkende physische Belastung repetitiver Montagetätigkeiten. Unterschieden wird zwischen Umgebungseinflüssen wie Vibrationen oder das Klima und der Belastung der energetischen Arbeit, wobei sich in dieser Arbeit auf die physischen Komponenten beschränkt wird.

Die menschlichen Arbeitsformen, in welche sich die energetische Arbeit weiter aufgliedert, werden an dieser Stelle nicht genauer erläutert. Als Belastungsfaktoren, die auf den Menschen wirken, ergeben sich schließlich, neben den Umgebungseinflüssen, die Körperhaltung, Aktionskräfte, Gewichte, Gelenk- bzw. Hand-Arm-Stellungen, die Repetition und schwere körperliche Arbeit.

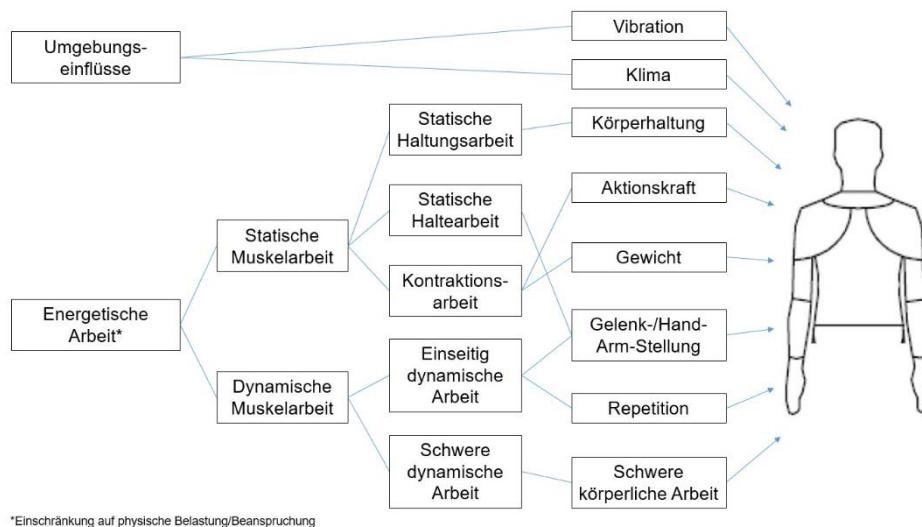


Abbildung 6: Die auf den Menschen wirkende physische Belastung repetitiver Montagetätigkeiten. Während der Tätigkeitsausführung kommt es demnach zu internen Reaktionen, die abhängig von der Zeit wie auch von der Dosis sind. Diese reichen von einfachen Stoffwechselfvorgängen bis hin zu Beschwerden am Muskelskelettsystem. Weiter beeinflussen die Reaktionen wiederum die Eigenschaften bzw. Leistungsvoraussetzungen für die immer noch andauernde oder nächste Belastung, wodurch sich nicht nur die Beanspruchung verändert, sondern wovon mittelbar auch die Ausführung beeinflusst wird.

Diese ausführlichere Darstellung ist in Abbildung 7 gezeigt. Als Einfluss auf die menschlichen Einflussgrößen findet sich in etwas kompakterer Form Abbildung 6 wieder. Erst die individuellen menschlichen Einflussgrößen definieren dann aber die Höhe der Beanspruchung, welche in der Folge eventuell zu Beschwerden führen kann. Die negativen Folgen der Beanspruchung sind mit Ermüdung, die positiven mit Training und Übung im Modell zu finden.

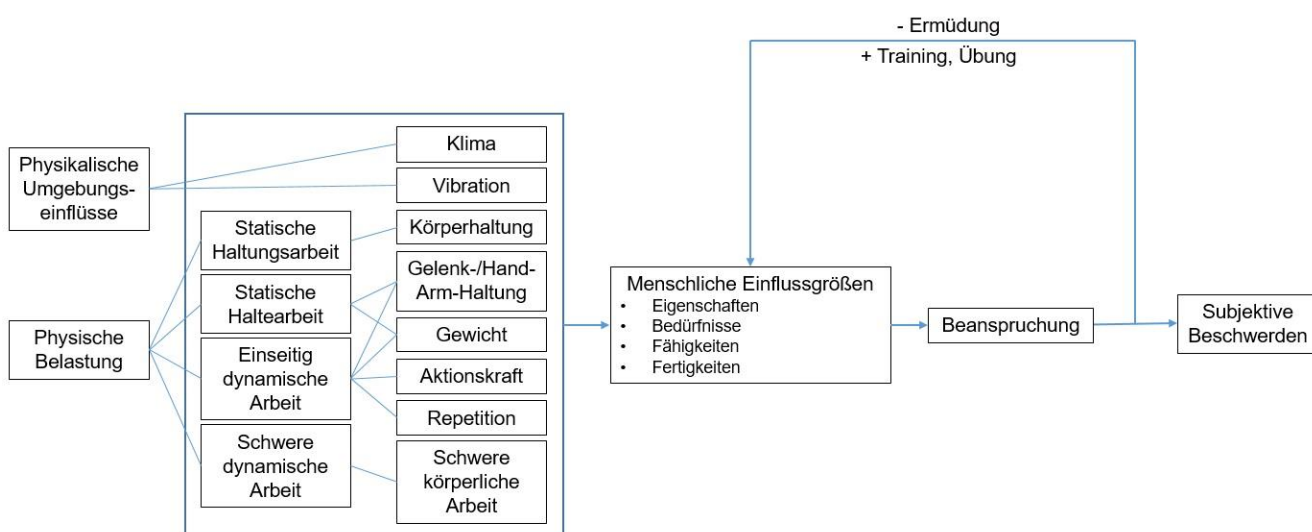


Abbildung 7: Ausführliche Darstellung des Arbeitsmodells in Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept von Luczak (1975a), Rohmert (1984c) und Kirchner (1986b)

Die spezifische Ausführung für den konkreten Anwendungsfall der für diese Arbeit ausgewählten repetitiven Montagetätigkeiten zeigt Abbildung 8. Die grau dargestellten Belastungsfaktoren können im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden: das Klima muss über alle ausgewählten repetitiven Montagetätigkeiten als konstant betrachtet werden. Schwere körperliche Arbeit kommt nicht vor. Vibration schließlich kann zwar durch automatische Schrauber aufgenommen werden, kommt aber lediglich an zwei untersuchten Arbeitsplätzen vor. Für diese Belastungsfaktoren ist eine Unterschiedstestung also nicht sinnvoll.

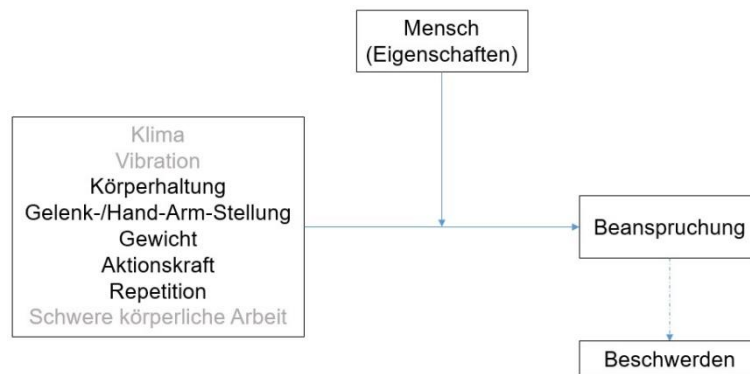


Abbildung 8: Der grundsätzliche Aufbau des Arbeitsmodells ergänzt um die Belastungsfaktoren. Im nächsten Schritt werden nun anhand von Literatur die Zusammenhänge zwischen den Belastungen und den zu erwartenden Beschwerden identifiziert.

3.2.1. Definition von Belastungsfaktoren (Forschungsfrage 1)

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden in der Literatur die theoretischen Belastungen und Beanspruchungen von repetitiven Montagetätigkeiten recherchiert, worauf das Arbeitsmodell basiert. Grundlage für die Erwartungen bieten vor allem die Studien von Bernard (1997) und Nordander et al. (2016), die dafür durch die Analyse vieler Studien Belastungsfaktoren identifiziert haben, die einen Zusammenhang (Zufall unwahrscheinlich) bzw. einen starken Zusammenhang (signifikant in mehreren Studien) mit Beschwerden in unterschiedlichen Körperregionen aufweisen:

So gibt es einen Zusammenhang zwischen Schulterproblemen mit der Haltung sowie der Häufigkeit der Bewegungsausführung der Schulter. Sowohl Flexion oder Abduktion der Schulter von über 60° als auch häufige Schulterbewegungen (laut Kilbom (1994a) > 2,5 Bewegungen pro Minute) führen demnach zu Beschwerden. Genaue Definitionen solcher Grenzwerte werden im folgenden Unterkapitel 3.2.2 gegeben.

Flexion oder Abduktion der Schulter haben weiterhin Einfluss auf Beschwerden im Nackenbereich. Diese werden außerdem mit kontinuierlichen Hand- oder Armbewegungen sowie mit Last auf Nacken bzw. Schultern in Verbindung gebracht. Einen starken Zusammenhang gibt es zwischen Beschwerden im Nackenbereich und der Körperhaltung (statische Anspannung, statisches Halten, extreme Haltungen). Angemerkt wird dazu, dass Repetition, Kraft und Nackenhaltung in Kombination auftreten.

Einfluss auf den Ellenbogen hat vor allem die Kombination aus Kraft, Haltung und/oder Repetitivität. Treten zwei dieser drei Merkmale gemeinsam auf, erhöht sich laut der Studien von Bernard (1997) und Nordander et al. (2016) das Risiko, dass Krankheitsbilder wie die Epicondylitis auftreten. Ebenso gibt es einen Zusammenhang zwischen Kraft/Gewicht und Ellenbogenbeschwerden.

Die Hand und das Handgelenk sind vor allem von drei Krankheitsbildern betroffen: dem Karpaltunnelsyndrom, der Tendinitis (Sehnenscheidenentzündung) sowie dem Hand-Arm-Vibrations Syndrom. Einen Zusammenhang mit diesen Krankheitsbildern gibt es vor allem mit Vibration sowie wiederum mit der Kombination aus Kraft, Haltung und/oder Repetitivität. Weiterhin beeinflusst werden die auftretenden Beschwerden im Hand- und Handgelenksbereich durch das zu handhabende Gewicht sowie die Gelenkstellung des Handgelenks und der Finger.

Zu Beschwerden des Rückens schließlich können verschiedene Risikofaktoren beitragen. Genannt werden muss beispielsweise schwere körperliche Arbeit sowie das Klima. Einen stärkeren Zusammenhang weisen noch Vibrationen sowie das zu hebende Gewicht auf.

Ferner hat die Körperhaltung einen großen Einfluss auf Rückenbeschwerden. Denn zusätzlich zu den bereits genannten Risikofaktoren kann Stehen zu Rückenschmerzen führen, insbesondere, wenn länger als zwei Stunden am Stück gestanden wird. Neben Garcia, Läubli und Martin (2015) belegen unter anderem Waters und Dick (2015), Antle und Côté (2013), Gregory und Callaghan (2008) oder Drury et al. (2008), dass vor allem die Langzeitfolgen von Stehen zu Rückenschmerzen führen kann, wenn aufgrund von Ermüdung die Haltung verändert wird.

Diese Zusammenhänge werden im ersten Arbeitsmodell verdeutlicht. Beantwortet ist damit die erste Forschungsfrage. Weiter präzisiert wird das in Abbildung 9 gezeigte Modell um die zugehörigen Grenzwerte im folgenden Kapitel 3.2.2, womit sich Forschungsfrage 2 anschließt.

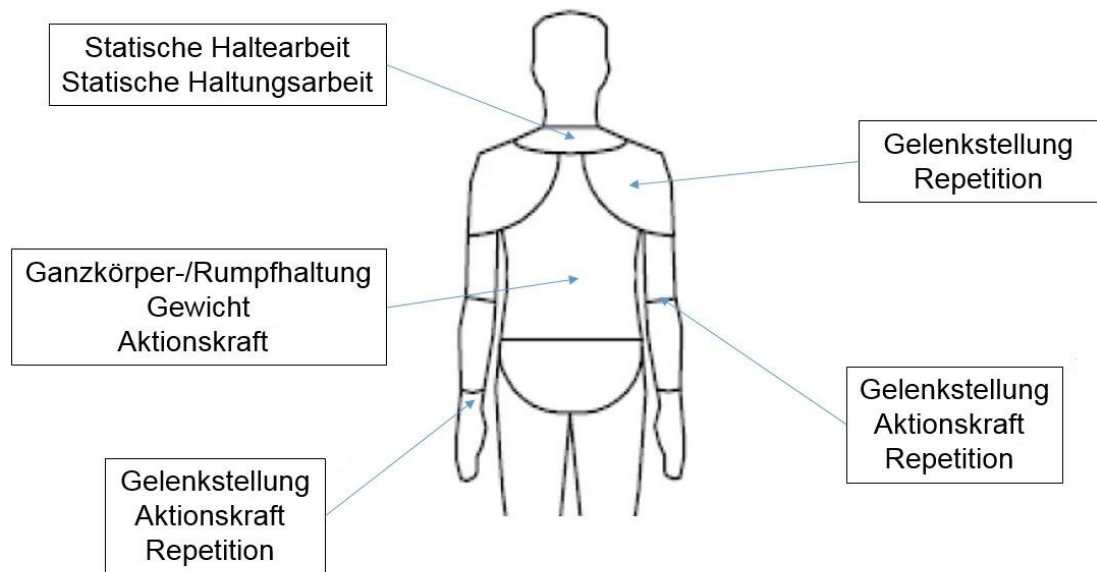


Abbildung 9: Das Arbeitsmodell in der Übersicht nach Bernard (1997), Nordander et al. (2016), Garcia et al. (2015) sowie Waters und Dick (2015)

Weiterhin hat langes Stehen Auswirkungen auf die unteren Extremitäten, wie beispielsweise die Beine im Allgemeinen (Garcia et al., 2015; Antle & Côté, 2013; Drury et al., 2008), die Knie (Elsner, Nienhaus & Beck, 1996) oder die Füße (D’Souza, Franzblau & Werner, 2005; Riddle, Pulisic, Pidcoe & Johnson, 2003), was in dieser Arbeit allerdings unberücksichtigt bleibt, weil lediglich Belastung und Beanspruchung des Oberkörpers untersucht werden.

3.2.2. Definition der zugehörigen Grenzwerte (Forschungsfrage 2)

Bestimmte Bewegungen, insbesondere, wenn diese immer wieder wiederholt werden, verursachen Beschwerden und Schmerzen. So kann beispielsweise der Arm durch ein Zusammenspiel aller beteiligten Muskeln, Sehnen und Bändern des Schultergelenks oder der Ellenbogen bis zu 180° hochgehoben bzw. gestreckt werden. Auch die Hand hat Bewegungsfreiheitsgrade über einen großen Winkelbereich (Tittel, 2003). Diese Freiheitsgrade allerdings in repetitiven Zyklen auszureizen erscheint nicht als sinnvoll. In diesem Kapitel werden deshalb Grenzwerte definiert, ab welchem Ausführungsgrad eine Bewegung als Belastungsfaktor eingestuft wird und damit als ein Risiko gilt, zu Beschwerden zu führen.

In Tabelle 7 sind die für diese Arbeit notwendigen Belastungsfaktoren und Grenzwerte aufgelistet. Um die Bewegungsabläufe abbilden zu können, werden sie auf Häufigkeit sowie das Erreichen ausgewählter Gelenkwinkel reduziert. Für jeden der fünf Körperbereiche gilt deshalb ein Belastungsfaktor dann als vorhanden, wenn die zugehörigen Grenzwerte überschritten werden. Steinberg und Behrendt et al. (2007) geben dabei

allerdings zu bedenken, dass die schädliche Wirkung bestimmter Gelenkwinkel epidemiologisch nur unzureichend gesichert werden kann. In der Tabelle sind die geläufigen Angaben zusammengefasst.

Tabelle 7: Belastungsfaktoren und zugehörige Grenzwerte repetitiver Tätigkeiten

Körperbereich	Belastungsfaktor	Grenzwert	Nachweis
Nacken	Statische Kopfneigung nach vorne	> 20°	Côté et al. (2008), Sim, Lacey und Lewis (2006), Finsen, Christensen und Bakke (1998)
		> 40°	DIN EN 1005-4
	Halsverlängerung	> 10°	Van den Heuvel, van der Beek, Blatter und Bongers (2006), Takamiya et al. (2006), Kee und Karwowski
		> 0°	DIN EN 1005-4
Rücken	Statische Körperhaltung	Stehen	Garcia et al. (2015), Waters und Dick (2015)
	Rumpfneigung vorwärts/rückwärts	> 20°	DIN EN 1005-4, ISO 11226
	Rumpfdrehung	> 30°	Hoogendoorn et al. (2000)
		> 20°	Liu und Sanchez-Monroy (1998)
		> 10°	DIN EN 1005-4
Schulter	Flexion oder Abduktion	> 60°	DIN EN 1005-4, ISO 11226
		> 45°	DIN EN 1005-4
	Frontales Heben	> 80°	DIN EN 1005-4
	Strecken	> 20°	DIN EN 1005-5
	Repetition	> 2,5 RA/min	Kilbom (1994a)
Ellenbogen	Supination oder Pronation	> 60°	DIN EN 1005-5, ISO 11228-3
	Repetition	> 10 RA/min	Kilbom (1994a)
Handgelenk	Adduktion	> 15°	DIN EN 1005-5, ISO 11228-3
	Abduktion	> 20°	DIN EN 1005-5, ISO 11228-3
	Flexion/Extension	≥ 45°	DIN EN 1005-5, ISO 11228-3
	Repetition	> 10 RA/min	Kilbom (1994a)

Zusammengefasst beantworten diese Grenzwerte für Bewegungen repetitiver Montagetätigkeiten Forschungsfrage 2. Dargestellt wird die Summe der Belastungsfaktoren auf den Oberkörper im finalen Arbeitsmodell (Kapitel 3.2.3). Anschließend werden die Belastungsfaktoren, um eine Vergleichsgrundlage zu schaffen, bei den ausgewählten Arbeitsplätzen identifiziert und bewertet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.3.2 dargestellt.

3.2.3. Finalisierung des Arbeitsmodells

Unter Berücksichtigung sowohl der Belastungsfaktoren als auch der Grenzwerte ergibt sich schließlich als Ergebnis des Kapitels 3.2 das Arbeitsmodell dieser Dissertation, welches in Abbildung 10 gezeigt ist.

Es zeigt, dass – sofern sich die Ergebnisse übertragen lassen – unter bestimmten Voraussetzungen, wie das Über- oder Unterschreiten bestimmter Grenzwerte der identifizierten Belastungsfaktoren, zu erwarten ist, dass Beschwerden in ganz spezifischen Körperregionen auftreten. Diese schließlich für repetitive Montagetätigkeiten zu bestätigen ist die Motivation für die Studie sowie das Ergebniskapitel.

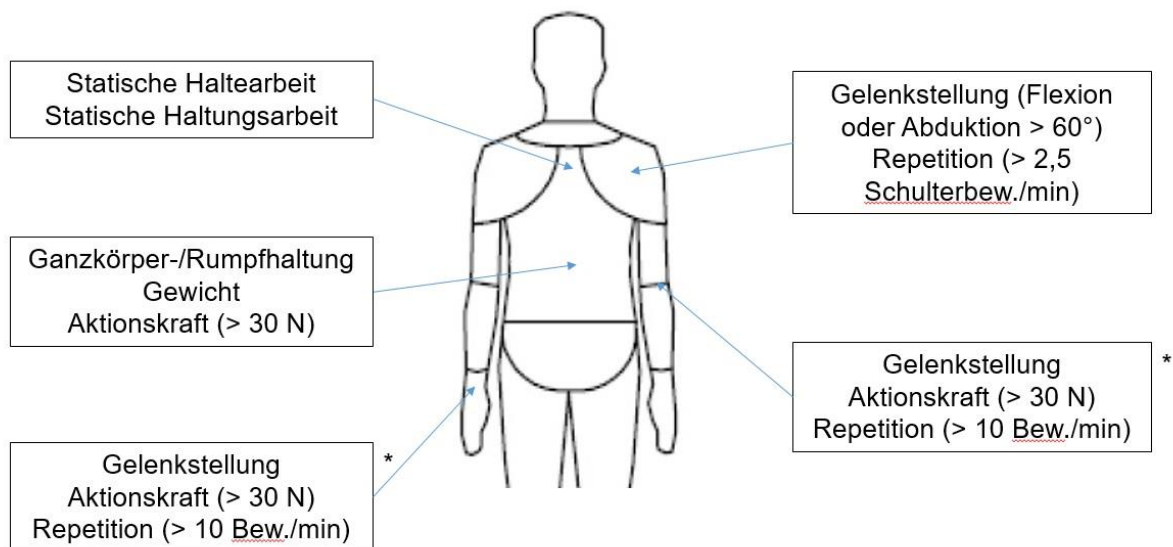


Abbildung 10: Das finale Arbeitsmodell, *mindestens zwei der drei Faktoren

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 thematisiert, können Beanspruchungen und interne Reaktionen nicht direkt gemessen werden. Es können lediglich physikalische Größen am Menschen gemessen und diese in Relation zu den Beanspruchungen gesetzt werden, wodurch die Wirkungen auf den Menschen abgeschätzt werden können. Diese Messmethoden werden im nächsten Abschnitt diskutiert und aus den Möglichkeiten eine Auswahl für den Fragebogen getroffen.

4. Empirische Studie zur Überprüfung des Arbeitsmodells

Das vierte Kapitel über die empirische Studie ist zweigeteilt und dient der Überprüfung des Arbeitsmodells. Zunächst wird die Messmethodik erläutert, beispielsweise welche Methoden ausgewählt wurden, um Belastung und Beanspruchung abzuleiten. Weiterhin wird darauf eingegangen, wie die Befragung abgelaufen ist. Im zweiten Teil schließen sich die Ergebnisse an. In diesem zweiten Teil wird dargestellt, wie repetitive Montagetätigkeiten bezüglich Beanspruchung und Beschwerden wahrgenommen werden. Ferner werden die zu erwartenden Beschwerden identifiziert. Abschließend werden in Kapitel vier die Hypothesen der dritten Forschungsfrage überprüft.

4.1. Auswahl von Methoden zur Ableitung der Belastung und Beanspruchung

Die Daten für alle vier Forschungsfragen werden parallel erfasst. Es gilt also, sowohl alle technischen Randbedingungen und Bewegungen aufzunehmen als auch die Beschwerden und Schmerzen der Mitarbeiter mittels Fragebogen zu erheben. Welche Instrumente warum verwendet werden, wird im Folgenden aufgeführt.

Um aus den Randbedingungen Vorhersagen über die Beanspruchung ableiten zu können, werden die bereits in Kapitel 2.2.1 aufgeführten Belastungen möglichst vollständig erfasst. Weiterhin erleichtern diese Erhebungen auch die Anwendung der Belastungsbewertungsmethoden, für welche die Belastungsdaten ebenso mehr oder weniger gebraucht werden.

Belastungen wie das Gewicht der verwendeten Teile, die aufzubringende Kraft, die Anzahl der Pausen oder schlicht der Arbeitsablauf lassen sich leicht erfassen bzw. erfragen. Schwieriger abzubilden ist beispielsweise die Präzision oder auch die Frequenz, für die sich zwei unterschiedliche Zählweisen anbieten: zum einen die technischen, zum anderen die realen Aktionen. In dieser Arbeit werden, weil von unterschiedlichen Methoden verlangt, beide Zählweisen verwendet und dokumentiert.

Von der Erfassung der Randbedingungen wie des Lärms, des Klimas oder der Beleuchtung wird abgesehen, weil diese in den verschiedenen Werken sehr ähnlich sind und als konstant angenommen werden. Schwingungen treten nicht auf.

Wie ferner bereits in Tabelle 4 im gleichen Kapitel dargestellt, gibt es weiterhin eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Beanspruchung und damit menschliche Reaktionen im Körper abzubilden. Theoretisch sind natürlich alle Möglichkeiten denkbar, sollen die Messmethoden allerdings im Feldtest eingesetzt werden, wie es für diese Arbeit vorgesehen ist, scheiden die meisten aus. So müssen die Methoden schädigungslos bleiben sowie schnell und kostengünstig einsetzbar sein. Demnach ist es einleuchtend, dass beispielsweise das Röntgen oder der Einsatz eines MRT-Geräts zu aufwändig und kostenintensiv ist, Biopsien nur mit invasiven Eingriffen möglich sind

und damit ausgeschlossen werden müssen. Auch die Messung der Sinnesorgane eignet sich nicht dazu, mit objektiven Belastungen verglichen zu werden.

Ebenso wenig eignen sich Ganzkörperwerte für die Messung und anschließende Rückfolgerung auf die Beanspruchung durch repetitive Tätigkeiten, weil beispielsweise der Puls kaum erhöht ist, selbst wenn die oberen Extremitäten viele Bewegungen pro Zeit ausführen. Die lokale Beanspruchung ist die, die zählt. Dadurch scheiden Messmethoden – obwohl leicht durchführbar – wie die der Pulsfrequenz, des Blutdrucks oder auch der Atemfrequenz aus. Mit derselben Begründung scheidet außerdem die Messung der Körperkerntemperatur oder auch des Hautwiderstandes aus.

Interessant ist sicher die gezielte Untersuchung der belasteten Muskulatur. Gut erforscht scheint beispielsweise die Laktatmessung, wobei sich auch dieser Wert durch die Blutzirkulation nicht dazu eignet, auf lokale Beanspruchungen rückzuschließen. Weiter müsste zudem Blut abgenommen werden. Eine gute Alternative scheint laut Diemer und Sutor (2007) die lokale Hauttemperaturmessung zu sein. Dabei kann durch eine höhere Temperatur auf eine höhere Muskelaktivität geschlossen werden. Es ist jedoch nur ein geringer Temperaturanstieg von in der Regel unter 2° C zu erwarten, was die Messungen sehr diffizil und schwer unterscheidbar macht. In anderen Studien wird häufig die Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) eingesetzt, bei der die elektrischen Vorgänge in der Muskulatur analysiert und dargestellt werden. Die Anstrengung ist bei dieser Messmethode durch den MVC prozentual abschätzbar, wird jedoch von der Einsatzbereitschaft der Probanden beeinflusst. Weiterhin ist der Einsatz der OEMG aufwändig und liefert viele Messwerte, die zu falschen Interpretationen führen können.

Gewählt werden soll an dieser Stelle ein Ansatz, der bisher selten eingesetzt und in Bezug auf manuelle Montagearbeitsplätze noch in keiner Untersuchung umfassend eingesetzt wurde: die direkte Abfrage, bei der sich die Probanden selbst einschätzen, um die Beanspruchung bei repetitiven Montagetätigkeiten zu erfassen. Laut einer europaweiten Befragung (Burchell, 2009) schwankt die wahrgenommene Arbeitsintensität zwischen den verschiedenen Altersgruppen nicht. Auch bei den Validierungen der Belastungsbewertungsmethoden wurden die Mitarbeiter, die laut Montreuil und Laville (1986) eine essentielle Informationsquelle sind, befragt, um das subjektive Beanspruchungsempfinden mit der Bewertungsskala abzugleichen. Ein Beispiel dafür ist die Entwicklung des NPW (Schaub, Storz & Landau, 2001).

Kapitel 2.2.2 beschreibt verschiedene Möglichkeiten, unter denen sicherlich die BORG-Skala (siehe Kapitel 4.1.2) am bekanntesten ist. Das damit erhobene subjektive Beanspruchungsempfinden eignet sich, um abschätzen zu können, wie fordernd die bewerteten Arbeitsplätze sind. In der Studie, von der die Fragestellung für diese Arbeit abgeleitet wurde (vgl. Kapitel 2.3) wurde beispielsweise das Beanspruchungsempfinden mit den Risikobewertungen der Screening-Verfahren verglichen.

Für die ausführliche Erfassung der Beschwerden und Schmerzen eignet sich hingegen der Nordische Fragebogen (siehe Kapitel 4.1.2) am besten. Um die Beschwerden der oberen Extremitäten genau zu erfassen, wird in dieser Studie eine erweiterte Form verwendet, in welcher die oberen Extremitäten genau aufgegliedert sind.

Um diese Ergebnisse nachvollziehbarer zu machen, werden zusätzlich ausgewählte Merkmale des Fragebogens zur subjektiven Einschätzung der Belastung am Arbeitsplatz (siehe Kapitel 4.1.2) sowie die Selbsteinschätzung der Arbeitsfähigkeit, wie sie im WAI (siehe Kapitel 4.1.2) abgefragt wird, erhoben. Der vollständige Einsatz des WAI ist deshalb nicht vorgesehen, auch der Punktwert wird nicht berechnet und bleibt außen vor. Die Ergebnisse dieser Befragungen sollen die Angabe der Beschwerden und Schmerzen untermauern, um zum einen Plausibilität zu gewährleisten, zum anderen Zusammenhänge identifizieren zu können.

Um Forschungsfrage 4 umfassend beantworten zu können, darf die Analyse der Arbeitsplätze mit verschiedenen Screening-Verfahren nicht fehlen. Aufbauend auf einer Vorarbeit (Heidl, 2013) scheinen sich fünf verschiedene Methoden für die Analyse repetitiver Montagetätigkeiten zu eignen, womit ebenso alle Ausführungsvarianten – vom einfachen Screening-Tool bis hin zur detaillierten Expertenbewertung – abgedeckt sind. Die ausgewählten Verfahren wurden in Kapitel 2.1.3 vorgestellt und heißen OCRA CL, EAWS, LMM MA, HARM und SI.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Auswahl an Messmethoden, um die physische Belastung und Beanspruchung repetitiver Montagetätigkeiten zu erfassen. Die exakte Darstellung der einzelnen Parameter erfolgt in den nächsten Unterkapiteln; die Dokumente befinden sich zur Ansicht im Anhang.

Erfasst werden:

- Sämtliche (objektive) Randparameter wie Abstände, Gewichte, Bewegungsfrequenzen, Arbeitszeiten, Körperhaltung usw.
- Der Fragebogen mit Elementen aus Nordischem Fragebogen, Borg-Skala, WAI und FEBA
- Die Screening-Verfahren OCRA, EAWS, LMM MA, HARM und SI

Die Erfassung der einzelnen Parameter wird in den folgenden Unterkapiteln präzisiert. Es wird beschrieben, welcher Umfang und welche Form in der Erhebung Anwendung findet.

4.1.1. Erhebung der Randparameter von Montagearbeitsplätzen

Zur vollständigen Erfassung jedes Arbeitsplatzes werden konsequent sämtliche (objektive) Randparameter wie

- Abstände,
- Gewichte,
- Bewegungsfrequenzen,
- Griffbedingungen,
- Arbeitshöhen,
- Arbeitsanweisungen,
- Arbeits- und Pausenzeiten,
- Körperhaltungen,
- Zugänglichkeiten,
- etc.

erfasst und dokumentiert. Diese helfen nicht nur bei der Belastungsbewertung durch die verschiedenen Screening-Methoden sondern ebenso bei der Identifizierung von Risikofaktoren für Beschwerden der einzelnen Körperbereiche.

4.1.2. Erstellung des Fragebogens zur Erhebung der subjektiven Beanspruchung und Beschwerden der Montagemitarbeiter

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel ausführlich dargelegt, wurde sich im Rahmen dieser Arbeit für einen Fragebogen zur Erhebung der subjektiven Beanspruchungsempfindung sowie von Beschwerden der Montagemitarbeiter entschieden. Der Aufbau des Fragebogens gestaltet sich mit den folgenden Unterpunkten:

Allgemeine Fragen zur Person

Zu Beginn des Fragebogens werden – nach einer kurzen Erklärung sowie den Angaben zum Datenschutz – allgemeine Angaben zur Person gemacht, um später Gruppen bilden und Beanspruchungen einstufen zu können. Neben dem Alter (in zwei Gruppen), dem Geschlecht und der Händigkeit wird die Vorbelastung abgefragt: wie lange bereits in der Montage bzw. am Platz gearbeitet wird und ob in der Freizeit durch Sport ähnliche Belastungen auftreten. In den Ergebnissen wird genauer darauf eingegangen, wie diese Angaben das subjektive Empfinden beeinflusst.

Der Work Ability Index

Nach den allgemeinen Fragen zur Person folgt die subjektive Einschätzung der Belastung und Beanspruchung. Zunächst wird nach Vorbild des Work Ability Index (WAI) die Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die körperlichen wie auf die psychischen Arbeitsanforderungen abgefragt. Der WAI ist ein Messinstrument zur Erfassung der Arbeitsfähigkeit von Erwerbstätigen und ist ebenso als Arbeitsfähigkeitsindex oder Arbeitsbewältigungsindex bekannt (Müller, 2012). Der WAI ist das Resultat eines finnischen Forschungsprojektes des Finnish Institute of Occupational Health (FIOH) und für die praktische Anwendung im betrieblichen Gesundheitsschutz bestimmt. Validiert wurde der WAI durch Tuomi, Ilmarinen, Jahkola, Katajarinne und Tulkki (1998).

Der WAI soll in erster Linie als ein Index, Indikator oder „tool“ (Werkzeug) verstanden werden (Hasselhorn & Freude, 2007). Es handelt sich um einen Fragebogen mit dem Ziel, in Betrieben die Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten zu fördern bzw. zu erhalten, indem diese mit einem Gesamtwert in Form eines Punktwerts zwischen 7 und 49 dargestellt wird. Die Punktzahl soll wiedergeben, inwieweit ein Arbeitnehmer in der Lage ist, seine Arbeit zu verrichten. Dies ist abhängig sowohl von den persönlichen Voraussetzungen sowie den vorliegenden Arbeitsbedingungen (Müller, 2012).

Der Fragebogen kann selbst oder von Dritten ausgefüllt werden und ist sowohl in einer Kurz- wie auch in einer Langversion verfügbar. Die Langversion ist vor allem für Betriebsärzte gedacht. Der WAI ist so aufgebaut, dass zunächst die Tätigkeitsart, die Arbeitsfähigkeit und die ärztlich diagnostizierten Krankheiten abgefragt werden. Es folgt die Einstufung der Beeinträchtigung durch die Krankheiten, des Krankenstandes sowie der psychischen Leistungsreserven. Aus den Einzelwerten wird schließlich der Gesamtwert berechnet, mit welchem, je nach Ergebnis, verschiedene Maßnahmen empfohlen werden (Müller, 2012).

Im Fragebogen dieser Arbeit zur Verfügung steht je eine fünfstufige Skala von sehr gut bis sehr schlecht zur Selbsteinstufung der psychischen und physischen Arbeitsfähigkeit. Während durch die Borg-Skala (vgl. nächster Abschnitt) das momentan empfundene Beanspruchungsempfinden abgefragt wird, zielt die Abfrage der psychischen und physischen Arbeitsfähigkeit auf die längerfristigen Auswirkungen der repetitiven Montagearbeit.

Die Borg-Skala

Mit der Borg-Skala kann das subjektive Belastungsempfinden gemessen werden. Die Frage nach diesem ist keine seltene. Ansätze, wie beispielsweise in der BAUA-Erwerbstätigenbefragung von 2012 (Rohrbach-Schmidt & Hall, 2012), bei welcher zu bestimmten Arbeitsplatzsituationen „Belastet Sie das?“ als ja/nein-Entscheidung nachgefragt wurde, reichen aber nicht aus, um einen Vergleichswert für die Belastungsbewertungsmethoden zu generieren. Um eine differenzierte Einschätzung zu erhalten, eignen sich Skalen.

Zur Bewertung des subjektiven Belastungsempfindens gibt es verschiedene Skalen. Etabliert hat sich – vor allem in den Sportwissenschaften – die Borg-Skala nach Borg (1985b, S. 343-349), die in Deutschland seit 1977 eingesetzt wird und seitdem als Standard für die Bestimmung des Anstrengungsempfindens bei körperlicher Arbeit gilt (Löllgen (2004) sowie Löllgen & Ulmer (2004)). Laut Marées und Heck (2006, S. 457) lässt sich mit der Borg-Skala das subjektive Belastungsempfinden der Probanden quantifizieren. Wie die Arbeitsintensität wahrgenommen wird, hängt zum einen von der Arbeitsumgebung, zum anderen vom Individuum selbst ab (Boisard et al., 2003, S. 17).

Von der Borg-Skala gibt es zwei verschiedene Varianten. Erstens die ursprünglich eingeführte RPE-Skala (rating of perceived exertion), eine linear gestaltete, fünfzehnstufige Skala von 6-20, die bei einigen Probanden mit der Herzfrequenz ($Skalenwert \times 10 = Herzfrequenz$) korreliert (Borg (1970), auch bei hohen Belastungen: Borg, Ljunggren & Ceci (1985)). Zweitens die sogenannte „category-ratio scale“ von 0 - 10, die so konzipiert wurde, dass die den Zahlenwerten zugeordneten leichtverständlichen verbalen Beschreibungen quantitativ Bedeutung haben. Damit ist gemeint, dass, wenn beispielsweise die Zahl vier „leicht“ bedeutet, die Zahl zwei die Hälfte der Belastungsintensität verkörpern sollte (Borg, 1982a).

Beide Skalen sind in Tabelle 8 gezeigt. Borg (1982a) selbst empfiehlt die „alte“ RPE-Skala für die Quantifizierung von Belastungsintensitäten wie im Sport oder medizinischer Rehabilitation. Die „neue“ Verhältnis-Skala hingegen eignet sich besonders für die subjektive Beschreibung von Symptomen wie Schmerzen. Im Fragebogen wird deshalb die RPE-Skala verwendet.

Tabelle 8: Borgs RPE-Skala (links) und category-ratio-scale (nach Borg, 1982a); in Klammern die deutsche Übersetzung nach Tschopp (2001, S. 32)

RPE-Skala	Verbale Beschreibung	Category-ratio scale	Verbale Beschreibung
6	(überhaupt keine Anstrengung)	0	Nothing at all
7	Very, very light (extrem locker)	0,5	Very, very weak (just noticeable)
8			
9	Very light (sehr locker)	1	Very weak
10			
11	Fairly light (locker)	2	Weak (light)
12		3	Moderate
13	Somewhat hard (ein wenig hart)	4	Somewhat strong
14			
15	Hard (hart)	5	Strong (heavy)
16		6	
17	Very hard (sehr hart)	7	Very strong
18		8	
19	Very, very hard (extrem hart)	9	
20	(maximale Anstrengung)	10	Very, very strong (almost max)

Neben der Skala sollten den Probanden folgende Instruktionen gegeben werden (in Anlehnung an Tschopp, 2001, S. 33):

Während Ihrer Arbeitstätigkeit sollen Sie Ihr Empfinden der Anstrengung bewerten. Dafür wird die so genannte Borg-Skala verwendet, auf der 6 überhaupt keine Anstrengung und 20 die maximale Anstrengung bedeutet. Ziffer 9 ist eine sehr lockere körperliche Belastung, wie langsames Spaziergehen (für gesunde Leute). Ziffer 13 auf dieser Skala ist eine schon etwas harte Belastung. Es geht aber immer noch gut, und Sie sollten dabei keine Probleme haben, die Belastung weiter auszuführen. Bei der Zahl 17 ist es wirklich sehr anstrengend. Zwar könnten Sie noch weitermachen, müssen sich dazu aber sehr stark motivieren. Die 19 schließlich ist eine extrem anstrengende Belastung, entsprechend der bisher größten erlebten Anstrengung.

Versuchen Sie bitte Ihr Gefühl der Anstrengung so ehrlich wie möglich abzuschätzen. Sie sollen es weder unter- noch überschätzen. Einige Leute sind ein bisschen zu wenig sensibel oder wollen „tapfer“ sein und beurteilen die Anstrengung zu tief. Versuchen Sie dagegen die Anstrengung so zu fühlen, wie Sie sie wahrnehmen. Wir sind nur an Ihrem eigenen Leistungs- und Anstrengungsgefühl interessiert. Schauen Sie auf die Skala und die Bezeichnungen und geben Sie eine Zahl an. Möglich sind sowohl ganze wie auch halbe Zahlen.

Auch andere Skalen sind vorhanden, die aber im Grunde dieselbe Aussage liefern. Lediglich die Zahlenwerte sind anders skaliert. Die „Rating Scale of Mental Effort“ (Zijlstra & van Doorn, 1985 bzw. auf Deutsch Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986) beispielsweise reicht von 0 bis 220, das sogenannte Beanspruchungsrating von Richter, Debitz und Schulze (2002) und Hemmann, Merboth und Richter (2001) von 1 bis 6. Beide Skalen kommen unter anderem in Merkel, Streit und Richter (2004) zum Einsatz, um die Anstrengung zu messen, die als Indikator des Beanspruchtheits angesehen wird.

Im Fragebogen kommt die RPE-Skala von sechs bis 20 zum Einsatz, um die Belastungsintensität aufzunehmen. Die schriftliche Erläuterung, die redundant zur mündlichen Einführung durch den Versuchsleiter vorliegt, wird in Anlehnung an Tschopp (2001, S. 33) gehalten.

Der Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Belastung am Arbeitsplatz

Den dritten und letzten Teil der Einschätzung des subjektiven Belastungs- und Beanspruchungsempfindens wird durch den Fragebogen nach Slesina realisiert. Dieser hat sich zur subjektiven Einschätzung der Belastung am Arbeitsplatz etabliert. Mit dem zugehörigen Fragebogen (FEBA) wird das subjektive – physische wie psychische – Belastungs-/Beanspruchungsempfinden für verschiedene Gefährdungs- und Belastungsfaktoren erfasst. Es wird versucht, die objektivierend erhobene Anforderungsintensität dem anforderungsbedingten Beanspruchungsempfinden gegenüberzustellen, indem einerseits nach Zeitdauer und Intensität des Einwirkens der Faktoren und andererseits dem Beanspruchungserleben gefragt wird (Richter, 2010, S. 127).

Wichtig ist dabei ausschließlich das persönliche Empfinden der Befragten. Für das bessere Verständnis zeigt Tabelle 9 einen Auszug aus dem Fragebogen. In der linken Spalte sind im FEBA insgesamt 47 Merkmale aufgeführt. In der mittleren Spalte geben die Probanden an, wie häufig oder stark diese Faktoren auf die Arbeit zutreffen. In der rechten Spalte schließlich erfolgt die Einschätzung, ob sich durch das jeweilige Merkmal belastet bzw. beansprucht gefühlt wird.

Tabelle 9: Auszug aus dem FEBA (Slesina, 2009b)

Bitte überlegen Sie, ob folgende Merkmale oder Belastungsfaktoren an Ihrem Arbeitsplatz vorkommen!	Wie häufig oder wie stark trifft dieses Merkmal oder der Faktor auf Ihre Arbeit zu?				Fühlen Sie sich selbst dadurch körperlich oder geistig belastet oder beansprucht?	
	oft	mittel	selten	nie	ja	nein
Bewegungsmangel						
genaues Detailsehen						
Schichtarbeit						

Für den FEBA sind Gütekriterien vorhanden. Die Reliabilitäts- und Validitätsprüfungen inkl. der Koeffizienten sind in Slesina (1987a) zu finden.

Die 47 Merkmale des Fragebogens wurden für diese Befragung reduziert, weil die psychische Komponente außen vor gelassen wird. Weiterhin werden die Umgebungseinflüsse als konstant angenommen. Nicht abgefragt werden folglich die Merkmale „selbstständiges Entscheiden“, „selbstständige Arbeitseinteilung“, „Termindruck“, „Lärm“, „Wärme/ Hitze“, „Nässe/Feuchtigkeit“, „ungünstige Beleuchtung“, „Zugluft“, „Anweisungen geben“, „Verantwortung für Maschinen und/oder Material“, „Verantwortung für die Sicherheit und/oder die Gesundheit anderer“, „Ärger mit Kollegen“, „Ärger mit Vorgesetzten“, „Überstunden“, „chemische Stoffe“, „Staub/Schmutz“, „Gerüche/Dämpfe“ und „Vibrationen/Schwingungen“. Für die anderen wird, wie bereits beschrieben, zum einen eingeschätzt, wie häufig oder stark diese auf die Arbeit zutreffen sowie zusätzlich, ob sich die Werker dadurch belastet bzw. beansprucht fühlen.

Umformuliert wurden, auf Wunsch des Gesamtbetriebsrats, außerdem die Merkmale 21 („Zeitdruck“) und 37 („Leistungsdruck“), in „zeitliche Bewältigung“ sowie „Zielvorgaben“.

Der Nordische Fragebogen

Zur Erfassung der Schmerzen und Beschwerden kommt im nächsten Teil des Fragebogens der sogenannte Nordische Fragebogen zum Einsatz. Der Nordische Fragebogen gilt aktuell als Standard zur Erfassung der subjektiven Beschwerden am Bewegungsapparat. Eingesehen werden kann eine ausführliche Version beispielsweise bei der Initiative Neue Qualität der Arbeit (2009).

Wie von Caffier, Steinberg und Liebers (1999, S. 30-31) erläutert, dient der Fragebogen der Erfassung von Beschwerden und Schmerzen, die von den Probanden subjektiv wahrgenommen werden. Es wird die Ist-Situation beschrieben. Für die fachliche Identifikation von Kausalitäten oder schmerzauslösenden Strukturen ist allerdings eine exakte körperliche Untersuchung erforderlich (Caffier et al., 1999, S. 31-32). Langjährige Werksarztunterlagen versprachen in diesem Zusammenhang zunächst die Lösung sowie einen gewissen Längsschnittstudieneffekt, weil eventuell auf eine erhöhte Arbeitsbelastung rückgeschlossen werden könnte, wenn sich Beschwerden an einzelnen Arbeitsplätzen häufen. Leider ist zum einen die Einsicht in diese Unterlagen wegen Datenschutz nicht möglich, zum anderen sind die arbeitsmedizinischen Daten nicht exakt für einzelne Arbeitsplätze erfasst, sondern lediglich für Bereiche mit mehreren Plätzen oder Linien. Hinzu kommt die außerbetriebliche Belastung etwa durch Sport oder handwerkliche Tätigkeiten. Durch diesen Teil der Befragung soll versucht werden, die gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Hobbys auszuschließen.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, muss ein standardisiertes Instrument verwendet werden, als das sich der Nordische Fragebogen zur Analyse von Muskel-Skelett-Symptomen (Kuorinka et al., 1987) durchgesetzt hat und bereits in zahlreichen früheren Untersuchungen erfolgreich eingesetzt wurde.

Der Fragebogen ist in zwei Teile aufgeteilt, weil zunächst allgemeine Angaben zur Person und Arbeitssituation abgefragt werden. Im zweiten Teil wird dann von den Probanden für die einzelnen Körperregionen angegeben, ob und wie stark fortbestehende Beschwerden vorliegen. Weil der erste Teil im Fragebogen dieser Arbeit bereits vorhanden ist, wird dieser weggelassen und nur der zweite Teil an die Anforderungen repetitiver Arbeit angepasst und deshalb um eine detaillierte Darstellung der oberen Extremitäten ergänzt (siehe Abbildung 11), sodass Schmerzen und/oder Beschwerden detailliert für jeden Bereich der Arme angegeben werden können. Weiter erfasst wird außerdem der Oberkörper, womit die folgenden Körperbereiche angegeben werden können: unterer Rücken, oberer Rücken, Nacken, sowie beidseitig Schulter, Oberarm, Ellenbogen, Unterarm, Handgelenk und Hand/Finger.

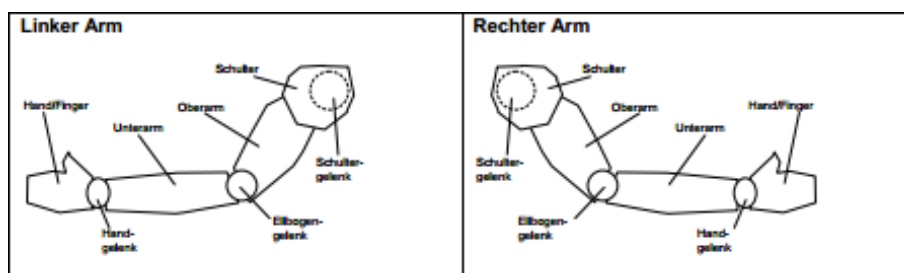


Abbildung 11: Detaillierte Darstellung der oberen Extremitäten für die Möglichkeit der Angabe der subjektiven Beschwerden in allen Bereichen

4.1.3. Screening-Verfahren

Aufgrund der Erfahrungen der Studie von Heidl (2013) scheinen die Verfahren OCRA CL, EAWS, LMM MA, HARM und SI am besten dafür geeignet, repetitive Montagetätigkeiten zu bewerten, weshalb für diese Studie auch ausschließlich diese Verfahren zur Anwendung kommen. Die Methode OCRA wird dabei in der Checklisten-Form angewandt.

Etwas ausführlicher werden die Methoden vor deren Vergleich in Kapitel 5.1 vorgestellt.

4.2. Der Ablauf der Befragung

Bevor die Befragungen mittels Fragebogen durchgeführt werden konnten, wurde der Betriebsrat über das Forschungsvorhaben informiert und der Fragebogen abgestimmt. Wie in Kapitel 4.1.2 angemerkt, wurden zwei Merkmale des FEBA umformuliert, ansonsten wurde das Vorhaben anstandslos bewilligt. Infolgedessen musste auch in jedem der fünf ausgewählten Standorte die Betriebsratsmitglieder nur informiert werden.

Ferner wurde sich vor Ort mit allen zuständigen Vorgesetzten und Fertigungsleitern über das Vorhaben abgestimmt und die Fragebögen vorbereitet. Je nach Möglichkeit wurden entweder ganze Arbeitsgruppen in einem Raum gleichzeitig befragt oder auch Einzelpersonen in der Produktion in das Vorhaben eingeführt, nachdem ihnen mitgeteilt wurde, dass die Befragung mit den Vorgesetzten und dem Betriebsrat abgesprochen wurde, dass die Befragung anonym ist und dass die Teilnahme freiwillig geschieht. Die Probanden wurden in beiden Fällen nicht im Arbeitsablauf gestört und konnten sich voll und ganz auf das Ausfüllen des Fragebogens konzentrieren.

Zunächst wurde den Probanden vom Versuchsleiter für die Bereitschaft gedankt, an der Befragung teilzunehmen. Die Anonymität wurde ein weiteres Mal zugesichert und der Hintergrund der Befragung erläutert. Erfreulicherweise waren fast alle möglichen Probanden zur Befragung bereit.

Anschließend wurden allen Freiwilligen Fragebogen und Stift ausgeteilt. Dann wurde der Fragebogen durchgegangen. Explizit erklärt wurde die BORG-Skala, die bei mehreren Arbeitsplätzen auch mehrmals auszufüllen war. Weiterhin wurde explizit auf die zwei separat auszufüllenden Spalten des FEBA hingewiesen. Weil die Mitarbeiter laut Schuler und Brandstätter (2004) häufig keinen Grund dafür sehen, an Untersuchungen teilzunehmen, wurde sich im Anschluss mit Süßigkeiten ein weiteres Mal bedankt. Die Datenerhebung erfolgte von April bis Oktober 2015.

4.3. Die Ergebnisse der empirischen Studie zur Überprüfung des Arbeitsmodells

Im dritten Unterkapitel von Kapitel 4 werden nun die Ergebnisse der Arbeitsplatzanalysen vorgestellt. Das Ergebniskapitel an sich ist dreigeteilt: zunächst werden die ausgewählten Arbeitsplätze aufgenommen und theoretisch analysiert sowie die Unterschiede im Probandenkollektiv untersucht, bevor im zweiten Teil die zu erwartenden Beschwerden an den vorliegenden repetitiven Arbeitsplätzen identifiziert werden. Im dritten Teil der Ergebnisse wird dann der Vergleich zu den subjektiven Daten vollzogen, wodurch die Hypothesen der dritten Forschungsfrage überprüft werden.

Die Vorstellung der Ergebnisse geschieht vor allem anhand von Balken- und Box-Whisker-Diagrammen, die Werte sind dabei auf eine Stelle nach dem Komma gerundet.

4.3.1. Voruntersuchungen bezüglich der Qualität der erhobenen Daten sowie der Unterschiede im Probandenkollektiv

Im ersten Teil des Ergebniskapitels werden zunächst die ausgewählten Arbeitsplätze deskriptiv dargestellt und beispielhaft beschrieben.

Der Kern dieses Kapitels dreht sich dann um die Frage, welche Körperregionen zusammenarbeiten und -hängen. Überprüft werden in diesem Zusammenhang mittels eines Fragebogens, der in Kapitel 4.1 der empirischen Studie beschrieben wurde, die Arbeitsfähigkeit, das subjektive Schmerz- und Beschwerdeempfinden sowie das subjektive Belastungs- sowie Beanspruchungsempfinden. Es sei an dieser Stelle so viel vorweggenommen, dass sich die Belastung durch repetitive Montagetätigkeiten nicht auf die von RSI oder WRULD beschriebenen Bereiche des Nackens und der oberen Extremitäten beschränkt.

Es wird aufgezeigt, wie sich die unterschiedlichen Menschen voneinander unterscheiden und welche Gemeinsamkeiten es gibt. Interessant sind weiterhin Vergleiche zwischen den Standorten oder beispielsweise auch der Einfluss der Freizeitaktivitäten wie Sport.

Deskriptive Angaben der analysierten Montagetätigkeiten

Für die praktischen Untersuchungen wurden insgesamt 66 Montagearbeitsplätze in fünf unterschiedlichen Werken in Deutschland ausgewählt. Die Zykluszeiten reichen von 5 bis 64 Sekunden, der Durchschnitt liegt bei 19,7 s. Die Verteilung der Zykluszeiten der ausgewählten Arbeitsplätze ist in Abbildung 12 dargestellt.

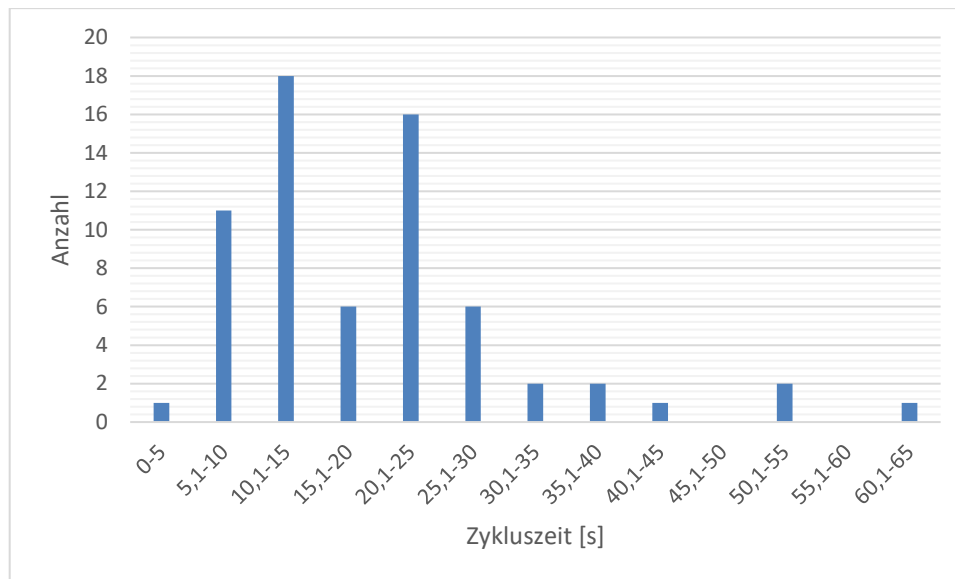


Abbildung 12: Verteilung der Zykluszeiten

Laut Definition (vgl. Kapitel 2.1.2) sind sämtliche analysierte Arbeitsplätze als repetitiv zu bezeichnen. 58 der ausgewählten Arbeitsplätze weisen Zykluszeiten von ≤ 30 Sekunden auf und sind damit als hoch repetitiv einzustufen. Die verbleibenden acht Plätze überschreiten entweder die Grenzwerte für Bewegungen pro Minute einzelner Körperbereiche und/oder es werden mehrere Teile pro Zyklus bearbeitet, sodass sich der Arbeitsvorgang im Zyklus selbst wiederholt.

In den meisten Fällen (44) ist die rechte die dominierende Hand, mit welcher der Hauptanteil der Aktionen ausgeführt wird. An 14 Arbeitsplätzen leistet die linke Hand die meiste Arbeit, an acht Arbeitsplätzen wird von beiden Händen die gleiche Anzahl von Aktionen ausgeführt.

Die meisten Kraftübertragungen erfolgen über eine Fingerzufassung, teilweise ist auch eine Handumfassung der Teile möglich. In Einzelfällen werden zwei Teile in einer Hand gehandhabt, ebenso muss ab und zu mit Werkzeug, wie beispielsweise Pinzetten oder automatischen Schraubern, gearbeitet werden.

Unterbrechungen der Arbeit sind mit Einschränkung möglich. Meist muss ein Kollege einspringen, um den Arbeitsfluss nicht zu behindern, teilweise kann ein Puffer aufgebaut werden. In der Regel sind in einer Acht-Stunden-Schicht zwei längere Pausen vorgesehen; eine à 15, die andere à 25 Minuten.

Der überwiegende Anteil der Montagearbeiten wird im Stehen geleistet. 27 der 66 Arbeitsplätze sind reine Steharbeitsplätze, in 19 Fällen kann frei zwischen Sitzen und Stehen entschieden werden. 15 weitere Arbeitsplätze wechseln in vorgegebenen Abständen zwischen Stehen und Gehen, fünf Arbeitsplätze sind reine Sitzarbeitsplätze.

Statische Aktionen (≤ 4 Sekunden) kommen nur an vier Arbeitsplätzen vor, die Bewegungshäufigkeiten der jeweils dominierenden Hand reichen von sechs bis 69 realen Aktionen (RA) pro Minute (zehn bis 92 technische

Aktionen (TA) pro Minute). Der Durchschnitt aller untersuchten Arbeitsplätze liegt bei 25,8 RA/min (39,2 TA/min).

Die aufzubringenden Kräfte werden in sogenannte Kraftniveaus eingeordnet. Ausschlaggebend dafür ist die höchste aufzuwendende Kraft innerhalb des Arbeitszyklus. 26 Arbeitsplätze fallen demnach in das Kraftniveau 1 (bis fünf N), 36 Arbeitsplätze in das Kraftniveau 2 (bis 20 N) und vier Arbeitsplätze in das Kraftniveau 3 (bis 35 N). Größere Kräfte sind nicht – auch nicht vereinzelt – aufzubringen.

Beispielbeschreibung eines Arbeitsplatzes

Zur Veranschaulichung wird an dieser Stelle ein Beispiel eines untersuchten Arbeitsplatzes gegeben. Der ausgewählte Platz wurde als 19. aufgenommen, weshalb die Durchlaufnummer als Arbeitsplatzbezeichnung gilt. Im Folgenden wird der Arbeitsplatz als Arbeitsplatz Nr. 19 bezeichnet. Bis auf die Detailausführung ähneln sich die Plätze größtenteils.

Bei dem hier beispielhaft dargestellten Arbeitsplatz werden, wegen der langen Prozesszeit, drei Maschinen gleichzeitig bedient. Mit ihnen werden Hochdruckpumpen auf ihre Funktion überprüft. Der Aufbau und Ablauf des Arbeitsplatzes gestaltet sich wie folgt:

Wie üblich beträgt die Schichtdauer dieses Arbeitsplatzes acht Stunden abzüglich der Pausen. Es wird in drei Schichten gearbeitet, jeweils von 6 bis 14, 14 bis 22 und 22 bis 6 Uhr. Festgelegt sind zwei Pausen. In der Frühschicht wird die erste Pause à 15 Minuten als Frühstücks- und die 25-minütige zweite als Mittagspause genutzt. Weitere sechs Minuten sind für Reinigungs- und andere Tätigkeiten wie den Schichtwechsel angesetzt. Hinzu kommen 16 Minuten persönliche Verteilzeit, welche in der Arbeitsplatzanalyse nicht berücksichtigt werden, weil diese individuell unterschiedlich und somit eventuell nicht genutzt werden. Als tägliche Arbeitszeit ergeben sich damit 434 Minuten.

Der Arbeitsablauf der Tätigkeit Nr. 19 umfasst die folgenden Schritte:

1. Aufnehmen der Pumpe
2. Aufschrauben eines Adapters
3. Die von der Maschine geprüfte Pumpe durch die nächste zu prüfende austauschen
4. Taster betätigen (Prozess starten)
5. Abschrauben des Adapters
6. Nachrichten mit der Presse
7. Pumpe in O-Ring-Maschine drücken
8. Pumpe auf Förderband ablegen

9. Neu beginnen mit 1, wobei reihum abwechselnd die Maschinen 1, 2 und 3 (vgl. Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15) bestückt werden

Für diesen Arbeitsablauf ergeben sich für die linke Hand acht technische bzw. sechs reale Aktion pro Zyklus; für die rechte Hand 15 technische und neun reale Aktionen pro Zyklus. Pro Minute ergeben sich somit 18,4 technische bzw. 13,8 reale Aktionen für die linke und 34,6 technische bzw. 20,7 reale Aktionen für die rechte Hand.

Beim Arbeitsplatz Nr. 19 handelt es sich um einen entkoppelten Arbeitsplatz, der also nicht in einen Arbeitsplatzverbund eingebunden ist, sondern einzeln für sich bearbeitet wird. Durch den Einsatz der Presse (~25 N) und das Drücken gegen den Widerstand der O-Ring-Maschine (~30 N) kommt es bei diesem Arbeitsablauf zu vergleichsweise großen Kräften. Arbeitsplatz Nr. 19 ist einer der vier Arbeitsplätze mit Kraftniveau 3.

Wie für alle Arbeitsplätze liegt eine genaue MTM-Analyse vor. Rechnerisch ergeben sich 26,04 s pro Zyklus, worin das Hin- und Hergehen wie auch die manuellen Tätigkeiten enthalten sind. Die Kistenwechsel gestalten sich sehr unproblematisch, weil die leeren Blister der angelieferten Pumpen lediglich 30 cm von der oberen auf die untere Rollbahn gesetzt werden müssen. Dies ist für alle 12 Pumpen, also 83- bis 84-mal pro Schicht nötig. Der Aufbau sowie die Abstände des Arbeitsplatzes sind in Abbildung 13 gezeigt.

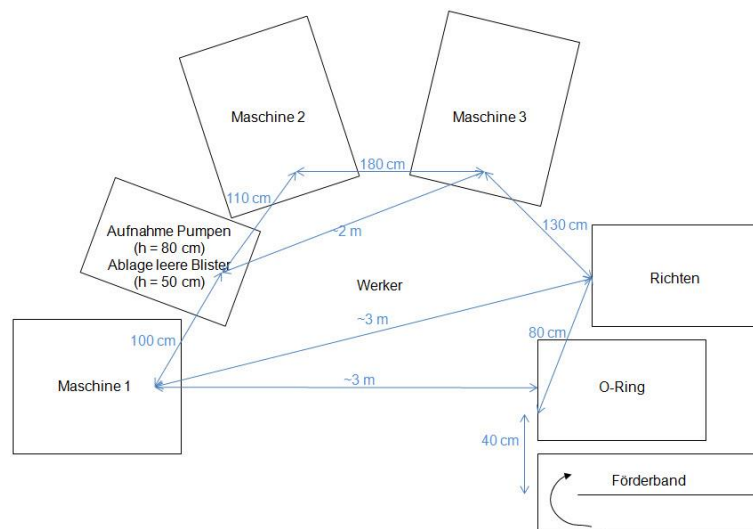


Abbildung 13: Aufbau und Abstände des Arbeitsplatzes Nr. 19

Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen die Bilder des Arbeitsplatzes. In Tabelle 10 sind die Teilgewichte aufgelistet.



Abbildung 14: Gesamtaufnahme des Arbeitsplatzes (links) und Nahaufnahme der Einlagefläche (rechts) des Arbeitsplatzes Nr. 19



Abbildung 15: Presse (links), Adapter (Mitte) und O-Ring-Maschine und Förderband des Arbeitsplatzes Nr. 19

Tabelle 10: Teilgewichte und Kräfte des Arbeitsplatzes Nr. 19

Teil	Gewicht
Pumpe	767 g
Adapter	180 g
leere Kiste	2700 g
Presse betätigen	25 N
O-Ringe fügen	30 N
Taster betätigen	5 N

Am Arbeitsplatz gibt es keine Sitzmöglichkeit, weil immer zwischen den Maschinen hin- und hergegangen werden muss. Für die einheitliche Bewertung der unterschiedlichen Analysen wird angesetzt, dass 65 % der Zeit

im Stehen und 35 % im Wechsel zwischen Stehen und Gehen gearbeitet wird. Die Greifbedingungen sind gut, es werden enganliegende Handschuhe getragen. Die Handgelenke müssen nicht verdreht werden. Werkzeuge werden keine verwendet. Es kommt zu keinen Vibrationen.

Repetitivität

Im zweiten Teil der Voruntersuchungen wird die Repetitivität – einem Kernaspekt dieser Arbeit – der analysierten Montagearbeitsplätze genauer ausgewertet. Dafür wird ein Überblick über die Streuung der Zykluszeiten gegeben. Für die meisten Autoren scheint, neben der Zykluszeit, außerdem die Bewegungshäufigkeit der entscheidende Faktor zur Einteilung von Repetitivität zu sein (vgl. Kapitel 2.1.2 und insbesondere Tabelle 1). Deshalb werden diese Faktoren in diesem Unterkapitel besonders betrachtet.

In Abbildung 16 sind die Bewegungshäufigkeiten über der Taktzeit aufgetragen. Sehr hohe Bewegungshäufigkeiten treten vor allem bei kürzeren Zykluszeiten auf, weshalb die linearen Trendlinien tendenziell abwärts verlaufen.

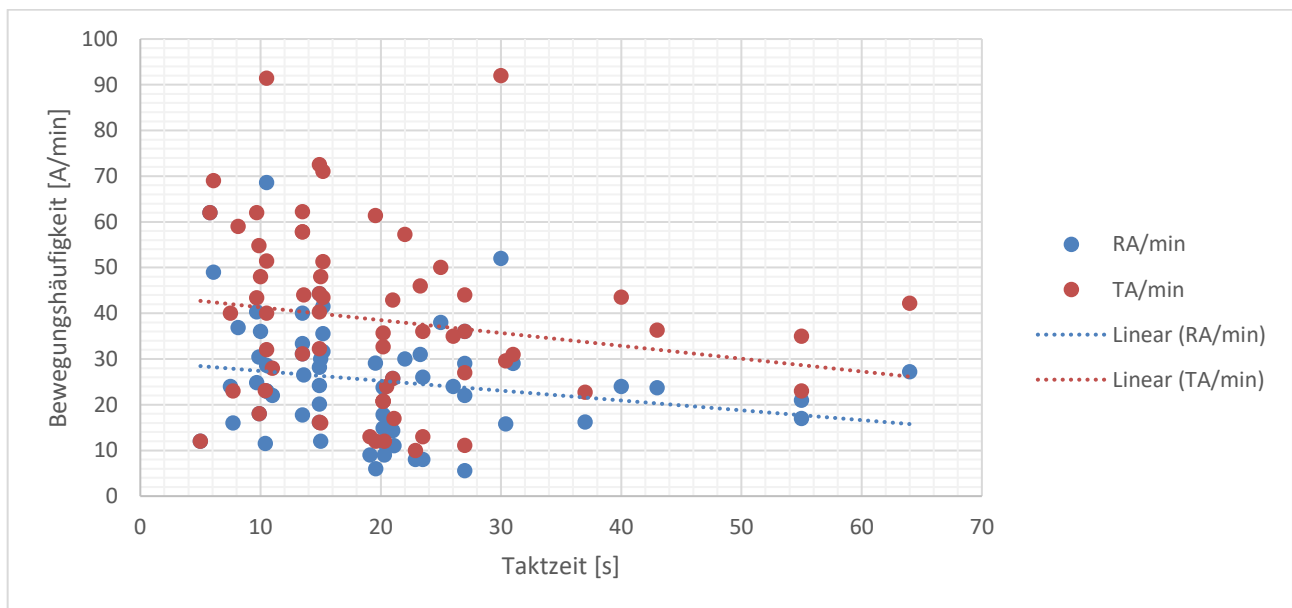


Abbildung 16: Bewegungshäufigkeiten und Taktzeiten

Würden die Arbeitsplätze streng nur nach Zykluszeit eingeteilt – nach dem von vielen Autoren vorgeschlagenen Wert von < 30 Sekunden – wären acht Plätze nicht repetitiv. Bei einigen dieser Plätze werden aber mehrere Teile (bis zu 10) in nur einem Zyklus fertiggestellt, sodass sich die Zeit pro Teil drastisch reduziert und deutlich weniger als 30 Sekunden beträgt.

Nach Kurlang et al. (2015) liegt ab 20 realen Aktionen pro Minute ein „hohes Beschwerderisiko“ vor. Dies trifft auf 44 der ausgewählten Arbeitsplätze (67 %) zu. Ob die Mitarbeiterbefragung diese Grenze für erhöhte

Beschwerden bestätigt, wird in Kapitel 4.3 behandelt. Ebenso unberücksichtigt bleibt bei dieser Definition das Kraftniveau wie auch die Griffbedingungen.

Zusammenfassend erscheint es auch an dieser Stelle als sinnvoll, den Richtwert von < 30 Sekunden um die Bewegungsgrenzwerte nach Kilbom (1994b) zu erweitern. Dafür ist aber eine detaillierte Analyse der Arbeitsplätze notwendig. In dieser Arbeit werden sämtliche 66 aufgeführten Arbeitsplätze als repetitiv angesehen.

Deskriptive Angaben des Probandenkollektivs

Insgesamt wurden an fünf unterschiedlichen Standorten in Deutschland 66 repetitive Montagearbeitsplätze untersucht. Neben der Analyse mit Belastungsbewertungsmethoden fand eine Befragung der Werker statt, die regelmäßig und längerfristig an diesen Plätzen eingesetzt werden (ausgenommen waren beispielsweise Ferienarbeiter). Zusammengerechnet wurden 249 Fragebögen ausgefüllt.

In jedem Fragebogen wurden allgemeine Angaben, die Arbeitsfähigkeit, das subjektive Belastungs- und Beanspruchungsempfinden sowie das Beschwerde- und Schmerzempfinden abgefragt. Weil häufig im Rotationsprinzip mehrere Plätze einer Linie von den einzelnen Personen im Wechsel bearbeitet werden, gelten die allgemeinen Angaben, die Arbeitsfähigkeit, das subjektive Belastungsempfinden sowie das Beschwerde- und Schmerzempfinden für die jeweiligen Plätzeverbände. Weil mittels der Borg-Skala das subjektive Beanspruchungsempfinden aber sehr leicht für jeden Platz einer Linie abgefragt werden kann, führte dies zu insgesamt 652 Bewertungen.

Die 249 Probanden waren zum größeren Teil weiblich (58,6 %) und jünger als 50 Jahre (60,6 %). Die Befragten können durchweg als erfahren eingestuft werden, weil bereits durchschnittlich seit fünfeinhalb Jahren am aktuellen Arbeitsplatz und mehr als 13 Jahre in der Montage gearbeitet wird. Als nicht arbeitsbedingte Zusatzbelastung kommt vor allem sportliche Betätigung der oberen Extremitäten, wie Krafttraining, Tennis oder ähnliches, in Betracht. 32 % der Probanden gaben dazu an, aktuell eine solche Sportart auszuüben, 20 % taten dies in der Vergangenheit. Nachfolgende Tabelle 11 fasst die Zahlenwerte dieser Randdaten zusammen.

Tabelle 11: Deskriptive Angaben zum Probandenkollektiv

N	Alter*	Geschlecht*	Erfahrung am aktuellen Arbeitsplatz	Erfahrung in der Montage	Sport der oberen Extremitäten*
249	<50 Jahre: 60,6 % >50 Jahre: 36,9 %	♂: 35,3 % ♀: 58,6 %	Ø 5,54 Jahre (SD 5,64)	Ø 13,16 Jahre (SD 10,28)	Ja: 31,7 % Nein: 43,0 % Früher: 19,9 %

*die sich nicht zu 100% aufaddierenden Prozentwerte erklären sich durch nicht-Angaben

Die Arbeitsfähigkeit des Probandenkollektivs

Mit dem WAI soll die Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten in Betrieben gefördert bzw. erhalten werden. Abgefragt wurden in besagten 249 Fragebögen sowohl die Selbsteinschätzung hinsichtlich der aktuellen körperlichen wie auch der psychischen Arbeitsfähigkeit. Zur Verfügung stand eine fünfstufige Skala von sehr gut bis sehr schlecht. Die Ergebnisse der körperlichen sowie der psychischen Arbeitsfähigkeit sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Subjektive Einstufung ihrer körperlichen und psychischen Arbeitsfähigkeit (Anzahl der Nennungen in den Bereichen) der Probanden

Bereich	Sehr gut	Eher gut	Mittelmäßig	Eher schlecht	Sehr schlecht	Keine Angabe
Körperliche Arbeitsfähigkeit	48 (19,3 %)	94 (37,8 %)	84 (33,7 %)	15 (6,0 %)	1 (0,4 %)	7 (2,8 %)
Psychische Arbeitsfähigkeit	55 (22,1%)	83 (33,3%)	85 (34,1%)	14 (5,6%)	4 (1,6%)	8 (3,2%)

Bei der subjektiven Selbsteinschätzung bzgl. der körperlichen Arbeitsfähigkeit fällt auf, dass sich nur sehr wenige Probanden (16; 6,4%) als eher schlecht oder sehr schlecht einstufen. Der Großteil der Probanden (178; 71,5%) stuft sich als mittelmäßig bis eher gut ein. Immerhin jeder Fünfte (48; 19,3%) hält seine körperliche Arbeitsfähigkeit für sehr gut. 2,8% der Befragten machten keine Angabe.

Auch bei der subjektiven Selbsteinschätzung bzgl. der psychischen Arbeitsfähigkeit fällt auf, dass sich nur sehr wenige Probanden (18; 7,2%) als eher schlecht oder sehr schlecht einstufen. Im Vergleich zur körperlichen Arbeitsfähigkeit stufen sich aber mehr Befragte als sehr schlecht ein. Im Gegensatz dazu ist die Anzahl derer, die ihre Arbeitsfähigkeit als sehr gut einstufen (55; 22,1%), ebenfalls höher. Der Großteil der Probanden (168; 67,4%)

stuft sich wiederum im Bereich mittelmäßig bis eher gut ein, wobei sich das Verhältnis im Vergleich zur körperlichen Arbeitsfähigkeit in die Richtung von mittelmäßig verschoben hat.

- Einfluss von Sport auf die Arbeitsfähigkeit

Die Darstellungen in Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen den Einfluss von Sport auf die Arbeitsfähigkeit. Dargestellt ist der prozentuale Anteil der fünf möglichen Antworten. „Sehr gut“ ist in Blau, „eher gut“ in Rot, „mittel“ in Grün, „eher schlecht“ in Lila und „sehr schlecht“ in Türkis dargestellt. Der Anteil der Probanden, die zwar eine Angabe über ihre sportlichen Aktivitäten, nicht aber über ihre Arbeitsfähigkeit machten, ist in Orange dargestellt.

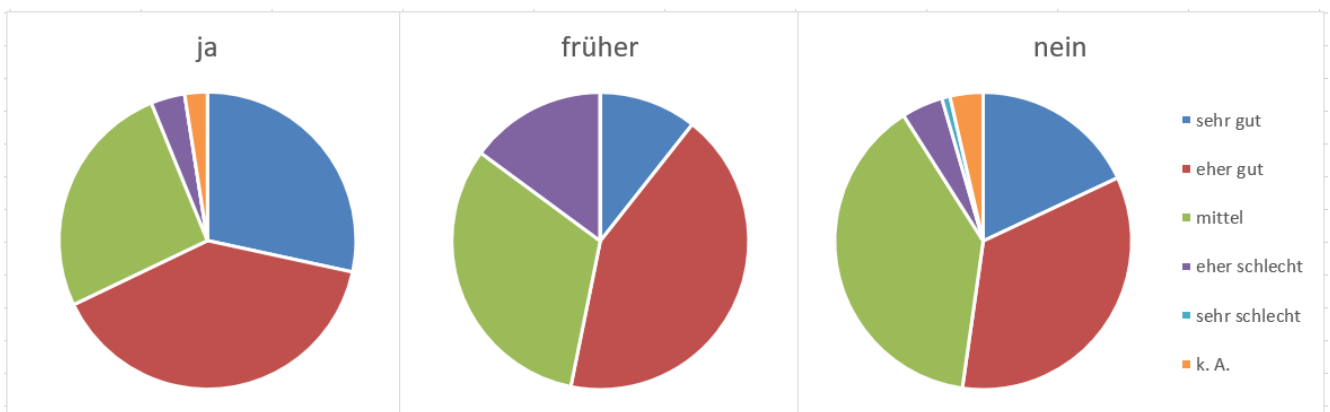


Abbildung 17: Einfluss von Sport auf die körperliche Arbeitsfähigkeit (n = 81 (ja), n = 47 (früher), n = 111 (nein))

Mit dem geringsten Anteil von Bewertungen im Bereich „sehr gut“ sowie dem größten Anteil von Bewertungen in den Bereichen „eher schlecht“ und „sehr schlecht“ fallen die Selbsteinstufungen der Arbeitsfähigkeit von den Mitarbeitern, die früher Sport der oberen Extremitäten ausgeübt haben, am schlechtesten aus. Die Angaben zu körperlicher und psychischer Arbeitsfähigkeit unterscheiden sich nur sehr geringfügig. Die Anzahl der Probanden beläuft sich auf n = 81 für ja, n = 47 für früher und n = 111 für nein.

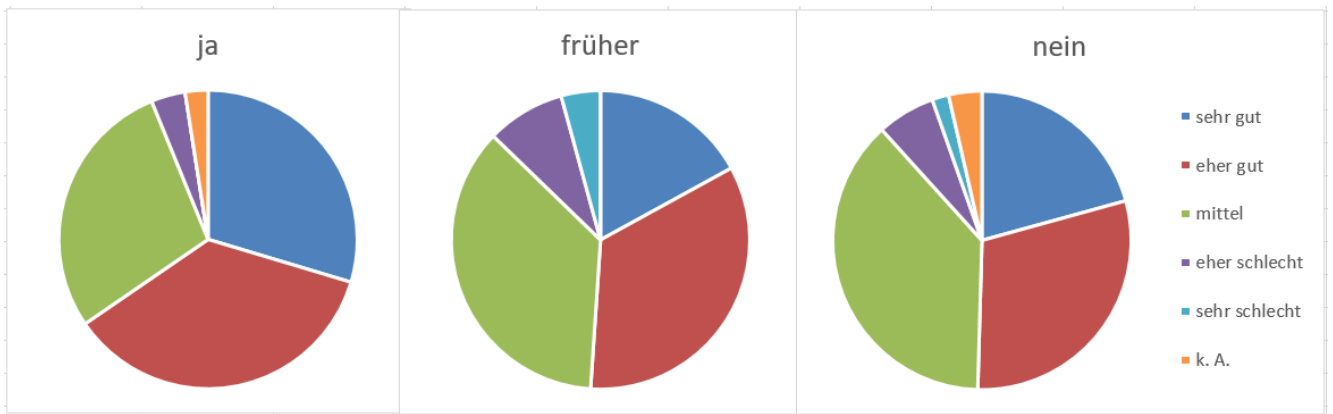


Abbildung 18: Einfluss von Sport auf die psychische Arbeitsfähigkeit (n = 81 (ja), n = 47 (früher), n = 111 (nein))

Aufgrund dieser Daten kann den Fertigungsmitarbeitern zumindest nicht empfohlen werden, Sport zu treiben, um die Arbeitsfähigkeit zu steigern. Eingeschränkt werden muss in dieser Hinsicht, dass sich die Abfrage nach sportlicher Betätigung auf Sport der oberen Extremitäten beschränkte.

- Einfluss der Einsatzdauer auf die Arbeitsfähigkeit

Eindeutiger ist der Einfluss der Einsatzdauer auf die Arbeitsfähigkeit: je länger an repetitiven Montagearbeitsplätzen gearbeitet wird, desto tendenziell schlechter fällt sowohl die physische als auch die psychische Selbsteinschätzung der Arbeitsfähigkeit aus. Insbesondere die Selbsteinschätzungen der Arbeitsfähigkeit als „sehr gut“ (blau) nehmen deutlich sichtbar ab. Gezeigt ist die Verteilung der körperlichen Arbeitsfähigkeit in Abbildung 19, die Verteilung der psychischen Arbeitsfähigkeit ist in Abbildung 20 gezeigt (n = 40 (≤ 6 Monate), n = 40 (6 – 36 Monate), n = 92 (≥ 3 Jahre)).

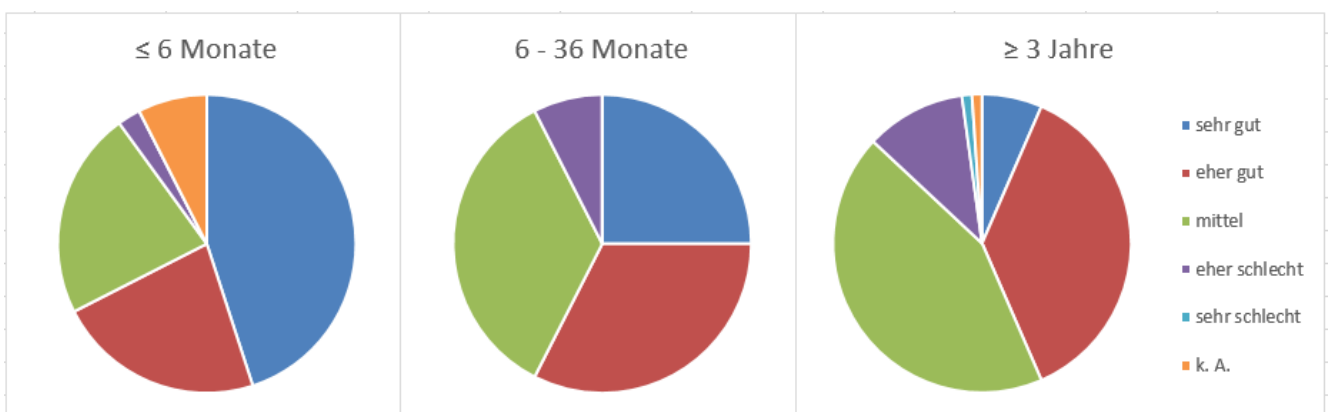


Abbildung 19: Einfluss der Einsatzdauer am Arbeitsplatz auf die körperliche Arbeitsfähigkeit (n = 40 (≤ 6 Monate), n = 40 (6 – 36 Monate), n = 92 (≥ 3 Jahre))

Ähnlich wie die Werte der Selbsteinschätzung für die körperliche Arbeitsfähigkeit sehen die der psychischen Arbeitsfähigkeit aus.

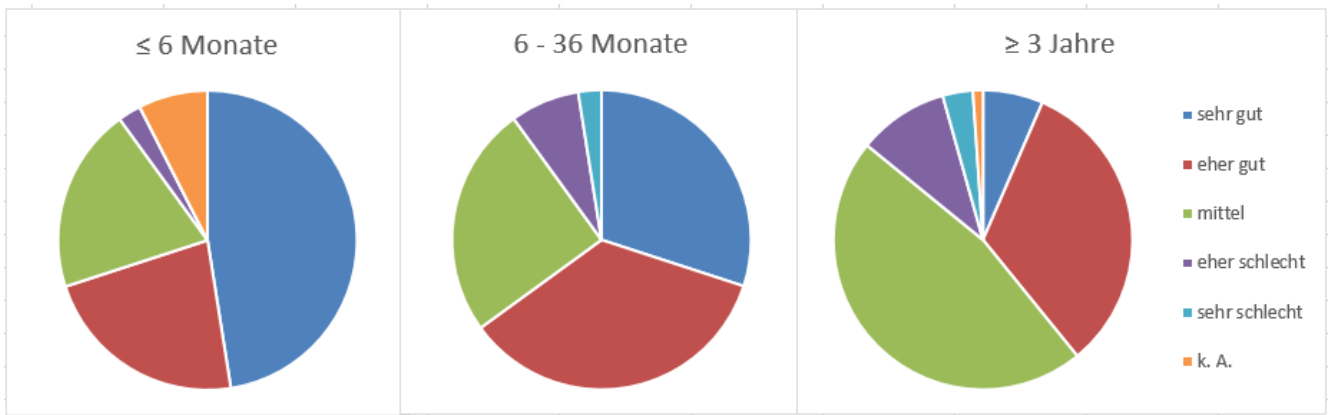


Abbildung 20: Einfluss der Einsatzdauer am Arbeitsplatz auf die psychische Arbeitsfähigkeit (n = 40 (≤ 6 Monate), n = 40 (6 - 36 Monate), n = 92 (≥ 3 Jahre))

Das subjektive Schmerz- und Beschwerdeempfinden des Probandenkollektivs

Für die Ergebnisse des subjektiven Schmerz- und Beschwerdeempfindens konnten 248 Nordische Fragebögen berücksichtigt werden. Ein Fragebogen hingegen wurde so ausgefüllt, dass die Bewertung nicht interpretierbar war und ausgeschlossen werden musste. Weil zu Beginn des Nordischen Fragebogens abgefragt wird, ob Schmerzen oder Beschwerden vorliegen und bei Verneinung kein weiteres Handeln verlangt wird, werden alle Fragebögen, die nicht ausgefüllt sind, als „ohne Schmerzen“ gewertet, selbst wenn dies Nichtbeachtung miteinschließt.

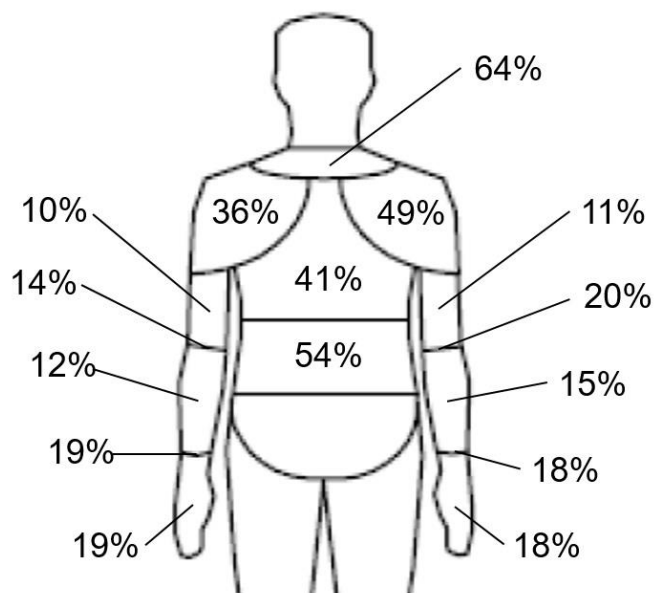


Abbildung 21: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden aller 248 Probanden

Abbildung 21 zeigt eine Übersicht über die Verteilung der Beschwerden und Schmerzen aller Probanden. Auffällig ist das hohe Auftreten von Nackenbeschwerden, welches von 64 % aller Probanden angegeben wird. Ebenso sehr häufig betroffen sind der untere Rücken (54 %) sowie die rechte Schulter (49%). Die Arme bis hin

zu den Händen und Fingern sind bei 10 – 20 % der Befragten von Beschwerden und/oder Schmerzen betroffen. 45 Probanden geben keinerlei Beschwerden oder Schmerzen an.

- Untergliederung nach dem Geschlecht

Interessant ist in diesem Zusammenhang ein detaillierterer Blick in die Untersuchungsergebnisse, beispielsweise die Unterteilung der Angaben hinsichtlich der Unterteilung nach Alter und Geschlecht. Nach der Teilung des Fragebogenkollektivs zeigt Abbildung 22 zunächst das Beschwerde- und Schmerzempfinden der männlichen (79) und weiblichen (125) Probanden. Mit Ausnahme der Oberarme fallen die Werte bei den weiblichen Probanden höher aus.

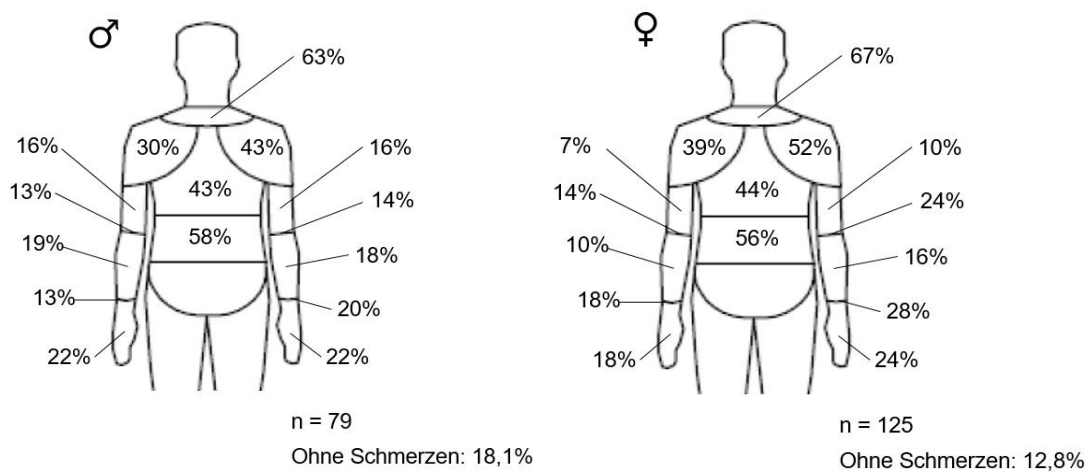


Abbildung 22: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der männlichen (links) und weiblichen Probanden. Berücksichtigt wurden 79 (links) bzw. 125 (rechts) Fragebögen.

Im Vergleich der männlichen Probanden zum Gesamtkollektiv fallen vor allem die Schultern, der rechte Ellenbogen sowie das linke Handgelenk auf, die weniger oft genannt werden. Mehr Beschwerden liegen dafür in den Oberarmen sowie im linken Unterarm vor.

Im Vergleich der weiblichen Probanden zum Gesamtkollektiv fällt auf, das im linken Ober- und Unterarm weniger Beschwerden vorkommen. Das linke Handgelenk sowie die rechte Hand schmerzen dafür häufiger als beim Gesamtkollektiv.

Der Grund für die Unterschiede in den Beschwerdewerten liegt sicher auch an der Differenz der Arbeitsplätze. Die männlichen Probanden dieser Studie wurden häufiger bei Überkopparbeit eingesetzt, die weiblichen oft an Linienarbeits- oder Sichtprüfplätzen, die dementsprechend auch andere Risikofaktoren für Beschwerden mit sich bringen. Genauere Zusammenhänge werden diesbezüglich in Kapitel 4.3.4 geliefert.

- Untergliederung nach dem Alter

Weiter unterteilen lässt sich das Gesamtkollektiv nach dem Alter. Abgefragt wurde im Fragebogen, ob die Probanden jünger oder älter als 50 Jahre sind. Die Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden in der Unterteilung nach dem Alter zeigt Abbildung 23.

Berücksichtigt wurden 138 Probanden, die jünger und 73 Probanden, die älter als 50 Jahre sind. Die Beschwerdewerte der älteren Probandengruppe fallen meist höher aus.

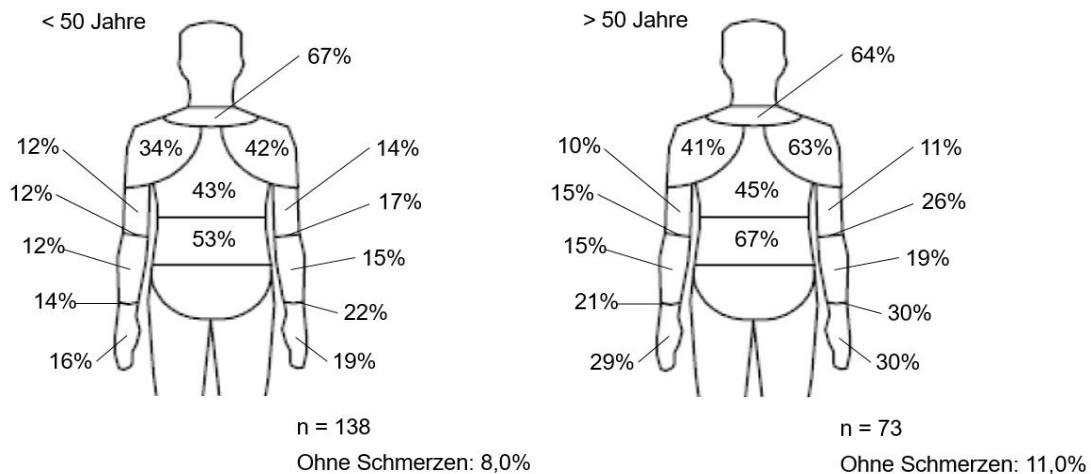


Abbildung 23: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der jüngeren (links) und älteren (Grenze: 50 Jahre) Probanden. Berücksichtigt wurden 138 (links) bzw. 73 (rechts) Fragebögen.

Im Vergleich der jüngeren Probanden zum Gesamtkollektiv fallen weniger Beschwerden in der rechten Schulter und dem linken Handgelenk sowie der linken Hand auf. Dennoch liegen auch in dieser Altersgruppe sehr viele Beschwerden im Nacken vor. Auffällig ist weiterhin der hohe Anteil von Beschwerden im unteren Rücken der Probanden im Alter von über 50 Jahren.

Im Vergleich der älteren Probanden zum Gesamtkollektiv fallen die durchweg hohen Beschwerdewerte auf. Besonders hoch sind diese in der rechten Schulter, dem unteren Rücken, dem rechten Handgelenk sowie der rechten Hand.

- Der Einfluss der Arbeitsdauer am Arbeitsplatz

Einen gewissen Einfluss hat das Alter auch auf die Arbeitsdauer am Arbeitsplatz. Die Auswirkungen der Erfahrung, die bereits am Platz gesammelt wurde, sind aber um einiges deutlicher: je länger (langfristig) bereits am Arbeitsplatz gearbeitet wird, desto höher fällt das Beschwerde- und Schmerzempfinden aus.

Dargestellt ist der Vergleich in Abbildung 24. Besonders deutlich sind hier beispielsweise die Werte der Schultern, die in den Darstellungen von links (Arbeitsplatzerfahrung < 6 Monate) über die Mitte

(Arbeitsplatzerfahrung 6 Monate bis 3 Jahre) nach rechts (Arbeitsplatzerfahrung > 3 Jahre) von 28 auf 35 und 46 % (linke Schulter) respektive von 33 auf 53 und 61 % (rechte Schulter) ansteigen. Ähnlich sind u. a. die Werte der Handgelenke.

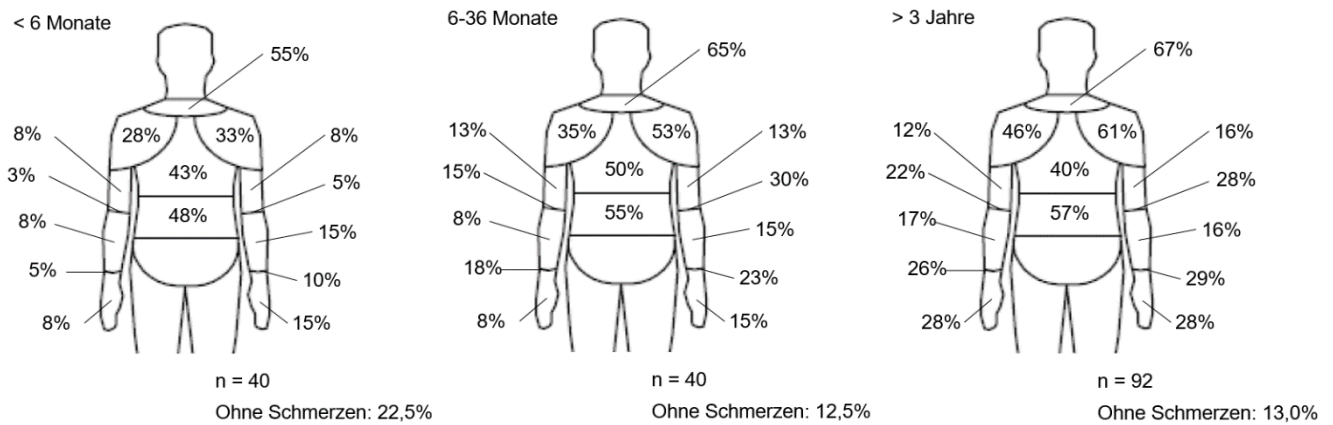


Abbildung 24: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der Probanden mit unterschiedlicher Arbeitsplatzerfahrung. Links dargestellt ist das Beschwerde- und Schmerzempfinden der Probanden mit < 6 Monaten Arbeitsplatzerfahrung, in der Mitte mit 6 - 36 Monaten Arbeitsplatzerfahrung und rechts mit > 3 Jahren Arbeitsplatzerfahrung. N = 40 bzw. 90

- Der Einfluss von Sport

Ein Einfluss von Sport auf das Beschwerde- und Schmerzempfinden kann nicht festgestellt werden. Meist zeigen sich im in Abbildung 25 gezeigten Vergleich keine großen Unterschiede. Lediglich im oberen Rücken und bei der Anzahl der Probanden ohne Schmerzen gibt es interessante Unterschiede.

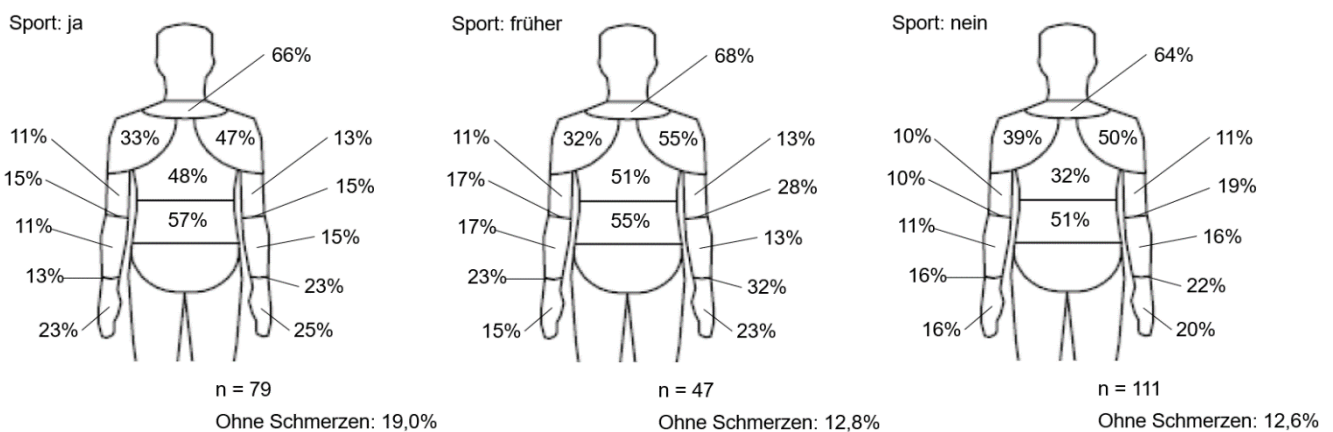


Abbildung 25: Übersicht über das Beschwerde- und Schmerzempfinden der Probanden, aufgeteilt nach sportlicher Betätigung der oberen Extremitäten. Links dargestellt sind die Probanden, die Sport treiben, in der Mitte diejenigen, die früher Sport trieben und rechts diejenigen, die keinen Sport der oberen Extremitäten ausüben. N = 79 bzw. 47 bzw. 111

Festgehalten werden muss an dieser Stelle ein weiteres Mal, dass es sich bei der Abfrage im Fragebogen nur um Sport der oberen Extremitäten handelte. Dennoch kann anhand dieser Daten keine Empfehlung für Sport ausgesprochen werden.

Das subjektive Belastungsempfinden des Probandenkollektivs

Weiter im Fragebogen abgefragt wurde das subjektive Belastungsempfinden nach der Vorgehensweise von Slesina (2009b). Erfragt wurden zum einen die Häufigkeit der Merkmale (auf einer vierstufigen Skala von „nie“ bis „oft“) sowie zum anderen, ob diese Merkmale als Belastung oder Beanspruchung wahrgenommen werden.

Das insgesamt am häufigsten vorkommende Merkmal ist laut dem Fragebogen die „Schichtarbeit“ mit 91,4 Prozent. Weiter sehr dominant sind die Merkmale „taktgebundene Arbeit“ (85,4 %), „Abhängigkeit vom Maschinentempo“ (77,7 %), „genaues Detailsehen“ (76,4 %), „Stehen“ (74,8 %) und die „Wochenendarbeit“ (74,7 %). Wie für repetitive Tätigkeiten zu erwarten war, kommen Merkmale wie die „Über-Kopf-Arbeit“ (18,3 %), das „Ziehen/Schieben schwerer Lasten“ (24,1 %), das „Tragen schwerer Lasten“ (26,2 %) und „Unfallrisiko“ (26,8 %) nur selten vor.

Aussagekräftiger für diese Untersuchung ist die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung der einzelnen Merkmale, bzw. die Prozentzahl, von wie vielen Probanden das jeweilige Merkmal als beanspruchend empfunden wurde. Als am beanspruchendsten wahrgenommen wurde das Merkmal „ungünstige Körperhaltung“, welches von 73,5 Prozent der Befragten als subjektiv beanspruchend wahrgenommen wurde. Mit 59,3 % folgt die „erzwungene Körperhaltung“ vor der „Schichtarbeit“ (58,2 %), der „Wochenendarbeit“ (57,4 %) und dem „Stehen“ (55,7 %). Weiter als beanspruchend empfunden werden Merkmale wie „einförmige Arbeit“ (52,2 %), „taktgebundene Arbeit“ (50,0 %), „zeitliche Bewältigung“ (46,2 %) oder auch „Bewegungsmangel“ (43,7 %).

Nur von sehr wenigen Probanden als beanspruchend empfunden wurden hingegen die Merkmale „Unfallrisiko“ (10,3 %), „Unterbrechung durch Vorgesetzte“ (14,7 %), „Unterbrechung durch Kollegen“ (16,2 %) oder „Ziehen/Schieben schwerer Lasten“ (18,8 %).

Diese Werte werden nun, ebenso wie beim Beschwerde- und Schmerzempfinden, auch bei der gemessenen Beanspruchung mittels FEBA nach verschiedenen Personenspezifika unterschieden.

- Unterscheidung nach dem Geschlecht

125 weiblichen Probanden füllten die 29 ausgewählten Merkmale des FEBA aus. Auch von den weiblichen Probanden wird die Schichtarbeit als am häufigsten vorkommend eingeschätzt (91,5 %). Es folgen die Merkmale

„taktgebundene Arbeit“ (84,2 %), „Abhängigkeit vom Maschinentempo“ (77,7 %), „genaues Detailsehen“ (77,5 %) und „Handgeschicklichkeit“ (76,6 %).

Das „Stehen“ und die „Wochenendarbeit“, vom Gesamtkollektiv an viert- und fünfhäufigster Stelle eingeschätzt, folgen nach „zeitlicher Bewältigung“ (73,1 %) mit 73,0 bzw. 73,1 Prozent.

Im Vergleich dazu die Einschätzung der 79 männlichen Probanden über die Häufigkeit der 29 Merkmale des FEBA: Während die ersten drei Merkmale mit der Einschätzung der weiblichen Probanden übereinstimmen (Schichtarbeit (93,0 %), taktgebundene Arbeit (87,8 %) und Abhängigkeit vom Maschinentempo (79,1 %)), tauchen hier die Merkmale „Stehen“ (76,9 %) und die „Wochenendarbeit“ (73,1 %) bereits an vierter und fünfter Stelle auf.

Von den weiblichen Probanden als am beanspruchendsten eingestuft wird die „ungünstige Körperhaltung“. 73,5 Prozent der Probandinnen geben an, sich durch dieses Merkmal belastet und/oder beansprucht zu fühlen. Es folgen die Merkmale „erzwungene Körperhaltung“ (59,3 %), „Schichtarbeit“ (58,2 %), „Wochenendarbeit“ (57,4 %) und „Stehen“ (55,7 %).

Die Einschätzungen der weiblichen Probanden stimmt demnach mit dem Gesamtbild überein: als beanspruchend wahrgenommen wird vor allem die Körperhaltung sowie die Arbeitsorganisation.

Und auch von den männlichen Probanden wird, wenn auch mit kleinerer Abstufung, die ungünstige Körperhaltung als am beanspruchendsten wahrgenommen. 68,5 Prozent der männlichen Probanden geben an, sich durch dieses Merkmal beansprucht bzw. belastet zu fühlen.

Im Vergleich zu den weiblichen Probanden wird die „erzwungene Körperhaltung“ (50,7 %) aber als weniger beanspruchend wahrgenommen. Nach der „ungünstigen Körperhaltung“ folgen zunächst die Merkmale „Wochenendarbeit“ (61,8 %), „Schichtarbeit“ (59,2 %), „Stehen“ (54,8 %), „einförmige Arbeit“ (53,4 %) und „taktgebundene Arbeit“ (51,4 %). Nach dieser Auswertung fühlen sich die männlichen Probanden mehr von den arbeitsorganisatorischen Merkmalen beansprucht als die weiblichen.

- Unterscheidung nach dem Alter

Eine weitere interessante Aufgliederung der Ergebnisse des FEBA ist diejenige nach dem Alter. Durch den Fragebogen ist die Unterscheidung auf das 50. Lebensjahr festgelegt. Einzeln betrachtet werden im Folgenden die Probanden, welche 50 Jahre oder älter sind, sowie die Probanden, die jünger als 50 Jahre zählen.

Laut der Einschätzung der 73 älteren Probanden kommen die Merkmale „Schichtarbeit“ (90,2 %), „taktgebundene Arbeit“ (85,8 %), „genaues Detailsehen“ (83,2 %), „Konzentration“ (81,8 %) und „Handgeschicklichkeit“ (81,0 %) am häufigsten vor. Die Merkmale der Körperhaltung werden von dieser Probandengruppe als weniger häufig vorkommend eingestuft.

Auch von den 138 jüngeren Probanden wird die Schichtarbeit mit 93,4 Prozent als sehr häufig vorkommend eingestuft. Im Gegensatz zu den älteren Kollegen folgen dann aber die Merkmale „taktgebundene Arbeit“ (86,2 %), „Abhängigkeit vom Maschinentempo“ (77,8 %), „Wochenendarbeit“ (76,8 %) und „Stehen“ (74,3 %). Die Altersgruppen unterscheiden sich demnach stärker voneinander als die Geschlechter.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse, die sich auch in den folgenden Beobachtungen bestätigt: die wahrgenommene Beanspruchung der 29 Merkmale des FEBA der älteren und jüngeren Probanden unterscheiden sich.

Von den älteren Probanden als am beanspruchendsten wahrgenommen werden die Merkmale „ungünstige Körperhaltung“ (82,4 %), „erzwungene Körperhaltung“ (72,6 %), „Schichtarbeit“ (69,7 %), „Wochenendarbeit“ (66,7 %) und „genaues Detailsehen“ (58,8 %).

Bei den Einschätzungen der jüngeren Probanden zeigt sich ein anderes Bild: deutlich geringere Prozentwerte insgesamt, wie insbesondere auch bei den Merkmalen „genaues Detailsehen“ und „Handgeschicklichkeit“.

Von den jüngeren Probanden als mit Abstand am beanspruchendsten wahrgenommen ist das Merkmal der ungünstigen Körperhaltung. Dieses Merkmal wird von 69,7 Prozent der jüngeren Probanden als belastend bzw. beanspruchend wahrgenommen. Mit prozentual einigem Abstand folgen als nächstes die Merkmale „Schichtarbeit“ (54,6 %), „Wochenendarbeit“ (54,5 %), „Stehen“ (53,0 %), „erzwungene Körperhaltung“ (52,7 %) und „einförmige Arbeit“ (48,4 %). Wieder sind es vor allem die Merkmale der Körperhaltung sowie der Arbeitsorganisation, welche als belastend bzw. beanspruchend wahrgenommen werden.

Zwischenfazit

Es ist das eine, das Probandenkollektiv als Ganzes zu betrachten, das andere, die verschiedenen Untergruppen genauer zu analysieren. Die verschiedenen Untergruppen zeigen spezifische Unterschiede: Belastungen werden unterschiedlich wahrgenommen und führen zu individuellen Beanspruchungen. Dadurch unterscheiden sich die Ergebnisse. Trotz hoher Beschwerdewerte (mehr als 50 % der Probanden geben Beschwerden in Nacken und Rücken an) ist sowohl die physische als auch die psychische Arbeitsfähigkeit gut. Nur 6,4 % bzw. 7,2 % beurteilen ihre Arbeitsfähigkeit als schlecht. Sport der oberen Extremitäten hat darauf wenig Einfluss, eher schon die Einsatzdauer: tendenziell wird die Arbeitsfähigkeit schlechter, je länger an repetitiven Montagearbeitsplätzen gearbeitet wird.

Eine Erkenntnis, die sich auch mit den genaueren Untersuchungen des Beschwerde- und Schmerzempfindens deckt. Denn die Beschwerden nehmen im älteren Probandenkollektiv zu. Dort werden insbesondere in den Schultern, dem unteren Rücken und den Händen mehr Beschwerden angegeben. Dass das Beschwerde- und

Schmerzempfinden höher ausfällt, je länger an den Arbeitsplätzen gearbeitet wird, hängt damit direkt zusammen.

Weiterhin gibt es Unterschiede zwischen den Beschwerden der männlichen und weiblichen Probanden, was aber wiederum auch mit der unterschiedlichen Verteilung an die Arbeitsplätze zusammenhängt. Und hier muss nachgehakt werden. Denn in Bezug auf das Gesamtkollektiv gibt es bestimmte Merkmale, die statistisch nachweislich bei den meisten Menschen zu Beschwerden führen. So wird es wichtig, die Arbeitsplätze in Hinblick auf diese Risikofaktoren hin zu überprüfen, weil damit abgeschätzt werden kann, wo am wahrscheinlichsten Beschwerden auftreten werden.

Diese werden folglich im nächsten Kapitel identifiziert und mit den Beschwerden auf Korrelation überprüft.

4.3.2. Identifikation der zu erwartenden Beschwerden

Wie bereits in Kapitel 3.2 bei der Entwicklung des Arbeitsmodells beschrieben, werden nach umfassender Literaturanalyse bestimmte Belastungsfaktoren dafür verantwortlich gemacht, wenn Beschwerden und/oder Schmerzen in bestimmten Körperregionen auftreten. Im Folgenden dritten Teil des Ergebniskapitels wird überprüft, ob diese Zusammenhänge auch für repetitive Montagetätigkeiten bestätigt werden können.

Als Beschwerdefaktoren gelten (vgl. Kapitel 3.2.3) für den Nacken die Repetition, die Kraft sowie die Körperhaltung. Für die Schultern wird auf die Bewegung und die Repetition geachtet, für die Ellenbogen auf die Kraft sowie die Kombination aus Kraft, Repetition und Haltung. Für die Hand sowie das Handgelenk gelten neben der Kombination die Repetition, die Kraft, die Haltung sowie die Vibration als Belastungsfaktoren. In Bezug auf den (unteren) Rücken schließlich wird auf kraftvolle Bewegungen, die Körperhaltung, schwere körperliche Arbeit, Stehen und Ganzkörpervibrationen geachtet. Nach Ausschluss der für bei repetitiven Montagetätigkeiten nicht vorkommenden (beispielsweise schwere körperliche Arbeit) oder über alle Arbeitsplätze konstanten Belastungsfaktoren (z. B. das Klima) werden die übrigen anhand des Arbeitsablaufs für jeden der 66 analysierten Arbeitsplätze identifiziert.

Als Beispiel sei der in Tabelle 13 folgende Arbeitsablauf gegeben. Dabei werden mehrere Leitungen in der linken Hand statisch gehalten, während gleichzeitig die Enden der Kabel kontaktierbereit gemacht werden. Für die Analyse in Bezug auf die Belastungsfaktoren ist beispielsweise für die rechte Schulter Punkt fünf von Interesse, weil hier der rechte Arm bis über den Kopf abgespreizt wird: eine Abduktion von weit mehr als 60° und demnach ein Belastungsfaktor. Dieser Arbeitsplatz wird für die rechte Schulter als risikobehaftet eingestuft.

Tabelle 13: Beispielhafter Arbeitsablauf

Ablauf linke Hand	Ablauf rechte Hand		
Bezeichnung	Bezeichnung	Anzahl/Takt	Kraftniveau
1. Leitungsbündel aufnehmen		1	2
	2. Kabel aus Leitungsbündel entnehmen	1	1
	3. Leitung zur linken Hand bringen	1	1
4. Litze aufbiegen		1	1
	5. Kabel nach oben in unbestimmte Lage	1	1
6. Stecker aufnehmen und ausrichten		1	1
7. Stecker in Werkstückträger kontaktieren		1	2
	8. Litze platzieren gegen Dorn	1	1
	9. Leitung in Halteklipse einstreifen	2	1

Als Ergebnis dieses Analyseschrittes werden für die einzelnen Körperbereiche folgende Verteilungen von Plätzen mit und ohne Belastungsfaktoren festgehalten: 34 Arbeitsplätze weisen Belastungsfaktoren für den Nacken auf, 32 Plätze bleiben ohne. Die Schultern werden an 27 (links) bzw. 30 (rechts) Plätzen belastet, während an 39 (links) bzw. 36 (rechts) Arbeitsplätzen keine Belastungsfaktoren vorliegen. Für den linken Ellenbogen gibt es mit 16 Arbeitsplätzen vergleichsweise wenige mit Belastungsfaktoren, während 50 Plätze kein Risiko aufweisen. Für den rechten Ellenbogen verschiebt sich die Verteilung zu 24 Plätzen mit und 42 Plätzen ohne Belastung. Für Hand/-gelenk und Unterarm sind die Belastungen in etwa gleich verteilt. Bei 37 (links) bzw. 42 (rechts) Arbeitsplätzen wurden Belastungsfaktoren identifiziert, 29 (links) bzw. 24 (rechts) Arbeitsplätze bleiben ohne Belastungsfaktoren. Für den Rücken schließlich liegen an 23 Arbeitsplätzen Belastungsfaktoren vor, an 43 Plätzen nicht. Tabelle 14 fasst die Ergebnisse in einer Übersicht zusammen.

Tabelle 14: Zusammenfassung der mit Belastungsfaktoren identifizierten Arbeitsplätze

Körperregion	Anzahl von Arbeitsplätzen mit Belastungsfaktoren	Anzahl von Arbeitsplätzen ohne Belastungsfaktoren
Nacken	34	32
Schulter links	27	39
Schulter rechts	30	36
Ellenbogen links	16	50
Ellenbogen rechts	24	42
Hand/-gelenk und Unterarm links	37	29
Hand/-gelenk und Unterarm rechts	42	24
Rücken	23	43

Auf der Basis dieser Verteilungen werden in Kapitel 4.3.3 die Hypothesen auf ihre Richtigkeit bezüglich repetitiver Montagetätigkeiten überprüft. Zunächst wird aber kurz auf den Umgang mit den statistischen Werkzeugen eingegangen.

4.3.3. Überprüfung der Hypothesen (Beantwortung der Forschungsfrage 3)

In der Folge werden die Arbeitsplätze mit Belastungsfaktoren denjenigen ohne Belastungsfaktoren gegenübergestellt und überprüft, ob es einen Unterschied zwischen den Datensätzen gibt. Ist ein Unterschied vorhanden, kann die Gegenhypothese, dass es keinen Einfluss der Belastungsfaktoren auf das Risiko, Beschwerden zu erleiden, gibt, verworfen werden.

Getestet wird mit statistisch anerkannten Tests, ob der gefundene Effekt durch Zufall zustande kommt. Zur Anwendung kommen, wie zunächst kurz im Folgenden beschrieben wird, der Welch two sample t-Test sowie der Wilcoxon Rangsummentest.

Dafür wird außerdem überprüft, ob die Datensätze der verschiedenen Körperbereiche normalverteilt sind. Nur dann kann der t-Test angewandt werden. Anschließend werden die Belastungsfaktoren identifiziert, um die zu vergleichenden Gruppen einzuteilen. Dann schließlich können die Hypothesen mit den statistischen Tests überprüft werden.

Statistische Testung

Um die empirischen Forschungsfragen zu überprüfen, werden statistische Berechnungen herangezogen. Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Werte sind die Testung auf Signifikanz, die Testung auf Normalverteilung sowie die Unterschiedstestung:

- **Testung auf Signifikanz**

In der Statistik werden Unterschiede zwischen Messgrößen oder Variablen als signifikant bezeichnet, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass sie durch Zufall derart zustande kommen würden, unter einer gewissen Schwelle liegt. Das Signifikanzniveau gibt dabei an, wie viel Prozent der Tests fälschlicherweise signifikant werden, obwohl kein Unterschied vorliegt. Dieser Fehler wird als α -Fehler bezeichnet. Laut Fisher (1990) wird in die in Tabelle 15 gezeigten Signifikanzniveaus unterteilt. Diese werden für die statistischen Auswertungen dieser Arbeit übernommen.

Tabelle 15: Signifikanzniveaus nach Fisher (1990)

α -Fehler	Indikator	Niveau
$0,01 \leq \alpha < 0,05$	*	Signifikant
$0,001 \leq \alpha < 0,01$	**	Sehr signifikant
$\alpha < 0,001$	***	Höchst signifikant

- **Der Shapiro-Wilk-Test**

Gemäß des Grenzwerttheorems (central limit theorem) kann ab 30 Beobachtungen davon ausgegangen werden, dass die Mittelwerte normalverteilt sind (Field, Miles & Field, 2012, S. 914). Um dennoch sicher zu gehen, weil die Normalverteilung mit darüber entscheidet, welche weitere Testart zu verwenden ist, werden die Verteilungen der Beschwerde-Mittelwerte überprüft.

Um zu testen, ob die Verteilung einer Variable von einer Normalverteilung abweicht, ist der Shapiro-Wilk-Test (Shapiro & Wilk, 1965) vorgesehen. Dieser überprüft die Hypothese, dass die zugrundeliegende Grundgesamtheit der Stichprobe normalverteilt ist. Verglichen werden die Werte einer Verteilung mit normalverteilten Werten desselben Mittelwerts und Standardabweichung. Wie üblich wird auch in dieser Arbeit die Nullhypothese abgelehnt, wenn der p-Wert 0,05 unterschreitet. In anderen Worten wird dann eine Normalverteilung angenommen, wenn der p-Wert des Shapiro-Wilk-Tests größer als 0,05 ist.

- **Unterschiedstestung**

Die Hypothesen dieser Arbeit sind so formuliert, dass überprüft werden muss, ob es zwischen den Mittelwerten der verglichenen Datensätze Unterschiede gibt. Solange eine Normalverteilung vorliegt (Bortz & Schuster, 2010), können die hier vorhandenen Daten mit dem Welch two sample t-Test überprüft werden. Liegt diese nicht vor, muss als Ersatz ein nichtparametrischer Test verwendet werden. In der Folge wird in dieser Arbeit dafür der Wilcoxon Rangsummentest gewählt.

Als Ergebnisse der Tests ist zunächst der p-Wert von größtem Interesse: liegt dieser unter 0,05 ist der Unterschied der Mittelwerte beider Wertepaare signifikant. In diesem Fall kann die Alternativhypothese abgelehnt werden.

Weiter interessiert vor allem die Effektstärke r , die das Ausmaß der Wirkung beschreibt. Ein lediglich signifikantes Ergebnis heißt noch nicht, dass der gemessene Effekt aussagekräftig ist. Bei sehr großen Stichproben beispielsweise kann auch eine sehr kleine Verbesserung zu einem signifikanten Ergebnis führen, aber eben nicht aussagekräftig sein. Umgekehrt gilt auch im Fall, dass der Unterschied nicht signifikant ist, dass der Effekt praktisch nicht unwichtig sein muss.

Für die Einteilung der Effektstärke gilt der weithin akzeptierte Vorschlag von Cohen (1992, 2013), der in Tabelle 16 dargestellt ist und nach welchem r ab 0,1 als kleiner, ab 0,3 als mittlerer und ab 0,5 als starker Effekt bezeichnet werden kann.

Tabelle 16: Einteilung der Effektstärke nach Cohen (1992, 2013)

$r \geq 0,1$	Kleiner Effekt
$r \geq 0,3$	Mittlerer Effekt
$r \geq 0,5$	Starker Effekt

Testen der Normalverteilung

Um zu testen, ob die Verteilung der Beschwerdewerte der einzelnen Körperbereiche von einer Normalverteilung abweicht, wird der Shapiro-Wilk-Test angewandt. Die Ergebnisse des Tests sind in Tabelle 17 dargestellt. Demnach sind lediglich die Mittelwerte der Beschwerdewerte des Nackens und des oberen Rückens normalverteilt, die Werte der anderen Körperregionen nicht.

Tabelle 17: Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung

Körperregion	p	Normalverteilung
Nacken	0,0559	Ja
Unterer Rücken	0,0002	Nein
Oberer Rücken	0,1189	Ja
Schulter links	0,0002	Nein
Schulter rechts	$2,52 \cdot 10^{-6}$	Nein
Ellenbogen links	$7,08 \cdot 10^{-7}$	Nein
Ellenbogen rechts	$2,47 \cdot 10^{-5}$	Nein
Hand/Finger links	$4,56 \cdot 10^{-5}$	Nein
Hand/Finger rechts	0,0002	Nein

Zur Veranschaulichung dieser Rechenwerte dient Abbildung 26. Dargestellt ist die Verteilung der Mittelwerte der subjektiven Beanspruchungsbewertungen der Werker über alle Plätze. Bei einer Normalverteilung liegen die Werte unter einer Gaußschen Glockenkurve. Für den Nacken (links dargestellt) ähneln die Werte der Glockenkurve durchaus, was der Shapiro-Wilk-Test bestätigt. Im Gegensatz dazu bestätigt das Histogramm des rechten Ellenbogens, dass diese Daten nicht normalverteilt sind.

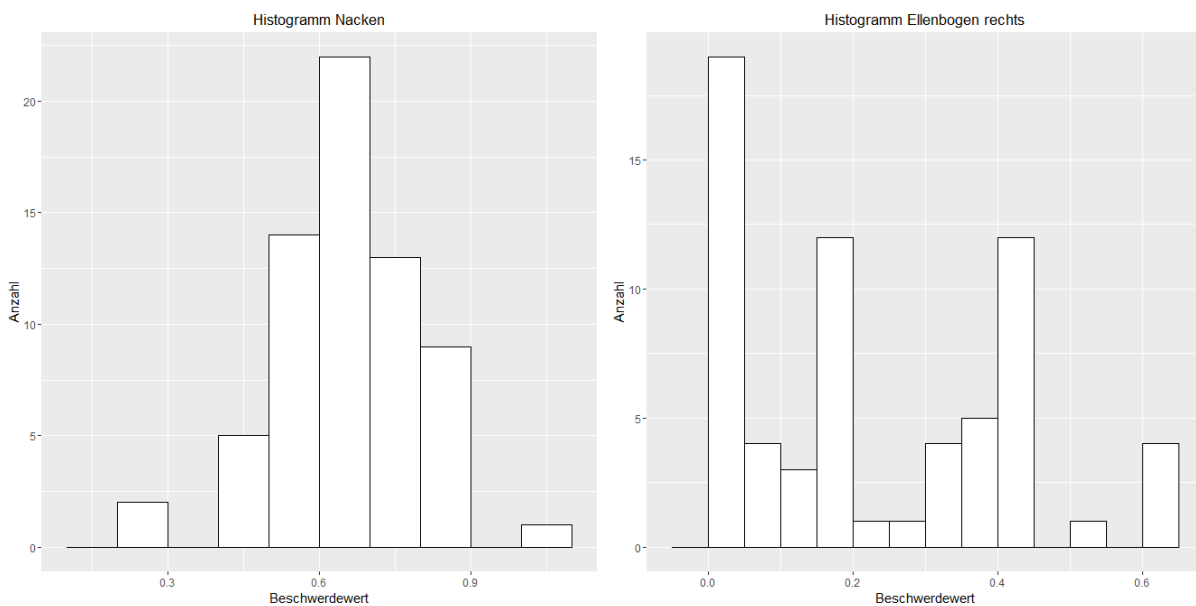


Abbildung 26: Die Häufigkeit der vorkommenden Beschwerdewerte für den Nacken (links) und dem rechten Ellenbogen zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Verteilungen

Testen der Hypothesen

Zum Vergleich, ob an Arbeitsplätzen mit Belastungsfaktoren mehr Beschwerden vorliegen als an Arbeitsplätzen ohne Belastungsfaktoren, wurden diese für jeden Arbeitsplatz identifiziert. Dies ist problemlos vor Ort anhand der Arbeitsplatzbeschreibung möglich und wurde in Kapitel 4.3.1 genauer erläutert.

Lediglich die Daten des Nackens sowie des oberen Rückens sind normalverteilt. Anwendung findet deshalb der Welch two sample t-Test. Wie in Tabelle 14 notiert, werden für den Nacken 34 Arbeitsplätze mit Belastungsfaktoren 32 Arbeitsplätzen ohne solche gegenübergestellt. Für den oberen Rücken liegen an 23 Arbeitsplätzen Belastungsfaktoren vor, an 43 Arbeitsplätzen nicht. Die Ergebnisse des t-Tests sind in Tabelle 18 festgehalten. Demnach kann die Gegenhypothese nicht abgelehnt werden: für repetitive Montagetätigkeiten gibt es keinen Zusammenhang zwischen den identifizierten Belastungsfaktoren und den erhobenen Beschwerdewerten.

Tabelle 18: Ergebnisse des Welch two sample t-Tests

Körperregion	p	Effektstärke
Nacken	0,485	0,088
Oberer Rücken	0,570	0,075

Im Gegensatz dazu sind die Daten der anderen Körperbereiche nicht normalverteilt, sodass der nichtparametrische Wilcoxon Rangsummentest eingesetzt werden muss. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 gezeigt. Den eindeutigsten Zusammenhang gibt es demnach für die Schultern. Während für die rechte Schulter 30 Arbeitsplätze mit Belastungsfaktoren 36 ohne gegenüberstehen, ist der Zusammenhang bei einer mittleren Effektstärke höchst signifikant. Für die linke Schulter gibt es 27 Arbeitsplätze mit Belastungsfaktoren und 39 ohne. Hier ist der Zusammenhang bei einer ebenso mittleren Effektstärke sehr signifikant.

Tabelle 19: Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für das Gesamtkollektiv

Körperregion	p	Effektstärke
Unterer Rücken	0,073	-0,221
Schulter links	0,0015	-0,391
Schulter rechts	0,0003	-0,448
Ellenbogen links	0,812	-0,029
Ellenbogen rechts	0,122	-0,190
Hand/Finger links	0,063	-0,229
Hand/Finger rechts	0,107	-0,199

Für die anderen Körperbereiche konnten mit dem üblichen Niveau keine signifikanten Zusammenhänge aufgedeckt werden. Für den unteren Rücken, den rechten Ellenbogen sowie für beide Handgelenke und Hände konnten aber zumindest kleine Effektstärken gemessen werden.

Mit diesen Erkenntnissen wird das Arbeitsmodell aktualisiert. Es ergibt sich das in Abbildung 27 gezeigte Schaubild, welches die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Oberkörpers für repetitive Montagetätigkeiten aufzeigt. Dieses Schaubild ist eines der zentralen Ergebnisse dieser Arbeit. Weil die daraus hervorgehenden eher schwachen Zusammenhänge aber nicht als zentrale Aussage dieser wissenschaftlichen Arbeit ausreichen, wird im folgenden Abschnitt tiefer geforscht.

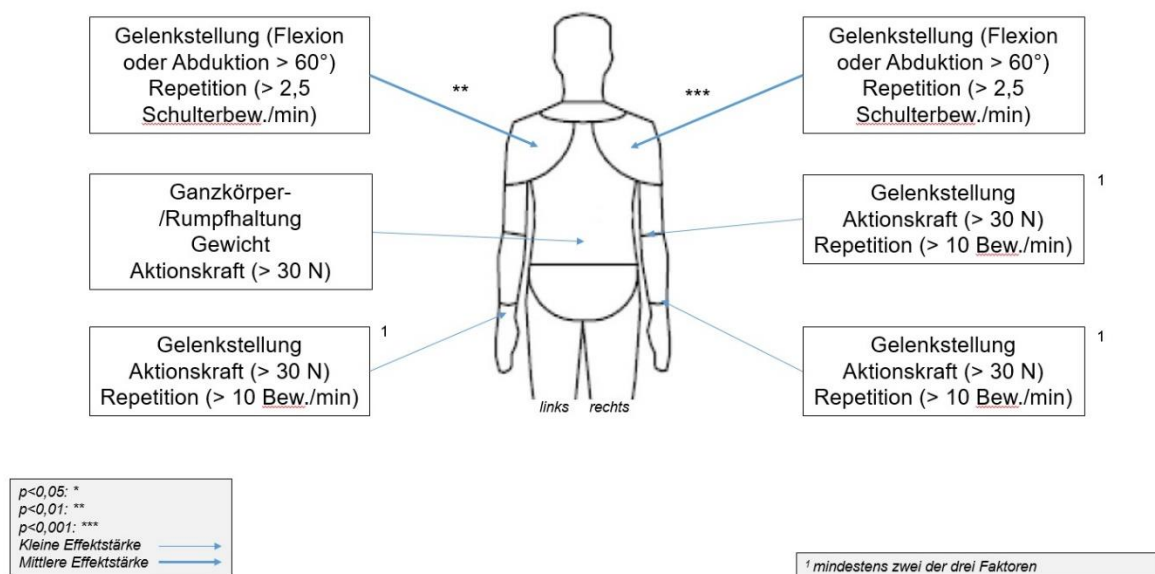


Abbildung 27: Das überprüfte Arbeitsmodell für das Gesamtkollektiv (n = 249)

4.3.4. Überprüfung der Hypothesen anhand der Untergruppen

In der in Kapitel 4.3.1 durchgeführten Voruntersuchung der durch den Fragebogen erhobenen Daten konnten teilweise erhebliche Unterschiede im Probandenkollektiv aufgedeckt werden. So liegen beispielsweise die Schmerz- und Beschwerdewerte von den Probanden über 50 Jahre höher als die der jüngeren Probanden. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich demzufolge auch die Zusammenhänge zwischen Beschwerden und Risikofaktoren unterscheiden. In der Folge werden deshalb die Hypothesen für die Untergruppen einzeln überprüft.

Dafür werden zunächst die jeweiligen Datensätze auf Normalverteilung hin untersucht. Während die exakten Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests im Anhang eingesehen werden können, reicht an dieser Stelle der Vermerk, dass sämtliche Datensätze nicht normalverteilt sind. Deshalb findet wieder der Wilcoxon-Rangsummentest Anwendung.

Für die nachfolgenden Abbildungen heißt die hochgestellte „1“ wieder, dass mindestens zwei der drei Faktoren als Risikofaktoren vorhanden sein müssen. Die Signifikanz wird weiterhin mit Sternchen dargestellt (vgl. Tabelle 15), die Pfeilstärke illustriert die Effektstärke.

- Unterscheidung nach dem Geschlecht

Als erste Untergruppe werden die Geschlechter einzeln überprüft. Dargestellt sind die beiden Probandenkollektive in Abbildung 28: Links die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des weiblichen Probandenkollektivs ($n = 146$), rechts die des männlichen Probandenkollektivs ($n = 88$).

Im weiblichen Probandenkollektiv gibt es höchst signifikante Zusammenhänge mit starker Effektstärke zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden der linken Schulter ($p = 2,95 \cdot 10^{-10}$, $r = -0,858$) sowie von statischer Haltungs- und Haltearbeit mit dem Nacken ($p = 2,28 \cdot 10^{-4}$, $r = -0,503$). Außerdem gibt es einen signifikanten Zusammenhang mit mittlerer Effektstärke zwischen Gelenkstellung, Aktionskraft und Repetition mit der rechten Hand und den Fingern bzw. dem rechten Handgelenk ($p = 0,02$, $r = -0,389$).

Im männlichen Probandenkollektiv gibt es höchst signifikante Zusammenhänge mit starker Effektstärke zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden beider Schultern (links: $p = 0,0003$, $r = -0,65$; rechts: $p = 4,08 \cdot 10^{-7}$, $r = -0,91$) sowie von der Ganzkörper-/Rumpfhaltung, dem Gewicht und der Aktionskraft mit Beschwerden im oberen Rücken ($p = 0,00099$, $r = -0,623$).

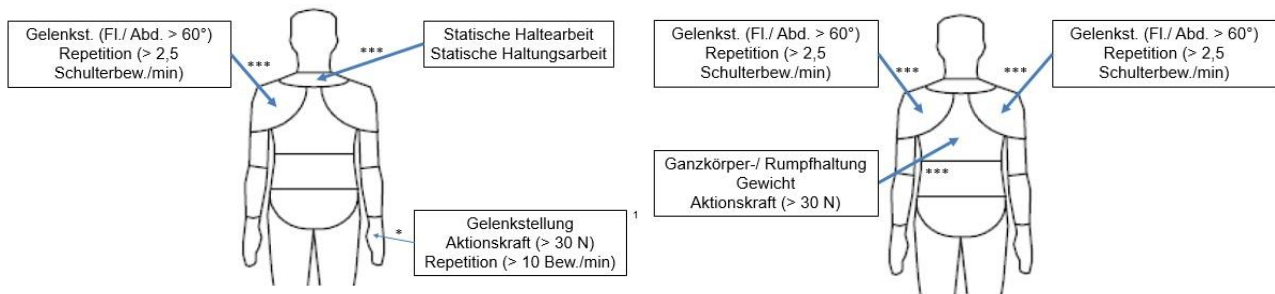


Abbildung 28: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach dem Geschlecht. Links die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des weiblichen Probandenkollektivs (n = 146), rechts die des männlichen Probandenkollektivs (n = 88)

Es fällt auf, dass es sowohl im Gesamtkollektiv sowie bei den männlichen Probanden einen Zusammenhang zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit beidseitigen Schulterbeschwerden gibt, dieser Zusammenhang aber für die rechte Schulter des weiblichen Probandenkollektivs fehlt. Hierbei ist anzumerken, dass zum Zeitpunkt der Befragung an den meisten der Plätze mit Flexion bzw. Abduktion von über 60° und/oder mehr als 2,5 Schulterbewegungen pro Minute fast ausschließlich Männer eingesetzt wurden, sodass es zu Korrelationen im Gesamtkollektiv wie auch für das männliche Probandenkollektiv kommt, nicht aber für das weibliche Probandenkollektiv. Eine ähnliche Beobachtung gilt für Sichtprüf-Arbeitsplätze, sodass der Zusammenhang von Risikofaktoren und Nackenbeschwerden im weiblichen Probandenkollektiv erwartet werden konnte. Gleichwohl fallen sowohl die Beschwerden in Nacken wie auch in den Schultern im weiblichen Probandenkollektiv etwas höher aus.

- Unterscheidung nach dem Alter

Weiterhin werden die beiden Altersgruppen einzeln überprüft. Dargestellt sind die beiden Probandenkollektive in Abbildung 29: Links die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs < 50 Jahre (n = 151), rechts die des Probandenkollektivs > 50 Jahre (n = 92).

Im jüngeren Probandenkollektiv gibt es höchst signifikante Zusammenhänge mit starker Effektstärke zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden beider Schultern (links: $p = 2,28 \cdot 10^{-10}$, $r = -0,826$; rechts: $p = 1,25 \cdot 10^{-9}$, $r = -0,791$) sowie dem linken Oberarm ($p = 4,12 \cdot 10^{-6}$, $r = -0,56$), außerdem von Gelenkstellung, Aktionskraft und Repetition mit der rechten Hand und Finger bzw. dem rechten Handgelenk ($p = 0,00038$, $r = -0,584$). Weiterhin gibt es einen sehr signifikanten Zusammenhang mit mittlerer Effektstärke von Gelenkstellung, Aktionskraft und Repetition mit dem linken Ellenbogen ($p = 0,006$, $r = -0,396$) sowie signifikante Zusammenhänge mit kleiner bzw. mittlerer Effektstärke von statischer Halte- bzw. Haltingsarbeit mit dem Nacken ($p = 0,026$, $r = -0,284$) und von Gelenkstellung, Aktionskraft und Repetition mit dem rechten Unterarm ($p = 0,013$, $r = -0,406$).

Im älteren Probandenkollektiv gibt es einen höchst signifikanten Zusammenhang mit starker Effektstärke zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden der linken Schulter ($p = 3,28 \cdot 10^{-5}$, $r = -0,712$). Weiterhin gibt es einen sehr signifikanten Zusammenhang mit mittlerer Effektstärke von statischer Halte- und Haltungsarbeit mit dem Nacken ($p = 0,0044$, $r = -0,424$). Außerdem gibt es signifikante Zusammenhänge mit mittlerer Effektstärke von Gelenkstellung und Repetition mit der rechten Schulter ($p = 0,032$, $r = -0,368$) sowie von Gelenkstellung, Aktionskraft und Repetition mit dem linken Ellenbogen ($p = 0,041$, $r = -0,378$).

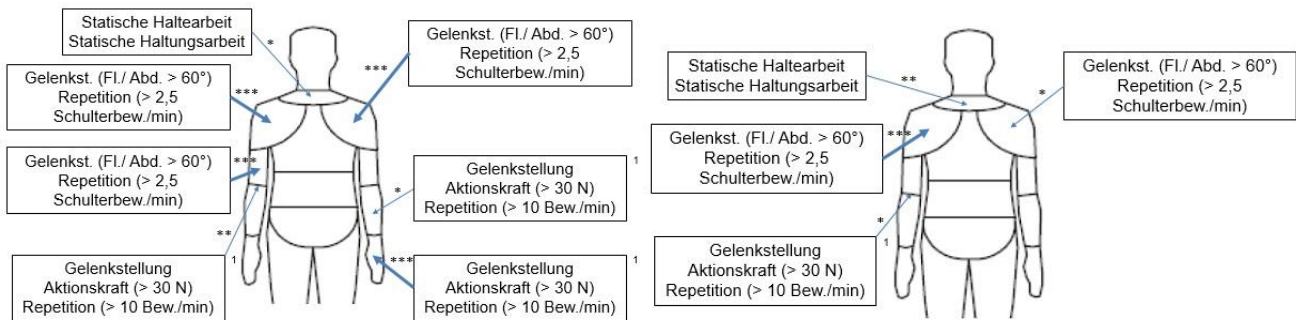


Abbildung 29: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach dem Alter. Links die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs < 50 Jahre ($n = 151$), rechts die des Probandenkollektivs > 50 Jahre ($n = 92$)

Im Vergleich der Probandenkollektive, die nach Alter unterschieden werden, fällt auf, dass es deutlich mehr Zusammenhänge zwischen Risikofaktoren und Beschwerden im jüngeren Probandenkollektiv gibt. Die im Gesamtkollektiv auftretenden Korrelationen zwischen Risikofaktoren und den Schultern werden dennoch auch hier widergespiegelt.

Wichtig ist beim Vergleich dieser Probandenkollektive festzuhalten, dass die Beschwerden im älteren Probandenkollektiv insgesamt (mit Ausnahme des Nackens und der Oberarme) höher ausfallen. Sind nun die Beschwerden im Kollektiv breiter gefächert, können die Unterschiede zu den Beschwerden, die durch die Risikofaktoren hervorgerufen werden, nicht mehr so deutlich ausfallen. Das Probandenkollektiv < 50 Jahre ist deshalb vielleicht das aussagekräftigste.

Keine Korrelationen gibt es zwischen den Risikofaktoren und Rückenbeschwerden, dafür in beiden Probandenkollektiven zwischen den Risikofaktoren und sowohl dem Nacken wie auch dem linken Ellenbogen.

- Unterscheidung nach zusätzlicher sportlicher Betätigung

Außerdem werden die Probandengruppen nach Zusatzbelastung einzeln überprüft. Dargestellt sind die Probandenkollektive in Abbildung 30. Links sind die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs, die früher Sport der oberen Extremitäten (OE) ausübten ($n = 47$), in der Mitte das Probandenkollektiv, das keinen Sport der OE ausübt ($n = 107$) und rechts das Probandenkollektiv, das Sport der OE ausübt ($n = 79$) dargestellt.

Im Probandenkollektiv, das früher Sport der OE ausübte, gibt es lediglich einen signifikanten Zusammenhang mit starker Effektstärke von Gelenkstellung und Repetition mit Beschwerden der linken Schulter ($p = 0,016$, $r = -0,554$).

Im Probandenkollektiv, das keinen Sport der OE ausübt, gibt es einen höchst signifikanten Zusammenhang mit starker Effektstärke von Gelenkstellung und Repetition mit Beschwerden der linken Schulter ($p = 8,03 \cdot 10^{-7}$, $r = -0,771$). Weiterhin gibt es signifikante Zusammenhänge mit mittleren Effektstärken von Gelenkstellung und Repetition mit Beschwerden der rechten Schulter ($p = 0,037$, $r = -0,326$) und des linken Oberarms ($p = 0,016$, $r = -0,376$), sowie von der Ganzkörper-/Rumpfhaltung, dem Gewicht und von Aktionskräften mit dem unteren Rücken ($p = 0,045$, $r = -0,321$).

Schließlich gibt es im Probandenkollektiv, das Sport der OE ausübt, sehr signifikante Zusammenhänge mit mittleren bzw. starken Effektstärken von Gelenkstellung und Repetition mit Beschwerden beider Schultern (links: $p = 0,0038$, $r = -0,489$, rechts: $p = 0,0025$, $r = -0,511$) und mit Beschwerden im linken Oberarm ($p = 0,0033$, $r = -0,496$). Weiterhin gibt es noch einen signifikanten Zusammenhang mit mittlerer Effektstärke von Gelenkstellung und Repetition mit Beschwerden im rechten Oberarm ($p = 0,011$, $r = -0,429$).

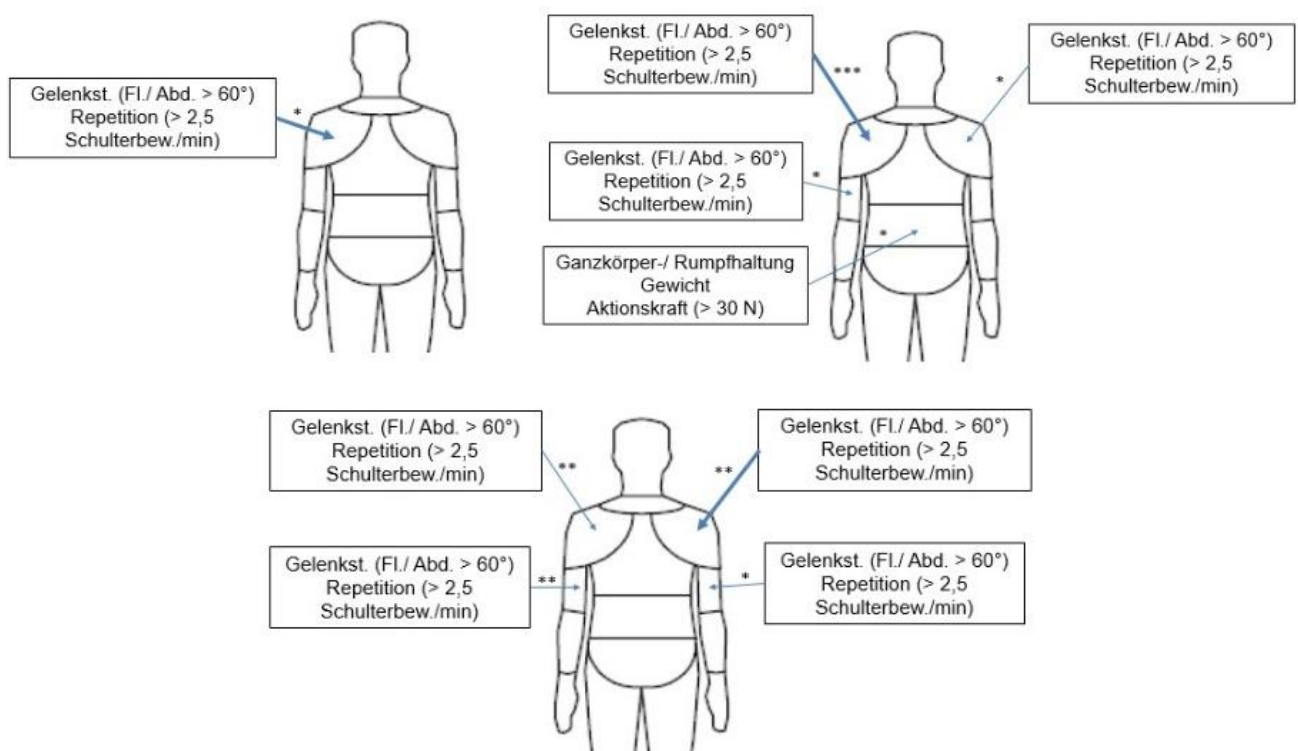


Abbildung 30: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach zusätzlicher sportlicher Betätigung. Oben links sind die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs, das früher Sport der oberen Extremitäten (OE) ausübte ($n = 47$), oben rechts das Probandenkollektiv, das keinen Sport der OE ausübt ($n = 107$) und unten das Probandenkollektiv, das Sport der OE ausübt ($n = 79$) dargestellt

Der Vergleich der Probandenkollektive, die nach sportlicher Aktivität der oberen Extremitäten aufgeteilt wurden, bringt keine neuen Erkenntnisse. Wie im Gesamtkollektiv gibt es wieder Zusammenhänge zwischen den Risikofaktoren und Schulterbeschwerden. Die größeren Probandenkollektive (Sport bzw. kein Sport) unterscheiden sich nur unwesentlich.

- Unterscheidung nach Einsatzdauer

Schließlich werden die Probandengruppen nach Einsatzdauer einzeln überprüft. Dargestellt sind die Probandenkollektive in Abbildung 31. Links sind die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs, das weniger als sechs Monate am Arbeitsplatz arbeitet (n = 26), in der Mitte das Probandenkollektiv, das zwischen sechs Monaten und drei Jahren am Arbeitsplatz arbeitet (n = 59) und rechts das Probandenkollektiv, das bereits länger als drei Jahre am Arbeitsplatz arbeitet (n = 148) dargestellt.

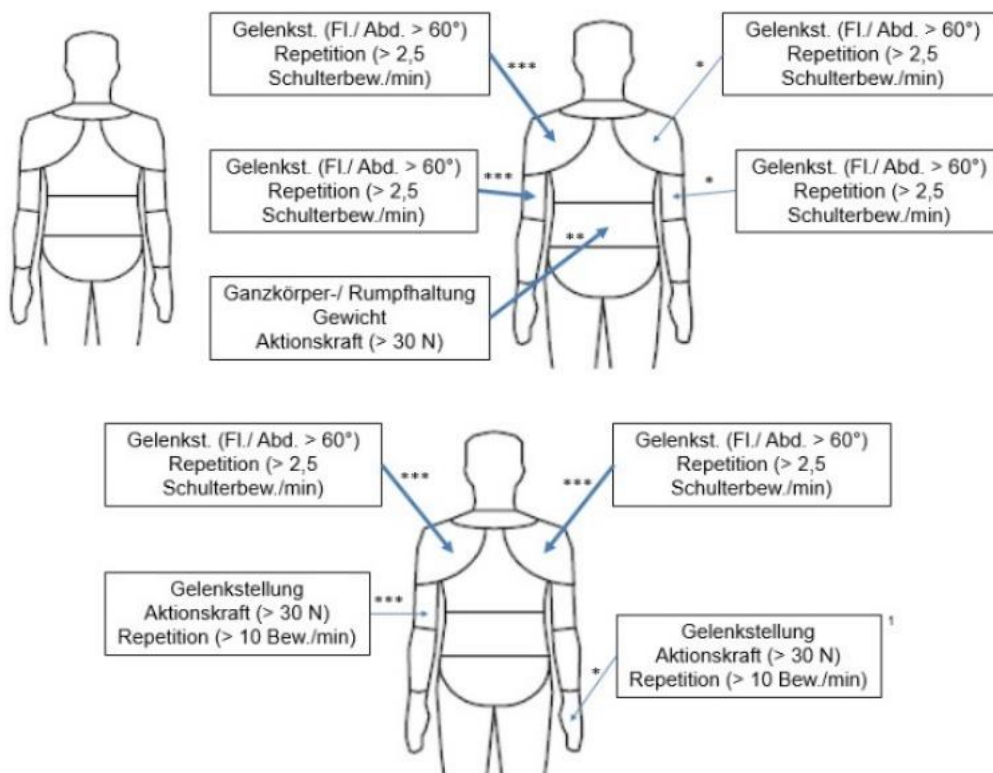


Abbildung 31: Das überprüfte Arbeitsmodell unterschieden nach Einsatzdauer am Arbeitsplatz. Oben links sind die Zusammenhänge von Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden des Probandenkollektivs, das weniger als sechs Monate am Arbeitsplatz arbeitet (n = 26, keine vorhanden), oben rechts das Probandenkollektiv, das zwischen sechs Monaten und drei Jahren am Arbeitsplatz arbeitet (n = 59) und unten das Probandenkollektiv, das bereits länger als drei Jahre am Arbeitsplatz arbeitet (n = 148) dargestellt

Im Probandenkollektiv, das weniger als sechs Monate am Arbeitsplatz arbeitet, gibt es keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden. Die Anzahl der Probanden ist mit 26 auch sehr gering.

Mehr signifikante Zusammenhänge gibt es mit 59 Probanden in der Gruppe, die zwischen sechs Monaten und drei Jahren am Arbeitsplatz eingesetzt werden. Höchst signifikante Zusammenhänge mit starker Effektstärke gibt es hier zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden der linken Schulter ($p = 0,0007$, $r = -0,669$) und des linken Oberarms ($p = 0,0006$, $r = -0,676$). Weiterhin gibt es einen sehr signifikanten Zusammenhang mit starker Effektstärke zwischen der Ganzkörper- bzw. Rumpfhaltung, dem Gewicht und der Aktionskraft mit Beschwerden im unteren Rücken ($p = 0,0017$, $r = -0,812$), außerdem gibt es signifikante Zusammenhänge mit mittlerer Effektstärke von der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden der rechten Schulter ($p = 0,015$, $r = -0,476$) und dem rechten Oberarm ($p = 0,034$, $r = -0,416$).

Ebenso gibt es im Probandenkollektiv, das bereits mehr als drei Jahre am jeweiligen Arbeitsplatz arbeitet, höchst signifikante Zusammenhänge mit starker bzw. mittlerer Effektstärke zwischen der Gelenkstellung und der Repetition mit Beschwerden der linken Schulter ($p = 4,82 \cdot 10^{-13}$, $r = -0,958$), dem linken Oberarm ($p = 0,0006$, $r = -0,456$) und der rechten Schulter ($p = 1,31 \cdot 10^{-5}$, $r = -0,577$). Weiterhin gibt es einen signifikanten Zusammenhang mit mittlerer Effektstärke von der Gelenkstellung, der Aktionskraft und der Repetition mit der rechten Hand bzw. dem rechten Handgelenk ($p = 0,03$, $r = -0,384$).

Nicht weiter eingegangen wird an dieser Stelle auf das Probandenkollektiv, das erst weniger als sechs Monate am Arbeitsplatz eingesetzt wird. Die Anzahl der Probanden ist zu gering.

Interessant bei den anderen beiden Probandenkollektiven sind der linke Oberarm, der untere Rücken sowie die rechte Hand. In beiden Probandenkollektiven gibt es eine Korrelation zwischen den Risikofaktoren und Beschwerden im linken Oberarm. So zeigen Schulterbeschwerden eventuell an, dass bei gleichbleibenden Bewegungen auch der Oberarm betroffen sein wird. Weiterhin gibt es im Probandenkollektiv, das zwischen sechs Monaten und drei Jahren am Arbeitsplatz arbeitet, einen Zusammenhang zwischen den Risikofaktoren und Beschwerden im unteren Rücken. Diese scheinen sich folglich erst nach einer gewissen Zeit zu manifestieren, dann aber unabhängig von den Risikofaktoren an allen Arbeitsplätzen aufzutreten. Wie erwartet nehmen die Rückenbeschwerden im Probandenkollektiv über die Zeit zu. Abschließend ist zu beobachten, dass ein Zusammenhang zwischen Risikofaktoren und Beschwerden in der rechten Hand bzw. den Fingern und dem Handgelenk erst im Probandenkollektiv auftaucht, das das bereits länger als drei Jahre am Arbeitsplatz arbeitet. Zu überprüfen ist in diesem Zusammenhang die entstehende Vermutung, dass die Hände widerstandsfähiger gegenüber den identifizierten Risikofaktoren sind als beispielsweise die Schultern.

Zusammenfassende Darstellung

Tabelle 20 listet in der Zusammenfassung die einzelnen Körperregionen mit den jeweiligen Belastungsfaktoren auf. Demnach konnten für fast alle Bereiche des Oberkörpers Zusammenhänge zwischen den identifizierten Belastungsfaktoren und den physischen Beschwerden gezeigt werden.

Tabelle 20: Zusammenfassende Darstellung der Überprüfung des Arbeitsmodells

Körperregion	Belastungsfaktoren	Signifikanz	Effektstärke
Nacken	Statische Haltungsarbeit	Bis zu $2,28 \cdot 10^{-4}$	-0,503
	Statische Haltearbeit		
Oberer Rücken	Ganzkörper-/ Rumpfhaltung	Bis zu 0,00099	-0,623
Unterer Rücken		Bis zu 0,0017	-0,812
	Gewicht		
	Aktionskraft ¹		
Linke Schulter	Gelenkstellung ²	Bis zu $4,82 \cdot 10^{-13}$	-0,958
Rechte Schulter	Repetition ³	Bis zu $1,25 \cdot 10^{-9}$	-0,791
Linker Oberarm	Gelenkstellung ²	Bis zu $4,12 \cdot 10^{-6}$	-0,560
Rechter Oberarm	Repetition ³	Bis zu 0,011	-0,429
Linker Ellenbogen	Gelenkstellung	Bis zu 0,006	-0,396
Rechter Ellenbogen	Aktionskraft ¹	<i>keine</i>	
	Repetition ^{4, 5}		
Linker Unterarm	Gelenkstellung	<i>keine</i>	
Rechter Unterarm	Aktionskraft ¹	Bis zu 0,013	-0,406
	Repetition ^{4, 5}		
Linke Hand/Finger	Gelenkstellung	<i>keine</i>	
Rechte Hand/Finger	Aktionskraft ¹	Bis zu 0,00038	-0,584
	Repetition ^{4, 5}		

(1: Kraft >30 N, 2: Flexion oder Abduktion >60°, 3: mehr als 2,5 Bewegungen pro Minute, 4: mehr als 10 Bewegungen pro Minute, 5: mindestens zwei der drei Faktoren)

Lediglich für den rechten Ellenbogen, den linken Unterarm sowie die linke Hand/das linke Handgelenk/die linken Finger konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden. Am deutlichsten sind die Zusammenhänge zwischen den Belastungsfaktoren und den Schultern. Dieser Zusammenhang zeigte sich bereits im Arbeitsmodell des Gesamtkollektivs.

Mit dieser Aussage kann die dritte Forschungsfrage eindeutig beantwortet werden: in der Praxis führen die Gelenkstellung sowie Repetition zu Beschwerden der Schultern, die Ganzkörper-/Rumpfhaltung, das Gewicht sowie die Aktionskräfte zu Beschwerden im Rücken sowie die Gelenkstellung, die Aktionskraft und Repetition zu Beschwerden im rechten Ellenbogen sowie in den Händen bzw. Handgelenken.

Das folgende fünfte Kapitel überprüft nun, inwieweit diese Zusammenhänge von den Screening-Verfahren abgebildet werden.

5. Darstellung und Vergleich der Belastungsbewertung repetitiver Montagetätigkeiten

Im Anschluss an den Ergebnisteil dieser Dissertation wird der Vergleich mit den Ergebnissen der Screening-Verfahren gezogen. Die Rückschlüsse daraus sind insbesondere als Rückmeldung für die Verfahrensentwickler wichtig, die damit den Anwendungsbereich der Screening-Verfahren erweitern können. Durch die Daten der repetitiven Tätigkeiten können die Ergebnisse, die sich in den Punktwerten widerspiegeln, für Extremsituationen wie die repetitiven Tätigkeiten angepasst werden. Ferner beeinflusst der Ergebnispunktwert des ausgewählten Screening-Verfahrens in der Praxis Auslegungen und Änderungen an Arbeitsplätzen, um langfristig Beschwerden in der Belegschaft vorzubeugen.

5.1. Vorstellung der verwendeten Screening-Methoden

Wie bereits in der in Kapitel 2.3 vorgestellten Studie, die den Ausgangspunkt für diese Arbeit bildet, eingeführt, werden für den Vergleich der Analysen der repetitiven Arbeitsplätze fünf Screening-Verfahren herangezogen. Diese werden nun in aller Kürze vorgestellt. Anschließend wird in Kapitel 5.2 überprüft, ob die für die Bewertung repetitiver Tätigkeiten relevanten Merkmale in den Screening-Methoden Berücksichtigung finden. Dann wird in Kapitel 5.3 weiterhin überprüft, ob die nach dem Arbeitsmodell aus Kapitel 4.3.3 für die Analyse relevanten Risikofaktoren mit in die Berechnung eingehen. Schließlich gibt Kapitel 5.4 einen Überblick und fasst die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen zusammen, womit die vierte Forschungsfrage beantwortet wird.

Die Reihenfolge der nun folgenden Vorstellung der Screening-Methoden soll keine Wertung darstellen sondern ergibt sich aus den Entstehungsjahren. Die zuerst vorgestellte Methode (der Strain Index) entstand bereits 1995; die Hand Arm Risk-assessment Method – zuletzt vorgestellt – entstand erst 2009.

5.1.1. Der Strain Index

Der Strain Index (SI) nach Moore und Garg (1995, S. 443–485) bewertet das Risiko einer Tätigkeit arbeitsbedingt zu erkranken anhand von sechs Arbeitsvariablen, welche gemessen oder geschätzt werden. Dabei handelt es sich um die jeweils größte Anstrengung eines Arbeitszyklus der Intensität der Anstrengung, der Dauer dieser Anstrengung pro Zyklus sowie die Anzahl der Ausführungen dieser Tätigkeit pro Minute. Zusätzlich wird die Haltung der Hand bzw. des Handgelenks, die Arbeitsgeschwindigkeit und die Dauer der Aufgabe pro Tag mit Hilfe einer fünfstufigen Skala einer Bewertungszahl zugeordnet. Das Produkt der sechs Bewertungsskalen ergibt schließlich den Risikowert. Die Bereiche können in Tabelle 21 eingesehen werden (ISO 11228-3, S. 66–68).

Tabelle 21: Bewertungstabelle des SI nach ISO 11228-3 (S. 67)

Zone	Risikowert	Beschreibung
Grün	< 3	kein Risiko
Gelb	3 - 7	Grenzwertig oder geringes Risiko
Rot	> 7	Risiko ist vorhanden, die Tätigkeit wird als gefährlich klassifiziert

Es werden beide Hände separat bewertet. Gedacht ist die Anwendung des SI nur für Tätigkeiten der Hände und Unterarme. Nicht erfasst werden mit dieser Methode Pausenzeiten und –intervalle sowie zusätzliche Faktoren wie Kälte oder Vibration.

5.1.2. Das Occupational Risk Assessment

Das Occupational Risk Assessment (OCRA) ist ein Experten-Screening-Verfahren mit zwei Varianten: dem OCRA Index sowie der OCRA Checkliste (Hartmann et al., 2013, S. 138). Diese Methode wurde von der italienischen Arbeitsgruppe Colombini, Occhipinti & Grieco entwickelt (Occhipinti & Colombini, 2000; Colombini, Occhipinti & Grieco, 2002) und führt einzelne Risikofaktoren wie beispielsweise Repetition, Kraftaufwand, Körper- und Gelenkbewegungen sowie zusätzliche Faktoren wie Vibration, Druck und/oder Kälte, welchen die Beschäftigten berufsbedingt ausgesetzt sind, in einem Risikowert zusammen. Dieser wird als der Quotient der „Zahl der tatsächlich ausgeführten technischen Aktionen“ und der „Zahl der empfohlenen technischen Aktionen“ berechnet (Hoehne-Hückstädt et al., 2007, S. 87).

Mit der OCRA-Methode werden die Hauptrisikofaktoren der untersuchten Arbeitsplätze identifiziert und quantifiziert. Im Fall der repetitiven Tätigkeiten sind das die Frequenz, die Kraft, Zwangshaltungen und/oder –bewegungen, Abwesenheit von Pausen und zusätzliche Risikofaktoren wie Hitze, Kälte oder Vibration (Colombini & Occhipinti, 2009, S. 4).

Die OCRA-Checkliste erlaubt eine verkürzte Prozedur der Risikobewertung und wird für ein erstes, gröberes Screening empfohlen (Occhipinti & Colombini, 2006, S. 2535). Während es einen starken Zusammenhang zwischen dem OCRA-Index und Mitarbeitern mit muskuloskelettalen Beschwerden gibt (Occhipinti & Colombini, 2007), zeigte die praktische Anwendung bei repetitiven Tätigkeiten, dass die Anwendung des OCRA-Indexes keinen Mehrwert gegenüber der Checkliste bringt (Heidl, 2013), weshalb sich in dieser Arbeit auf die Anwendung der OCRA-Checkliste beschränkt wird. Wird im Folgenden von „OCRA“ gesprochen, so ist die „OCRA-Checkliste“ gemeint.

Die Zuordnung der Punktwerte zu Risikoklassen zeigt Tabelle 22. Als in der Praxis problematisch gestaltet sich dabei der Umgang mit der originalen fünfstufigen Bewertungsskala, weil die anderen Methoden, mit welchen

die Bewertungsergebnisse verglichen werden, mit der normierten dreistufigen Skala (DIN EN 614-1, S. 20) arbeiten. Die originale Skala wird deshalb an dieser Stelle auf ihre verbale Beschreibung angepasst, was sich für Vergleiche als sinnvoll erwiesen hat (Heidl, 2013).

Tabelle 22: Checklistenwerte und zugehöriger OCRA-Index sowie Farbkodierung und Bewertung (Colombini et al., 2002)

OCRA-Checkliste	Farbkodierung (original)	Farbkodierung (angepasst)	Risiko	Handlung
≤ 7,5	Grün	Grün	Akzeptabel	Keine
7,6 – 11,0	Gelb		Grenzwertig, sehr niedrig	Keine, überwachen
11,1 – 14,0	Orange	Gelb	Niedrig	in naher Zukunft nötig
14,1 – 22,5	Rot		Durchschnittlich	in naher Zukunft nötig
≥ 22,6	Dunkelrot	Rot	Hoch	Neugestaltung

5.1.3. Das Ergonomic Assessment Worksheet

Das Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS; vorher: European Assessment Worksheet) ist eine ergonomische Risikoanalyse, die in verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus durchgeführt werden kann (Schaub, Caragnano, Britzke & Bruder, 2013). So eignet sich das EAWS gleichermaßen für Ist- und Planungsanalysen (Schaub, 2004, S. 91) und wurde als Prüfverfahren für die physische Arbeitslast entwickelt.

Das Problem, welches mit EAWS angegangen werden soll, sind hohe physikalische Gesamtbelastungen. Diese bestehen heutzutage selbst in hochentwickelten und –automatisierten Branchen wie der Automobilindustrie weiterhin, beispielsweise durch kraftintensive oder sich immer wiederholende Ladevorgänge. Als einen weiteren Grund für die Entwicklung von EAWS geben die Autoren an, dass schlechte ergonomische Auslegung in industrialisierten Ländern zu fast einem Drittel durch Muskel-Skelett-Beschwerden oder -Erkrankungen zu krankheitsbedingter Abwesenheit führt. Demzufolge soll die Methode mit der Risikoanalyse und –bewertung zusätzlich als Grundlage dafür dienen, besser gestaltete Arbeitsplätze zu erhalten (Schaub et al., 2013, S. 1–2).

Die Ziele der Methode sind die Verbesserung der Arbeitsumwelt, der Mitarbeiterfähigkeiten und der Produktivität. Ebenso soll Berufskrankheiten vorgebeugt werden. So verbindet das Verfahren Korrekturmaßnahmen mit Ergonomie und weist auf ergonomische Probleme hin. Außerdem werden Design-Lösungen vorgeschlagen, um diese Probleme zu überwinden (Schaub et al., 2013).

Bei der Risikoabschätzung während der Methode werden die Arbeitssituationen einem Ampelschema zugewiesen, wobei sich die Punkte aus dem Produkt der Intensität und der Dauer oder Anzahl ergeben. Dies ist in Tabelle 23 gezeigt und beschrieben. Wie bereits erläutert sind die Übergänge dabei fließend.

Tabelle 23: Ampelschema von EAWS

Punkte	Erläuterung	Maßnahmen
0 bis 25	Niedriges Risiko: empfehlenswert! Das Risiko einer Erkrankung oder Verletzung ist vernachlässigbar bzw. es ist auf einem annehmbaren Niveau.	Maßnahmen sind nicht erforderlich.
26 bis 50	Mögliches Risiko: nicht empfehlenswert! Für die Mitarbeiter besteht insgesamt bzw. teilweise ein nicht zu unterschätzendes Risiko einer Erkrankung oder Verletzung.	Eine detaillierte Risikoabschätzung ist erforderlich. Maßnahmen zur erneuten Gestaltung bzw. Risikobeherrschung ergreifen.
≥ 51	Hohes Risiko: vermeiden! Das Risiko einer Erkrankung oder Verletzung ist offensichtlich und es ist nicht annehmbar, die Mitarbeiter diesem Risiko auszusetzen.	Maßnahmen zur Risikominderung sind dringend erforderlich.

Von Steinberg und Liebers et al. (2011, S. 14) wird das EAWS als branchenbezogene Erweiterung des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS) des Instituts ASER e.V. und der Key Indicator Method (KIM) bezeichnet. Die Entwicklung basiert auf den Erfahrungen des New Production Worksheets (NPW) (Schaub & Dietz, 2000 und Schaub, Storz & Landau, 2001) sowie von DesignCheck (Schaub & Winter, 2002), woraus zunächst das Automotive Assembly Worksheet (AAWS) entstand, welches wiederum durch eine Überarbeitung und Vorsehung für ein größeres Anwendungsfeld zum EAWS wurde.

5.1.4. Die Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse

Die Entwicklung des Abschnittes Manuelle Arbeitsprozesse (MA) der Leitmerkmalmethode (LMM) begründet sich damit, dass bei Betriebspraktikern „dringender Bedarf“ für die Beurteilung von repetitiven manuellen Tätigkeiten sowie bei Arbeiten mit unterschiedlichen physischen Belastungen bestand (Steinberg & Behrendt et al., 2007, S. 30). Die LMM MA soll dazu dienen, die Wahrscheinlichkeit für das Erleiden tätigkeitsbedingter

Beschwerden und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems abzuschätzen (Steinberg & Liebers et al., 2011, S. 7). Um die auftretenden Belastungen dann wirksam zu reduzieren, muss dort angesetzt werden, wo die Leitmerkmale die Ursache für hohe Gewichtungen darstellen (Tannenhauer, 2013, S. 26).

Die LMM MA basiert auf den ersten Leitmerkmalmethoden für das „Heben, Halten und Tragen von Lasten“ und das „Ziehen und Schieben von Lasten“, welche in den Jahren 2001 und 2002 entwickelt und veröffentlicht wurden. Nach praxisbezogenen Tests hinsichtlich Validität, Objektivität, Reliabilität und Anwendbarkeit wurde die erste Version überarbeitet und als revidierte Fassung 2011 veröffentlicht. Die Methode eignet sich für die Beurteilung von hochrepetitiven Tätigkeiten, wird aber nicht auf solche begrenzt (Steinberg & Liebers et al., 2011, S. 7–8). Nicht angewendet werden kann die Methode bei Lastgewichten über 5 kg. Dort ist die LMM HHT (Halten, Heben, Tragen) zu verwenden (Jürgens et al., 2001). Für die Bewertung der Tätigkeiten sind biomechanische, physiologisch-metabolische und Erträglichkeitsmerkmale die bestimmenden Kriterien, wobei die Dauer und Häufigkeit in der Verbindung mit den Lastgewichten, den Körperhaltungen und –bewegungen das Ausmaß der Belastung bestimmen (Steinberg & Liebers et al., 2011).

Auch die Autoren der LMM MA legen Wert darauf, dass die in Tabelle 24 dargestellten Grenzwerte als fließend zu verstehen sind, weil die individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen unterschiedlich sind. Die Bewertungsergebnisse sollen folglich als Orientierungshilfe dienen. Ferner wird betont, dass sich die Belastung für das Muskel-Skelett-System mit steigenden Punktwerten grundsätzlich erhöht (BAuA, 2012, S. II).

Tabelle 24: Bewertungstabelle der LMM MA (BAuA, 2012, S. II)

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

5.1.5. Die Hand Arm Risk-assessment Method

Die Hand Arm Risk-assessment Method (HARM; deutsch: Hand Arm Risiko-Bewertungsmethode) wird im Gegensatz zu den anderen im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Methoden online durchgeführt. Anschauliche

Abbildungen sollen es dem Anwender erleichtern, Risikofaktoren zu identifizieren, um somit das gesundheitliche Risiko, Arm-, Hals- oder Schulterprobleme zu erleiden, einschätzen zu können. Die Methode ist nur anzuwenden, wenn Beine und Torso wenig oder gar nicht bewegt werden und kann ausdrücklich nicht für Bildschirmarbeitsplätze angewandt werden (European Agency for Safety and Health at Work, 2009).

Die Methode zeichnet sich durch die einfache Erlern- und Bedienbarkeit aus, kann von jedem, der für die Gesundheit und Sicherheit eines Unternehmens zuständig ist, angewandt werden und kommt schnell und zuverlässig zu einem Bewertungsergebnis (European Agency for Safety and Health at Work, 2009). Die Punktebereiche sind analog zur Leitmerkmalmethode gewählt und in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Bewertungstabelle der Methode HARM nach Kraker und Douwes (2009)

Zone	Risikowert	Beschreibung
Grün	< 25	Die Tätigkeit stellt für den Großteil der Beschäftigten kein Gesundheitsrisiko für den Hand-Arm-Schulter-Bereich dar.
Gelb	25 - 50	Für einige Angestellte besteht das Risiko, Probleme im Arm-, Nacken- oder Schulterbereich zu bekommen. Maßnahmen, um das Risiko zu verringern, sollten ergriffen werden.
Rot	> 50	Für den Großteil der Belegschaft stellt die Tätigkeit ein beachtliches Gesundheitsrisiko für Arme, Nacken und Schultern dar. Es müssen sofort Maßnahmen ergriffen werden, um das Risiko einzuschränken.

Die Entwickler der Methode empfehlen, HARM nur für Tätigkeiten anzuwenden, die von Personen im Alter von 18 bis 65 Jahren täglich länger als eine Stunde ausgeführt werden und einseitige Handkräfte von weniger als 60 N benötigen (Douwes, Kraker, Könemann & Bosch, 2011).

5.2. Überprüfung der für die Bewertung repetitiver Tätigkeiten relevanten Merkmale

In dieser Arbeit eingesetzt wurden die in Kapitel 5.1 vorgestellten fünf unterschiedlichen Screening-Bewertungsverfahren, die, wie bereits in Kapitel 2.1.3 gezeigt, zu sich teils stark unterscheidenden Risikobewertungen kommen. Gründe dafür sind, neben beispielsweise Rechenvorschriften und Grenzwerten, mitunter die Eingabewerte, also die Daten, die bestimmt werden müssen, um die unterschiedlichen Verfahren einzusetzen.

Tabelle 26 zeigt eine Übersicht der Merkmale, welche von den fünf verschiedenen Screening-Methoden erfasst werden. Markiert ist das Vorhandensein des jeweiligen Merkmals mit einem „x“.

Das Merkmal „Repetition“ beschreibt dabei, ob die Methoden grundsätzlich repetitive Tätigkeiten in der Bewertung berücksichtigen. Durch eine Zeitgewichtung wird die „Tätigkeitsdauer“ bei allen Methoden berücksichtigt, die Unterteilungs-Stufen unterscheiden sich allerdings erheblich. Mit „Krafthöhe“ können sowohl die erforderlichen Aktionskräfte zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe, die aufgewendeten Körperkräfte oder auch die personenbezogene Beanspruchungswahrnehmung gemeint sein, die sich erheblich voneinander unterscheiden können. Die „Intensität der Bewegung“ stellt einen Oberbegriff für unterschiedliche Kriterien wie beispielsweise Anstrengung, Häufigkeit und Frequenz dar. Zusätzlich können noch „statische Anteile“ bewertet werden.

Mit der „Arbeitsgeschwindigkeit“ wird beispielsweise bei der Methode SI eingeschätzt, ob das Arbeitstempo durchgehalten werden kann. In der Kategorie „Greifbedingungen“ werden die Griffart und die Dauer bewertet. In der „Hand-Arm-Stellung“ werden die Gelenkstellungen der oberen Extremitäten bewertet, das Merkmal „Körperhaltung“ ist nur dann erfüllt, wenn die Ganzkörperhaltung in die Risikobewertung der Methode mit eingeht.

Unter dem Merkmal „Arbeitsorganisation“ werden zusätzlich zur „Berücksichtigung von Pausen“ auch Tätigkeitswechsel und Arbeitsinhalt berücksichtigt. Bei den „Ausführungsbedingungen“ werden erschwerende Bedingungen analysiert. Dazu werden beispielsweise Behinderungen der Arbeitsausführung durch unzureichende Werkzeuge, Kälte, Handschuhe, Sehbedingungen und Vibration gezählt. Unter „Nebentätigkeiten“ schließlich wird verstanden, ob für schwere „Nebenarbeiten“ in der Methode pauschal Zusatzpunkte vergeben werden können.

Tabelle 26: Vergleich der berücksichtigten Merkmale in ausgewählten Screening-Bewertungsverfahren (Anpassung der Merkmalstabelle von Steinberg und Liebers et al. (2011, S.44)). Das Vorhandensein des jeweiligen Merkmals markiert ein „x“.

Berücksichtigte Merkmale	EAWS	OCRA CL	LMM MA	SI	HARM
Repetition	x	x	x		
Tätigkeitsdauer	x	x	x	x	x
Krafthöhe	x	x	x	x	x
Intensität der Bewegung	x	x	x	x	x
statische Anteile	x		x		x
Arbeitsgeschwindigkeit	x			x	
Greifbedingungen	x	x			
Hand-Arm-Stellung	x	x	x	x	x
Körperhaltung	x		x		x
Arbeitsorganisation	x		x		
Berücksichtigung von Pausen	x	x			
Ausführungsbedingungen		x	x		x
Nebentätigkeiten	x				

Zusammenfassend zeigt Tabelle 26 deutlich, auf welcher unterschiedlicher Basis das Risiko der analysierten Tätigkeiten eingestuft wird.

Soviel zu den allgemein verwendeten Daten. Ein genauerer Blick überprüft nun in Kapitel 5.3 das Vorhandensein der im Modell (vgl. Abbildung 27) identifizierten Belastungsfaktoren.

5.3. Überprüfung der im Modell identifizierten Risikofaktoren

Zur weiteren Prüfung der Eignung vorhandener Screening-Verfahren für die Abschätzung von Risikopotential an repetitiven Montagetätigkeiten muss geprüft werden, ob die in dieser Arbeit für repetitive Montagetätigkeiten als relevant identifizierten Risikofaktoren, die nachweislich zu Beschwerden führen, Berücksichtigung finden.

Überprüft wurde dabei lediglich, ob die Faktoren Eingang in die Risikobeurteilung finden, nicht in welchem Maße. Mit dieser Arbeit soll keine neue Methode entwickelt oder eine bereits bestehende verbessert werden – es werden die Grundlagen ermittelt, aus denen Rückschlüsse für die Verfahrensentwicklung bzw. -verbesserung gezogen werden können, oder es entstehen Ansatzpunkte, die Gestaltungsmöglichkeiten bieten.

Das Ergebnis ist in Tabelle 27 aufgezeigt. In jeder Zeile symbolisiert ein Häkchen das Vorhandensein des Faktors in der jeweiligen Methode, ein „x“ das Nichtvorhandensein. Ist der Faktor in einem anderen inkludiert, ist das Häkchen in Klammern gesetzt. Dies ist beispielsweise für die Bewegungsfrequenz der Schulter bei EAWS der Fall. Die Bewegungshäufigkeit wird erfasst, jedoch hauptsächlich für den Handbereich, nicht spezifisch für Schulter und Ellenbogen.

Tabelle 27: Vergleich der berücksichtigten Belastungsfaktoren in den ausgewählten Screening-Bewertungsverfahren. Das Vorhandensein der Faktoren symbolisiert ein Häkchen, das Nichtvorhandensein ein „x“. Ist der Faktor in einem anderen inkludiert, ist das Häkchen in Klammern gesetzt.

Bereich	Belastungsfaktor	EAWS	OCRA CL	LMM MA	HARM	SI
Rücken	Ganzkörper-/Rumpfhaltung	✓	x	✓	x	x
	Gewicht	✓	✓	x	✓	x
	Aktionskraft	✓	x	x	x	x
Schulter	Gelenkstellung	✓	✓	x	✓	x
	Repetition	(✓)	✓	(✓)	✓	✓
Ellenbogen	Gelenkstellung	✓	✓	✓	✓	x
	Aktionskraft	✓	✓	✓	✓	x
	Repetition	(✓)	✓	(✓)	✓	✓
Hand/ Finger	Gelenkstellung	✓	✓	✓	✓	✓
	Repetition	✓	✓	✓	✓	✓
	Aktionskraft	✓	✓	✓	✓	x

Es wird ersichtlich, warum die zu Beginn dieser Arbeit, in Kapitel 2.3, präsentierten Ergebnisse der Methode EAWS am besten zu den subjektiven Beanspruchungsergebnissen passen: die Methode EAWS berücksichtigt alle in dieser Arbeit identifizierten Belastungsfaktoren. Die anderen Methoden konzentrieren sich mehr auf die

oberen Extremitäten, wodurch einige Risikopotentiale – vergleiche auch das Ergebnis-Kapitel 4.3.3 – unberücksichtigt bleiben.

Ein genauerer Blick soll nun offenlegen, welchen Einfluss die einzelnen Faktoren auf das Gesamtergebnis der jeweiligen Methode haben.

- Beispiel EAWS

Die Summe der Punkte für die Gesamtbewertung der Belastungen der oberen Extremitäten bei repetitiven Tätigkeiten ergibt sich für die oberen Extremitäten (S. 4 der Bewertung nach EAWS) aus der folgenden Formel:

$$(Fingerpunkte + Hand und Armhaltungspunkte + Zusatzpunkte) * Dauerpunkte$$

Die Risikofaktoren für Hand und Finger werden zum Großteil durch die Fingerpunkte abgebildet. Diese setzen sich aus Kraft und Frequenz sowie der Dauer und der Griffart zusammen und bilden einen Großteil der Gesamtpunkte (bis zu 44, im Regelfall bis 12). Weiterhin können noch weitere Punkte durch die Haltung sowie durch die Zusatzpunkte hinzukommen.

Die Risikofaktoren für Ellenbogen und Schulter finden vor allem durch die Haltungs- und Zusatzpunkte Berücksichtigung. Dadurch fällt der Anteil in Bezug auf die Gesamtpunktzahl deutlich geringer aus (es werden jeweils bis zu 4 Punkten vergeben).

Die Summe der ermittelten Punkte wird dann noch mit der Dauer multipliziert. Hierbei werden sowohl die Zeit (h pro Schicht) als auch die Arbeitsorganisation (ob und wie Arbeitsunterbrechungen möglich sind) und die Pausen berücksichtigt.

Die Gesamtkörperfaktoren, die den Nacken und Rücken betreffen, werden bei EAWS separat (S. 1-3 der Bewertung) erfasst.

- Beispiel LMM MA

Die Summe der Punkte für die Gesamtbewertung ergibt sich bei der LMM MA ganz ähnlich der Bewertung nach EAWS aus der folgenden Formel:

$$(Art der Kraftausübung + Greifbedingungen + Hand und Armstellung + Arbeitsorganisation + Ausführungsbedingungen + Körperhaltung) * Zeitwichtung$$

Wieder wird ein Großteil der möglichen Punkte durch die Risikofaktoren für Hand und Finger abgebildet. Möglich sind bei der Art der Kraftausübung bis zu 33 Punkte. Hinzu kommen die Kraftübertragung bzw. die Greifbedingungen sowie die Hand-/Armstellung und -bewegung mit bis zu 3 bzw. 4 Punkten. In diesen in Summe bis zu 7 Punkten wiederum sind die Risikofaktoren für Ellenbogen und Schultern mit abgebildet.

Die Körperhaltung als Risikofaktor für die Bereiche Nacken und Rücken können mit bis zu 5 Punkten bewertet werden. Wieder wird die Summe all dieser Einzelpunkte mit der Zeitwichtung multipliziert. Je nachdem, wie lange die Tätigkeit am Tag ausgeführt wird, ergibt sich ein Faktor zwischen 1 und 5,5.

Auch die anderen Methoden sind ähnlich aufgebaut. Der Risikowert entspricht einer Summe von Risikofaktoren, die mit der Dauer multipliziert werden. Dadurch treten zweierlei Probleme auf. Zum einen ist der Anteil an der Gesamtbewertung für die einzelnen Risikofaktoren nicht gleich, zum anderen können sie sich gegenseitig aufheben: Selbst wenn alle in Forschungsfrage 3 identifizierten Risikofaktoren auftauchen, werden diese in gewisser Weise gemittelt. Ein Maximum des einen Faktors wird durch das Nichtvorhandenseins der anderen Faktoren für das Endergebnis aufgehoben. Es gibt vielerlei Szenarien, in denen es wahrscheinlich ist, dass in bestimmten Körperbereichen Beschwerden auftreten, die Gesamtbelastung aber durchaus vertretbar ist.

5.4. Überblick und Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen (Beantwortung der Forschungsfrage 4)

Es liegen viele Ergebnisse vor, über die abschließend ein Überblick gegeben und aus welchen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Es wurden 66 Arbeitsplätze untersucht, die allesamt als repetitiv einzustufen sind. Ein Arbeitsplatz wurde beispielhaft dargestellt. Im Durchschnitt beträgt die Taktzeit 19,7 s – die Taktzeit ist ein Indikator für Repetitivität, es macht aber Sinn, diesen um die Definition nach Kilbom (1994b) zu erweitern. So konnte gezeigt werden, dass ebenso bestimmte Bewegungsgrenzwerte für die verschiedenen Körperbereiche ihre Berechtigung haben.

Durch diese Grenzwerte wurden sogenannte Risikofaktoren identifiziert, die laut Literatur zu bestimmten Beschwerden führen. Diese Zusammenhänge wurden im Arbeitsmodell dargestellt.

Anschließend wurden die Ergebnisse der Befragungen mit 249 Probanden vorgestellt. Diese stufen sich selbst sowohl in der physischen wie auch in der psychischen Arbeitsfähigkeit größtenteils zwischen mittelmäßig und sehr gut ein. Mit der Abfrage des subjektiven Beschwerdeempfindens wird klar, dass durch repetitive Montagetätigkeiten vor allem der Nacken, der untere Rücken sowie die Schultern belastet werden. Durch die Überprüfung des subjektiven Belastungsempfindens konnte weiterhin gezeigt werden, dass vor allem die Arbeitsorganisation als belastend wahrgenommen wird. Diese Ergebnisse wurden ferner nach Alter und Geschlecht getrennt ausgewertet.

Mit den Forschungsfragen eins und zwei (1. Der Zusammenhang von Belastungsfaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten mit Beschwerden in einzelnen Körperbereichen bzw. 2. Grenzwerte für die Bewegungshäufigkeiten und –amplituden, ab welchen die in Forschungsfrage 1 identifizierten Bewegungen zu

einem Risiko werden) wurde recherchiert, welche Zusammenhänge zwischen bestimmten Bewegungen zu Schmerzen und Beschwerden führen sowie welche Grenzwerte angesetzt werden müssen, um Bewegungen als Risiko dafür einzustufen. Die ursächlichen Zusammenhänge sind im resultierenden Arbeitsmodell (vgl. Abbildung 10 in Kapitel 3.2.3) dargestellt.

Dieses Arbeitsmodell wurde durch die Überprüfung der Hypothesen im nächsten Abschnitt der Ergebnisse validiert. Hierfür wurden die Arbeitsplätze aufgeteilt und miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass es signifikante Zusammenhänge zwischen den Risikofaktoren und den Schultern gibt. Durch eine weitere Unterteilung des Probandenkollektivs konnten dann weitere Zusammenhänge zwischen den Risikofaktoren und Beschwerden im Nacken, im oberen und unteren Rücken, in den Oberarmen, dem linken Ellenbogen sowie dem rechten Unterarm und der rechten Hand bzw. Finger nachgewiesen werden. Dies führte zum überarbeiteten Arbeitsmodell, welches speziell für repetitive Montagetätigkeiten gilt.

Die dritte Forschungsfrage (Empirische Überprüfung des Zusammenhangs von Belastungsfaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten mit Beschwerden in einzelnen Körperbereichen) wurde also anhand der Fragebögen evaluiert. Hier wurde das Arbeitsmodell überprüft und finalisiert (vgl. Tabelle 20 in Kapitel 4.3.4). In der Zusammenfassung kann festgehalten werden, – auch im Vergleich mit anderen Studien (vgl. dazu Kapitel 6.2) – dass repetitive Montagetätigkeiten eine Belastung für den ganzen Körper darstellen. Gleichzeitig kann das Risiko, dass in definierten Körperbereichen Beschwerden auftreten, durch die Identifikation der zugehörigen Risikofaktoren abgeschätzt werden.

Mit den nachgewiesenen Zusammenhängen zwischen Risikofaktoren und Beschwerden in den bestimmten Körperregionen wurden schließlich die Screening-Verfahren überprüft, die laut der Vorstudie dafür geeignet schienen, das Risiko repetitiver Montagetätigkeiten einzustufen. Für Forschungsfrage 4 (Abbildung der durch repetitive Montagetätigkeiten hervorgerufenen Beschwerden durch die Screening-Verfahren) wurde überprüft, ob die relevanten Belastungsfaktoren in der Bewertung Berücksichtigung finden. Am vollständigsten werden diese vom zwar vom Screening-Verfahren EAWS abgedeckt, dennoch gehen durch die Wichtung und die Bündelung in einem einzigen Ergebnis-Punktwert wichtige Informationen verloren.

Die abschließende vierte Forschungsfrage wird deshalb zunächst so beantwortet, dass EAWS zwar für eine allgemeine Einschätzung bzgl. der physischen Arbeitsbelastung geeignet scheint, dennoch bleibt mit Kernaussage der Antwort auf Forschungsfrage vier weiterhin, dass die Methoden nur einen verallgemeinernden Überblick geben. In Bezug auf eine Abschätzung des Risikos, Beschwerden zu erleiden, erscheint es den vorliegenden Ergebnissen nach sinnvoller, die vorliegenden Arbeitsplätze auf die Risikofaktoren hin zu überprüfen und die Arbeitsbelastung so aufzuteilen, dass sich für die einzelnen Mitarbeiter die Risikofaktoren möglichst gleichmäßig verteilen.

Dennoch bleibt die Randbemerkung, dass auch bei diesem Ansatz von einem standardisierten Menschen ausgegangen wird (werden muss). Weil der Mensch aber ein Individuum ist und sich im Zuge dessen von Risiko- und Grenzwerten, die für Gruppen gelten, unterscheiden kann, kann sich dementsprechend auch der Einzelne von den allgemein gültigen Grenzwerten unterscheiden und sowohl an risikobehafteten Arbeitsplätzen dauerhaft gesund bleiben als auch an risikoarmen Arbeitsplätzen Beschwerden zu spüren bekommen. Mit diesem Wissen können für Sonderfälle die Grenzwerte mit der Zeit angepasst oder betreffende Risikofaktoren gemieden werden.

6. Diskussion

Im sechsten Kapitel, der Diskussion, wird sich kritisch mit den Ergebnissen befasst. Die Zuverlässigkeit der Daten wird hinterfragt, die Schlussfolgerungen und deren Übertragbarkeit überprüft. Zunächst wird allgemein diskutiert, bevor bestimmte Ergebnisabschnitte genauer analysiert werden.

Generell muss angemerkt werden, dass für eine Überprüfung der Screening-Bewertungsmethoden grundsätzlich eine Langzeituntersuchung über Jahrzehnte die ideale Wahl gewesen wäre. Belastung, Beanspruchung und vor allem die Langzeitfolgen würden der Ist-Situation deutlich gerechter werden. Ein Aufwand, der im Rahmen einer Dissertation aber nicht möglich ist. So musste versucht werden, das aktuelle Bild möglichst genau zu erfassen und daraus auf die Folgen zu schließen.

Die Auswahl der Arbeitsplätze wurde so getroffen, dass eine möglichst große Bandbreite von repetitiven Tätigkeiten widerspiegelt wird. Natürlich war diese Auswahl aber den Gegebenheiten unterworfen: nur regelmäßig von einer für die Studie ausreichend großen Anzahl von Mitarbeitern bearbeitete Arbeitsplätze konnten ausgewählt werden. Weiterhin spielten aktuelle Ereignisse, wie Ausfälle, Störungen und Termindruck, eine Rolle. Die Repräsentativität der schließlich getroffenen Auswahl ist nicht bekannt.

Außen vorgelassen wurde im Rahmen dieser Studie die Psyche. Es wurde sich auf die physische Belastung und Beanspruchung beschränkt. Vielleicht das fehlende Puzzlestück, um beispielsweise die Nackenbeschwerden zu erklären, für die das resultierende Arbeitsmodell keine Erklärung hat.

Ferner außen vor gelassen wurden die unteren Extremitäten, die mitunter, beispielsweise durch langes Stehen oder durch andauerndes Arbeiten in U-Linien, einer großen Belastung ausgesetzt sind. Dies könnte wiederum andere Körperbereiche beeinflussen. In den Fragebögen wurde Freiraum gelassen, um weitere Anmerkungen eintragen zu können. Teilweise wurden Beschwerden in den Füßen, Knien und Beinen genannt, die im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst wurden.

Bei der Zusammenstellung ebendieses Fragebogens wurden verschiedene bereits vorhandene Fragebögen modifiziert und kombiniert, was Vor- wie auch Nachteile mit sich brachte. Der größte Vorteil war natürlich, dass die gewählten Fragebögen bereits validiert waren. Ferner wiederholten sich manche Aspekte, was eine Überprüfung erlaubte, ob stringent geantwortet wurde. Dabei stellte sich teilweise die Frage, warum Beschwerden angegeben werden, wenn keines der Items des FEBA als beanspruchend markiert wurde.

Durch Forderung des Betriebsrats mussten drei Items des FEBA umbenannt werden. So wurde beispielsweise das Wort „Stress“ in „zeitliche Bewältigung“ umformuliert, was bei der Befragung für Schwierigkeiten sorgte. Generell muss auf Unklarheiten in einigen Fragen hingewiesen werden, was im Extremfall zu unvollständigen Fragebögen führte. Eventuell hätte den Probanden mehr Zeit gegeben werden oder aber die Erklärung hätte verständlicher ausfallen müssen.

Hierbei sei erwähnt, dass bei einer Datenauswertung immer berücksichtigt werden muss, dass jeder Proband ein Individuum ist und eine andere Einstellung haben kann. Dadurch kann die gleiche Ausgangslage zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Auch die Befindlichkeiten unterscheiden sich, die Stimmung kann schwanken und bei der Bewertung der Items eine Rolle spielen. So ist zum Beispiel die Bewertung der Arbeitszufriedenheit stimmungsabhängig (Kauffeld, 2014).

Gegenseitig beeinflussen können sich weiterhin die empfundene Arbeitsbelastung, die intrinsische Arbeitsmotivation sowie die Arbeitszufriedenheit, was sich unter anderem auch auf die Bewertung des Gesundheitszustandes auswirken kann. Auch die Wechselwirkungen mit der Freizeitgestaltung wurden zwar versucht zu erfassen, können in Gänze aber nicht überblickt werden. Und weitere Zusammenhänge sind denkbar, die in der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit nicht berücksichtigt werden konnten.

Eine weitere Frage, die man sich stellen muss, ist, ob sich durch die Befragung, durch die Nutzung des Fragebogens, eine Sensibilisierung der Mitarbeiter ereignet. Merken die Probanden erst durch die Befragung, was alles schmerzt? Verändern sich die Beschwerden durch die explizite Beschäftigung mit denselben? Auffällig sind die teilweise großen Unterschiede zwischen den Werken. Sind die Tätigkeiten an den verschiedenen Standorten so unterschiedlich oder werden die Tätigkeiten regional anders wahrgenommen?

Auf den WAI sowie das Beschwerde- und Schmerzempfinden wird in den folgenden Unterkapiteln genauer eingegangen, bevor u. a. detaillierte Betrachtungen der Belastungsfaktoren sowie der Screening-Verfahren folgen.

6.1. Vergleich des Work Ability Index

Im Vergleich zur Borg-Skala, mit der die kurzfristige Beanspruchung durch die Arbeit gemessen wird, können mit dem WAI längerfristige Auswirkungen aufgezeichnet werden. Die Werte, mit welchen sich die Probanden dieser Studie selbst eingestuft haben, erscheinen zunächst vielversprechend, nicht zuletzt, weil Tuomi et al. (1991) einen negativen Zusammenhang von muskuloskelettalen Beschwerden und der Arbeitsfähigkeit hergestellt haben. Weil die Beschwerden insbesondere im Vergleich zu anderen Studien (vgl. Kapitel 6.2) hoch ausfallen, wurden die WAI-Werte niedrig erwartet. Zur besseren Einordnung werden aber fünf andere Studien zum Vergleich herangezogen. Gezeigt ist die Übersicht in Tabelle 28. Für die Vergleichswerte dieser Arbeit wurden die nicht verwertbaren Fragebögen herausgerechnet. Weiterhin werden die Selbsteinstufungen gemittelt und die Kategorien „eher schlecht“ und „sehr schlecht“ zu „schlecht“ zusammengefasst.

Tabelle 28: Vergleichswerte des Work Ability Index

Autor	Probanden	WAI sehr gut	WAI eher gut	WAI mittelmäßig	WAI schlecht
Diese Arbeit	248 Montagemitarbeiter	22,0 %	37,7 %	36,0 %	4,3 %
Rostamabadi et al. 2017	214 Krankenschwestern	19,2 %	37,4 %	25,7 %	17,8 %
Reeuwijk et al. 2015	1331 Büroangestellte	44,3 %	44,6 %	9,2 %	2,0 %
Mohammadi et al. 2015	676 Montagemitarbeiter	48,8 %	38,3 %	6,5 %	6,4 %
Mazloumi et al. 2012	420 Mitarbeiter der petrochemischen Industrie	27,1 %	38,6 %	32,9 %	1,4 %
Lin et al. 2006	10218 Angestellte	20,1 %	43,1 %	32,3 %	4,5 %

Die neueste Studie liefern Rostamabadi, Zamanian & Sedaghat (2017) mit Vergleichswerten von 214 Krankenschwestern, die auf der Intensivstation arbeiten. Die Prozentwerte der Probanden mit guter Arbeitsfähigkeit liegen in etwa im gleichen Bereich, große Abweichungen gibt es hingegen dahingehend, dass deutlich mehr Krankenschwestern mit schlechter Arbeitsfähigkeit eingestuft sind als die Montagemitarbeiter dieser Studie. Die Werte von Rostamabadi, Zamanian & Sedaghat (2017) weisen laut eigenen Angaben keinen signifikanten Unterschied zu anderen Krankenhäusern auf. Der hohe Druck von Intensivstationen begründet den hohen Anteil von Probanden mit schlechtem WAI-Wert.

Die Büroangestellten, die hingegen von Reeuwijk et al. (2015) untersucht wurden, stufen sich selbst besser ein. Insbesondere der Bereich der sehr guten Arbeitsfähigkeit unterscheidet sich mit 22,0 % zu 44,3 % erheblich. Auf ähnliche – und sogar noch bessere – Werte kommen die Montagemitarbeiter der Studie von Mohammadi et al. (2015) mit 48,8 % der Probanden mit einer sehr guten Arbeitsfähigkeit. Die große Abweichung zu den Ergebnissen dieser Studie können vielleicht mit kulturellen Unterschieden begründet werden, weil die Studie in Teheran (Iran) durchgeführt wurde, dennoch lässt die deutlich bessere Arbeitsfähigkeit der 676 iranischen Montagemitarbeiter innehalten.

Mohammadi et al. (2015) stellen aber weiterhin einen Zusammenhang des WAI mit dem individuellen Lebensstil fest. So gibt es Korrelationen des WAI mit dem Zigarettenrauchen, dem Body-Mass-Index und der physischen Aktivität. Sie schlagen vor, den Lebensstil der Mitarbeiter zu verbessern, um die Arbeitsfähigkeit zu erhöhen.

Eine ebenso iranische Studie von Mazloumi et al. (2012) mit 420 Mitarbeitern der petrochemischen Industrie (mit sowohl Büro- wie auch Montagearbeitsplätzen) hingegen liefert ähnliche Werte wie diese Studie. Noch näher aneinander liegen aber, trotz ebenso großer kultureller Unterschiede, die erhobenen Daten von Lin, Wang & Wang (2006) aus China. Mit dieser Studie wurde eine Referenzdatenbank für China erstellt und dafür alle Berufsfelder abgedeckt.

Insgesamt fällt die Arbeitsfähigkeit der Probanden dieser Studie demnach besser aus als erwartet und liegt im Bereich von Mitarbeitern der petrochemischen Industrie sowie der großangelegten Studie aus China. Der Vergleich der Beschwerden, weshalb eine im Vergleich schlechtere Arbeitsfähigkeit vermutet wurde, folgt nun im nächsten Kapitel.

6.2. Vergleich des Beschwerde- und Schmerzempfindens

Während manche Beschreibungen die häufigen gleichartigen Bewegungen des Hand/Arm-Bereichs lediglich mit einer Vielzahl von Beschwerden der oberen Extremitäten in Verbindung bringen (beispielsweise Hartmann et al., 2013), wurde in den Ergebnissen der Befragungen der Mitarbeiter offensichtlich, dass die größeren Beschwerden an anderen Stellen des Körpers zu finden sind, wie es auch in der Definition von RSI festgehalten ist. Betroffen sind insbesondere der Nacken, der Rücken sowie die Schultern. Um diese Werte besser einordnen zu können, seien drei andere Studien zum Vergleich herangezogen. Auf ähnliche Art wurden diese Vergleiche bereits in Heidl und Boespflug (2016a) angestellt.

Im Rahmen der Erwerbstätigenbefragung von Wittig, Nöllenheidt und Brenscheidt (2012) im Auftrag der BAuA wurden 15239 Vollzeitbeschäftigte aller Berufe befragt. Im Vergleich dieses Durchschnitts mit den Probanden dieser Arbeit, die durchgängig an repetitiven Montagearbeiten beschäftigt sind, liegen weniger Beschwerden vor. Insbesondere in den Bereichen des Nackens und der Schultern sowie der Arme sind die Beschwerden der an repetitiven Arbeitsplätzen Beschäftigten deutlich höher.

Einen weiteren Vergleich erlauben die Untersuchungen von Kotzab (2015) und Steinberg et al. (2011), die das Beschwerdeempfinden von Produktionsmitarbeitern aufnahmen. Der Vergleich zu produktionsnahen Mitarbeitern sollte noch interessanter sein als der Vergleich zur arbeitenden Gesamtbevölkerung.

Steinberg et al. (2011) erhielten Antworten von 1293 Beschäftigten, die zu etwa gleichen Teilen in Probanden, die manuelle Arbeiten ausführen und Probanden mit Bildschirmtätigkeiten aufgeteilt sind. Die Prävalenz an Beschwerden im Muskel-Skelett-System ist für das gesamte Studienkollektiv angegeben. Dieses zeigt ebenso durchgängig weniger Beschwerdewerte als diese Studie. Die Beschwerden in den Ellenbogen sind vergleichbar, die anderen Körperregionen unterscheiden sich deutlich: die Beschwerden der Schultern liegen in dieser Studie vierzehn, die des Nackens acht Prozentpunkte höher. Noch deutlicher fällt der Vergleich der Werte des unteren Rückens aus, die sich um ca. 19 Prozentpunkte unterscheiden.

Kotzab (2015) wiederum befragte 621 Mitarbeiter an drei unterschiedlichen Montagelinien mit Zykluszeiten von 25-84 Sekunden. Die Beschwerden sollten also am ehesten vergleichbar sein. Diese sind in dieser Studie im oberen Rücken, im Nacken sowie in den Schultern größer, dafür im unteren Rücken und in den Handgelenken geringer. Die Beschwerden in den Ellenbogen liegen im selben Bereich.

In dieser Studie auffällig sind die sehr hohen Beschwerdewerte im Nacken- und Schulterbereich sowie im unteren Rücken. Die genauen Werte sind in Tabelle 29 gezeigt. Spannend wäre an dieser Stelle ein genauere Vergleich der Körperhaltungen mit den einzelnen Studien. Sind Arbeitsplätze mit ungünstigen Körperhaltungen für Nacken und Rücken in dieser Studie häufiger als beispielsweise bei den von Kotzab (2015) untersuchten Montagelinien? Das wäre eine schlüssige Erklärung.

Tabelle 29: Beschwerdewerte einzelner Körperbereiche unterschiedlicher Studien im Vergleich

	Heidl und Boespflug (2017b)	Wittig et al. (2012)	Steinberg et al. (2011)	Kotzab (2015)
Ob. Rücken	41,13 %			32,37% (-8,76 %)
Unt. Rücken	54,44 %	46,37 % (-8,07 %)	35,19 % (-19,25 %)	57,81% (+3,37 %)
Nacken	64,11 %		55,84 % (-8,27 %)	43,16% (-20,96 %)
Schultern	55,42 %		41,30 % (-14,35 %)	41,22% (-14,42 %)
Nacken & Schultern	74,19 %	47,52 % (-26,68 %)		
Arme	44,76 %	20,95 % (-23,81 %)		
Ellenbogen	21,77 %		18,95 % (-2,83)	22,71% (+0,93 %)
Handgelenk	26,21 %			36,07% (+9,86 %)
Hand/Finger	26,21 %	15,47 % (-10,74 %)		

Obwohl sich die Werte der verschiedenen Studien teilweise deutlich voneinander unterscheiden, wird doch eine Erkenntnis deutlich: die Belastung von Montagetätigkeiten – und insbesondere auch von repetitiven Montagetätigkeiten – stellen eine Ganzkörperbelastung dar, die nicht auf die oberen Extremitäten beschränkt betrachtet werden darf. Rücken, Nacken und Schultern sind von mehr Beschwerden betroffen als Arme und Hände.

Das Durchschnittsalter der Werker (in Montagetätigkeiten) steigt stetig (Landau et al., 2008). Loth, Schatt, Pietsch und Linsenmeiyer sagten 2010 schon voraus, dass das Durchschnittsalter der Belegschaft bis 2018 auf 47 Jahre steige. Eine genauere Betrachtung der Altersunterschiede erscheint deshalb als sinnvoll.

Abbildung 23 in Kapitel 4.3.1 zeigt den Vergleich der Beschwerdewerte der Mitarbeiter unter 50 Jahren mit denen der Mitarbeiter, die 50 Jahre oder älter sind. In fast allen Körperbereichen geben die älteren Mitarbeiter mehr Beschwerden an. Neben Landau et al. (2008) bestätigen auch Aittomäki et al. (2005) sowie Rademacher et al. (2012), dass Alter und Arbeitsbelastung keine unabhängigen Variablen sind: ältere Mitarbeiter werden eher an Arbeitsplätzen mit geringerer Belastung eingesetzt als junge Mitarbeiter.

Den gegenteiligen Effekt beschreibt der sogenannte healthy worker effect (Baker, 2000; Choi, 2000; Fox & Collier, 1976; McMichael, 1976; Monson, 1990; Nielsen & Knardahl, 2016 und Wen, Tsai & Gibson, 1983), der besagt, dass nur die widerstandsfähigen Mitarbeiter, welche durch ihre körperliche Verfassung mit der hohen Arbeitsbelastung gut zurechtkommen, langfristig in der Montage bleiben (können). Klar ist, dass das Alter nicht die Häufigkeit des Auftretens von physischen Symptomen erklärt: die Belastung von Montagetätigkeiten betrifft den ganzen Körper und führt zu Beschwerden. Weiterhin müssen, wie auch Klußmann et al. (2014) anmerken, Montagearbeitsplätze „altersstabil“ gestaltet werden. Welche Belastungen genau zu welchen Beschwerden führen, wurde versucht mit dem Arbeitsmodell zu erklären, auf das im nächsten Unterkapitel genauer eingegangen wird.

6.3. Belastungsfaktoren bei repetitiven Montagetätigkeiten

Das in Abbildung 27 in Kapitel 4.3.3 gezeigte, überprüfte Arbeitsmodell zeigt die in dieser Arbeit identifizierten Zusammenhänge zwischen bestimmten Belastungsfaktoren und den resultierenden Beschwerden. So gibt es einen Zusammenhang zwischen bestimmten Armbewegungen und Schulterbeschwerden sowie ähnliche Zusammenhänge mit dem Rücken, dem Ellenbogen sowie den Handgelenken und Händen. Die Zusammenhänge zwischen Belastung und nachgewiesenermaßen resultierender Schmerzen können gut dargestellt werden.

Die in Abbildung 21 in Kapitel 4.3.1 gezeigte Übersicht macht aber klar, dass von den Montagemitarbeitern insbesondere in der Nackenregion häufig Beschwerden angegeben werden. Die in der Literatur identifizierten Belastungsfaktoren führen in dieser Arbeit allerdings zu keiner Korrelation, sodass der Nacken nicht gezielt durch arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse entlastet werden kann.

Für eine zukünftige Arbeit wäre die Identifikation von Belastungsfaktoren, die mit Nackenbeschwerden korrelieren, sicher ein interessantes Thema. In diesem Zusammenhang sollte die Psyche nicht außen vorgelassen werden. Bis dahin sind Mitarbeiter in der Praxis sicher gut beraten, Mobilisations- und Lockerungsübungen in den Arbeitsalltag zu integrieren. Darauf soll an dieser Stelle aber nicht tiefer eingegangen werden.

Weiterhin werfen die hohen Beschwerdewerte in der Nackenregion eine weitere Fragestellung auf, nämlich die, wie die vorhandenen Screening-Verfahren mit der Problemstellung umgehen. Bisher wird dieser in der Risikobewertung nicht berücksichtigt – was in Betrachtung des Arbeitsmodells Sinn ergibt. Dennoch ist für die Zukunft ein Ansatz wünschenswert, mit dem die Nackenregion sowohl in der Bewertung berücksichtigt wird, als auch Optionen aufgezeigt werden, mit denen sich die Beschwerden verringern lassen.

6.4. Identifikation von Verbesserungspotentialen für die Risikobewertung repetitiver Montagetätigkeiten

In Kapitel 5.3 wurde in Tabelle 27 aufgezeigt, inwieweit die im Arbeitsmodell mit Beschwerden korrelierenden Belastungsfaktoren in den in dieser Arbeit angewandten Screening-Verfahren Berücksichtigung finden. Es wird ersichtlich, dass diesbezüglich deutliche Unterschiede bestehen. Dadurch kann die Wahl eines Verfahrens für die Risikobeurteilung von repetitiven Montagetätigkeiten in Unternehmen beeinflusst werden.

Die Körperhaltung wurde bisher für die Analyse repetitiver Montagetätigkeiten vernachlässigt: in drei der fünf ausgewählten Verfahren spielt diese keine Rolle, es wird sich lediglich auf die oberen Extremitäten konzentriert. In den Methoden OCRA CL, SI und HARM muss nach den Erkenntnissen dieser Arbeit an dieser Stelle nachgebessert werden.

Weiterhin werden die Werte – ein Ganzkörperwert (Sektionen 0-3) sowie ein Wert für repetitive Tätigkeiten (Sektion 4) – in der Methode EAWS separat erfasst. Laut Regelwerk wird dann der höhere Punktwert herangezogen, um den Risikobereich zu erhalten. Dies birgt allerdings die Gefahr, dass bei einer groben Einschätzung nur ein Wert – der angenommen höhere – berechnet wird. Wie die Ergebnisse zeigen, darf dies für repetitive Montagetätigkeiten aber nicht vorkommen, weil die Ganzkörperbelastung in der Bewertung der Tätigkeiten nicht vernachlässigt werden darf.

Wie bereits am Ende des fünften Kapitels erwähnt, müssen die Screening-Verfahren derzeit in gewisser Weise verallgemeinern und für die Individuen, die an den Arbeitsplätzen arbeiten, allgemeine Zusammenhänge und Grenzwerte ansetzen. Wie die Produkte der Zukunft individuell gestaltet sein werden, wäre es ebenso wünschenswert, die Risikobeurteilung der Arbeitsplätze individualisiert durchführen zu können.

7. Fazit und Ausblick

Repetitive Montagetätigkeiten stellen eine Ganzkörperbelastung dar. In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen von repetitiven Montagetätigkeiten auf den Oberkörper untersucht. Es resultieren Beschwerden in Rücken, Nacken, den Schultern sowie natürlich in den oberen Extremitäten.

Mit dem Arbeitsmodell wurden Zusammenhänge zwischen bestimmten Belastungsfaktoren und Beschwerden in spezifischen Körperbereichen gefunden, die eine Voraussage und damit eine Risikoanalyse untermauern. In den gängigen Screening-Verfahren kommen diese Risikofaktoren zwar vor, gehen im Gesamt-Ergebniswert aber oft unter.

Spätestens an dieser Stelle – mit der Überprüfung der Berücksichtigung der identifizierten Belastungsfaktoren in den Screening-Verfahren, die nachgewiesenermaßen zu Beschwerden führen, wird klar, warum die zu Beginn dieser Arbeit verglichenen Ergebnisse so sehr differieren: auch die Bewertungsgrundlagen bzw. -eingabewerte und Gewichtungen innerhalb der Methoden unterscheiden sich erheblich. Alle Belastungsfaktoren werden von einer Methode, EAWS, berücksichtigt, können sich aber dennoch gegeneinander aufwiegen. Wird diese angewandt, muss berücksichtigt werden, dass es dennoch Risikofaktoren geben kann, deren Grenzwerte überschritten wurden und langfristig bei den meisten Menschen zu Beschwerden führen.

Daraus ergeben sich Ansatzpunkte für die weitere Forschung. Eine Randnotiz gilt dabei der Untersuchung des gesamten Körpers. Da repetitive Tätigkeiten der oberen Extremitäten auch den Rücken und Nacken stark beeinflussen, könnte es interessant sein, ob Beschwerden der unteren Extremitäten ebenso einen Faktor darstellen. Vereinzelt wurden in den Fragebögen Schmerzen in den Füßen, Knien oder in der Hüfte angegeben. Diese wurden für die weitere Auswertung dieser Arbeit aber nicht berücksichtigt.

Bezüglich der Risikobewertung gilt es, den Anwendungsbereich der bereits existierenden Screening-Methoden weiter auszudehnen, sodass Extremsituationen wie die kurzen Zykluszeiten der repetitiven Montagetätigkeiten oder auch sehr langzyklische Tätigkeiten sinnvoll bewertet werden können. Ebenso denkbar wäre es – wie bereits bei der Leitmerkalmethode geschehen – die einzelnen Verfahren für bestimmte Anwendungsbereiche zu spezifizieren. Für solche Ansätze bieten die Ergebnisse dieser Arbeit die Grundlage.

Ebenso aber könnte die Einstufung repetitiver Montagearbeitsplätze neu gedacht werden: aufbauend auf der Idee der Job-Rotation könnten die Arbeitsplätze anhand ihrer Risikofaktoren aufgeteilt werden. Die Mitarbeiter wiederum müssten dann so rotieren, dass sich die vorhandenen Risikofaktoren nach Möglichkeit abwechseln, um so genügend Pause von den potenziell zu Beschwerden führenden Bewegungen zu haben. Wie und ob sich ein solches Rotationsprinzip auswirken würde, wäre sicher richtungsweisend.

Der nächste große Schritt für die Risikobewertung wäre aber sicherlich nicht die Anpassung der Methoden für verschiedene Anwendungsbereiche oder eine neue Kennzeichnung der Arbeitsplätze, sondern eine Abkehr vom Verallgemeinernden hin zum Individuellen: wie in anderen Branchen wird es in der Zukunft wahrscheinlich

möglich sein, für jeden Mitarbeiter eine persönlich zutreffende Risikobeurteilung durchzuführen, anhand derer der ideale Arbeitsablauf festgelegt werden kann. Infolgedessen kann an Schwachstellen gearbeitet und Stärken ausgebaut werden. Auch dafür bietet diese Arbeit erste Ansatzpunkte: die bereits identifizierten Risikofaktoren müssten im nächsten Schritt näher an der Arbeitsperson orientiert sein. Es lassen sich sicher Menschengruppen finden, die gegen bestimmte Risikofaktoren resistenter und für andere empfänglicher sind, als andere.

Schließlich darf dabei das Ziel aber nicht aus den Augen verloren werden: Arbeitsplätze zu schaffen, an denen langfristig gesund gearbeitet werden kann. So können die Arbeitnehmer ohne Schmerzen arbeiten und die Arbeitgeber wirtschaftlich produzieren.

8. Zusammenfassung

Durch große Fortschritte im Bereich der Automatisierung konnte in den letzten Jahren in der Produktion eine deutliche Steigerung der Produktivität und eine Senkung der Kosten erreicht werden. Wegen hohen Zeit- und Kostenaufwands ist eine vollständige Automatisierung in einigen Bereichen aber nicht sinnvoll, dort überwiegen die Vorteile der manuellen Produktion, wie beispielsweise durch mehr Flexibilität in der Fertigung.

Durch die Optimierung der Arbeitsorganisation und der Ökonomie steigt im selben Umfang allerdings die Intensität der Arbeit an, die Produktion wird an den Takt der Produktionsmaschinen angepasst. Es resultiert eine hohe Belastung und eine weite Verbreitung von arbeitsbedingten Erkrankungen der oberen Extremitäten und der Wirbelsäule. Die Erkrankungen bedeuten für die Arbeitnehmer Schmerzen, für die Arbeitgeber eine Beeinträchtigung der Wirtschaftlichkeit.

Um dem Krankenstand entgegenzuwirken, ist eine explizite, intensive ergonomische Bewertung der Arbeitsplätze gefragt. Screening-Verfahren gibt es bereits einige; deren Bewertungsergebnisse, die für sogenannte mittlere Bedienungen gut übereinstimmen, gehen für repetitive Montagetätigkeiten aber weit auseinander. Auch im Vergleich zum subjektiven Belastungsempfinden der Mitarbeiter kommt es zu großen Abweichungen.

Um eine Datengrundlage zu generieren, wurde ein Fragebogen entworfen, der schließlich aus allgemeinen Daten wie Alter und Geschlecht, der Selbsteinstufung der Arbeitsfähigkeit, dem FEBA sowie einer erweiterten Form des Nordischen Fragebogens besteht. Mit diesem Fragebogen wurden in fünf unterschiedlichen Werken in Deutschland 249 Mitarbeiter, die regelmäßig an repetitiven Montagearbeitsplätzen eingesetzt werden, befragt.

Die Ergebnisse sind eindeutig: repetitive Montagetätigkeiten stellen eine Belastung für den ganzen Körper dar, sowohl durch die physische Belastung wie auch durch die Arbeitsorganisation. Beschwerden liegen vor allem im Nacken, im Rücken und in den Schultern vor.

Mithilfe einer Literaturrecherche wurden Zusammenhänge zwischen bestimmten Bewegungen und deren Häufigkeit identifiziert, die zu Beschwerden in ganz bestimmten Körperregionen führen. Als Resultat wurde das Arbeitsmodell entwickelt, welches in Folge anhand der erhobenen Daten speziell für repetitive Tätigkeiten überprüft wird.

Es zeigt sich, dass die meisten in der Literatur identifizierten Belastungsfaktoren auch bei repetitiven Montagetätigkeiten mit Beschwerden in Verbindung gebracht werden können. Am deutlichsten ist der Zusammenhang zwischen den Belastungsfaktoren Gelenkstellung und Repetition für die Schultern. Ebenso gibt es Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Belastungsfaktoren und dem Rücken, dem Nacken, den Oberarmen, dem linken Ellenbogen sowie dem rechten Unterarm und der rechten Hand bzw. Finger.

Anhand dieser Zusammenhänge wurde anschließend eine Überprüfung der Methoden vorgenommen. Es erscheint sinnvoll, wenn die identifizierten Zusammenhänge Eingang in die Risikobewertung erhalten. In den vorhandenen Methoden werden die Belastungsfaktoren teilweise aber kaum berücksichtigt. Ist dies wiederum der Fall, wie in der Bewertung von EAWS, werden diese unterschiedlich gewichtet und können sich gegenseitig aufwiegen. Vor diesem Hintergrund scheint es wenig verwunderlich, wie unterschiedlich die Bewertungen der verschiedenen Verfahren ausfallen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass repetitive Tätigkeiten eine Belastung für den ganzen Körper darstellen. Bestimmte Bewegungen können ab bestimmten Bewegungsfrequenzen weiterhin mit spezifischen Beschwerden in Verbindung gebracht werden. Diese Risikofaktoren zu erkennen und zu vermeiden bzw. angemessen zu verteilen ist Aufgabe der Arbeitsplaner. Die richtig angewandte Risikobewertung jedes Arbeitsplatzes ist der notwendige Schritt, um altersstabile Arbeitsbedingungen zu schaffen, in welchen schädigungsarm gearbeitet werden kann.

9. Literaturverzeichnis

- Ahonen, J. (1994). *Sportmedizin und Trainingslehre. Mit 21 Tabellen*. Stuttgart: Schattauer.
- Aittomäki, A., Lahelma, E., Roos, E., Leino-Arjas, P. & Martikainen, P. (2005). Gender differences in the association of age with physical workload and functioning. *Occupational and environmental medicine*, 62 (2), 95–100.
- Antle, D. M. & Côté, J. N. (2013). Relationships between lower limb and trunk discomfort and vascular, muscular and kinetic outcomes during stationary standing work. *Gait & posture*, 37 (4), 615–619.
- Antonovsky, A. & Franke, A. (1997). *Salutogenese. Zur Entmystifizierung der Gesundheit* (Forum für Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis, Bd. 36). Tübingen: DGVT-Verl.
- Auernhammer, H. (1986). *Landwirtschaftliche Arbeitslehre*. Manuskriptdruck der Vorlesung, TU München.
- Baker, L. (2000). "Healthy-Worker Effect" Can Skew True Picture of Workers' Health, UB Study Shows. Focus on female workers at nuclear-weapons sites provides latest reminder, University at Buffalo. Zugriff am 13.12.2016. Verfügbar unter <http://www.buffalo.edu/news/releases/2000/07/4801.html>
- Bartsch, H. (2009). Repetitive Tätigkeiten. In K. Landau & G. Pressel (Hrsg.), *Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen. Definitionen, Vorkommen, Arbeitsschutz; mit Literatur-CD-ROM* (2., vollständig Neubearb. Aufl., S. 852–855). Stuttgart: Gentner.
- Basmajian, J. V. & De Luca, Carlo J. (1985). *Muscles alive. Their functions revealed by electromyography* (5th ed). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Beck, T. W., Housh, T. J., Cramer, J. T., Malek, M. H., Mielke, M. & Hendrix, R. (2008). The effects of the innervation zone and interelectrode distance on the patterns of responses for electromyographic amplitude and mean power frequency versus isometric torque for the vastus lateralis muscle. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 48 (1), 13–25.
- Bergamasco, R., Girola, C. & Colombini, D. (1998). Guidelines for designing jobs featuring repetitive tasks. *Ergonomics*, 41 (9), 1364–1383.
- Bernard, B. P. (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors. A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back*. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health. Zugriff am 24.03.2016. Verfügbar unter <http://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/pdfs/97-141.pdf>
- ISO, 11226. *Ergonomie - Evaluierung von Körperhaltungen bei der Arbeit*. Berlin: Beuth Verlag.
- ISO, 11228-3. *Ergonomie - Manuelle Handhabung - Teil 3: Handhabung geringer Lasten bei hohen Bewegungsfrequenzen*. Berlin: Beuth Verlag.

-
- DIN EN, 614-1. *Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN, 1005-4. *Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN, 1005-5. *Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 5: Risikobeurteilung für kurzzyklische Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen; Deutsche Fassung*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO, 10075-1 (2000-11). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag.
- 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*. Berlin: Beuth Verlag.
- Boisard, P., Cartron, D., Gollac, M., Valeyre, A. & Besançon, J.-B. (2003). *Time and work: work intensity*. Luxembourg: Eurofound.
- Bokranz, R. & Landau, K. (1991). *Einführung in die Arbeitswissenschaft. Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen* (Uni-Taschenbücher). Stuttgart: Ulmer.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 2 (2), 92–98.
- Borg, G. (1982a). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, 14 (5), 377–381.
- Borg, G., Ljunggren, G. & Ceci, R. (1985). The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54 (4), 343–349.
- Borg, G. (1985b). *An introduction to Borg's RPE-scale*. Ithaca, NY: Movement Publications. Zugriff am 27.04.2016. Verfügbar unter <http://coachsci.sdsu.edu/csa/vol15/borg.htm>
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 87 Tabellen* (Springer-Lehrbuch Bachelor, Master, 4., überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bretschneider-Hagemes, M. (2011). Belastungen und Beanspruchungen bei mobiler IT-gestützter Arbeit. Eine empirische Studie im Bereich mobiler, technischer Dienstleistungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (3), 223–234.

-
- Bruder, R. & Kaiser, B. (2012, 03. Dezember). *Abschlussbericht der Studie Arbeitsplatzgestaltung bei repetitiven Tätigkeiten*. Darmstadt: Robert Bosch GmbH; Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.). (2012). *Ausführliche Anleitung zur Anwendung der Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (LMM MA). Gefährdungsbeurteilung bei physischen Belastungen*. Zugriff am 01.12.14. Verfügbar unter http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Manuelle-Arbeit-2.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (Hrsg.). (1996). *Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG)*. Zugriff am 26.04.2016. Verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbschg/gesamt.pdf>
- Burchell, B. (2009). *Working conditions in the European Union. Working time and work intensity*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Burden, A. (2010). How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 20 (6), 1023–1035.
- Caffier, G., Steinberg, U. & Kössler, F. (1996). *Untersuchungen zu Erkrankungen des Stütz- und Bewegungssystems in der betriebsärztlichen Praxis. Ergebnisse und Erfahrungen einer Pilotstudie mit dem Ziel der Entwicklung betrieblicher Präventionsmodelle; (Schlussbericht); mit 11 Tabellen; Ergebnisse des Forschungsprojekts „Epidemiologische und Experimentelle Untersuchungen zu Erkrankungen des Stütz- und Bewegungssystems am Modernen Arbeitsplätzen mit dem Ziel der Entwicklung von Präventionsmodellen“* (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin. Forschung, Fb 09.005). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss.
- Caffier, G., Steinberg, U. & Liebers, F. (1999). *Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.). Dortmund/Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Verfügbar unter <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673906/publicationFile/46978/Fb850.pdf>
- Choi, B. C. (2000). A technique to re-assess epidemiologic evidence in light of the healthy worker effect: the case of firefighting and heart disease. *Journal of occupational and environmental medicine*, 42 (10), 1021–1034.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1), 155–159. Zugriff am 11.10.2016. Verfügbar unter <http://www2.psych.ubc.ca/~schaller/528Readings/Cohen1992.pdf>

-
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hoboken: Taylor and Francis.
- Colombini, D., Occhipinti, E., Delleman, N., Fallentin, N., Kilbom, A. & Grieco, A. (2001). Exposure assessment of upper limb repetitive movements: a consensus document developed by the Technical Committee on Musculoskeletal Disorders of International Ergonomics Association (IEA) endorsed by International Commission on Occupational Health (ICOH). *Giornale italiano di medicina del lavoro ed ergonomia*, 23 (2), 129–142.
- Colombini, D. & Occhipinti, E. (2009). Ocra method: a new procedure for analysing multiple repetitive tasks. In *XivV Congreso Nacional de Salud en el Trabajo*.
- Colombini, D. & Occhipinti, E. (2012). The study of work situations with exposure to multiple tasks in weekly and annual cycle: practical experiences in the field of cleaning (weekly cycle) and packaging of fruit (annual cycle).
- Colombini, D., Occhipinti, E. & Fanti, M. (2005). Il metodo OCRA per l'analisi e la prevenzione del rischio da movimenti ripetuti. *Collana Salute e lavoro, Franco Angeli Editore*.
- Colombini, D., Occhipinti, E. & Grieco, A. (2002). *Risk assessment and management of repetitive movements and exertions of upper limbs. Job analysis, Ocra risk indices, prevention strategies, and design principles* (Elsevier ergonomics book series, vol. 2). Amsterdam: Elsevier.
- Corlett, E. N. (1991). Trends in ergonomics/human factors V. *Applied Ergonomics*, 22 (1), 48.
- Corlett, E. N. & Bishop, R. P. (1976). A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, 19 (2), 175–182.
- Corlett, E. N. & Manenica, I. (1980). The effects and measurement of working postures. *Applied Ergonomics*, 11 (1), 7–16.
- Côté, P., van der Velde, Gabrielle, Cassidy, J. D., Carroll, L. J., Hogg-Johnson, S., Holm, L. W. et al. (2008). The burden and determinants of neck pain in workers: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *Spine*, 33 (4 Suppl), S60-74.
- De Luca, Carlo J (DelSys Incorporated, Hrsg.). (2002). *Surface Electromyography: detection and recording*. Zugriff am 29.04.2016. Verfügbar unter https://www.delsys.com/...pdf/WP_SEMGintro.pdf
- Debitz, U. (2005). *Die Gestaltung von Merkmalen des Arbeitssystems und ihre Auswirkungen auf Beanspruchungsprozesse*. Hamburg.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (2010). Information "Ergonomische Maschinengestaltung" (BGI/GUV-I 5048-2).
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (September 2013). *Belastungen für Rücken und Gelenke - was geht mich das an?* Information. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Zugriff am 09.01.2015. Verfügbar unter <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-7011.pdf>

-
- Diemer, F. & Sutor, V. (2007). Hauttemperaturmessung – Mit dem Thermometer die Heilung beurteilen. *physiopraxis*, 7-8, 30–33. Zugriff am 21.04.2016. Verfügbar unter fomt.info/Eigenartikel/pp_2007_07-08_hauttemperaturmessung.pdf
- Ditchen, D. M., Ellegast, R. P., Hartmann, B. & Rieger, M. A. (2013). Validity of self-reports of knee-straining activities at work: a field study with 6-month follow-up. *International archives of occupational and environmental health*, 86 (2), 233–243.
- Douwes, M., Kraker, H. d., Könemann, R. & Bosch, T. (2011, 16. Februar). *Risicobeoordelinginstrument voor werkhoudingen: ontwikkeling en onderbouwing*. Hoofddorp: TNO. Zugriff am 25.11.2014.
- Drury, C. G. (1987). A Biomechanical Evaluation of the Repetitive Motion Injury Potential of Industrial Jobs. *Seminars in Occupational Medicine*, 2 (1), 41–47.
- Drury, C. G., Hsiao, Y. L., Joseph, C., Joshi, S., Lapp, J. & Pennathur, P. R. (2008). Posture and performance: sitting vs. standing for security screening. *Ergonomics*, 51 (3), 290–307.
- D'Souza, J. C., Franzblau, A. & Werner, R. A. (2005). Review of epidemiologic studies on occupational factors and lower extremity musculoskeletal and vascular disorders and symptoms. *Journal of occupational rehabilitation*, 15 (2), 129–165.
- DUDEN. (2016, 22. August). *Beschwerde*. Zugriff am 22.08.2016. Verfügbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/Beschwerde>
- Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 36 (4), 215–224.
- Einars, W. (1979). *Elektromyographie als arbeitswissenschaftliche Methode zur Beurteilung von lokaler Belastung, Beanspruchung und Ermüdung bei dynamischer Muskelarbeit*. Dissertation, TU München. München.
- Ellegast, R. P. & Hermanns, I. (2006). *Einsatz des Messsystems CUELA zur Erfassung und Bewertung physischer Arbeitsbelastungen*. *Information des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz - BGIA* (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BGIA, Hrsg.). Sankt Augustin: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BGIA. Verfügbar unter <http://www.dguv.de/bgia/de/fac/ergonomie/pdf/cuela.pdf>
- Ellegast, R. P. (2005). *Fachgespräch Ergonomie 2004. Zusammenfassung der Vorträge, gehalten während des Fachgespräches "Ergonomie" am 15./16. November 2004 in Dresden* (BGIA-Report, Bd. 2005,4). Sankt Augustin: BGIA.
- Ellegast, R. P., Herda, C., Hoehne-Hückstädt, U., Lesser, W., Kraus, G. & Schwan, W. (2004). *Ergonomie an Näharbeitsplätzen* (BIA-Report / Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BIA). Sankt Augustin:

-
- Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BIA. Zugriff am 24.08.2016. Verfügbar unter <http://www.dguv.de/dguv/ifa/Publikationen/Reports-Download/BIA-Reports-2002-bis-2004/BIA-Report-7-2004/index.jsp>
- Elsner, G., Nienhaus, A. & Beck, W. (1996). Kniegelenksarthrose und arbeitsbedingte Faktoren. *Sozial- und Präventivmedizin*, 41 (2), 98–106.
- Erdil, M. & Dickerson, O. B. (1997). *Cumulative trauma disorders. Prevention, evaluation, and treatment*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2009). *HARM: a new method for determining risk of arm, neck or shoulder problems*, European Agency for Safety and Health at Work. Zugriff am 25.02.2015. Verfügbar unter https://osha.europa.eu/fop/netherlands/en/nl_developments/harm-een-nieuwe-methode-om-risico-op-arm-nek-of-schouderklachten-te-bepalen
- Field, A. P., Miles, J. & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. London: Sage.
- Finsen, L., Christensen, H. & Bakke, M. (1998). Musculoskeletal disorders among dentists and variation in dental work. *Applied Ergonomics*, 29 (2), 119–125.
- Fisher, R. A. (1990). *Statistical methods, experimental design, and scientific interference* (Re-issue). Oxford: Oxford University Press.
- Fox, A. J. & Collier, P. F. (1976). Low mortality rates in industrial cohort studies due to selection for work and survival in the industry. *British journal of preventive & social medicine*, 30 (4), 225–230.
- Frauendorf, H., Cammerer, H., Steinberg, U. & Caffier, G. (1997). *Belastung, Beanspruchung und Muskel-Skelett-Befunde bei körperlicher Schwerarbeit. Integrative Beanspruchungsstudie; (Schlußbericht)* (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Forschung Arbeitsmedizin, Fb 761, 1. Aufl.). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss.
- Friedrichs, J. (1976). *Methoden empirischer Sozialforschung* (Rororo-Studium Sozialwissenschaft, Bd. 28, 1. - 13. Tsd). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T. & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. [Studie]*. Stuttgart: Fraunhofer Verl.
- Garcia, M.-G., Läubli, T. & Martin, B. J. (2015). Long-Term Muscle Fatigue After Standing Work. *Human factors*, 57 (7), 1162–1173.
- Ghezel-Ahmadi, K. & Diaz Meyer, M. (2016). *EAWS-Verfahren*, ERGONOMER. Zugriff am 24.08.2016. Verfügbar unter <http://www.ergonomer.de/?q=eaws-verfahren>

-
- Göbel, M. (1996). *Elektromyografische Methoden zur Beurteilung sensumotorischer Tätigkeiten. Dokumentation Arbeitswissenschaft* (Bd. 40). Köln: Schmidt Verlag.
- Grandjean, E. & Hünting, W. (1977). Ergonomics of posture—Review of various problems of standing and sitting posture. *Applied Ergonomics*, 8 (3), 135–140.
- Gregory, D. E. & Callaghan, J. P. (2008). Prolonged standing as a precursor for the development of low back discomfort: an investigation of possible mechanisms. *Gait & posture*, 28 (1), 86–92.
- Groos, S. & Kluth, K. (2014). Ermittlung von Grenzdrücken für die Löschwasserversorgung auf Basis subjektiven Beanspruchungserlebens professioneller Brandbekämpfer. In M. Jäger (Hrsg.), *Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. Bericht zum 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 12. - 14. März 2014 [TU und Hochschule München]* (Jahresdokumentation ... der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Bd. 2014, Als Ms. gedr). Dortmund: GfA-Press.
- Hacker, W. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten* (3., vollst. überarb. Aufl). Göttingen: Hogrefe.
- Hagberg, M., Silverstein, B., Wells, R., Smith, M. S., Hendrich, W. W., Carayon, P. et al. (1995). *Work-related musculoskeletal disorders: a reference book for prevention*. London: Taylor and Francis.
- Hansson, G. A., Balogh, I., Ohlsson, K., Rylander, L. & Skerfving, S. (1996). Goniometer measurement and computer analysis of wrist angles and movements applied to occupational repetitive work. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 6 (1), 23–35.
- Härtig, H., Kauertz, A., Neumann, K. & Fischer, H. E. (2010). Inhaltsvalidität von Tests: Expertenrating versus Schulbuchanalyse. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009; [36. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 30]* (S. 161–163). Münster, Westf [u.a.]: LIT-Verl.
- Hartmann, B., Ellegast, R. P. & Glitsch, U. (2011). Was bedeuten retrospektiv bestimmte Werte für physische Belastungen? In Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (Hrsg.), *ARBEITSMEDIZIN SOZIALMEDIZIN UMWELTMEDIZIN. 51. Jahrestagung* (46:186). Gentner Verlag.
- Hartmann, B. & Spallek, M. (2009). Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen. Eine Gegenstandsbestimmung. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, 44 (8), 423–436.
- Hartmann, B., Spallek, M. & Ellegast, R. P. (2013). *Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen. Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation* [Handbuch der betriebsärztlichen Praxis]. Heidelberg: ecomed Medizin.

-
- Haslegrave, C. M. (1994). What do we mean by a 'working posture'? *Ergonomics*, 37 (4), 781–799.
- Hasselhorn, H. M., Freude, G. (2007). Der Work-Ability Index – Ein Leitfaden. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Sonderschrift S 81*. Dortmund, Berlin, Dresden: Wirtschaftsverlag NW.
- Heidl, M. J., Boespflug, A., Wakula, J. (2018). Evaluierung von fünf Screening-Bewertungsverfahren für repetitive physische Belastungen anhand des subjektiven Belastungsempfindens der Arbeitspersonen in der Montage der Automobil-Zuliefererindustrie. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72 (2), 120–129.
- Heidl, M. J. (2013). *Untersuchung der Anwendbarkeit des Verfahrens OCRA zur Bewertung repetitiver Tätigkeiten*. Masterthesis, TU Darmstadt. Darmstadt.
- Heidl, M. J. & Boespflug, A. (2016a). Untersuchung der Belastung und Beanspruchung repetitiver Montagetätigkeiten. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.), *Arbeit in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?! Dokumentation des 62. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses Aachen 02.03.-04.03.2016*. Dortmund: GfA-Press.
- Heidl, M. J. & Boespflug, A. (2017b). Analysis of the stress and strain of repetitive assembly tasks. In C. Schlick, S. Duckwitz, F. Flemisch, M. Frenz, S. Kuz, A. Mertens et al. (Hrsg.), *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes. Proceedings of the Annual Meeting of GfA 2016*. Heidelberg: Springer.
- Hemmann, E., Merboth, H. & Richter, P. (2001). Handlungsregulation und sicherheitskritische Arbeitssituation in der Instandhaltung. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C. & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 10 (5), 361–374.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Rau, G., Disselhorst-Klug, C., Stegeman, D. F. et al. (2004). *Recommendations for sensor locations*, SENIAM, Project Management Group. Zugriff am 29.04.2016. Verfügbar unter <http://www.seniam.org>
- Hoehne-Hückstädt, U., Herda, C., Ellegast, R. P., Hermanns, I., Hamburger, R. & Ditchen, D. (2007). *Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität und berufliche Tätigkeit. Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten* (BGIA-Report, Bd. 2007,2). Sankt Augustin: HVBG.
- Hoogendoorn, W. E., Bongers, P. M., de Vet, H C, Douwes, M., Koes, B. W., Miedema, M. C. et al. (2000). Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain: results of a prospective cohort study. *Spine*, 25 (23), 3087–3092.
- Houten, G. von, Cabrita, J. & Vargas, O. *Working conditions and job quality: Comparing sectors in Europe - Overview report* (5. Aufl.) (Eurofound, Hrsg.) (European Working Conditions Survey). Zugriff am 19.11.2014.

Verfügbar

unter

http://eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_files/pubdocs/2013/84/en/4/EF1384EN.pdf

Huppés, G. (1992). *Kortcyclische arbeid. Ergonomische aanpak van nek-, schouder-, en armlachten*. Amsterdam: Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden NIA.

IAD, D. (Hrsg.). (2009). *Einstufungshilfe zum Screening-Verfahren European Assembly Work-Sheet (EAWS)*.

Initiative Neue Qualität der Arbeit (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.). (2009). *Fragebogen über Beschwerden am Bewegungsapparat (Nordischer Fragebogen)*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 23.08.2016. Verfügbar unter www.rueckenkompass.de/download_files/doc/Fragen-Nordischer.pdf

Jeschke, D. & Zeilberger, K. (2004). Altern und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt*, 101 (12). Zugriff am 03.02.2015. Verfügbar unter <http://www.aerzteblatt.de/archiv/41076/Altern-und-koerperliche-Aktivitaet>

Joiko, K., Schmauder, M. & Wolff, G. (2010). *Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben. Erkennen - gestalten* (5. Aufl.). Dortmund-Dorstfeld: Bundesanst. für Arbeitsschutz u. Arbeitsmedizin. Zugriff am 02.12.14. Verfügbar unter <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673898/publicationFile/>

Jürgens, W.-W., Mohr, D., Pangert, R., Pemack, E.-F., Schultz, K. & Steinberg, U. (2001). *Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten* (LASI-Veröffentlichungen / Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Bd. 9, 4., überarb. Aufl.). Saarbrücken: Ministerium für Frauen, Arbeit, Gesundheit und Soziales.

Kanawaty, G. (1992). *Introduction to work study* (4th (rev.) ed.). Geneva: International Labour Office.

Karhu, O., Kansi, P. & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied ergonomics*, 8 (4), 199–201.

Kauffeld, S. (Hrsg.). (2014). *Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor* (Springer-Lehrbuch, 2., überarbeitete Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Kee, D. & Karwowski, W. (2001). The boundaries for joint angles of isocomfort for sitting and standing males based on perceived comfort of static joint postures. *Ergonomics*, 44 (6), 614–648.

Keyserling, W. M. (1986). Postural analysis of the trunk and shoulders in simulated real time. *Ergonomics*, 29 (4), 569–583.

Kilbom, Å. (1994a). Repetitive work of the upper extremity: Part I - Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1451–1457.

Kilbom, Å. (1994b). Repetitive work of the upper extremity: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1459–1486.

-
- Kirchner, J.-H. (1972a). Arbeitswissenschaftlicher Beitrag zur Automatisierung. Analyse und Synthese von Arbeitssystemen. *Schriftenreihe Arbeitswissenschaft und Praxis* (23).
- Kirchner, J.-H. (1986b). Belastungen und Beanspruchungen — Einige begriffliche Klärungen zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In Below, Fritz, von, R. Hackstein & F.-J. Heeg (Hrsg.), *Arbeitsorganisation und Neue Technologien. Impulse für eine weitere Integration der traditionellen arbeitswissenschaftlichen Entwicklungsbereiche* (S. 553–569). Berlin: Springer Berlin.
- Klußmann, A., Mühlemeyer, C., Wendt, K.-D. & Dolfen, P. (2014). Strukturen und Netzwerke zur systematischen Arbeitsgestaltung. Erfahrungen und Empfehlungen. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.), *Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft*.
- Kluth, K. & Groos, S. (2014). Ergonomische Beurteilung von Löschwasserversorgungsdrücken unter dem Aspekt der physiologisch ausführbaren und sicheren Hochhausbrandbekämpfung. In M. Jäger (Hrsg.), *Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. Bericht zum 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 12. - 14. März 2014 [TU und Hochschule München]* (Jahresdokumentation ... der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Bd. 2014, Als Ms. gedr). Dortmund: GfA-Press.
- Knieps, F. & Pfaff, H. (Hrsg.). (2014). *Gesundheit in Regionen. Zahlen, Daten, Fakten ; BKK Gesundheitsreport 2014* (BKK-Gesundheitsreport, Bd. 2014). Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftl. Verl.-Ges.
- Konrad, P., Noraxon INC. USA (Mitarbeiter). (2005). *EMG-Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie*.
- Konz, S. A. (1990). *Work design. Industrial ergonomics* (3rd ed.). Worthington, Ohio: Pub. Horizons.
- Kotzab, D. (2015). *Vergleich ergonomischer Bewertungsmethoden mit dem subjektiven Befinden der Mitarbeiter. Eine Längsschnittstudie an Fließbandarbeitsplätzen in der Automobilindustrie* (Schriftenreihe Personal- und Organisationsentwicklung, Bd. 12). Kassel: Kassel Univ. Press.
- Kraker, H. d. & Douwes, M. (2009, 22. Dezember). *Ontwikkeling van een niveau I checklist fysieke belasting. concept van het onderdeel hand-armtaken*. Hoofddorp: TNO. Zugriff am 25.11.2014.
- Kuhlang, P., Rast, S., Liebig, S., Lüben, A., Finsterbusch, T. & Mühlbradt, T. (2015). Methoden und Perspektiven zur ergonomischen Bewertung und Gestaltung langzyklischer Tätigkeiten in der Fahrzeuginstandhaltung. In H. Biedermann (Hrsg.), *Praxiswissen Instandhaltung* (S. 181–193). Köln.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sorensen, F., Andersson, G. et al. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied ergonomics*, 18 (3), 233–237.
- Kuorinka, I. & Koskinen, P. (1979). Occupational rheumatic diseases and upper limb strain in manual jobs in a light mechanical industry. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 5 suppl 3, 39–47.

-
- Landau, K., Rademacher, H., Meschke, H., Winter, G., Schaub, K., Grasmueck, M. et al. (2008). Musculoskeletal disorders in assembly jobs in the automotive industry with special reference to age management aspects. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (7-8), 561–576.
- Latko, W. A., Armstrong, T. J., Franzblau, A., Ulin, S. S., Werner, R. A. & Albers, J. W. (1999). Cross-sectional study of the relationship between repetitive work and the prevalence of upper limb musculoskeletal disorders. *American journal of industrial medicine*, 36 (2), 248–259.
- Laurig, W. (1970a). *Elektromyographie als arbeitswissenschaftliche Untersuchungsmethode zur Beurteilung von statischer Muskelarbeit*. Berlin: Beuth Verlag.
- Laurig, W. (1974b). *Beurteilung einseitig dynamischer Muskelarbeit* (Arbeitswissenschaft in der Praxis, Bd. 33). Berlin: Beuth Verlag.
- Lavatelli, I., Schaub, K. & Caragnano, G. (2012). Correlations in between EAWS and OCRA Index concerning the repetitive loads of the upper limbs in automobile manufacturing industries. *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1, 4436–4444.
- Lawaczeck, M. (2001). *Zur ergonomischen Beurteilung von Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie* (Bericht aus dem Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt). Stuttgart: Ergon.
- Lehmann, G. (1953). *Praktische Arbeitsphysiologie* (1. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Li, G. & Buckle, P. (1998). A Practical Method For The Assessment Of Work-Related Musculoskeletal Risks - Quic Exposure Check (QEC). In *Human Factors and Ergonomics Society 1998 – Proceedings of the Human Factors* (S. 1351–1355). Zugriff am 09.01.2015. Zugriff am 09.01.2015. Verfügbar unter <http://www.qec.freeiz.com/references/HFES1998.pdf>
- Liebers, F., Brendler, C. & Latza, U. (2013). Alters- und berufsgruppenabhängige Unterschiede in der Arbeitsunfähigkeit durch häufige Muskel-Skelett-Erkrankungen. Rückenschmerzen und Gonarthrose. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 56 (3), 367–380. Zugriff am 09.01.2015. Verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/artikel38.html>
- Lin, S., Wang, Z. & Wang, M. (2006). Work ability of workers in western China: reference data. *Occupational Medicine* 56, 89-93. Zugriff am 25.09.2017. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/7501193_Work_ability_of_workers_in_western_China_Reference_data
- Lippold, O. C. J. (1967). Electromyography. In P. H. Venables & I. Martin (Hrsg.), *Manual of psychophysiological methods* (S. 247–297). New York: Wiley.
- Liu, W. C. V. & Sanchez-Monroy, D. (1998). Prevalence of Back Discomfort and Estimates of Back Load in Two Manufacturing Facilities. *Ann. occup. Hyg.*, 42 (8), 549–556.

-
- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden. (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (11), 299–300.
- Löllgen, H. & Ulmer, H.-V. (2004). Das "Gespräch" während der Ergonomie: Die Borg-Skala. *Deutsches Ärzteblatt*, 101 (15), 1014–1015. Editorial. Zugriff am 03.12.2014. Verfügbar unter <http://www.aerzteblatt.de/archiv/41324/Das-Gespraech-waehrend-der-Ergometrie-Die-Borg-Skala>
- Loth, S., Schatt, N., Pietsch, R. & Linsenmeiyer, J. (2010). Ergonomie in der Fertigung. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.), *Mensch- und Prozessorientierte Arbeitsgestaltung im Fahrzeugbau*. Dortmund: GfA-Press.
- Luczak, H. (1975a). *Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen. Fortschritt-Berichte des VDI* (Fortschrittberichte des VDI, Reihe 10, Bd. 2). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Luczak, H. (1983b). Ermüdung. In G. Lehmann (Hrsg.), *Praktische Arbeitsphysiologie. 24 Tab* (3., neubearb. Aufl., S. 71–85). Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Luczak, H., Volpert, W., Raeithel, A. & Schwier, W. (1987). *Arbeitswissenschaft. Kerndefinition - Gegenstandskatalog - Forschungsgebiete ; Bericht an d. Vorstand d. Ges. für Arbeitswiss. u.d. Stiftung Volkswagenwerk*. Eschborn: RKW.
- Lundberg, U. (2002). Psychophysiology of work: stress, gender, endocrine response, and work-related upper extremity disorders. *American journal of industrial medicine*, 41 (5), 383–392.
- Macmillan Dictionary. (2016, 25. August). *Repetition and repetitive - synonyms or related words for Repetition and repetitive - Macmillan Dictionary and Thesaurus*. Zugriff am 25.08.2016. Verfügbar unter <http://www.macmillandictionary.com/thesaurus-category/british/Repetition-and-repetitive>
- Magness, S. (2011). *The most important information you will ever read about Running Form: Passive vs. Active*. Zugriff am 29.04.2016. Verfügbar unter <http://www.scienceofrunning.com/2011/04/most-important-information-you-will.html>
- Marées, H. d. & Heck, H. (2006). *Sportphysiologie* (Korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Köln: Sportverl. Strauß.
- Mazloumi, A., Rostamabadi, A., Nasl Saraji, G., Rahimi Ferooshani, A. (2012). Work Ability Index (WAI) and Its Association with Psychosocial Factors in One of the Petrochemical Industries in Iran. *J Occup Health*, Vol. 54. Zugriff am 26.09.2017. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/221831593_Work_Ability_Index_WAI_and_Its_Association_with_Psychosocial_Factors_in_One_of_the_Petrochemical_Industries_in_Iran
- McAtamney, L. & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, 24 (2), 91–99.

-
- McMichael, A. J. (1976). Standardized mortality ratios and the "healthy worker effect": Scratching beneath the surface. *Journal of occupational medicine: official publication of the Industrial Medical Association*, 18 (3), 165–168.
- Merkel, S., Streit, B. & Richter, P. (2004). Eine Belastungs-Beanspruchungsanalyse. Bereitschaftsdienst leistender Ärzte in sächsischen Krankenhäusern. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (3), 188–198.
- Michel, S. (2003). *Externe Elektromyostimulation und lokale Muskelermüdung. Auswirkungen auf ausgewählte Bewegungsparameter der unteren Extremitäten*. Marburg: Tectum-Verl.
- Mohammadi, S., Ghaffari, M., Abdi, A., Bahadori, B., Mirzamohammadi, E., Attarchi, M. (2015). Interaction of Lifestyle and Work Ability Index in Blue Collar Workers. *Glob J Health Sci*, 7 (3): 90-97. Zugriff am 26.09.2017. Verfügbar unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4802066/>
- Monson, R. R. (1990). *Occupational epidemiology* (2nd ed). Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Montreuil, S. & Laville, A. (1986). Cooperation between Ergonomists and Workers in the Study of Posture in Order to Modify Work Conditions. In J. R. Wilson, E. N. Corlett & I. Manenica (Hrsg.), *The ergonomics of working postures. Models, methods and cases : the proceedings of the First International Occupational Ergonomics Symposium, Zadar, Yugoslavia, 15-17 April 1985*. London: Taylor & Francis.
- Moore, J. S. & Garg, A. (1995). The Strain Index: A Proposed Method to Analyze Jobs For Risk of Distal Upper Extremity Disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56 (5), 443–458.
- Möttig-Klenner, A.-M. (2010). *Oberflächenelektromyographie als Biofeedback-Verfahren in der Dysphagiediagnostik*. Dissertation, Schulz-Kirchner Verlag. Bielefeld.
- Müller, B. H., Fachbereich D - Abteilung Sicherheitstechnik, Empirische Arbeitsforschung (Mitarbeiter) (WAI-Netzwerk, Hrsg.). (2012). *Der WAI*, Bergische Universität Wuppertal. Zugriff am 27.04.2016. Verfügbar unter <http://www.arbeitsfaehigkeit.uni-wuppertal.de/index.php?der-wai>
- Ngcamu, N. S., Zschoernak, S. & Göbel, M. (2009). The interaction Between Awkward Postures and Precision Performance as an Example for the Relationship Between Ergonomics and Production. In *Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics*. Beijing, China.
- Nielsen, M. B. & Knardahl, S. (2016). The healthy worker effect: Do health problems predict participation rates in, and the results of, a follow-up survey? *International archives of occupational and environmental health*, 89 (2), 231–238.
- Nordander, C., Willner, J., Hansson, G.-A., Larsson, B., Unge, J., Granquist, L. et al. (2003). Influence of the subcutaneous fat layer, as measured by ultrasound, skinfold calipers and BMI, on the EMG amplitude. *European journal of applied physiology*, 89 (6), 514–519.

-
- Nordander, C., Hansson, G.-Å., Ohlsson, K., Arvidsson, I., Balogh, I., Strömberg, U. et al. (2016). Exposure-response relationships for work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders - Analyses of pooled uniform data sets. *Applied Ergonomics*, 55, 70–84.
- Occhipinti, E. & Colombini, D. (2007). Updating reference values and predictive models of the OCRA method in the risk assessment of work-related musculoskeletal disorders of the upper limbs. *Ergonomics*, 50 (11), 1727–1739.
- Occhipinti, E. & Colombini, D. (2000). The Ocra Index for Risk Assessment of Wmsds Risk with Repetitive Movements of the Upper Limbs: Further Validation Data. In *Proceedings of the XIV Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA)*. S. Diego, U.S.A.
- Occhipinti, E. & Colombini, D. (2004). Metodo Ocra: aggiornamento dei valori di riferimento e dei modelli di previsione dell'occorrenza di patologie muscolo-scheletriche correlate al lavoro degli arti superiori (UL-WMSDs) in popolazioni lavorative esposte a movimenti e sforzi ripetuti degli arti superiori. *La Medicina del Lavoro*, 95 (4), 305–319.
- Occhipinti, E. & Colombini, D. (2006). A Checklist for Evaluating Exposure to Repetitive Movements of the Upper Limbs Based on the OCRA Index. In W. Karwowski (Hrsg.), *International encyclopedia of ergonomics and human factors* (2nd ed., S. 2535–2541). Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis.
- Osterholz, U. & Karmaus, W. (1989). *Erkrankungen der Muskeln, des Skeletts und des Bindegewebes. Biomechanische und arbeitsorganisatorische Belastungen in der Metallindustrie* (IG Metall, Hrsg.). Frankfurt a. M.: IG Metall.
- Padula, R. S., Comper, Maria Luiza Caires, Sparer, E. H. & Dennerlein, J. T. (2017). Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk in manufacturing industries: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 58, 386–397.
- Palmer, K. T., Haward, B., Griffin, M. J., Bendall, H. & Coggon, D. (2000). Validity of self reported occupational exposures to hand transmitted and whole body vibration. *Occupational and environmental medicine*, 57 (4), 237–241.
- Pfeifer, K., Vogt, L. & Banzer, W. (2003). Standards der Sportmedizin. Kinesiologische Elektromyographie (EMG). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (11), 331–332.
- Pigini, L., Colombini, D., Rabuffetti, M. & Ferrarin, M. (2010). Tecniche di acquisizione ed analisi del segnale elettromiografico per lo studio del sovraccarico biomeccanico occupazionale. *La Medicina del Lavoro*, 101 (2).
- Plath, H.-E. & Richter, P. (1984). *BMS - VERFAHREN ZUR SKALIERTEN ERFASSUNG ERLEBTER BEANSPRUCHUNGSFOLGEN*. Berlin: Psychodiagnostisches Zentrum.

-
- Putz-Anderson, V. (1988). *Cumulative trauma disorders. A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*. London: Taylor & Francis.
- Rademacher, H., Bruder, R., Sinn-Behrendt, A. & Landau, K. (2012). Influences of mechanical exposure biographies on physical capabilities of workers from automotive industry - a study on possible dose-response relationships and consequences for short and long term job rotation. *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1, 5114–5120.
- Rau, G. (1977). Anwendung der Elektromyographie bei der Beurteilung körperlicher Momentan- und Langzeitbeanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 31 (3), 112–120.
- Reeuwijk, K. G., Robroek, S. J., Niessen, M. A., Kraaijenhagen, R. A., Vergouwe, Y., Burdorf, A. (2015). The Prognostic Value of the Work Ability Index for Sickness Absence among Office Workers. *PLoS One*, 10 (5).
- REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (1993). *Methodenlehre der Betriebsorganisation* (1. Aufl.). München: Hanser.
- Richter, G. (2010). *Toolbox Version 1.2. Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen; Forschung Projekt F 1965*. Dortmund: BAuA.
- Richter, P., Debitz, U. & Schulze, F. (2002). Diagnostik von Arbeitsanforderungen und kumulativen Beanspruchungsfolgen am Beispiel eines Call Centers. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 56 (1-2), 67–76.
- Riddle, D. L., Pulisic, M., Pidcoke, P. & Johnson, R. E. (2003). Risk factors for Plantar fasciitis: a matched case-control study. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 85-A (5), 872–877.
- Rimann, M. & Udris, I. (1993). *Belastungen und Gesundheitsressourcen im Berufs- und Privatbereich. Eine quantitative Studie*. Forschungsprojekt SALUTE: Personale und organisationale Ressourcen der Salutogenese, Bericht Nr. 3, Eidgenössische Technische Hochschule. Zürich.
- Rimann, M. & Udris, I. (1997). Subjektive Arbeitsanalyse: Der Fragebogen SALSA. In O. S. Strohm, E. Ulich & O. Prado Escher (Hrsg.), *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation* (Mensch Technik Organisation, Band 10, S. 281–298). Zürich: Vdf Hochschulverl. an der ETH.
- Rodgers, S. (2004). Repetitive Work. In The Eastman Kodak Company (Hrsg.), *Kodak's ergonomic design for people at work* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Rohmert, W. (Hrsg.). (1968a). *Muskelarbeit und Muskeltraining: internationales Kolloquium am 19. und 20. Februar 1968 in Darmstadt* (Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene, Bd. 22). Stuttgart: Gentner.
- Rohmert, W. (1972b). Aufgaben und Inhalt der Arbeitswissenschaft. *Die berufsbildende Schule* (24), 3–14.

-
- Rohmert, W. (1983). Formen menschlicher Arbeit. In G. Lehmann (Hrsg.), *Praktische Arbeitsphysiologie*. 24 Tab (3., neubearb. Aufl.). Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Rohmert, W. (1984c). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38, 193–200.
- Rohmert, W. & Landau, K. (1979). *Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET)*. Bern [u.a.]: Huber.
- Rohrbach-Schmidt, D. & Hall, A. (2012). *BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012*. Daten- und Methodenbericht (Bundesinstitut für Berufsbildung, Hrsg.) (1/2013). Bonn: Forschungsdatenzentrum im Bundesinstitut für Berufsbildung. Zugriff am 19.11.2014. Verfügbar unter <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Arbeitsbedingungen/Erwerbstaetigenbefragung-2011-2012.html>
- Rostamabadi, A., Zamanian, Z., Sedaghat, Z. (2017). Factors associated with work ability index (WAI) among intensive care units' (ICUs') nurses. *J Occup Health* 59 (2), 147-155.
- Santos, J., Baptista, J. S., Monteiro, Pedro Ribeiro Rocha, Miguel, A. S., Santos, R. & Vaz, M. A. (2016). The influence of task design on upper limb muscles fatigue during low-load repetitive work: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 78–91.
- Schaub, K., Caragnano, G., Britzke, B. & Bruder, R. (2013). The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14 (6), 616–639.
- Schaub, K. (2004). Das "Automotive Assembly Worksheet" (AAWS). In K. Landau (Hrsg.), *Montageprozesse gestalten. Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation* (S. 91–111). Stuttgart: Ergonomia-Verl.
- Schaub, K. & Dietz, C. (2000). Ergonomic Vehicle Development Process and Production at Adam Opel AG (GM-Europe) with Respect to European Legislation. In *Proceedings of the XIV Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA)* (S. 759–762). S. Diego, U.S.A.
- Schaub, K. & Landau, K. (2004). Ergonomie und Prävention in der betrieblichen Praxis. *Angewandte Arbeitswissenschaft* (180), 52–70. Zugriff am 16.02.2015. Verfügbar unter http://www.ergonassist.de/Publikationen/Ergonomie_Praevention.pdf
- Schaub, K., Storz, W. & Landau, K. (2001). Nachhaltige Risikobeurteilung von Montageprozessen in der Automobilindustrie - dargestellt am Beispiel des "New Production Worksheets" (NPW) bei der Adam Opel AG. In K. Landau & H. Luczak (Hrsg.), *Ergonomie und Organisation in der Montage*. München: Hanser.
- Schaub, K. & Winter, G. (2002). Design Check - Ein Screening-Verfahren zur Beurteilung körperlicher Belastungen. *Der Orthopäde*, 31 (10), 987–996.

-
- Schlick, C., Luczak, H. & Bruder, R. (2010). *Arbeitswissenschaft* (3., vollständig überarbeitete und erw. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Schmidtke, H. & Jastrzebska-Fraczek, I. (2013). *Ergonomie. Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmungen*. München: Hanser.
- Schuler, H. & Brandstätter, H. (2004). *Lehrbuch Organisationspsychologie* (Aus dem Programm Huber: Psychologie Lehrbuch, 3., vollst. überarb. und erw. Aufl). Bern [u.a.]: Huber.
- Senner, V. & Schaff, P. (1999). Elektromyographie (EMG) - Physiologie des EMG-Signals, dessen messtechnische Erhebung und Auswertung. *Sportorthopädie, Sporttraumatologie = Sports orthopaedics and traumatology*, 15 (3), 160–165.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3 and 4), 591–611. Zugriff am 05.10.2016. Verfügbar unter sci2s.ugr.es/keel/pdf/algorithm/articulo/shapiro1965.pdf
- Silverstein, B. A., Fine, L. J. & Armstrong, T. J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43, 779–784. Zugriff am 05.01.2015. Verfügbar unter <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1007752/pdf/brjindmed00175-0059.pdf>
- Sim, J., Lacey, R. J. & Lewis, M. (2006). The impact of workplace risk factors on the occurrence of neck and upper limb pain: a general population study. *BMC public health*, 6, 234.
- Simoneau, S., St-Vincent, M. & Chicoine, D. (1996). *Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). A Better Understanding For More Effective Prevention* (ASP Métal Électrique & IRSST, Hrsg.), Saint-Léonard, Québec. Zugriff am 09.01.2015. Verfügbar unter <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/RG-126-ANG.pdf>
- Slesina, W. (1987a). *Arbeitsbedingte Erkrankungen und Arbeitsanalyse. Arbeitsanalyse unter dem Gesichtspunkt der Gesundheitsvorsorge* (Copythek). Stuttgart: Enke.
- Slesina, W. (2009b). *FEBA: Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Belastungen am Arbeitsplatz*, ASER-Institut. Zugriff am 13.05.2016. Verfügbar unter <http://www.rueckenkompass.de/out.php?idart=18>
- Sluiter, J. K., Rest, K. M. & Frings-Dresen, M. H. W. (2001). Criteria document for evaluating the work-relatedness of upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 27, 1–102.
- Soderberg, G. L. & Knutson, L. M. (2000). A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Physical therapy*, 80 (5), 485–498.

-
- Sorgatz, H. (2002). "Repetitive strain injuries" - Unterarm-/Handbeschwerden aufgrund repetitiver Belastungsreaktionen des Gewebes. *Der Orthopäde*, 31 (10), 1006–1014.
- Steinberg, U., Behrendt, S., Caffier, G., Schultz, K. & Jakob, M. (2007). *Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse. Erarbeitung und Anwendungserprobung einer Handlungshilfe zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.), Dortmund/Berlin/Dresden.
- Steinberg, U., Liebers, F., Klußmann, A., Gebhardt, H., Rieger, M. A., Behrendt, S. et al. (2011). *Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision* (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg.), Dortmund/Berlin/Dresden.
- Steinberg, U., Caffier, G., Mohr, D., Liebers, F. & Behrendt, S. (1998). *Modellhafte Erprobung des Leitfadens Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten. Abschlussbericht* (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Forschung, Fb 804). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Hauptsitz Dortmund.
- Strasser, H. (2007a). Zur Entwicklung der Arbeitsphysiologie und Ergonomie im deutschsprachigen Raum - Aufgaben und Ziele in Lehre und Forschung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 2007/3 (61), 133–160.
- Strasser, H., Steinhilber, B.; Anders, C.; Jäger, M.; Läubli, T.; Luttmann, A.; Rieger, M. A.; Scholle, H.-C.; Schumann, N.-P.; Seibt, R. & Kluth, K. (Mitarbeiter) (Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), Hrsg.). (2013b). *S2k-Leitlinie Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft*. Zugriff am 19.11.2014. Verfügbar unter http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-016l_S2k_Oberfl%C3%A4chen_Elektromyographie_2013-03.pdf
- Takala, E.-P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G.-Å., Mathiassen, S. E., Neumann, W. P. et al. (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 36 (1), 3–24.
- Takala, Y. (2007). Einführung: Muskel-Skelett-Erkrankungen - Anliegen der Europäischen Woche 2007. In Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (Hrsg.), *1. Deutsche Hauptveranstaltung zur europäischen Woche 2007. Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen - von der politischen zur betrieblichen Ebene*. Abstracts der Vorträge und Poster (S. 3–4).
- Takamiya, Y., Nagata, K., Fukuda, K., Shibata, A., Ishitake, T. & Suenaga, T. (2006). Cervical spine disorders in farm workers requiring neck extension actions. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 11 (3), 235–240.

-
- Tannenhauer, J. (Hrsg.). (2013). *Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei manuellen Arbeitsprozessen* (LASI-Veröffentlichungen / Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik, Bd. 57). Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr.
- Tassinari, L. G., Cacioppo, J. T. & Vanman, E. J. (2007). The Skeletomotor System: Surface Electromyography. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinari & G. G. Bernston (Hrsg.), *Handbook of Psychophysiology* (S. 267–303). Cambridge: Cambridge University Press.
- Thornauer, H.-A. (2001). Muskel-Ermüdung: Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft. In *Zweites Jenaer Kolloquium zur Trainingswissenschaft. 25. und 26. Juni 1999*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Tichauer, E. R. (1978). *The biomechanical basis of ergonomics. Anatomy applied to the design of work situations* (Wiley-Interscience publication). New York: Wiley.
- Tittel, K. (2003). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen* (14., völlig überarb. und erw. Aufl). München: Urban & Fischer.
- Titze, S., Ring-Dimitriou, S., Schober, P. H., Halbwachs, C., Samitz, G., Miko, H. C. et al., Arbeitsgruppe Körperliche Aktivität/Bewegung/Sport der Österreichischen Gesellschaft für Public Health (Mitarbeiter) (Geschäftsbereich Fonds Gesundes Österreich, Hrsg.). (2010). *Österreichische Empfehlungen für gesundheitswirksame Bewegung*, Bundesministerium für Gesundheit; Gesundheit Österreich GmbH. Zugriff am 03.02.2015. Verfügbar unter https://www.lzg.nrw.de/_media/pdf/gesundheitschuetzen/praevention/bewegungsfoerderung/Titze_Bewegungsempfehlung.pdf
- Triebig, G., Kentner, M. & Schiele, R. (Hrsg.). (2014). *Arbeitsmedizin. Handbuch für Theorie und Praxis*. Stuttgart: Gantner, A W.
- Tschopp, M. (2001). *Leistungsdiagnostik Ausdauer. Qualitätsentwicklung Swiss Olympic*, SWISS OLYMPIC MEDICAL CENTERS. Version 3.0. Zugriff am 27.04.2016. Verfügbar unter http://www.medizinischeszentrummonbijou.ch/dateien/Manual_Leistungsdiagnostik_Ausdauer_d.pdf
- Tuomi, K., Eskelinen, L., Toikkanen, J., Jarvinen, E., Ilmarinen, J., Klockars, M. (1991). Work load and individual factors affecting work ability among aging municipal employees. *Scand J Work Environ Health* 17 (1), 128–134.
- Tuomi, K., Ilmarinen, J., Jahkola, A., Katajarinne, L. & Tulkki, A. (1998). *Work ability index* (Occupational health care, Bd. 19, 2nd rev. ed). Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- Udris, I. & Rimann, M. (1999). SAA und SALSA: Zwei Fragebogen zur subjektiven Arbeitsanalyse. In H. Dunkel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (Mensch, Technik, Organisation, Bd. 14, S. 397–419). Zürich: vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich.

-
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie* (7., überarbeitete und aktualisierte Auflage). Zürich: Schäffer-Poeschel.
- Valentin, H., Klosterkötter, W., Lehnert, G., Petry, H., Rutenfranz, J. & Wittgens, H. (1971). *Arbeitsmedizin. Ein kurzgefaßtes Lehrbuch für Ärzte und Studenten* (Flexibles Taschenbuch). Stuttgart: Thieme.
- van den Berg, F. (Hrsg.). (2007). *Therapie, Training, Tests. 98 Tabellen* (Physiofachbuch, Bd. 3, 2., aktualisierte Aufl). Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- van den Heuvel, S G, van der Beek, A J, Blatter, B. M. & Bongers, P. M. (2006). Do work-related physical factors predict neck and upper limb symptoms in office workers? *International archives of occupational and environmental health*, 79 (7), 585–592.
- van Tulder, M., Malmivaara, A. & Koes, B. (2007). Repetitive strain injury. *The Lancet*, 369 (9575), 1815–1822.
- van Wely, P. (1970). Design and disease. *Applied Ergonomics*, 1 (5), 262–269.
- Visser, B., Looze, M. de, Graaff, M. de & van Dieen, J. (2004). Effects of precision demands and mental pressure on muscle activation and hand forces in computer mouse tasks. *Ergonomics*, 47 (2), 202–217.
- Wakula, J. (2009). Repetitive Strain Injury (RSI). In K. Landau & G. Pressel (Hrsg.), *Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen. Definitionen, Vorkommen, Arbeitsschutz; mit Literatur-CD-ROM* (2., vollständig neubearb. Aufl., S. 846–851). Stuttgart: Gentner.
- Waters, T. R. & Dick, R. B. (2015). Evidence of health risks associated with prolonged standing at work and intervention effectiveness. *Rehabilitation nursing : the official journal of the Association of Rehabilitation Nurses*, 40 (3), 148–165.
- Weise, F. (2016). *Arbeitswissenschaftliche Untersuchung von Job Rotation in der Fahrzeugfertigung im Rahmen des demografischen Wandels*. Dissertation, TU Darmstadt. Darmstadt.
- Wen, C. P., Tsai, S. P. & Gibson, R. L. (1983). Anatomy of the healthy worker effect: a critical review. *Journal of occupational medicine: official publication of the Industrial Medical Association*, 25 (4), 283–289.
- Werner, F. (2006). *Auswirkungen differenzieller Ermüdungsprogramme auf ausgewählte Bewegungsparameter und die Muskelaktionspotenziale von Triceps surae und Quadriceps femoris*. Dissertation, Universität. Jena. Verfügbar unter <http://worldcatlibraries.org/wcpa/oclc/180112295>
- Whistance, R. S., Adams, L. P., van Geems, B A & Bridger, R. S. (1995). Postural adaptations to workbench modifications in standing workers. *Ergonomics*, 38 (12), 2485–2503.
- Winter, G., Schaub, K., Bopp, V. & Feith, A. (September 2007). *Gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse zur Mitarbeiter-Belastung an Steh-/Geharbeitsplätzen, insbesondere unter Berücksichtigung des demographischen Wandels und der Handhabung von Lasten*. an Robert Bosch GmbH. Abschlussbericht, TU Darmstadt. Darmstadt.

-
- Wirtschaftslexikon.co. (2013, 10. April). *Arbeit, repetitive - Wirtschaftslexikon*. Zugriff am 09.01.2015. Verfügbar unter <http://www.wirtschaftslexikon.co/d/arbeit-repetitive/arbeit-repetitive.htm>
- Wittekopf, G. & Rühl, H. (1984). Beispiele oberflächenmyographischer Untersuchungen zur Beurteilung der muskulären Koordination sportlicher Bewegungsabläufe. In *MEDIZIN UND SPORT 24*.
- Wittig, P., Nöllenheidt, C. & Brenscheidt, S. (2012). *Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012. mit den Schwerpunkten Arbeitsbedingungen, Arbeitsbelastungen und gesundheitliche Beschwerden*. Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Zugriff am 19.09.2016. Verfügbar unter www.baua.de/dok/3666616
- You, H. & Kwon, O. (2005). A survey of repetitiveness assessment methodologies for hand-intensive tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (4), 353–360. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814104001921>
- Zijlstra, F. R. & van Doorn, L. (1985). The construction of a subjective effort scale. *Delft University of Technology*.
- Zipp, P. (1982). Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50 (1), 41–54.

10. Anhang

10.1. Lebens- und Bildungsgang

22.02.1988	als erster Sohn der Eheleute Regina und Roland Heidl geboren
1994-1998	Otto-Hahn-Schule in Heusenstamm
1998-2007	Adolf-Reichwein-Gymnasium in Heusenstamm; Abgang mit der allgemeinen Hochschulreife mit der Note 2,0
2004-2005	Greenon High School in Enon, Ohio, USA
2007-2013	TU Darmstadt: Mechanical and Process Engineering; Abgang mit dem Titel Master of Science mit der Note 1,46
2010-2011	Auslandsstudium an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne
2013	Bearbeitung der Masterthesis bei der Robert Bosch GmbH in Stuttgart
2014-2017	Doktorand bei der Robert Bosch GmbH in Stuttgart
Ab 2017	Assistent der Geschäftsführung bei der Kurtz Holding GmbH & Co. Beteiligungs KG

10.2. Fragebogen

Markus Heidl, C/MPS3

Feldtests repetitive Tätigkeiten

Liebe Kollegin, lieber Kollege,

ich freue mich, dass Sie sich die Zeit nehmen, um den folgenden Fragebogen auszufüllen. Mit Ihren Angaben helfen Sie mir, ein Belastungsbewertungsverfahren zu validieren und damit die Arbeitsgestaltung in der gesamten Robert Bosch GmbH zu verbessern. Für das Ausfüllen werden Sie ca. 10-15 Minuten benötigen.

Bitte geben Sie ehrliche Antworten und schätzen Sie Ihr persönliches Befinden ohne Hintergedanken ein. Ich danke Ihnen!

Datenschutzerklärung

Die erhobenen Daten werden absolut vertraulich behandelt und sind in ihrem Gesamtzusammenhang ausschließlich einer Person, dem Versuchsleiter Markus Heidl (C/MPS3), zugänglich. Unter keinen Umständen werden die Daten an Dritte weitergegeben. Durch die Teilnahme an der Befragung entstehen für Sie keinerlei Nachteile, weiterhin wird ausdrücklich keine Leistungsermittlung durchgeführt. Alle erhobenen Daten dienen lediglich der Validierung eines Bewertungsverfahrens.

Für die Veröffentlichung werden alle Daten anonymisiert, sodass sich keinerlei Rückschlüsse auf Personen oder Standorte ziehen lassen. Keine Person wird direkt oder indirekt identifizierbar sein.

Arbeitsplatz-Nr.:	
Erhebung von Vergleichswerten zur Belastungsbewertung	
Allgemeine Fragen zur Person	
<i>Die Daten werden anonym ausgewertet und vertraulich behandelt!</i>	
<p>Alter:</p> <input type="radio"/> jünger als 50 Jahre <input type="radio"/> älter als 50 Jahre	<p>Wie viele Stunden arbeiten Sie täglich an diesem Arbeitsplatz? _____ Stunden</p> <p>An wie vielen Tagen pro Woche? _____ Tage</p> <p>Wie lange arbeiten Sie bereits an diesem Platz? Dauer: _____ Jahre, _____ Monate oder seit Datum: _____</p> <p>Wie lange arbeiten Sie bereits in der Montage? Dauer: _____ Jahre, _____ Monate oder seit Datum: _____</p> <p>Treiben Sie in Ihrer Freizeit Sport, bei dem die oberen Extremitäten belastet werden (Krafttraining, Kampfsport, Tennis, Handball, etc.)? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein, aber früher <input type="radio"/> nein</p> <p>Wenn ja oder früher, wie oft? _____ x pro Woche</p>
<p>Geschlecht:</p> <input type="radio"/> weiblich <input type="radio"/> männlich	
<p>Händigkeit:</p> <input type="radio"/> Rechtshänder <input type="radio"/> Linkshänder	

Subjektive Einschätzung der Belastung und Beanspruchung																															
Wie schätzen Sie Ihre derzeitige Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die körperlichen Arbeitsanforderungen ein?	<input type="radio"/> sehr gut <input type="radio"/> eher gut <input type="radio"/> mittelmäßig <input type="radio"/> eher schlecht <input type="radio"/> sehr schlecht																														
Wie schätzen Sie Ihre derzeitige Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die psychischen Arbeitsanforderungen ein?	<input type="radio"/> sehr gut <input type="radio"/> eher gut <input type="radio"/> mittelmäßig <input type="radio"/> eher schlecht <input type="radio"/> sehr schlecht																														
Während Ihrer Arbeitstätigkeit sollen Sie Ihr Empfinden der Anstrengung bewerten. Dafür wird die so genannte Borg-Skala verwendet, auf der 6 überhaupt keine Anstrengung und 20 die maximale Anstrengung bedeutet. Ziffer 9 ist eine sehr lockere körperliche Belastung, wie langsames Spaziergehen (für gesunde Leute). Ziffer 13 auf dieser Skala ist eine schon etwas harte Belastung. Es geht aber immer noch gut, und Sie sollten dabei keine Probleme haben, die Belastung weiter auszuführen. Bei der Zahl 17 ist es wirklich sehr anstrengend. Zwar könnten Sie noch weitermachen, müssen sich dazu aber sehr stark motivieren. Die 19 schließlich ist eine extrem anstrengende Belastung, entsprechend der bisher größten erlebten Anstrengung.																															
Versuchen Sie bitte Ihr Gefühl der Anstrengung so ehrlich wie möglich abzuschätzen. Sie sollen es weder unter- noch überschätzen. Einige Leute sind ein bisschen zu wenig sensibel oder wollen „tapfer“ sein und beurteilen die Anstrengung zu tief. Versuchen Sie dagegen die Anstrengung so zu fühlen wie Sie sie wahrnehmen. Ich bin nur an Ihrem eigenen Leistungs- und Anstrengungsgefühl interessiert. Schauen Sie auf die Skala und die Bezeichnungen und geben Sie eine Zahl an. Möglich sind sowohl ganze wie auch halbe Zahlen.																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 0 auto;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Recht leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Etwas anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">19</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </table>			Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend																		
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																	
Optional, für die Einzelplatzbewertung in Chaku-Chaku-Linien:																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 0 auto;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Recht leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Etwas anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">19</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </table>			Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend																		
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 0 auto;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Recht leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Etwas anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">19</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </table>			Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend																		
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 0 auto;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Recht leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Etwas anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">19</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </table>			Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend																		
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 0 auto;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Recht leicht</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Etwas anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Sehr, sehr anstrengend</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">13</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">19</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </table>			Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Sehr, sehr leicht		Sehr leicht		Recht leicht		Etwas anstrengend		Anstrengend		Sehr anstrengend		Sehr, sehr anstrengend																		
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																	

Fragebogen nach Slesina						
Bitte schätzen Sie die Arbeitsbelastungen Ihrer derzeitig ausgeübten beruflichen Tätigkeit ein; kreuzen Sie hierzu die entsprechenden Felder an. Wichtig ist dabei ausschließlich Ihr persönliches Empfinden!						
Bitte überlegen Sie, ob folgende Merkmale oder Belastungsfaktoren an Ihrem Arbeitsplatz vorkommen!	Wie häufig oder wie stark trifft dieses Merkmal oder der Faktor bezogen auf eine Schicht auf Ihre Arbeit zu?				Fühlen Sie sich selbst dadurch körperlich oder geistig belastet oder beansprucht?	
	oft (>50%)	mittel (25-50%)	selten (0-25%)	nie	ja	nein
<i>Beispiel: Lärm</i>	X				X	
1. schwere körperliche Arbeit						
2. ungünstige Körperhaltung						
3. Stehen						
4. Sitzen						
5. Bewegungsmangel						
6. Konzentration						
7. einförmige Arbeit						
8. genaues Detailsehen						
9. Handgeschicklichkeit						
10. Nachdenken						
13. taktgebundene Arbeit						
15. Schichtarbeit						
21. Zeitliche Bewältigung						
22. Halten (>5 s) schwerer Lasten						
23. Tragen (>5 m) schwerer Lasten						
24. Umsetzen schwerer Lasten						
25. Ziehen/Schieben schwerer Lasten/Transportmittel						
26. Gehen						
27. Über-Kopf-Arbeit						
28. erzwungene Körperhaltung						
29. Abhängigkeit vom Tempo der Kollegen						
30. Abhängig vom Maschinentempo						
34. Unterbrechung durch Kollegen						

Bitte überlegen Sie, ob folgende Merkmale oder Belastungsfaktoren an Ihrem Arbeitsplatz vorkommen!	Wie häufig oder wie stark trifft dieses Merkmal oder der Faktor bezogen auf eine Schicht auf Ihre Arbeit zu?			Fühlen Sie sich selbst dadurch körperlich oder geistig belastet oder beansprucht?		
	oft (>50%)	mittel (25-50%)	selten (0-25%)	nie	ja	nein
35. Unterbrechung durch Vorgesetzte						
36. Unterbrechung durch Maschinenstörungen						
37. Zielvorgaben						
41. Kontrolle durch Vorgesetzte						
42. Wochenendarbeit						
43. Unfallrisiko						


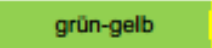

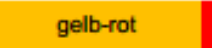

Subjektives Beschwerde- und Schmerzempfinden am Bewegungsapparat	
<p>Haben Sie aktuell oder hatten Sie innerhalb des vergangenen Jahres körperliche Beschwerden der oberen Extremitäten?</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein (Wenn nein, braucht diese Seite nicht weiter ausgefüllt werden)</p>	
<p>keinerlei Beschwerden sehr starke Beschwerden</p> <p style="margin-left: 100px;">0 1 2 3 4 5 6 7</p>	
<p>Benutzen Sie bitte diese Skala wie eine Notenskala zum Einschätzen der Stärke Ihrer Beschwerden und tragen Sie überall dort, wo Beschwerden auftreten die Stärke (Note) direkt in die Bilder ein. Starten Sie auf der linken Seite mit dem gesamten Körper. Wenn Sie Beschwerden in den Armen haben, detaillieren Sie diese bitte anhand der Bilder auf der rechten Seite, unterscheiden Sie dabei bitte nach rechtem und linkem Arm!</p>	
<p>Gesamter Körper</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> </div> <div style="width: 30%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Beispiel</p> </div> </div>	
<p>Linker Arm</p>	<p>Rechter Arm</p>
<p>Wie häufig treten die Beschwerden auf?</p> <p><input type="radio"/> dauernd</p> <p><input type="radio"/> vereinzelt bei verschiedenen Tätigkeiten</p> <p><input type="radio"/> vereinzelt bei bestimmten Tätigkeiten, und zwar _____</p>	
<p>Wann lassen die Beschwerden wieder nach?</p> <p><input type="radio"/> gar nicht <input type="radio"/> nach Urlaub <input type="radio"/> nach Wochenende</p> <p><input type="radio"/> nach einer Nacht <input type="radio"/> nach einer Pause</p>	
<p>Fühlen Sie sich durch die Beschwerden bei Ihrer Arbeit eingeschränkt?</p> <p><input type="radio"/> nein <input type="radio"/> gering <input type="radio"/> erheblich</p>	

Fühlen Sie sich durch die Beschwerden in Ihrer Freizeit eingeschränkt? <input type="radio"/> nein <input type="radio"/> gering <input type="radio"/> erheblich
Waren Sie in den letzten 6 Monaten wegen der genannten Beschwerden in ärztlicher Behandlung? <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
Sonstige Bemerkungen zu Ihren Beschwerden:
Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.

10.3. Expertenrating

Markus Heidl, C/MPS3

Feldtests repetitive Tätigkeiten

Kürzel:	Arbeitsplatz-Nr.:			
Erhebung der Expertenmeinungen				
Subjektive Einschätzung der Belastung der oberen Extremitäten:				
Bitte kreuzen Sie auf der Skala an, mit welchem Risiko Sie es bewerten würden, täglich acht Stunden am bewussten Platz zu arbeiten				
 grün	 grün-gelb	 gelb	 gelb-rot	 rot
Begründung der subjektiven Einschätzung				
Bitte begründen Sie stichpunktartig, warum Sie in diesem Risikobereich bewertet haben				
Was müsste geändert werden, dass Ihre Bewertung eine Stufe besser ausfiele?				
Was müsste gegeben sein, dass Ihre Bewertung eine Stufe schlechter ausfiele?				

10.4. Weitere Daten

Normalverteilung: Shapiro-Wilk-Test der Untergruppen											
	♂	♀	< 50 Jahre	> 50 Jahre	Sport ja	Sport nein	Sport früher	< 6 M am Platz	< 3 J am Platz	> 3 J am Platz	
Nacken	0,00024	9,7*10 ⁻¹¹	5,1*10 ⁻⁶	7,9*10 ⁻⁷	4,1*10 ⁻⁵	8,0*10 ⁻⁵	3,5*10 ⁻⁶	0,00011	0,00031	5,1*10 ⁻⁶	
Schulter li	1,0*10 ⁻⁶	2,3*10 ⁻⁸	1,2*10 ⁻⁷	0,0002	8,4*10 ⁻⁷	4,2*10 ⁻⁷	8,1*10 ⁻⁶	1,9*10 ⁻⁵	1,1*10 ⁻⁶	4,9*10 ⁻⁸	
Schulter re	0,0003	0,0001	7,1*10 ⁻⁵	0,0001	1,7*10 ⁻⁷	0,0004	5,7*10 ⁻⁶	4,8*10 ⁻⁵	1,8*10 ⁻⁶	4,7*10 ⁻⁵	
ob Rücken	0,0001	3,5*10 ⁻⁵	0,0006	8,4*10 ⁻⁵	0,0005	1,9*10 ⁻⁶	0,0009	0,0002	4,4*10 ⁻⁶	3,0*10 ⁻⁷	
unt Rücken	0,001	1,6*10 ⁻⁹	1,6*10 ⁻⁶	0,0006	2,99*10 ⁻⁶	0,0002	2,3*10 ⁻⁶	0,002	8,5*10 ⁻⁵	3,4*10 ⁻⁹	
Oberarm re	4,0*10 ⁻¹³	2,4*10 ⁻¹¹	1,6*10 ⁻¹⁰	4,6*10 ⁻⁴	6,0*10 ⁻¹²	3,2*10 ⁻¹³	6,0*10 ⁻¹⁰	6,2*10 ⁻⁸	1,6*10 ⁻¹¹	1,8*10 ⁻⁸	
Oberarm li	1,2*10 ⁻¹²	1,1*10 ⁻¹²	7,4*10 ⁻¹¹	1,4*10 ⁻¹²	6,3*10 ⁻¹¹	1,6*10 ⁻¹³	2,7*10 ⁻¹¹	6,2*10 ⁻⁸	8,8*10 ⁻¹²	8,2*10 ⁻¹¹	
Ellbogen re	2,9*10 ⁻¹²	4,1*10 ⁻⁸	2,3*10 ⁻¹⁴	2,7*10 ⁻⁸	1,4*10 ⁻¹¹	1,6*10 ⁻⁹	5,8*10 ⁻⁸	3,3*10 ⁻⁹	1,1*10 ⁻⁹	9,8*10 ⁻⁹	
Ellbogen li	1,6*10 ⁻¹³	9,2*10 ⁻¹⁰	2,2*10 ⁻¹⁶	3,4*10 ⁻⁸	1,7*10 ⁻⁹	5,8*10 ⁻¹¹	3,8*10 ⁻¹²		5,2*10 ⁻¹³	9,0*10 ⁻⁷	
Unterarm re	2,0*10 ⁻¹²	9,2*10 ⁻¹³	2,7*10 ⁻¹¹	5,5*10 ⁻¹¹	4,0*10 ⁻¹⁰	1,1*10 ⁻¹⁰	3,5*10 ⁻¹¹	6,3*10 ⁻⁶	1,9*10 ⁻¹⁴	4,6*10 ⁻⁶	
Unterarm li	1,0*10 ⁻⁴	2,2*10 ⁻¹⁶	7,5*10 ⁻¹⁰	5,2*10 ⁻¹²	4,0*10 ⁻⁹	1,8*10 ⁻¹⁴	2,9*10 ⁻¹⁰		3,9*10 ⁻¹⁵	4,6*10 ⁻⁹	
Hand/Gelenk re	7,3*10 ⁻⁶	6,3*10 ⁻⁷	2,7*10 ⁻⁷	0,0009	4,3*10 ⁻⁶	3,1*10 ⁻⁷	0,0002	0,0007	1,5*10 ⁻⁷	0,0007	
Hand/Gelenk li	2,4*10 ⁻⁹	1,7*10 ⁻⁸	1,8*10 ⁻¹³	2,5*10 ⁻⁵	5,6*10 ⁻⁸	9,1*10 ⁻¹¹	7,7*10 ⁻⁸	8,2*10 ⁻⁷	1,0*10 ⁻⁹	3,7*10 ⁻⁶	