

Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses der Automobilproduktion

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades
doctor philosophiae (Dr. phil.)

genehmigt durch die
Fakultät für Humanwissenschaften
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

von Dipl.-Sporting. David Becker
geb. am 05.12.1986 in Bernburg

Gutachter:

Prof. Dr. habil. Jürgen Edelmann-Nusser

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote

Eingereicht am: 23.11.2016

Danksagung

Allen Personen, die zu dem erfolgreichen Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle meinen ausdrücklichen Dank aussprechen. Zu allererst danke ich meinem Doktorvater Prof. Dr. habil. Jürgen Edelman-Nusser, der durch seine uneingeschränkte Unterstützung den Beginn meiner Promotion erst ermöglicht hat. Seine wegweisenden Kritiken haben die Entwicklung meiner Arbeit konstruktiv geformt. Ebenso danken möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote für das Interesse an meiner Forschung und für die Übernahme des Zweitgutachtens. Für die aktiven Beratungen und anregenden Diskussionen am Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft und Arbeitsgestaltung bedanke ich mich im Besonderen bei Frau Dr.-Ing. Sonja Schmicker und Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Brennecke.

Meine Promotion und Forschungsergebnisse sind zum größten Teil während meiner dreijährigen Tätigkeit als Doktorand in der Markenplanung Montage der Volkswagen AG in Wolfsburg entstanden. Für die mir eingeräumten Möglichkeiten im Tagesgeschäft der Produktionsplanung und virtuellen Absicherung forschen zu können, danke ich Dr.-Ing. Cord Busche, Dr.-Ing. Christoph Graumann und Pavlos Savidis. Dabei möchte ich noch meine Kollegen und Freunde hervorheben, die mich mit ihren vielen positiven Eigenschaften und Gesprächen in der gesamten Zeit motiviert haben, allen voran Mario Wegner, Hannes Röpke, Peter Kaniewski, Sina Jensen, Oliver Schütze sowie den gesamten Abteilungen der Montageplanung und Konzernergonomie.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank noch meiner lieben Familie Karin, Hans-Jürgen und Axel, die mit ihrer bedingungslosen und aufmunternden Unterstützung erst die Türen für meinen Weg und den Promotionsabschluss geöffnet haben. Als wichtigste Person in meinem Leben kann ich Dir, liebe Silke, nur schwer mit Worten den Dank ausdrücken, den du verdient hast. Aus der tiefen Bewunderung, wie du tagtäglich mit der gleichen Aufopferung und dem gleichen Durchhaltevermögen für den bestmöglichen Unterricht deiner Kinder gesorgt hast, habe ich mehr Kraft und Motivation für meine persönlichen Herausforderungen erhalten als du dir vorstellen kannst. Für dieses Vorbild und Deinen uneingeschränkten Rückhalt, auch in den schwierigen Phasen dieser Zeit, danke Dir von tiefstem Herzen.

Disclaimer

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG.

The results, opinions and conclusions expressed in this thesis are not necessarily those of Volkswagen AG.

Kurzfassung

Unternehmen stehen heutzutage unter einem enormen Wettbewerbsdruck, der speziell in der Automobilindustrie verkürzte Entwicklungszyklen bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung fordert. Im Kontext des demographischen Wandels und kürzerer Zykluszeiten verschärfen sich dadurch die Herausforderungen, früher im Entwicklungsprozess unter Kostendruck gesundheitsgerechte Arbeitsplätze zu gestalten. Aktuell fehlen jedoch speziell in der frühen Phase der Bauteilkonstruktion systematische Vorgehensweisen, um ergonomische Risiken identifizieren und quantitativ bewerten zu können. Hinzukommend fällt es Unternehmen schwer, ohne fundierte Erkenntnisse über den Nutzen in ergonomische Arbeitsgestaltung zu investieren.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit ein Managementsystem als systematischer Ansatz zur Ergonomie-Absicherung vorgestellt. Dabei erfolgt im ersten Schritt die Analyse der Defizite existierender Managementsysteme sowie Bewertungsmechanismen. Ausgehend davon wird mit dem Ziel einer anschließenden empirischen Evaluation der einzelnen Kriterien eine praxisnahe Umsetzung erarbeitet. Im Fokus des Hauptteils dieser Arbeit steht dabei die Entwicklung und Evaluation einer Bewertungsmethode physischer Belastungen auf der Bauteilebene. Anhand der identifizierten Handlungsbedarfe wird eine Vorgehensweise zur Ableitung und Bewertung von Ergonomiemaßnahmen diskutiert.

Eine weitere empirische Studie über arbeitsplatzbedingte Fehlzeiten und Montagefehler dient dazu, den häufig vermuteten wirtschaftlichen Nutzen präventiver Verhältnisergonomie für den unternehmerischen Entscheidungsprozess mit neuen Erkenntnissen zu belegen. Zur Sicherstellung der positiven Auswirkungen über den gesamten Produktentstehungsprozess wird abschließend noch die Übertragbarkeit etablierter Kontrollsystematiken auf den Ergonomie-Absicherungsprozess untersucht.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielstellung der Arbeit.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
2 Grundlagen.....	8
2.1 Bedeutung der Ergonomie als Gegenstand der Arbeitsgestaltung in Industrieunternehmen.....	8
2.2 Risikoabsicherung durch Qualitätsmanagementsysteme.....	12
2.3 Managementsysteme zum Arbeits- und Gesundheitsschutz.....	17
3 Situationsanalyse.....	20
3.1 Ausgewählte Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung.....	20
3.2 Methoden der Ergonomiebewertung.....	27
3.3 Ergonomie-Absicherung am Praxisbeispiel der Automobilproduktion der Volkswagen AG.....	30
3.4 Identifizierung von Defiziten existierender Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung aus Theorie und Praxis.....	38
4 Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses.....	46
4.1 Modelltheoretisches Lösungskonzept.....	46
4.2 Prozessmanagement der Ergonomie-Absicherung.....	49
4.3 Verantwortlichkeiten und Interdisziplinäre Prozessteams.....	53

5	Verfahren zur Ergonomiebewertung auf Bauteilebene	56
5.1	Anforderungsanalyse.....	56
5.2	Entwicklung des Ergonomie-Potential-Index (EPI).....	62
5.2.1	Umsetzung der Bauteilbewertungsebene.....	62
5.2.2	Umsetzung der Belastungsbewertung.....	63
5.2.3	Punktwertberechnung der Belastung nach der EPI-Systematik.....	69
5.2.4	Umsetzung der Risikobewertung (Eintrittswahrscheinlichkeit).....	78
5.3	Umsetzung eines Softwareprototypen.....	81
5.4	Evaluierungsstudie des Ergonomie-Potential-Index im Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG.....	85
5.4.1	Konzeptionelle Vorüberlegungen.....	85
5.4.2	Kriteriumsvalidität zur Prüfung der Güte von EPI-Bewertungen.....	86
5.4.3	Auswahl des geeigneten Untersuchungsgegenstandes.....	90
5.4.4	Ergebnisse der quantitativen Evaluierungsstudie.....	91
5.4.5	Zusammenfassende Beurteilung und kritische Würdigung der EPI Methode.....	95
6	Ableitung und Bewertung von Maßnahmen zur Verhältnisprävention in der frühen Phase des PEP	98
6.1	Gestaltungsmaßnahmen auf Basis der empirischen Ergebnisse.....	98
6.2	Aufwand-Nutzen-Betrachtung präventiver Verhältnisergonomie.....	101
6.2.1	Allgemeine Aufwand-Nutzen-Betrachtung.....	101
6.2.2	Aufwand-Kalkulation präventiver Ergonomiemaßnahmen.....	104
6.2.3	Nutzen-Kalkulation präventiver Ergonomiemaßnahmen.....	105
6.3	Arbeitsbedingte Fehlzeiten zur monetären Nutzenbestimmung präventiver Ergonomiemaßnahmen.....	107
6.3.1	Allgemeine Betrachtung von Fehlzeiten.....	107
6.3.2	Vorgehensweise und Studienaufbau.....	108
6.3.3	Ergebnisse der empirischen Studie.....	111
6.3.4	Diskussion der Ergebnisse im Kontext einer monetären Nutzenbetrachtung.....	114
6.4	Fehler- und Nacharbeitsanalyse zur monetären Nutzenbestimmung präventiver Ergonomiemaßnahmen.....	117

6.4.1	Ergonomie als ein Einflussfaktor auf die Produktionsqualität	117
6.4.2	Vorgehensweise und Studienaufbau	118
6.4.3	Auswertung und Ergebnisdiskussion.....	120
6.5	Zusammenfassende Bewertung präventiver Ergonomiemaßnahmen in der frühen Phase des PEP	122
6.5.1	Einzelfallbezogene Maßnahmenbewertung zur Entscheidungsunterstützung.....	122
6.5.2	Allgemeine Maßnahmenbewertung und Handlungsempfehlung zur ganzheitlichen Ergonomie-Optimierung	128
7	Dokumentation und Wirksamkeitskontrolle	132
8	Schlussbetrachtung	137
8.1	Zusammenfassung	137
8.2	Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn und Anwendung in der Praxis	138
8.3	Ausblick.....	139
9	Literaturverzeichnis.....	141
10	Anhang	154

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Promotionsschrift.....	7
Abbildung 2: Modell des Arbeitssystems.....	10
Abbildung 3: Nutzenkette des Qualitätsmanagements.....	13
Abbildung 4: Zehnerregel der Fehlerkostenentwicklung	14
Abbildung 5: PDCA-Methode nach Deming.....	15
Abbildung 6: Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie	16
Abbildung 7: Modell des Arbeitsschutzmanagementsystems BS OHSAS 18001:2007	18
Abbildung 8: Prozessbausteine des SALUCONTROL	21
Abbildung 9: Auszug allgemeine Übersicht belastungsrelevante Planungsparameter im PEP.....	25
Abbildung 10: Auditergebnisse eines Beispielunternehmens.....	26
Abbildung 11: Einstufungsgrenzen des EAWS	29
Abbildung 12: Ergonomie-Meilensteine im Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG	31
Abbildung 13: „Ergo-Checkliste“ als Grob-Screening für Teilprozesse der Montage in der frühen Phase des Produktentstehungsprozess.....	33
Abbildung 14: Simulation der Montage Kreuzgelenk mit dem digitalen Werkzeug ema	34
Abbildung 15: Darstellung eines Maßnahmenvorschlages aus einem 3P-Workshop in Form eines Schmetterlingsblattes.....	35
Abbildung 16: Ausschnitt aus einer Ergonomie-Landkarte mit Arbeitsplatzbewertungen und Ampelschemata	36
Abbildung 17: Schematische Darstellung der Problemstellungen für ergonomische Risikobewertung in der frühen Phase des PEP	41
Abbildung 18: Informationsgehalt und Dokumentationslandschaft im Ergonomieprozess der Volkswagen AG	44
Abbildung 19: Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses	47
Abbildung 20: Prozessmodell der Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des PEP	52
Abbildung 21: Verantwortlichkeitsmatrix für den Ergonomie-Absicherungs-Prozess in der frühen Phase des PEP	54
Abbildung 22: Schematische Erzeugnisgliederung.....	57
Abbildung 23: Gliederung der Montageprozesse.....	59
Abbildung 24: Übersicht der funktionalen Anforderungen.....	60
Abbildung 25: Zusammenfassung der nicht funktionalen Anforderungen	61

Abbildung 26: Übersicht einer einheitlichen Bauteilbewertungsebene zwischen Produkt- und Fertigungssicht eines Automobilunternehmens.....	63
Abbildung 27: Ausschnitt aus den Arbeitsgängen Montage Verkleidung B-Säule	65
Abbildung 28: Berechnung des Belastungswertes aus der Körperhaltung und Zeitdauer	70
Abbildung 29: Elf mögliche Grundkörperhaltungen für eine EPI-Bewertung	71
Abbildung 30: Belastungsbewertungsschema asymmetrische Körperhaltung.....	71
Abbildung 31: Ableitung der Ausführungsbedingungen für Ganzkörperkräfte anhand der Grundkörperhaltungen	72
Abbildung 32: Belastungsbewertungsschema für Ganzkörperkräfte.....	73
Abbildung 33: Belastungsbewertungsschema für Fingerkräfte	74
Abbildung 34: Eingangsgrößen und Belastungsbewertungsschema für Lastenhandhabung.....	75
Abbildung 35: Funktion der Risikogrenzen einer Bauteilbewertung.....	79
Abbildung 36: Oberfläche der Startseite einer EPI-Bewertung.....	82
Abbildung 37: Oberfläche zur Belastungseinstufung einer EPI-Bewertung	83
Abbildung 38: Ergebnisübersicht der EPI-Bewertung im Softwareprototyp.....	84
Abbildung 39: Schematische Darstellung einer Vorgehensweise zur Überprüfung verschiedener Belastungssituationen vom Bauteil am späteren Arbeitsplatz	89
Abbildung 40: Schematische Darstellung der Evaluierungsstudien	91
Abbildung 41: Ursachenbezogene Darstellung produkt- und prozessbezogener Ergonomiemaßnahmen.....	100
Abbildung 42: Exemplarische Darstellung einer Omega-Klammer (links) und eines Schonhammers (rechts)	101
Abbildung 43: Klassische Investitionsrechnungsverfahren	103
Abbildung 44: Offene und verdeckte Kosten unzureichender ergonomischer Arbeitsgestaltung	106
Abbildung 45: Graphische Darstellung des Zusammenhangs ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung und arbeitsbedingter Au-Tage	112
Abbildung 46: Darstellung der Belastungsreduzierung mit Hilfe des Einsatzes einer elektrischen Schellenzange	116
Abbildung 47: Maßnahme zur Belastungsreduzierung durch Veränderung der Lage des Motorsteuergerätes	123
Abbildung 48: Vorschlag zur Belastungsreduzierung durch den Einsatz von Klammern und Entfall von Verschraubungen.....	124

Abbildung 49: Maßnahmen zur Belastungsreduzierung während der
Federbandschellenmontage..... 126

Abbildung 50: Mögliche Dokumentation einer Wirksamkeitskontrolle der Ergonomie-
Absicherung mit Hilfe von Steuerungskennzahlen 135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Strategien und Ziele der Arbeitsgestaltung	11
Tabelle 2: Elemente des AMS nach BS OHSAS 18001:2007	19
Tabelle 3: Bewertungsergebnisse eines Beispielunternehmens durch SALUCONTROL....	22
Tabelle 4: Übersicht einer Auswahl von Bewertungsverfahren physiologischer & anthropometrischer Belastungen	28
Tabelle 5: Ablauf Montage Verkleidung B-Säule mit Prozesszuordnung	66
Tabelle 6: Zeitliche und biomechanische Eingangsgrößen für Montage Verkleidung B- Säule	68
Tabelle 7: Gesamtergebnis Ergonomie-Potential-Index Stirnwanddämpfung.....	77
Tabelle 8: Gesamtergebnis Ergonomie-Potential-Index Verkleidung B-Säule	77
Tabelle 9: Risikoeinstufungen und Interpretation der ergonomischen Güte von Bauteilen	79
Tabelle 10: Ergebnisdokumentation der Bauteilbewertungen des SET A1.....	91
Tabelle 11: Zusammenfassung der Risikovorhersagen und Prognosevalidität beider Stichproben	92
Tabelle 12: Variante 1 Belastungspunktunterschiede zwischen Bauteilbewertungen und Arbeitsplätzen	93
Tabelle 13: Gesamtvergleich der Belastungspunkteunterschiede zwischen allen Varianten der Variabilität.....	94
Tabelle 14: Übersicht der bewertbaren Kostenarten präventiver Ergonomiemaßnahmen	105
Tabelle 15: Monetär bewertbare Nutzenpotentiale präventiver Ergonomiemaßnahmen	107
Tabelle 16: Ergebnistabelle der Zusammenhangsüberprüfung von ausgesetzter Belastungsdauer zu arbeitsbedingten Au-Tagen	113
Tabelle 17: Rentabilitätsberechnung durch Anwendung des Ergonomie-Faktors am Beispiel der Schellenzange.....	116
Tabelle 18: Exemplarischer Fehlerbericht mit Fehlerbezeichnung, Zuordnung und Anzahl.....	119
Tabelle 19: Ergebnisdarstellung der belastungsbezogenen Fehlerauswertung.....	121
Tabelle 20: Aufwand-Nutzen-Betrachtung der Ergonomiemaßnahmen zur Belastungsreduzierung am Beispiel der Schellenmontage.....	127
Tabelle 21: Übersicht Berechnung Ergonomie-Potential-Index Verkleidung B-Säule.....	158
Tabelle 22: Übersicht Berechnung Ergonomie-Potential-Index Stirnwanddämpfung.....	159

Tabelle 23: Teil 1 der Ergebnisdokumentation aus der Studie I im Passat der 8. Generation	161
Tabelle 24: Teil 2 der Ergebnisdokumentation aus der Studie I im Passat der 8. Generation	162
Tabelle 25: Teil 1 der Ergebnisdokumentation aus der Studie II im Touran der 2. Generation	163
Tabelle 26: Teil 2 der Ergebnisdokumentation aus der Studie II im Touran der 2. Generation	164
Tabelle 27: Teil 3 der Ergebnisdokumentation aus der Studie II im Touran der 2. Generation	165
Tabelle 28: Risikovorhersagen und Prognosevalidität der Studie I.....	165
Tabelle 29: Risikovorhersagen und Prognosevalidität der Studie II	165
Tabelle 30: Variante 2 - Ergebnisse der Belastungspunkteunterschiede zwischen Bauteilbewertungen und Arbeitsplätzen.....	165
Tabelle 31: Variante 3 - Ergebnisse der Belastungspunkteunterschiede zwischen Bauteilbewertungen und Arbeitsplätzen.....	166
Tabelle 32: Ergebnisse der Befragung zum Zusammenhang von arbeitsbedingten Au- Tagen und physischen Belastungsbewertungen	168
Tabelle 33: Vergleichende Übersicht der Arbeitsunfähigkeitstage im gesamten produzierenden Gewerbe	168

Abkürzungsverzeichnis

3P	Production Preparation Process
AAWS	Automotive Assembly Worksheet
AKH	Asymmetrische Körperhaltung
AMS	Arbeitsschutzmanagementsystem
ap	Arbeitsplan
Ap.	Arbeitsplatz
ApB.	Arbeitsplatzbewertung
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
Au-Tag	Arbeitsunfähigkeitstag
BGM	Betriebliche Gesundheitsmanagementsystem
BM	Betriebsmittel
BP	Belastungspunkte
BS-OHSAS	British Standard - Occupational Health Safety Assessment Series
BT /Bt.	Bauteil
CAD	Computer-Aided Design
CE	Concurrent Engineering
CUELA	Computer unterstützende Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems
DIN	Deutsches Institut für Normung
EAWS	Ergonomic Assessment Worksheet
EHPV	Engineered Hours per Vehicle
ema	Editor menschlicher Arbeit
EMG	Elektromyographie
EN	Europäische Norm
EP	Extrapunkt
EPI	Ergonomie-Potential-Index
ERI	Ergonomie-Risiko-Index
FA	Fertigungsabschnitt
FIS-eQS	Fertigungs-, Informations- und Steuerungssystem der elektronischen Qualitätssicherung

FK	Fingerkraft
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
FPK	Fertigungspersonalkosten
F-Zeit	Fertigungszeit
GES	Ganzheitliche Ergonomiestrategie
GK	Ganzkörperkraft
IAD-BkB	Institut für Arbeitswissenschaft – Bewertung körperlicher Belastung
ILO-OSH	International Labour Organisation - Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems
IMD	Internationales MTM-Direktorat
ISO	International Organisation for Standardization
KH	Körperhaltung
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KPS	Konzernproduktionssystem
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KWA	Kosten-Wirksamkeits-Analyse
LASI	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
LMM	Leitmerkmalmethode
LRC	Linear Responsibility Chart
M	Meilenstein
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ML	Montagelinie
MQB	Modularer Querbaukasten
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
MSE	Muskel-Skelett-Erkrankung
MSG	Motorsteuergerät
MTM	Methods-Time Measurement
MTO	Mensch-Technik-Organisation
NAV	Nutzen-Aufwand-Verhältnis
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
OCRA	Occupational Repetitive Actions
OHRIS	Occupational Health- and Risk-Managementsystem
OWAS	Ovako Working Posture Assessment System

PEP	Produktentstehungsprozess
PM	Projektmanagement
Prokon	Produktionsgerechte Konstruktion
QM	Qualitätsmanagement
RAM	Responsibility Assignment Matrix
ROI	Return on Investment
RULA	Rapid Upper Limb Assessment
SET	Simultaneous Engineering Team
SKH	Symmetrische Körperhaltung
SOP	Start of Production
TEM	Total-Ergonomics-Management
TPS	Toyota Produktionssystem
TQM	Total Quality Management
UAS	Universelles Analysiersystem
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDI	Verein deutscher Ingenieur
VW	Volkswagen
WHO	World Health Organization
ZAN	Zeitarbeitnehmer
ZHH	Zusammenhangshypothese
ZSB	Zusammenbauteil

1 Einleitung

„Die Technik entwickelt sich immer vom Primitiven über das Komplizierte zum Einfachen.“

(Antoine de Saint-Exupéry, 1900 - 1944)

1.1 Motivation

„Müssen wir da etwas machen?“, „Was bringt uns das ergonomisch?“ oder „Was sparen wir dadurch?“ (diverse Entwickler, Planer und Manager in Planungsgesprächen, 2013 - 2015) erscheinen als *primitive* Fragestellungen, die zu Beginn und im Verlauf dieser Forschungsarbeit wiederkehrend gestellt wurden. Unternehmen der Automobil- und Zuliefererindustrie messen der Ergonomie bereits heute an vielen Zeitpunkten des Produktentstehungsprozesses (PEP) große Bedeutung bei. Dieser Prozess beschreibt dabei alle notwendigen Teilschritte von der Produktidee bis zur abschließenden Herstellung des Produktes in der Serie. Mit dem Ziel der Wettbewerbsfähigkeit sind Unternehmen bestrebt, diese Entwicklungszyklen neuer Fahrzeuge weiter zu verkürzen (vgl. Eigner und Stelzer, 2009, S. 1). Eine daraus resultierende Beschleunigung der Produktion führt notwendigerweise zu kürzeren Taktzeiten und vermehrter Schichtarbeit (vgl. Weichel et al., 2009, S. 70 ff.). Diese wiederum ziehen eine Erhöhung der physischen und psychischen Belastungen am Arbeitsplatz der Fließbandfertigung nach sich. Im Zusammenspiel von den Leistungsanforderungen der modernen Arbeitswelt und dem stetig steigenden Durchschnittsalter der Bevölkerung rückt die Betrachtung dieser Konsequenzen weiter in den Vordergrund (vgl. Liersch, 2014, S. 562). Als Beispiel hält der Verband der Rentenversicherungsträger die verminderte Arbeitsfähigkeit bzw. Berufsunfähigkeit als einen Hauptgrund für das frühzeitige Ausscheiden von mehr als 1,5 Mio. Arbeitnehmern fest (vgl. Dicke, 2008, S. 3). Eine Verlängerung der Lebensdauer hat in diesem Prozess nicht auch automatisch zu einer Verlängerung des Arbeitslebens geführt (vgl. Ilmarinen, 2005, S. 18).

Die Gesamtkosten von Fehltagen durch Arbeitsunfähigkeit betragen am Beispiel der Volkswagen AG im Jahr 2012 zirka 74 Mio. Euro (vgl. Neubert, 2013, S. 30). Die Motivation der Unternehmen diesen bekannten Herausforderungen entgegen zu wirken, wird durch Forderungen aus gesetzlichen Vorgaben weiter verstärkt. So sind Unternehmen verpflichtet, nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) §§ 3 bis 6 zum Erhalt der Arbeitsfähigkeit Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz zu bewerten und Schutzmaßnahmen für menschengerechte Arbeit einzuleiten. Konkret fordern die EU Rahmen-Richtlinie 89/391/EWG und die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG von Konstrukteuren, Maschinenherstellern und Betreibern das Durchführen von ergonomischen Risikoanalysen (vgl. Rast und Finsterbusch, 2010, S. 134).

Studien von Bullinger und Schmauder zeigen jedoch, dass Maßnahmen zur Arbeitsgestaltung trotz einer höheren Wirksamkeit und Nachhaltigkeit in ihrer Anzahl im Vergleich zu verhaltenspräventiven Maßnahmen deutlich geringer vertreten sind (vgl. Bullinger und Schmauder, 1997, S. 501). In der Automobilproduktion ist die Einflussnahme auf die Gestaltung der Arbeit vielseitig und reicht von der Anpassung der einzelnen zu fügenden Bauteile über die Hilfsmittel im Verbauprozess an der Montagelinie bis zur Organisation der jeweiligen Mitarbeitergruppen. Gleichzeitig resultiert aus dieser Flexibilität der Bedarf zur Kenntnis, wie und zu welchem Zeitpunkt ergonomische Risiken in der Arbeitsgestaltung optimal abzusichern sind (siehe Frage: „Müssen wir da etwas machen?“). Die Konstruktion der Bauteile bestimmt beispielsweise die Art und Anzahl der Befestigungselemente mit welchen diese später verbaut werden müssen. Daraus wiederum resultieren die verschiedenen zum Verbau benötigten Kraftaufwändungen. In der Montage der Automobilproduktion in Wolfsburg beispielsweise konnten bis zu 2230 Kraftfälle identifiziert werden (vgl. Walther, 2015, S. 71). Auch die Studie von Schlick, Bruder und Luczak (2010, S. 1141) bestätigt mit 28 % an Verbesserungsvorschlägen in der Produktgestaltung das Potential einer frühzeitigen Einflussnahme auf die Ergonomie. Eine mögliche Ursache besteht in dem Fehlen von Entscheidungsgrundlagen, welche valide Aussagen auf die Frage nach den konstruktivbedingten ergonomischen Belastungen ermöglichen (siehe Frage: „Was bringt uns das ergonomisch?“). Der Einsatz heutiger etablierter 3-Zonen-Bewertungssysteme (Ampelschemata) nach DIN-EN 614-1 (2009, S. 22 ff.) minimiert dabei die Komplexität der Zusammenhänge und reduziert den Bewertungsspielraum bei Konstruktionsalternativen.

Eine weitere wichtige Eingangsgröße bei Entscheidungen zur Gestaltungsänderung stellt die Aufwand-Nutzen-Betrachtung dar. Durch die Untersuchung des monetären Nutzens („Was sparen wir dadurch?“) stellt ein Unternehmen seinen wirtschaftlichen Erfolg sicher. Das Abwägen vom Mitteleinsatz (= Kosten) gegenüber den Zielerträgen (= Nutzen) entspricht eben auch für gesundheitsfördernde Maßnahmen dem Grundsatz einer ökonomischen Entscheidungsfindung (vgl. Zangemeister, 1994, S. 63). So können beispielsweise nicht erkrankte Mitarbeiter oder reduzierte Produktionsfehler einen monetär messbaren Nutzen darstellen. Doch aus Gründen der Logik ist es nicht möglich, den Nutzen eines noch nicht eingetretenen Ereignisses zu messen oder gar mit der Auswirkung einer Maßnahme in Verbindung zu bringen (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 9). Daraus folgt schnell fehlende Akzeptanz oder Verständnis bei Mitarbeitern in einem Unternehmen, die mit der Frage zu gesundheitsfördernden Maßnahmen konfrontiert werden. Die Angst vor der Gefahr eines resultierenden Risikos aus nicht getroffenen Entscheidungen und Investitionen für den Gesundheitsschutz lässt sich ebenfalls auf die Frage „Müssen wir da etwas machen?“ projizieren.

„Nobody ever gets credit for fixing problems that never happened.“ (Repenning und Sterman, 2001, S. 81)

Neben dem Verständnis von Prinzipien präventiver Intervention sind nach der Studie des *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) vielmehr noch die erfolgreiche Umsetzung und der Mentalitätswandel in Unternehmen für die Beantwortung der Frage notwendig (vgl. Repenning und Sterman, 2001, S. 65 ff.).

Berücksichtigt man die eben genannten Herausforderungen, wird deutlich, dass neue Verfahren und Erkenntnisse über ergonomische Wirkzusammenhänge von der Produktgestaltung bis zur Montagelinie notwendig sind, um Ergonomie frühzeitig und ganzheitlich absichern zu können.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Die eben erläuterten Sachverhalte zeigen die vielschichtigen Zusammenhänge des Themas *Ergonomie-Absicherung* in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses, die sich für Entwickler, Planer und Führungskräfte auf individuelle Weise *kompliziert* darstellen. In Anlehnung an die Erkenntnis von Antoine de Saint-Exupéry liegt das übergeordnete Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit demnach darin, Expertenwissen über alle relevanten Zusammenhänge zu erarbeiten sowie daraus vorhersagbare Ergebnisse ableiten zu können. Im Anschluss sollen sich für alle im Prozess Beteiligten die Sachverhalte als *einfach* und ohne Kontroversen darstellen (vgl. Koubek und Pölz, 2014, S. 243). Die Lösungsansätze dieser Arbeit sollen dabei explizit die zuvor beschriebenen Hürden der Bewertbarkeit physischer Belastung sowie die Aufwand-Nutzen-Betrachtung ergonomiebezogener Interventionen in der frühen Produkt- und Produktionsentwicklung überwinden.

In den Bereichen der Qualitäts- und Baubarkeitsabsicherung haben sich bereits verschiedene Vorgehensweisen und Managementsysteme etabliert. Aus diesem Grund erfolgt im ersten Schritt dieser Arbeit eine Untersuchung der Übertragbarkeit dieser Erkenntnisse auf die Ergonomie-Absicherung. Daraus resultierend lautet die erste Forschungsfrage dieser Arbeit:

Forschungsfrage 1

Wie sollte ein Managementsystem gestaltet sein, dass es dem Verantwortlichen ermöglicht, Ergonomie in der frühen Produktentstehungsphase abzusichern?

Für die Beantwortung dieser Frage ist die Identifizierung von Wissensdefiziten notwendig, welche speziell eine Integration der *Ergonomie-Absicherung* in den bestehenden Produktentstehungsprozess eines Automobilherstellers betrachtet. Aufgrund der komplexen Möglichkeiten das Gesamtsystem der Automobilproduktion zu beeinflussen, sollen Optimierungen und Handlungsempfehlungen für konkrete Beispiele erarbeitet werden. Eine Aufwand-Nutzen-Betrachtung aus unternehmerischer und arbeitswissenschaftlicher Sicht verfolgt dabei das Ziel der Steigerung der Effektivität und Effizienz von Maßnahmen zur ergonomischen Arbeitssystemgestaltung.

Die Einleitung hat dabei gezeigt, dass ein konkreter Handlungsbedarf für die Nutzenbetrachtung der Ergonomie in der frühen Phase des PEP besteht. Im Speziellen existiert aktuell keine Methodik, die durch die Bewertung belastungsrelevanter Faktoren auf Bauteilebene einen solchen Ergonomie-Nutzen ableiten kann. Hierfür wird eine Analyse der Defizite aus Sicht der Wissenschaft und Praxis über ergonomischen Bewertungsverfahren in der zweiten Forschungsfrage fokussiert:

Forschungsfrage 2

Wie sollte ein Bewertungsverfahren ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene gestaltet sein, dass valide Informationen aus der Arbeitsplatzgestaltung in die frühe Phase der Produktgestaltung transportiert.

Die identifizierten Anforderungen sollen zusätzlich mit existierenden Gestaltungsvorgaben der Produktentwicklung abgeglichen und an empirischen Beispielen evaluiert werden. Um auch in diesem Teil der Arbeit die Praktikabilität einer anwendungsorientierten Forschung im Fokus zu behalten, sind wiederverwendbare Ergebnisse für nachfolgende Projekte von hoher Bedeutung. Neben den ergonomischen Nutzenaspekten ist für eine ganzheitliche Aufwand-Nutzen-Betrachtung ebenfalls die Analyse wirtschaftlicher Einflussgrößen notwendig. Die Betrachtung des monetären, nicht monetären, direkten und indirekten Nutzens von Ergonomiemaßnahmen wird dafür in der dritten Forschungsfrage näher beleuchtet:

Forschungsfrage 3

In welcher Form kann eine Aufwand-Nutzen-Betrachtung für ergonomische Maßnahmen in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses erfolgen und welche entscheidungsrelevanten Kennzahlen können dadurch prognostiziert werden?

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorgestellten Problem- und Zielstellungen sind aus dem Planungsgeschäft der Automobilproduktion motiviert und besitzen dadurch einen starken Praxisbezug. In diesem Kontext ist eine Abgrenzung der wissenschaftlichen Vorgehensweisen von angewandten Wissenschaften im Vergleich zu Formal- und Realwissenschaften herauszustellen. Während diese Grundlagenwissenschaften ihren Anfang aus Problemen der Theoriezusammenhänge stellen, beginnt der Forschungsprozess angewandter Wissenschaften mit Problemen aus der Praxis (vgl. Ulrich, 1984, S. 172 ff.; Popper, 2005, S. XIX ff.; Meyer, 2007, S. 11). Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit im Rahmen der angewandten Wissenschaften ist es, menschliche Handlungsalternativen mit dem Zweck der Gestaltung technischer und sozialer Systeme zu analysieren (vgl. Ulrich und Hill, 1976, S. 305). Abgeleitet von diesen Prämissen entstand am Anfang des 20. Jahrhunderts in der Industrie sowie im speziellen der Produktion die als *Taylorismus* oder *Scientific Management* bezeichnete Vorgehensweise, durch wissenschaftlich fundierte Analysen und Planungen ein hohes Optimierungspotential in Unternehmen zu erschließen (vgl. Westkämper, 2009, S. 28). Die daraus für diese Arbeit abgeleitete Vorgehensweise ist in Abbildung 1 (S. 7) dargestellt.

Wissenschaftstheoretische Grundlagen – Ausgehend von den in der Einleitung beschriebenen Herausforderungen und Zielstellungen behandelt das zweite Kapitel Grundlagen und Definitionen zentraler Begriffe der Arbeitsgestaltung, der Risikoabsicherung sowie des Arbeitsschutz- und Gesundheitsmanagements. Zur Detaillierung des konkreten Handlungsbedarfes sind im ersten Schritt des dritten Kapitels, der Bezugsrahmen und die Bedeutung ergonomischer Absicherung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses zu klären. Darauf aufbauend erschließt die Analyse existierender Modelle und Systeme die theoriebasierte Ist-Situation. Im Anschluss daran folgt die Beschreibung des Kenntnisstandes und Umsetzungsgrades anhand des Beispielunternehmens der Volkswagen AG. Diese Ergebnisse fließen anschließend in eine Defizitanalyse aus Theorie und Praxis ein und fassen die Themenschwerpunkte für den Hauptteil dieser Dissertation zusammen.

Lösungskonzept – Kapitel 4 dokumentiert die Beschreibung eines neuen Managementansatzes zur ganzheitlichen Risikoabsicherung der Ergonomie im Produktentstehungsprozess. Neben der modularen Aufarbeitung der Prozessschritte und Defizite nimmt die Bewertung des ergonomischen Risikos auf Bauteilebene in der frühen Produktentwicklung einen weiteren Schwerpunkt ein. Ein wichtiger Bestandteil des fünften Kapitels ist die Anforderungsanalyse und anschließende Umsetzung in ein neues Verfahren zur Bewertung ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene. Um die methodischen Annahmen hinreichend zu validieren, erfolgt außerdem eine

Evaluierung anhand von zwei aktuellen Fahrzeugprojekte. Unterstützend wurde dafür eine Implementierung des Verfahrens in ein makrobasiertes Excel-Tool realisiert.

Zur Verbesserung der Arbeitsgestaltung ist es für Unternehmen ein weiterer wichtiger Schritt, neben der Identifizierung und Einstufung von Handlungsbedarfen geeignete Lösungen sowie Maßnahmen abzuleiten. Mit diesem Ziel erfolgt in Kapitel 6 die Betrachtung verschiedener Kriterien zur Bewertung von Ergonomiemaßnahmen. Eine Untersuchung des Zusammenhanges von betriebswirtschaftlichen Faktoren und Ergonomie wird auf Basis etablierter Investitionsrechnungsverfahren (z. B. ROI) begonnen und mit der Entwicklung einer daraus abgeleiteten Aufwand-Nutzen-Betrachtung für die frühe Phase erweitert. Im Fokus stehen dabei arbeitsbedingte Fehlzeiten und Nacharbeit. Für die Sicherstellung des Erfolges der Ergonomie-Absicherung wird in Kapitel 7 die Anwendbarkeit von Wirksamkeitskontrollen durch Reifegrad- und Kennzahlen-systematiken analysiert.

Schlussbetrachtung – Das letzte Kapitel dieser Arbeit schließt mit einem Fazit des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnes sowie der kritischen Diskussion über zukünftige Handlungsfelder und weiterer Forschungsarbeiten.

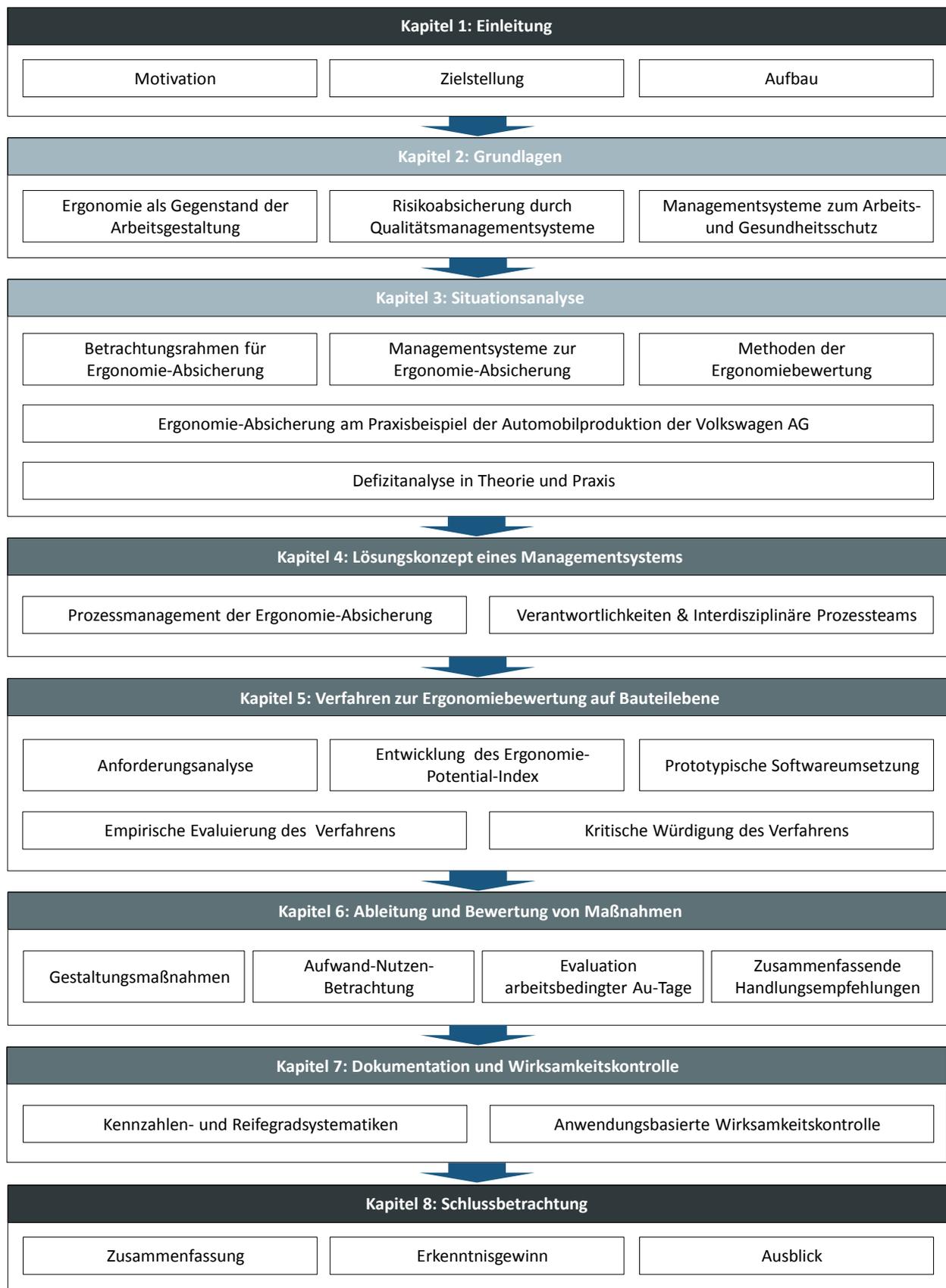


Abbildung 1: Aufbau der Promotionsschrift

2 Grundlagen

2.1 Bedeutung der Ergonomie als Gegenstand der Arbeitsgestaltung in Industrieunternehmen

Für das Verständnis der in dieser Arbeit untersuchten und erarbeiteten Inhalte ist die Beschreibung sowie Definition einiger zentraler Begriffe notwendig. Das Wortkonstrukt Ergonomie-Absicherung aus dem Arbeitstitel dieser Promotionsschrift wird fortlaufend als Synonym für die enge Verzahnung der Themen ergonomischer Arbeitsgestaltung und Absicherung von Risiken verwendet. Ein Risiko wird laut DIN EN ISO 9000 (2014, S. 31) als „Auswirkung von Ungewissheit auf ein erwartetes Ergebnis“ definiert und die Auswirkungen sprich Folgen sind eine Abweichung vom Erwarteten in positiver oder negativer Hinsicht. Standardisiert nach DIN EN ISO 9000 verfolgt ein Unternehmen mit einer Risikoabsicherung das Ziel, qualitätsbezogene Aspekte zu verbessern. Die Anwendung von kunden- und prozessorientierten Ansätzen zur kontinuierlichen Verbesserung hat dabei schnell für den Erfolg des sogenannten *Qualitätsmanagements* (siehe Kapitel 2.2) in Unternehmen gesorgt. Aus diesem Grund haben sich in der Literatur bereits mehrere Studien mit der Überprüfung und Übertragbarkeit dieser Erkenntnisse auf das Fachgebiet der Ergonomie beschäftigt (siehe z. B. Eklund, 1999; Eklund, 2001; Abrahamsson, 2000). In manuellen Fertigungen mit getakteten Zyklen besteht ein direkter Zusammenhang von Zeitdruck und körperlicher Belastung zur Ergebnisqualität (vgl. Lin, Drury und Kim, 2001, S. 381). Wie die Analysen von Eklund (1999, S. 155) ebenfalls zeigen, lässt sich im Gefälle von guter bis schlechter Körperhaltung eine zehnmal höhere Fehlerrate in der Produktion vorfinden.

Darüber hinaus kann bei der Verbindung beider Themen auch ein gegenseitiger Nutzen entstehen. Ergonomie profitiert somit durch die Entwicklung integrierender Methoden für Analysen und Gestaltungen als auch von einer Vernetzung zum strategischen Management (vgl. Eklund, 2001, S. 34). Mit dem Aspekt der Reduzierung des arbeitsbedingten Krankenstandes geht für Unternehmen auch ein finanzieller Schwerpunkt in die Betrachtung der Ergonomie-Absicherung ein (vgl. Bullinger und Schmauer, 1997, S. 499). Die aus der Anwendung formulierten Fragestellungen (Kapitel 1.1, S. 1) lassen vermuten, dass die gesetzlichen Forderungen nach §§ 4 und 5 des Arbeitsschutzgesetzes für gefähigungsarme Gestaltung von Maschinen und Arbeitsmitteln in nicht ausreichendem Maße das Potential ergonomischer Arbeitsgestaltung ausschöpfen (vgl. ArbSchG, 1996, S. 3). Um die existierenden Erkenntnisse der Literatur in den Kontext der Zielstellungen dieser Arbeit einer frühzeitigen Ergonomie-Absicherung zu überführen, sollen nachfolgend die Grundlagen beider Themengebiete erörtert werden.

Ergonomie, aus dem griechischen *ergon* (Arbeit) und *nomos* (Gesetz) als Kunstwort zusammengesetzt, wurde von Jastrzebowski im Jahr 1857 zum ersten Mal als Synonym für Arbeitswissenschaft verwendet (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 949). Während aktuellere Darstellungen Ergonomie als Teildisziplin der Arbeitswissenschaft sehen (vgl. Laurig, 1982, S. 10), bestehen die Gemeinsamkeiten in den Definitionen im „Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems [...]“ (Norm-DIN EN 614-1, 2009, S. 6) der Arbeitsgestaltung. Die Gestaltung von Arbeitssystemen hat unter Verwendung von Prinzipien und Methoden das Ziel der Steigerung des Wohlbefindens des Menschen und der Leistung des Gesamtsystems (vgl. Norm-DIN EN 614-1, 2009, S. 6). Demnach stellt der zentrale Gesichtspunkt dieser Wissenschaft der effektive und effiziente Einsatz menschlicher Arbeit unter humanitären, sozialen und arbeitsrechtlichen Aspekten dar (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 629). Ergonomie als Bestandteil der Forschung trägt zur Steigerung des Wohlbefindens und zum Erhalt der Gesundheit des Menschen bei. Als Gesundheit wird laut Definition der *World Health Organization* (WHO) eben nicht allein das Fehlen von Krankheit, sondern ein „Zustand des vollkommenen physischen, psychischen und sozialen Wohlbefindens [...]“ (Brockhaus, 1989, S. 439) verstanden. Dieses über die Belastungsforschung hinausgehende Konzept der Gesundheitserhaltung und -förderung wird auch als Salutogenese bezeichnet (vgl. Bullinger und Schmauder, 1997, S. 500). Es sollte dabei in Untersuchungen festgestellt werden, weshalb einige Menschen im Vergleich zu anderen gesund geblieben sind, obwohl sie unter den gleichen Risikofaktoren und Belastungseinwirkungen standen (vgl. Hörmann, 2007, S. 1101). Das Verstehen und Entwickeln der gesundheitsfördernden Maßnahmen ist dabei speziell personenbezogen und reicht von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen bis zur Analyse von Leistungsprofilen (vgl. Hilla et al., 2007, S. 598). Aus diesem Grund ist die Ergonomie in vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen primär eine Aufgabe des Gesundheitsschutzes, während in größeren Unternehmen und Konzernen aufgrund der Größe des Personals und Diversität der Arbeitsplätze, eine individuelle Bewältigung in den jeweiligen Bereichen notwendig ist.

In dem für diese Arbeit festgelegten Untersuchungsrahmen der Automobilindustrie und im speziellen der Volkswagen AG als Betrachtungsbeispiel betrug die Mitarbeiteranzahl im Gesamtkonzern zirka 600.000 im Jahr 2015 (Volkswagen AG, 2015d, S. 6). Auf die eben beschriebene Detaillierungsebene der Gesundheitsförderung für welche es auf interindividuelle Unterschiede ankommt, wird in dieser Forschungsarbeit partiell Bezug genommen, aber primär Bezug auf eine größere Abstrahierungsebene genommen. Für diesen Fokus ist speziell die Betrachtungsweise der „klassischen“ Ergonomie relevant, welche als zentralen Gegenstand die Analyse der Belas-

tung durch Arbeitssysteme beinhaltet (vgl. Bubb, 2007, S. 496). Die Funktionsweise eines Arbeitssystems lässt sich in grober Form als das Wandeln einer Aufgabe in ein Ergebnis über das Mensch-Maschine-Systeme unter bestimmten Randbedingungen verstehen.

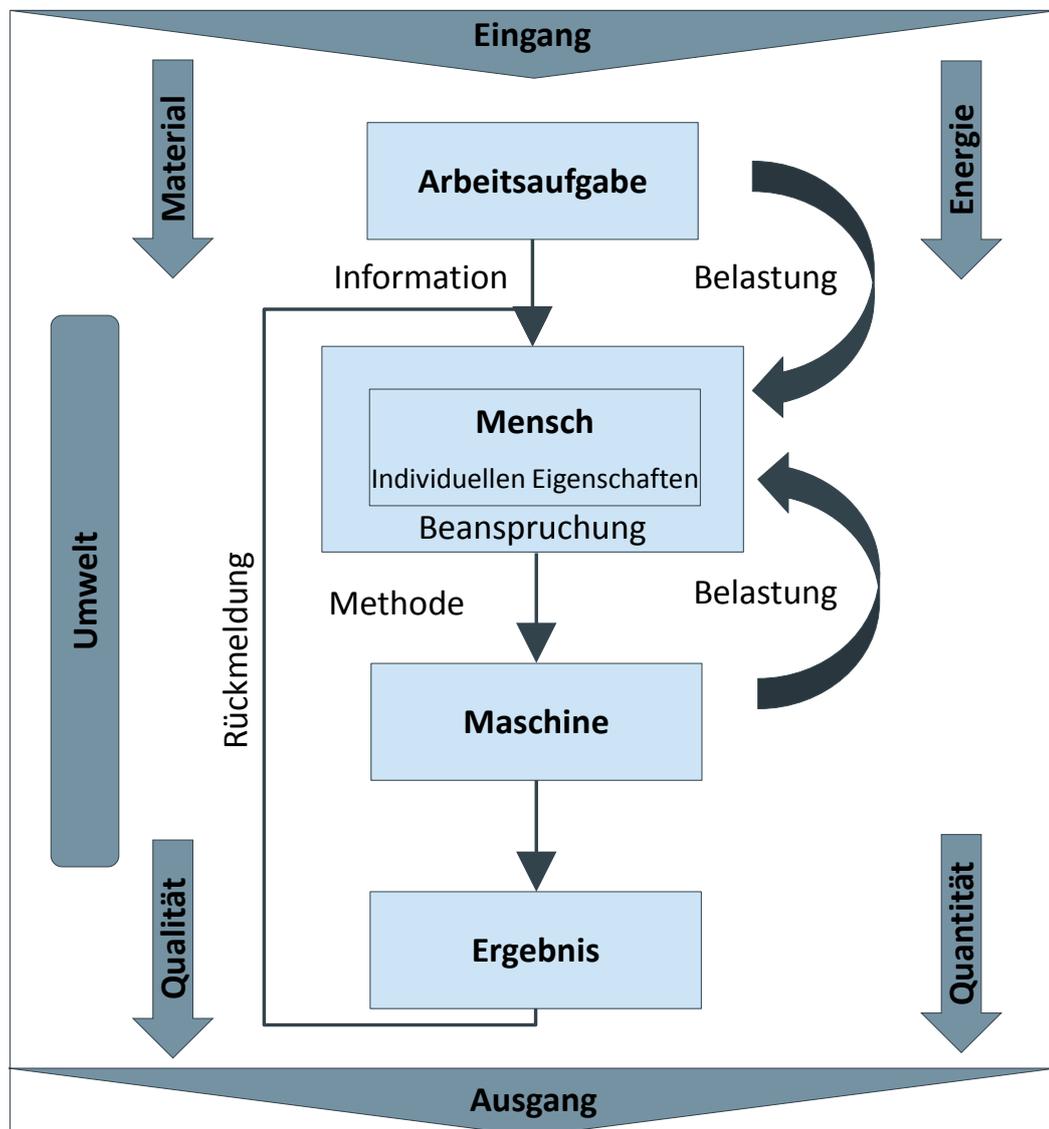


Abbildung 2: Modell des Arbeitssystems (basiert auf Laurig, 1982, S.27; Bubb, 2007, S. 496)

Dieser systematische Ansatz kann über ein Modell verdeutlicht werden, welches zum einen die reine Verarbeitung von Eingangselementen in ein gewünschtes Ergebnis darstellt und zum anderen die Wirkzusammenhänge des Menschen mit seiner Arbeitsumgebung abbildet (siehe Abbildung 2). In einem Arbeitssystem wirken auf jeden Menschen aufgrund der Arbeitsaufgabe, Maschinen- und Umwelteinflüsse die gleichen Belastungen, auch genannt Arbeitsbelastungen (vgl. DIN EN ISO 6385, S. 6). Doch aufgrund der individuellen Eigenschaften, die jeder Mensch besitzt, erfährt jeder unterschiedliche Beanspruchungen (vgl. Bubb, 2007, S. 496). Somit kann man als Ursache der Beanspruchung die Gesamtheit aller aus der Arbeit direkt oder indirekt auf den Men-

schen wirkenden Belastungen verstehen. (vgl. Laurig, 1982, S. 33). Dieses sogenannte Belastungs-Beanspruchungskonzept bildet die Grundform einer Ergonomieanalyse. Eine Analyse des Arbeitssystems erfolgt dabei im Hinblick auf die geometrische Auslegung des Arbeitsplatzes oder der Arbeitsmittel und lässt sich auch als anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung bezeichnen. Dabei ist der Arbeitsplatz unter Berücksichtigung der Körpermaße des Menschen auf Seh-, Greif- und Fußräume sowie der Anordnung von Stell- oder Bedienteilen zu untersuchen. Im Gegensatz dazu betrachtet die Systemergonomie den Informationsfluss der Mensch-Maschine-Schnittstelle, wodurch sich außerdem ein Beitrag zur Verminderung von Arbeitsfehlern anstreben lässt (vgl. Bubb, 2007, S. 496 ff.).

Dafür werden Erkenntnisse sowohl über wissenschaftliche Untersuchungen als auch über die Erfahrungen aus der Praxis systematisiert und geordnet (vgl. Laurig, 1982, S. 10). Eine grundlegende Klassifizierung der Ergonomie sowie Arbeitsgestaltung lässt sich über die Beschreibung der unterschiedlichen Strategien und Ziele nach Ulich (2005, S. 186) ableiten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Strategien und Ziele der Arbeitsgestaltung (vgl. Ulich, 2005, S. 186; Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 72)

Strategien	Ziele
Korrektive Arbeitsgestaltung – korrektive Ergonomie	<ul style="list-style-type: none"> • Korrektur erkannter Mängel
Präventive Arbeitsgestaltung – präventive Ergonomie – Verhältnisprävention	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwegnehmende Vermeidung gesundheitlicher Schädigung und Beeinträchtigung
Prospektive Arbeitsgestaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung von Möglichkeiten der Persönlichkeitsentwicklung

Die primäre Einordnung der Strategie ergibt sich aufgrund der Unterscheidung zwischen der Notwendigkeit einer Neugestaltung oder Anpassung eines bestehenden Arbeitssystems. Müssen bestehende Arbeitsprozesse aufgrund von gesundheitserhaltenden Maßnahmen wie zum Beispiel Änderung von Arbeitshöhen, nachträglicher Schalldämmung oder geänderter Gruppenarbeit angepasst werden, so spricht man von korrekter Ergonomie (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S.71 ff.). Stellt sich eine Neu- oder Umplanung mit der Vermeidung von gesundheitlichen Beeinträchtigungen eines Arbeitssystems als sinnvoll heraus, erfolgt die Anwendung präventiver Ergonomie. Häufig findet sich in der Literatur auch die Unterteilung in Verhältnisprävention und Verhaltensprävention. Diese Gliederung hilft zusätzlich, die Ziele der Maßnahmen auf die Aspekte der Arbeitssystemanpassung oder psychologischen Faktoren des Verhaltens von Menschen zu unterteilen (vgl. Bullinger und Schmauder, 1997, S. 499). Bestehen darüber hinaus bei der Arbeitsgestaltung flexible Möglichkeiten auf die Persönlichkeitsentfaltung des Mitarbeiters einzugehen sowie eine eigenständige Anpassung zuzulassen, so spricht man von prospektiver Ergonomie (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 72).

Obwohl, wie in Kapitel 1 beschrieben, die Forderung nach ergonomischer Arbeitsgestaltung aus normativen Vorgaben der Gesetzgebung für Unternehmen eine Notwendigkeit darstellt, bleibt für die Mehrheit der Entscheidungsträger die Frage nach der Wirtschaftlichkeit ergonomischer Maßnahmen weiter bestehen (vgl. Bullinger und Schmauder, 1997, S. 502; Landau, 2002, S. 52). In der Studie von Rebmann und Wittig wollte es ein Manager aus seiner Sicht mit folgendem Satz noch deutlicher formulieren: „Wir sind ein Industrieunternehmen und keine Freizeit- oder Sozialeinrichtung und werden von unseren Kunden und nicht aus Steuern oder Sozialbeiträgen bezahlt!“ (vgl. Rebmann und Wittig, 1997, S. 62). Viele wissenschaftliche Arbeiten konnten jedoch in der Vergangenheit auf positive wirtschaftliche Effekte von Ergonomie verweisen (siehe z. B. Scholz und Stein, 2006; Almgren und Schaurig, 2012; Neubert, Bruder und Toledo, 2012; Falck, Örtengren und Högberg, 2009; Landau, 2002). Trotz der Vielzahl dieser Arbeiten macht es die Kontrolle von Einflussfaktoren (*ceteris paribus*- Bedingung) für den Zusammenhang von Ergonomie und Wirtschaftlichkeit schwierig, statistisch abgesicherte Faktoren zur Umrechnung von ergonomischen Einsparpotentialen zu erhalten. Nach Dul und Neumann (2009, S. 745) impliziert bereits die Definition der Ergonomie das ökonomische Ziel, einer Verbesserung in Produktivität, Produktionsflexibilität, Qualität und der Reduzierung von Betriebskosten. Die vollständige Untersuchung aller kostenrelevanten Faktoren im Zusammenhang der Ergonomie wird in Kapitel 6 aufgegriffen und näher erläutert.

Um die eben benannten Vorteile für ein Unternehmen nutzbar zu machen, ist das Analysieren und Strukturieren von menschlicher Arbeit und ergonomischer Güte notwendig (vgl. Schönherr, 2014, S. 38). Solche Verfahren beziehen sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf den Teil der Produktionsergonomie und nicht auf die Produktergonomie. Während sich *Produktergonomie* auf die Benutzbarkeit und benutzerfreundlichen Gestaltung von Produkten bezieht, hat die *Produktionsergonomie* den menschengerechten Herstellungsprozess von Produkten und Dienstleistungen im Fokus (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 1130; Bubb, 2007, S. 498).

2.2 Risikoabsicherung durch Qualitätsmanagementsysteme

Der Begriff Qualitätsmanagement beschreibt vom Englischen abgeleitet, das Lenken oder Leiten von Qualität. Qualität wiederum lässt sich vom lateinischen *qualitas* ableiten und kann als *Beschaffenheit* eines Objektes übersetzt werden. Eine mögliche Definition der Qualität lautet nach Norm DIN EN ISO 9000 (2014, S. 25): „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“. Von Kundenbedürfnissen getrieben, hat das Thema Qualitätsmanagement seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts deutlich an Bedeutung gewonnen. Gründe für den Wandel im Qualitätsdenken waren die unterschiedlichen Entwicklungen der Märkte vor und nach den Kriegszeiten (vgl. Verbeck, 1998, S. 5). Bei Eintritt in den Verbrauchermarkt um 1990

trat die Verfügbarkeit der Güter als Kaufgrund in den Hintergrund und Themen wie Qualität, Funktionalität und Wertbeständigkeit traten in den Vordergrund (vgl. Verbeck, 1998, S. 7). Durch die Globalisierung der Märkte entsteht insbesondere in Hochlohnländern ein steigender Kostendruck, welcher mit einer erhöhten Anforderung an Produktqualität als Alleinstellungsmerkmal zur Konkurrenz einhergeht (vgl. Brüggemann und Bremer, 2012, S. 1). Dieser Wandel führte in den Unternehmen zur Umorientierung von reaktivem zu präventivem Qualitätsmanagement. Abbildung 3 zeigt zwei primär wirtschaftliche Auswirkungen von präventivem Qualitätsmanagement, welche extern die Befriedigung von Kundenerwartungen erfüllen und intern effiziente und effektive Prozessgestaltung fördern.

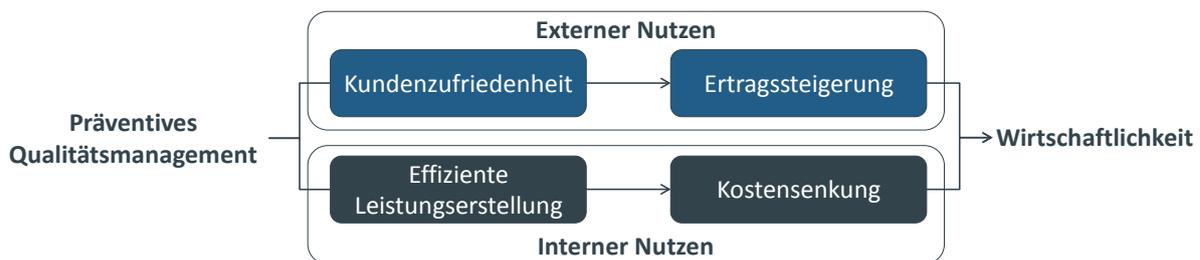


Abbildung 3: Nutzenkette des Qualitätsmanagements (basiert auf Bruhn und Georgi, 1999, S. 3)

Ein weiteres Modell, welches das Potential der Kostenreduzierung im Produktlebenszyklus eines Unternehmens verdeutlicht, ist die *Zehnerregel der Fehlerkostenentwicklung* (siehe Abbildung 4). Hierbei wird angenommen, dass jeder erzeugte Fehler bei der Entdeckung in einer späteren Phase jeweils einen Kostenanstieg vom Faktor 10 verursacht. Das Konzept der Fehlervermeidung sowie des Qualitätsmanagements erzeugt demzufolge in der frühen konstruktiven Phase ein deutliches Einsparpotential. Die Erkenntnis, dass 75 % aller Fehler in den entwickelnden und planenden Phasen entstehen sowie 80 % davon erst im Bereich der Endprüfung und Einsatzphase gelöst werden, bekräftigt die Bedeutsamkeit dieses wirtschaftlichen Nutzens (vgl. Witter, 1995, S. 3). Die Anpassung der Unternehmen, eine vollständige Integration des Qualitätsmanagements in den gesamten Produktlebenszyklus zu vollziehen, war die logische Konsequenz. Nach den Vorbildern von japanischen Produktions- und Unternehmensphilosophien wie dem *Toyota Produktionssystem* (TPS) oder dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess *Kaizen* entwickelte sich das Konzept *Total Quality Management* (TQM). Die Aufgabe der ständigen Qualitätsverbesserung wird als strategisches Unternehmensziel verankert (vgl. Brüggemann & Bremer, 2012, S. 7). Allgemeine und spezielle Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme in Unternehmen sind in den Leitlinien und Normen der ISO-9000-Familie beschrieben. Sie sollen „risikobasiertes Denken“ und „prozessorientierte Ansätze“ etablieren und zugleich konkrete Forderungen an die Verantwortung der Leitung bis hin zur Feststellung und Umsetzung der Kontrollmaßnahmen stellen (vgl. DIN EN ISO 9001, 2014, S. 6 ff).

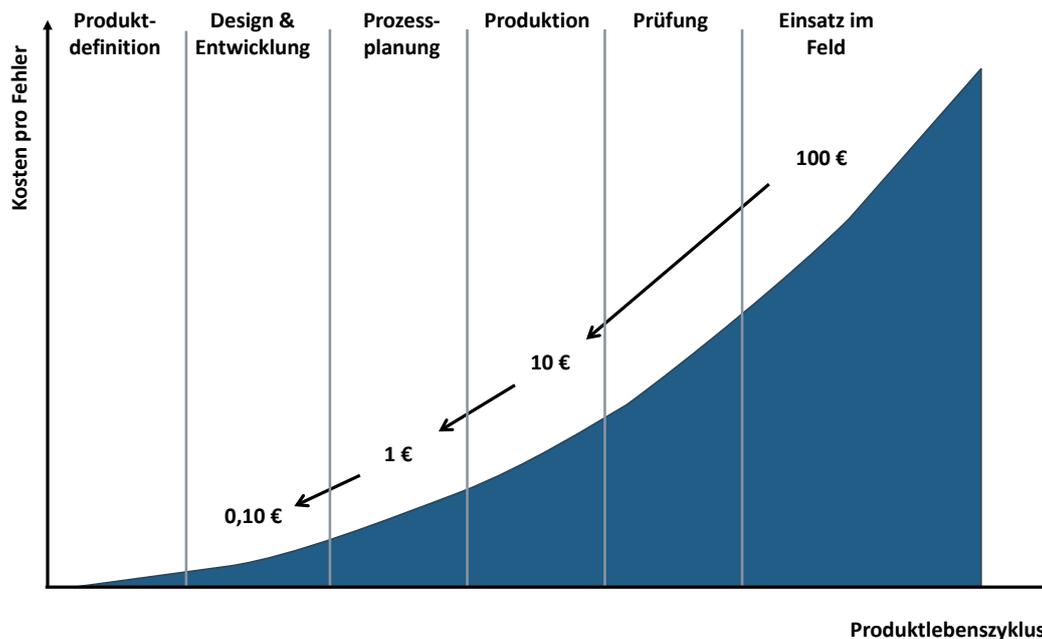


Abbildung 4: Zehnerregel der Fehlerkostenentwicklung (basiert auf Spur, 1994, S. 284; Sesma Vitrián, 2004, S. 20)

Aus diesem Denkprozess sind im Bereich des Automobilbaus Vorgehensweisen, auch QM-Techniken genannte Methoden, entstanden, die durch ihren frühzeitigen Einsatz im Produktentstehungsprozess den Unternehmenserfolg steigern sollen. Die Betrachtung von etablierten QM-Techniken stellt eine Grundlage dar, Ergonomie im Produktentstehungsprozess frühzeitig absichern zu können. Zum Verständnis der Wirkungsweisen und Einsatzszenarien dieser Methoden wird nachfolgend auf ausgewählte Methoden und Werkzeuge eingegangen sowie die Integration dieser im Produktentstehungsprozess beschrieben.

Absicherungsmethoden im Produktentstehungsprozess

Die einfachste Form von Absicherung stellt die Problemlösemethode dar, welche sich am Beispiel des von Deming entwickelten Regelkreises *PDCA* darstellen lässt (siehe Abbildung 5). Dabei erfolgt in der „Planen-Phase“ die Identifizierung von Problemen sowie Erarbeitung von Lösungsmaßnahmen. Anschließend sind diese Lösungen in der „Ausführen-Phase“ umzusetzen und ihr möglicher Erfolg in der „Überprüfen-Phase“ festzustellen. Ist dieser Fall eingetreten, wird in der „Verbessern-Phase“ die erfolgreiche Maßnahme als Standard zur Verbesserung eingesetzt oder der Regelkreis beginnt von vorn. Damit stellt das Streben nach ständiger Verbesserung ein wesentliches Element von Demings Lehre dar (vgl. Spur, 1994, S. 276).

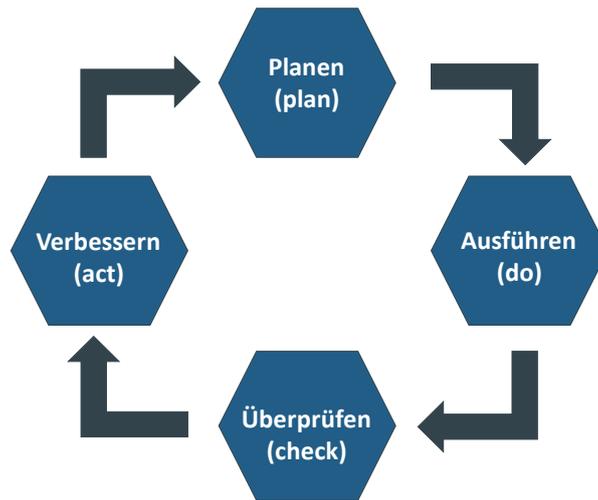


Abbildung 5: PDCA-Methode nach Deming (Kamiske und Brauer, 2003, S. 296)

Für die unterschiedlichen Phasen im Problemlöseprozess hat sich eine Vielzahl von elementaren Qualitäts-Werkzeugen entwickelt, welche die Grundlagen weiterführender QM-Techniken sind und einige von ihnen hier lediglich erwähnt werden sollen: Flussdiagramm, Pareto-Analyse, Ishikawa-Diagramm, Korrelations-Diagramm, Brainstorming und Ampelcharts. Detaillierte Beschreibungen sind in Brüggemann (2012, S. 18 ff.) und Syska (2006, S. 44 ff.) zu finden. Die Weiterentwicklung dieser Werkzeuge zu Methoden des Qualitätsmanagements unter den in Kapitel 2.2 beschriebenen Zielstellungen und Anforderungen der DIN EN ISO 9000 ff. erfüllt dabei drei primäre Charakteristika (vgl. Brüggemann, 2012, S. 29):

- Einsatz in bestimmten Phasen der Produktentstehung
- Präventive Wirkung
- Planmäßiges und nachvollziehbares Vorgehen

Durch die Integration in den gesamten Produktlebenszyklus muss eine Vielzahl von Faktoren und Informationen über Maschinen, Mitarbeiter und Prozesse koordiniert sowie gesteuert werden. Daraus entsteht die komplexe Aufgabe, eine interdisziplinäre Zusammenarbeit über verschiedene Organisationseinheiten hinweg zu entwickeln (vgl. Eversheim et al, 2006, S. 609). Um Mitarbeiter sowie ganze Organisationseinheiten zu befähigen, funktionale Verknüpfungen für unternehmensweite Zusammenhänge auf ein Endergebnis zu richten, wurden in Theorie und Praxis zur Lösung der Herausforderung komplexe QM-Methoden entwickelt (vgl. Sesma Vitrián, 2004, S. 29). Zur Beschreibung einer Integration von QM-Methoden in den Produktentstehungsprozess ist die Begriffsdefinition und Einordnung des Produktentstehungsprozesses notwendig. Die Herstellung eines Produktes entsteht in einer Vielzahl von kleinen Schritten, die als Prozesse bezeichnet und deren Schnittstellen untereinander genau beschrieben sein müssen. Erst die Gesamtheit

aller Prozessschritte wird als Produktentstehungsprozess verstanden (vgl. Fehldhusen und Grote, 2013, S. 11 ff.). Diese Prozessschritte laufen zum Teil sequentiell sowie parallel ab und werden dabei in unterschiedlichen Phasen eingeordnet. In der Literatur und Praxis existieren verschiedene Phasen zur Beschreibung eines Produktentstehungsprozesses, die aufgrund unterschiedlicher Betrachtungsweisen speziell definiert sind. So beleuchten die VDI-Richtlinie 2221 (1993, S.3 ff.) sowie Fehldhusen und Grote (2013, S. 23) die Produktentwicklung aus Sicht der Konstruktion, während Spur und Krause (1997, S.10 ff) den Prozess bis zum Recycling des Produktes betrachten (vgl. Burr, 2008, S.35). In Abbildung 6 ist ein Produktentstehungsprozess abgebildet, wie er in der Automobilbranche und für die weiteren Betrachtungen in dieser Arbeit Anwendung findet. Eine Detaillierung der jeweiligen Prozesse und Phasen erfolgt anwendungsorientiert in den entsprechenden Kapiteln dieser Arbeit.

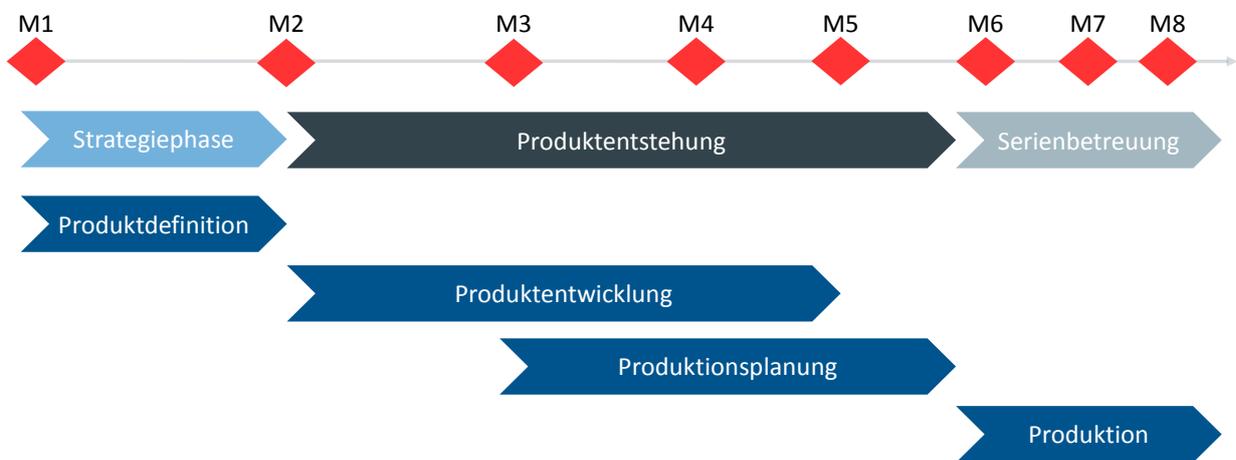


Abbildung 6: Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie (basiert auf Westkämper, 2006, S. 118; VDA (1), 2003, S. 4; Volkswagen AG, 2015b, S. 33)

Entlang dieses Entwicklungsprozesses erfolgt die Überprüfung der Reifegrade des Fahrzeuges über sogenannte Meilensteine (engl. milestones; quality gates) gemäß der Systematik nach VDI 2221. Aufgrund der Vertraulichkeit von Informationen über die exakten zeitlichen Abfolgen und Namen der Meilensteine wurde hier auf eine für das Verständnis notwendige Ebene abstrahiert. Zur systematischen Absicherung des Produkt- und Prozessreifegrades haben sich im Automobilbau verschiedene QM-Methoden etabliert. Eine dieser Methoden ist die sogenannte *Fehlermöglichkeits- und -influssanalyse (FMEA)*. Mit dem Ziel der späteren Verwendung und Weiterentwicklung stellen die nachfolgenden Erläuterungen die notwendigen Grundlagen bereit.

Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA)

Entwickelt wurde die FMEA in den 1960iger Jahren für die Raumfahrt im Rahmen des Apollo-Programmes der NASA. Die FMEA ist eine formalisierte Methode zur Erkennung von Problemen, Risiken und Folgen bereits vor ihrer eigentlichen Entstehung. In bereichsübergreifenden Arbeitsgruppen werden anhand von gewonnenen Erfahrungen und kreativer Arbeit, die Potentiale aufgedeckt, bewertet sowie mit geeigneten Maßnahmen vorausschauend vermieden (vgl. Kamiske und Brauer, 2003, S. 74). Da die FMEA nicht nur bei Neuentwicklungen von Produkten Anwendung findet, sondern auch in Anlehnung an den Regelkreis von Deming zur Verbesserung von Prozessen nützlich ist, wird sie außerdem als Systemoptimierung in Entwicklungs- und Planungsbereichen verstanden (vgl. VDA (2), 2012, S. 3). Aufgrund des Zieles der FMEA wichtige Anforderungen der Kunden und des Unternehmens abzusichern, ist die FMEA als notwendige Voraussetzung ein Bestandteil der Kommunikation im Qualitätsmanagementprozess (vgl. VDA (2), 2012, S. 14). Je nach Anwendungszeitraum im Produktentstehungsprozess gibt es eine Unterscheidung in mehrere Arten einer FMEA. Es besteht die Möglichkeit eine Konstruktions-FMEA in der frühen Entwicklungs- und Konstruktionsphase (Meilenstein M2 – M4) oder eine Prozess-FMEA in der Produktionsplanungsphase (Meilenstein M4 – M6) durchzuführen. Die Produkt-FMEA wird bereits während der Erstellung der Lastenhefte angewendet, um konstruktive Defizite noch rechtzeitig abstellen zu können und gleichzeitig die Grundlagen für eine Prozess-FMEA zu schaffen (Sesma Vitrian, 2004, S. 36). In Anlehnung an den prozessorientierten Ansatz der DIN EN ISO 9000 ff. wird die Anwendung der FMEA in ein Phasenmodell mit folgender Gliederung unterteilt (vgl. VDA (2), 2012, S. 16):

Definition	– Vorbereitung und Systemdefinition
Analyse	– Forderungen und Risiken systematisch ermitteln
Maßnahmenentscheidung	– Maßnahmen und Vorgehensweise festlegen
Umsetzung	– Umsetzen und Bewerten durch Verifizieren und Validieren
Kommunikation	– Präsentieren und Kommunizieren

2.3 Managementsysteme zum Arbeits- und Gesundheitsschutz

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, weist das Thema Ergonomie, ähnlich dem Qualitätsverständnis, für Unternehmen eine hohe Komplexität in den Wirkzusammenhängen zwischen dem Faktor Mensch und seiner Arbeitsumgebung auf. Mit der Zunahme komplexer Krankheitsbilder bezieht sich dies auch auf die Veränderung der Arbeitswelt in den letzten 10 bis 15 Jahren (vgl. Bartsch, 2007, S. 170). Auch das mögliche Potential von Kosteneinsparungen und „Kundenzufriedenheit“ (im Falle der Ergonomie ist der Mitarbeiter der Kunde) animieren ein Unternehmen in Anlehnung

an Qualitätsmanagementsysteme, eine strukturierte und präventive Vorgehensweise für den Arbeits- und Gesundheitsschutz zu verfolgen (vgl. Neuner, 2016, S. 79). Um diese Ziele zu erreichen und gesetzliche Pflichten einzuhalten (vgl. Kapitel 1), wurden sogenannte *Betriebliche Gesundheitsmanagementsysteme* (BGM) und *Arbeitsschutzmanagementsysteme* (AMS) entwickelt sowie eingeführt. Der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik definiert ein AMS als eigenständiges System zur Sicherstellung, dass eine Unternehmenspolitik für Sicherheit und Gesundheitsschutz umgesetzt wird. Zur Erfüllung dieser Politik ist es notwendig, Verantwortlichkeiten, strategische Planungen, Methoden und Ressourcen bereitzustellen (vgl. LASI, 2006, S.9). In der Definition eines BGM erweitert sich diese Sichtweise um das Ziel, Mitarbeiter zu gesundheitsförderndem Verhalten zu befähigen (vgl. Badura, Walter und Hehlmann, 2010, S.33). Gemeinhin wurden diese Managementsysteme auf Basis von nationalen und international standardisierten Ordnungsrahmen (DIN EN ISO 9000; DIN EN ISO 9001; ISO 14001) entwickelt. Als bekannteste Beispiele sind auf internationaler Ebene das ILO-OSH 2001 (*Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems*) von der *International Labour Organisation* und der britische Standard BS OHSAS 18001:2007 (*Occupational Health Safety Assessment Series*) vom *British Standardization Institute* zu nennen. Auf nationaler Ebene haben sich beispielsweise der Leitfaden *Arbeitsschutzmanagementsysteme – LV21* des *Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik* sowie das OHRIS (*Occupational Health- and Risk-Managementsystem*) etabliert (vgl. Brauweiler und Zenker-Hoffmann, 2014, S. 4-5). Ähnlich den ISO-Normen 9001 und 14001 kann durch eine zugelassene Zertifizierungsorganisation ein Zertifikat mit dreijähriger Gültigkeit für die Integration eines AMS oder BGM in ein Unternehmen vergeben werden (vgl. Brauweiler und Zenker-Hoffmann, 2014, S. 7).

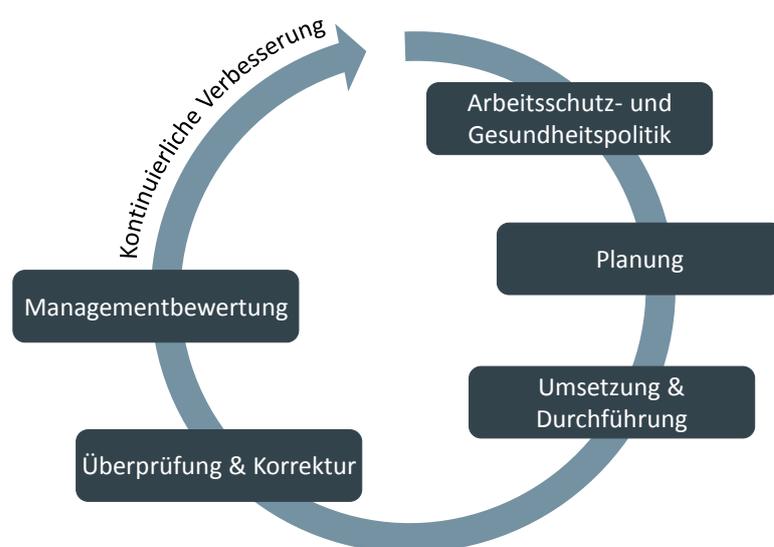


Abbildung 7: Modell des Arbeitsschutzmanagementsystems BS OHSAS 18001:2007 (BS OHSAS 18001:2007, 2007, S. VI; Brauweiler und Hoffmann, 2014, S. 9)

Abbildung 7 stellt die Struktur zur Vorgehensweise und Umsetzung der Elemente eines AMS in einem Unternehmen schematisch dar. Der Managementkreislauf ist für den Zyklus eines *kontinuierlichen Verbesserungsprozesses* (KVP) bezeichnend und wird hier ebenfalls als Aufbau gewählt. Die Inhalte der einzelnen Elemente von Gesundheitspolitik bis Managementbewertung sind Richtlinien für die erfolgreiche Umsetzung der AMS in Unternehmen. In Tabelle 2 ist eine Auflistung der Elemente eines AMS-Standards zu finden.

Tabelle 2: Elemente des AMS nach BS OHSAS 18001:2007 (vgl. BS OHSAS 18001:2007, 2007, S. VI; Brauweiler und Hoffmann, 2014, S. 9)

Dimensionen /Kriterien	Inhalte
Arbeitsschutz- und Gesundheitspolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Verpflichtung, um Verletzung und Krankheit zu vermeiden • Setzt Rahmenbedingungen • Dokumentation, Implementierung & Aufrechterhaltung
Planung	<ul style="list-style-type: none"> • Gefährdungserkennung, Risikobeurteilung und Festlegung der Schutzmaßnahmen • Rechtliche Verpflichtungen und andere Anforderungen • Zielsetzungen und Programme
Umsetzung & Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcen, Aufgaben, Verantwortlichkeit, Rechenschaftspflicht und Befugnis • Fähigkeit, Schulung und Bewusstsein • Kommunikation, Mitwirkung und Beratung • Notfallvorsorge • Ablauflenkung • Dokumentation
Überprüfung & Korrektur	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsmessung und Überwachung • Bewertung der Einhaltung von Rechtsvorschriften • Lenkung der Aufzeichnungen • Internes Audit
Managementbewertung	<ul style="list-style-type: none"> • Managementberichte der Ergebnisse • Bewertung des Gesamtsystems nach Tauglichkeit und Effektivität

Weitere Elemente sollten nach Bartsch (2007, S. 171) die Umsetzung der Doppelstrategie „top-down“ und „bottom-up“, die Verhaltensveränderung durch Verhaltensbeeinflussung sowie die Betrachtung des Arbeitssystems als soziotechnisches System sein. Zusammenfassend lassen sich in jedem Systemansatz die Faktoren Mensch, Technik und Organisation (MTO-Konzept) in ihrer Abhängigkeit zueinander betrachten. Aufgrund der Anzahl und des Spezialisierungsgrades jedes einzelnen AMS und BGM, welche in Abhängigkeit der jeweiligen Unternehmensbranche und -größe entwickelt wurden, soll ein Hinweis auf weiterführende Literatur genügen (siehe z. B. Dicke, 2008; Bullinger und Schmauder, 1997; Ulich und Wülser, 2015; Badura, Walter und Hehlmann, 2010).

3 Situationsanalyse

3.1 Ausgewählte Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung

Auf die erste Forschungsfrage bezogen, können die eben beschriebenen Ansätze von Gesundheitsmanagementsystemen die Forderung nach Methoden und Prinzipien zur ganzheitlichen Anwendung in Unternehmen bereits in Teilen beantworten. Dennoch bedarf es wie in Kapitel 1.1 beschrieben nicht nur der Kenntnis über die Anwendung der Prinzipien sondern auch der erfolgreichen Umsetzung. Mögliche Hemmnisse zur Umsetzung existierender Methoden und Systeme in der Praxis können aus einer fehlenden Detaillierung für die frühe Phase des Produktentstehungsprozesses resultieren. Neben den methodischen Defiziten können auch die Voraussetzungen und Gegebenheiten der Automobilproduktion eine erfolgreiche Umsetzung existierender Systeme erschweren. Eine Möglichkeit zur verbesserten Umsetzung des betrieblichen Gesundheitsmanagements ist die Integration in bestehende Managementsysteme eines Unternehmens (vgl. Kaminski, 2013, S. 3). Aufgrund dieser praxisbezogenen Problemstellung entspricht die nachfolgende Vorgehensweise dem Vorbild anwendungsorientierter Forschung, für welche im ersten Schritt eine Situationsanalyse über bestehende Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung durchgeführt wird. Untersuchungsgegenstände sind dabei der Stand der Technik sowie die existierenden Ansätze am Praxisbeispiel der Automobilindustrie. Im Anschluss daran stellen die abgeleiteten Defizite alle Anforderungen für die Ausgestaltung des Lösungskonzeptes dieser Arbeit dar. In Bezug auf die in Kapitel 1.2 beschriebenen Zielstellungen wurden zwei Lösungskonzepte von Managementsystemen zur Ergonomie-Absicherung aus der Literatur ausgewählt, die bereits den Fokus auf die Themen Produktionsergonomie, Verhältnisprävention und Ganzheitlichkeit im Produktentstehungsprozess legen.

SALUCONTROL – Nutzen-Aufwand-Kalkulation zur Senkung arbeitsbedingter Ausfälle

Ziele des von Chodora entwickelten Systems sind die „Steigerung der Umsetzung von Maßnahmen im betrieblichen Gesundheitsmanagement [...]“, die „systematische Erfassung arbeitsbedingter Ursachen für Arbeitsunfähigkeit [...]“, als auch die Ableitung eines Nutzen-Aufwands-Rankings von Maßnahmen zur Betrachtung der wirtschaftlichen Perspektive des Unternehmens (Chodora, 2011, S. 5). Zur Umsetzung der Ziele basiert die Methodik auf den Managementsystemstandard BS OHSAS 18001:2007, um dadurch die ganzheitliche Betrachtung (vgl. Kapitel 2.3) des soziotechnischen Systems zu gewährleisten (vgl. Chodora, 2011, S. 5). Das konkrete Modell gliedert sich in drei Blöcke, die wiederum insgesamt sieben Prozessschritte beinhalten (siehe Abbildung 8, S. 21). Im ersten Block A wird der Nutzen von Maßnahmen zur Reduzierung arbeitsbedingter Fehlbeanspruchungen errechnet.

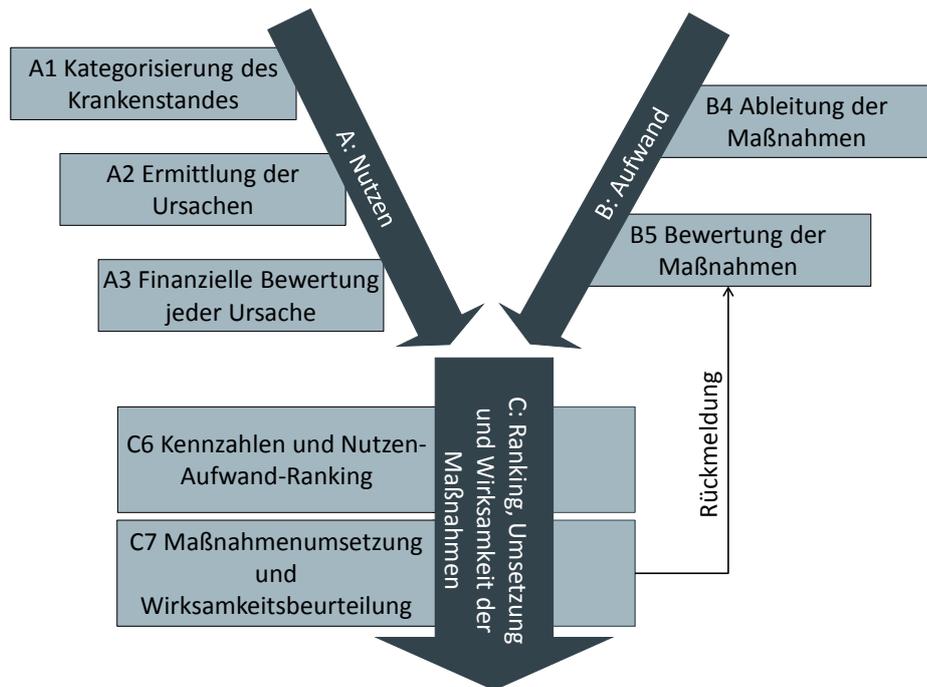


Abbildung 8: Prozessbausteine des SALUCONTROL (Chodora, 2011, S. 66)

Dabei geht die Arbeit von Chodora vertieft auf die retrospektive Betrachtung des Krankenstandes der Unternehmen ein, um über Daten der Krankenversicherung und personenbezogenen Auswertungen genaue Krankheitsursachen und die resultierende Kosten zu ermitteln (vgl. Chodora, 2011, S. 66 f.). Die Ausführung dieses Prozessschrittes ist besonders für die eigene Fragestellung 3, betriebswirtschaftliche Zusammenhänge und Potentiale für die frühe Planung ergonomischer Maßnahmen zu identifizieren (vgl. Kapitel 1.2), interessant. Im ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der realen Anzahl arbeitsbedingter Ausfalltage von der Gesamtanzahl aller Ausfalltage. Es findet eine Sondierung in Anteile von konstanten unbeeinflussbaren Krankheitstagen, motivationsbedingten Krankheitstagen und arbeitsbedingten Krankheitstagen statt. Zusätzlich werden auf Basis der Daten der Krankenkassen, die Arten der Krankheiten prozentual gegliedert, um den realen Anteil der Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems zu erhalten (vgl. Chodora, 2011, S. 71 ff.). Als Methode der Krankheitsursachenermittlung empfiehlt Chodora die Realisierung einer Zielgruppenbefragung nach Schmerzarten und -intensitäten (vgl. Chodora, 2011, S. 74 ff.). Unter der Annahme, dass ein Mitarbeiter über die subjektive Wahrnehmung des Schmerzes ein Defizit seiner Gesundheit feststellt und dieses dann ärztlich bestätigt wird, soll die Krankheitsursache für arbeitsbedingte Ausfalltage je Arbeitsplatz bestätigt werden. Dazu erfolgt eine Befragung der Mitarbeiter zu den unterschiedlichen Schmerzregionen von Hand-Finger-System über die Schulter bis zu den Füßen. Daraus lässt sich anschließend die Summe der Belastungsursachen den einzelnen Bereichen des Unternehmens zuordnen. In einem zweiten Schritt ist über ein Experten-Team eine Analyse aller Arbeitsplätze in den jeweiligen Bereichen anzufertigen. Mit Hilfe

einer Übereinstimmungsanalyse der subjektiven Bewertung der Mitarbeiter lässt sich die objektive Ursachenforschung des Arbeitsplatzes verknüpfen. Besteht dabei eine Übereinstimmung, können für diesen Arbeitsplatz die verursachten Kosten auf Basis der Anzahl der Mitarbeiter sowie der Dauer der Belastungen festgelegt werden.

Block B des SALUCONTROL beinhaltet nach der Nutzenanalyse die Identifikation und Bewertung von geeigneten Maßnahmen zur Beseitigung der Belastung. Dabei empfiehlt Chodora das Nutzen von Werkzeugen wie z. B. dem Gesundheitszirkel, Mitarbeitergesprächen oder problembezogenen Workshops (vgl. Chodora, 2011, S. 90). Die letzte Instanz stellt ein Controlling, realisiert über ein Nutzen-Aufwand-Ranking, in SALUCONTROL dar. Es fließen wirtschaftliche Randbedingungen, Budgetvorgaben und das Nutzenaufwandverhältnis aus Block A und B ein. Als wirtschaftliche Kennzahl wird die Rendite bzw. Kapitalrendite mit einem sogenannten ROI (return on investment) ausgedrückt und fasst somit die Entscheidungshilfe für das Management zusammen (vgl. Neubert, 2013, S. 16 ff.).

Tabelle 3: Bewertungsergebnisse eines Beispielunternehmens durch SALUCONTROL (nach Chodora, 2011, S. 133)

Beschreibung der Ursache der Überbeanspruchung	Budget zur Ursachenbeseitigung	Maßnahme	Kosten der Maßnahme	NAV	Budget B / PBP	Einsparpotential
Einzelne Behälter auf Rollbahn stellen	349 €	Vorhandenes Hubgerät einsetzen	1 €	349,1	5.999 €	348 €
Hoher Kraftaufwand durch Griffhöhe und Hebelbestätigung	1149 €	Schwächere Hebel-Rückholfeder / längeren Hebelarm verwenden	50 €	11,5	5.949 €	524 €
Belastung in den Beinen, Knien und Nacken	6172 €	Arbeitstrittmatten auslegen	1200 €	3,9	4749 €	3429 €

Das Ergebnis von SALUCONTROL kann anhand der drei Beispiele in Tabelle 3 nachvollzogen werden. Das System zeigt nach Auswertung des arbeitsbedingten Krankenstandes und der Zuordnung der Belastungsursachen in Spalte 2 das errechnete Budget für eine Maßnahme an diesem Arbeitsplatz an. Nachdem die Kosten für die Maßnahmen definiert sind, ergibt sich über das Nutzen-Aufwand-Verhältnis (NAV) in Spalte 5 ein Ranking der umzusetzenden Maßnahmen. Die Maßnahme mit dem besten NAV ist in diesem Beispiel das Einsetzen eines vorhandenen Hubgerätes mit einem Kostenbetrag von einem Euro. Für diesen ausgewählten Unternehmensbereich der *Produktion PBP* wurde ein Budget von 6.000 Euro angesetzt, welches sukzessive durch die Kosten reduziert wird. Die letzte Spalte gibt dabei das Einsparpotential je Maßnahme als Produkt von Kosten und NAV aus. Eine detaillierte Zusammenfassung sowie Diskussion der Vor- und Nachteile dieser Vorgehensweisen ist in Kapitel 3.4 zu finden.

Total Ergonomics Management (TEM)

Nachdem in dem von Chodora entwickelten SALUCONTROL die Nutzen-Aufwand-Betrachtung und somit die Wirtschaftlichkeitsfrage von ergonomischer Arbeitsgestaltung im Fokus der Forschung stand, fokussiert sich das Total Ergonomics Management von Bierwirth (2011, S. 33 ff.) auf einen ganzheitlichen und integrativen Charakter im Produktentstehungsprozess von Industrieunternehmen. Das TEM basiert auf dem *modularen Konzept zur Integration von Primärprävention in Produktentstehungsprozessen* von Bruder, Rademacher, Schaub und Geiss (2009) und stellt Verhältnisprävention bei Neuplanungen in den Vordergrund (vgl. Bierwirth, 2011, S. 29). Aufbauend auf das strategische Konzept und den modularen Aufbau erarbeitet Bierwirth die bis dahin fehlende Konkretisierung für eine Umsetzung in Industrieunternehmen. Die Strategien müssen demnach operationalisiert und praxisrelevante Bewertungsinstrumente geschaffen werden (vgl. Bierwirth, 2011, S. 32 ff.). Dafür ist die Umsetzung der Ziele in den folgenden vier Modulen erfolgt:

- „Modul 1 – Die systematische Analyse und Bewertung von Risiken durch arbeitswissenschaftliche Bewertungsverfahren
- Modul 2 – Die durchgängige Verwendung der Verfahren und der aus den Analysen gewonnen Erkenntnisse
- Modul 3 – Die Integration einer systematischen Berücksichtigung von Risikofaktoren in den Produktentstehungsprozess
- Modul 4 – Fähigkeitsgerechter Mitarbeiterereinsatz und fähigkeitsorientierte Planung“

(Bierwirth, 2011, S. 35).

Mit Blick auf die Fragestellung 1 (Kapitel 1.2) bildet eine kurze Beschreibung der Module eine weitere Grundlage für die spätere Defizitanalyse. Um die Gefahr zu reduzieren, nicht offensichtliche und mittel- bis langfristig wirkende Gefährdungen zu übersehen, ist der systematische Einsatz arbeitswissenschaftlicher Bewertungsverfahren notwendig (vgl. Bierwirth, 2011, S.35). Bei der Auswahl der Bewertungsverfahren sind geeignete Kriterien für die spezifischen Charakteristika der jeweiligen Produktion heranzuziehen. Da Mitarbeiter nach einer fertiggestellten Arbeitsgestaltung ihre Tätigkeiten über einen längeren Zeitraum durchführen, sind diese wiederkehrenden Tätigkeiten bevorzugt zu analysieren (vgl. Bierwirth, 2011, S. 36). Für die Fließbandmontage der Automobilindustrie entspricht dieser Ansatz der nachfolgend verwendeten Vorgehensweise. Als an diese Branche angepasste Beispielfahrer werden das *Ergonomic Assessment Worksheet* (EAWs) und das *New-Production-Worksheet* (NPW) aufgeführt (vgl. Kapitel 3.2). Neben den methodischen Charakteristika sind ebenfalls praxisorientierte Anforderungen genannt wie z. B.

effiziente Anwendung der Verfahren, einfache Ermittlung benötigter Daten sowie eine hohe Reliabilität in den Bewertungsergebnissen (vgl. Mathiassen & Winkel, 2000, S. 3). Es empfiehlt sich außerdem, quantitative Bewertungsverfahren zu nutzen, da diese eine bessere Ursachenermittlung und Handlungspriorisierung ermöglichen (vgl. Bierwirth, 2011, S. 37). Mit der durchgängigen Verwendung der Verfahren und der gewonnenen Erkenntnisse befasst sich dabei das zweite Modul des TEM. Es bezieht sich auf die Art und Weise der Dokumentation, um eine Übertragbarkeit und Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Arbeitssystemen eines Unternehmens zu gewährleisten. Es wird über die Visualisierung der quantifizierten Risiken automatisch eine aktive Auseinandersetzung mit den Bewertungsergebnissen gefördert (vgl. Bierwirth, 2011, S. 43; Theberge und Neumann, 2010, S. 82). Beispielsweise bringt eine Übersicht nach der 3-Zonen-Bewertungssystematik (Ampelschema) über alle Montagebänder die Möglichkeit, auf Führungsebene neue strategische Maßnahmen zur Risikoreduzierung zu initiieren (vgl. Bierwirth, 2011, S. 40). Dadurch verdeutlicht sich noch einmal die Bedeutung des *management commitments* (dt. Verpflichtung der Führungskraft) zur Bereitstellung von Ressourcen, Strukturen und Kapazitäten (vgl. Kapitel 2.3). Außerdem verweist diese Vorgehensweise in Anlehnung an den PDCA-Zyklus von Deming auf die Durchgängigkeit der Bewertung bis zur Wiederverwendung von Ergebnisse mittels *lessons learned* (dt. gelernte Lektionen) oder *best practice* (dt. beste Praxis) (vgl. Kapitel 2.2).

In Modul 3 ist mit der Durchgängigkeit ebenfalls die Integration in den gesamten Produktentstehungsprozess thematisiert sowie durch den Hinweis der begrenzten Möglichkeit und Effektivität rein korrekativer Gestaltungsmaßnahmen ergänzt (vgl. Dul und Neumann, 2009, S. 745; Bierwirth, 2011, S. 47). Denn erst durch die frühzeitige Betrachtung der Ergonomie in der konzeptionellen und präventiven Arbeitsgestaltung, in welcher auch eine Konstruktion risikoarm zu fertigender Produkte berücksichtigt wird, lassen sich alle Verbesserungspotentiale ausschöpfen (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 71). Die einfachste Umsetzung stellt dabei die Abstraktion von Gestaltungsrichtlinien und Grenzwerten aus Erfahrungen existierender Arbeitssysteme dar. Beispiele für allgemeine Gestaltungsvorgaben von Maschinen lassen sich in den Normen DIN EN 13861:2012, DIN EN ISO 6385:2004 und DIN EN ISO 14738:2002 finden. Auch Richtlinien zur maximalen Ausführbarkeit wie z. B. der maximalen Obergrenze von 25 kg für manuell zu bewegende Lastgewichte geben eine derartige Gestaltungsempfehlung aus (vgl. Bierwirth, 2011, S. 50). Auch die Wahl der arbeitswissenschaftlichen Bewertungsverfahren ist dabei an die jeweiligen Planungszeitpunkte des PEPs geknüpft, sodass exemplarisch für die frühe Phase die Verwendung digitaler Menschmodelle zur Simulation von Arbeitssituationen in Betracht zu ziehen ist (vgl. Kapitel 3.3). Um diese Herausforderung des richtigen und prozessorientierten Einsatzes von Bewer-

tungsverfahren zu beherrschen, hat Bierwirth eine Analyse und Zuordnung von risiko- und belastungsrelevanten Parametern in die jeweiligen Planungsprozesse verschiedener Unternehmen durchgeführt. Dabei wurden Planungsparameter festgelegt, deren Ausprägung einen Einfluss auf die Bewertungskriterien des EAWS- und NIOSH- (*National Institute of Occupational Safety and Health*) Verfahrens haben (vgl. Bierwirth, 2011, S. 53). Abbildung 9 fasst eine Auswahl dieser Ergebnisse belastungsrelevanter Planungsparameter eines Beispielunternehmens zusammen.

Phasen des PEP	Definition	Konzept	Produkt- & Prozessentwicklung	Realisierung & Vorserie	Serienphase
Quality Gates		0 QG	1 QG	2 QG	4 QG
Häufigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> Stückzahlen Varianten Gesamtfertigungszeit 	<ul style="list-style-type: none"> Montageschritte Produkt (Einzelteile / Stückliste) Manuelle Tätigkeiten (Automatisierungsgrad) Gesamtfertigungszeit Maximalanzahl Arbeitspersonen fix Stationsanzahl 	<ul style="list-style-type: none"> Austaktung fix Anzahl Arbeitspersonen fix 	<ul style="list-style-type: none"> Steigerung der Ausbringungsmenge im Anlauf 	<ul style="list-style-type: none"> Rotationsmuster
Körperhaltung	<ul style="list-style-type: none"> Produktart Kundenverpackung 	<ul style="list-style-type: none"> Referenzgeometrie & -prozess Grundhaltung fix Tätigkeiten und Ablauf Arbeitshöhen & -tiefen 	<ul style="list-style-type: none"> Produktergonomie fix Zugangsricht./ Greifbed. Produkt fix Arbeitshöhen & Greiftiefen fix 	<ul style="list-style-type: none"> Zugangsricht./ Greifbedingungen fix 	<ul style="list-style-type: none"> KVP

Abbildung 9: Auszug allgemeine Übersicht belastungsrelevante Planungsparameter im PEP (Bierwirth, 2011, S. 59 & S. 118)

Als letzten wichtigen Schritt in Modul 3 fordert Bierwirth die Einführung von sogenannten *quality gates* (dt. Qualitäts-Tore) zur Einhaltung und Überprüfung des jeweiligen Reifegrades der Fahrzeugprojekte. Es soll zum einen die Wirksamkeit des Managementmodelles absichern sowie zum anderen die Qualität des Planungsstandes messbar gestalten (vgl. Bierwirth, 2011, S. 60 ff.).

Im vierten Modul beschreibt Bierwirth die Möglichkeit über den Abgleich der fähigkeitsbezogenen Personalanalyse und spezifischen Arbeitsgestaltung, einen menschengerechteren Arbeitsinsatz in der Planungsphase anzustreben. Auch der personenbezogene Einsatz von leistungsgewandelten Mitarbeitern wird dabei thematisiert. In vielen Unternehmen jedoch vertreten die Sozialpartner und Betriebsräte die Ziele der Gleichberechtigung zur freien Arbeitsplatzwahl. Damit steht eine individualisierte Arbeitsgestaltung in einem möglichen Zusammenhang zur Diskriminierung einzelner Mitarbeiter und erhält dadurch wiederum eine geringe Bedeutung für die frühe Planungsphase. In dieser Phase besitzen Unternehmen mit einer hohen Mitarbeiteranzahl

in der Produktion auch nicht die Möglichkeit, den konkreten Mitarbeiter am späteren Arbeitsplatz zu kennen. Aufgrund dieses Konfliktes fließen die Inhalte des Moduls nicht in die eigene Defizitanalyse ein. Bis zu welchem Grad eine Umsetzung der einzelnen Module des Managementmodells TEM erfolgte, soll über ein Audit gesteuert werden. Ein festgelegter Kriterienkatalog prüft beispielsweise das Vorhandensein von Bewertungsverfahren zur Belastungsanalyse in Unternehmen. Über die Einführung einer Bewertungsskala von null bis sechs Punkten lässt sich die Wertigkeit des Erfüllungsgrades einstufen. Dabei erfolgt separat eine Prüfung der Vollständigkeit und Wirksamkeit (vgl. Bierwirth, 2011, S. 75-77). Anhand der Beispielorganisations-einheit eines kleinen automobilen Zulieferers zeigt sich, dass die Auditdarstellung im Spinnennetzformat eine gute Übersicht zum Status der gelebten Verhältnisprävention ermöglicht (siehe Abbildung 10). Während zum Teil schon gute Ergebnisse bei der Einführung von Bewertungsverfahren erzielt wurden, zeigt sich bei der Integration in den PEP, dass noch keine Instrumente für eine systematische Berücksichtigung von Risikofaktoren zur Verfügung stehen (vgl. Bierwirth, 2011, S. 87-90).

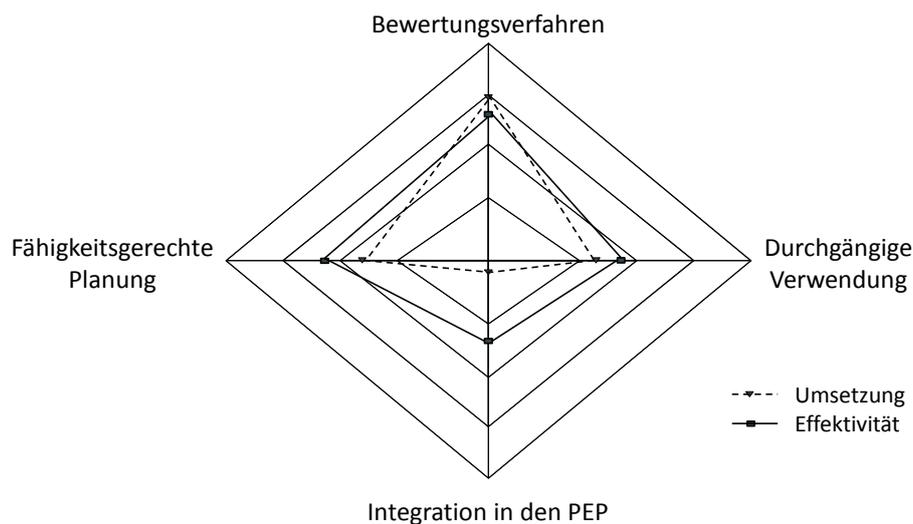


Abbildung 10: Auditergebnisse eines Beispielunternehmens (Bierwirth, 2011, S. 88)

Die vorangegangenen Ausführungen der übergreifenden und spezifischen Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung zeigen, dass für jedes System als Grundlage ein oder mehrere Verfahren zur Beurteilung der ergonomischen Gestaltungsgüte Anwendung finden müssen. Hier besteht jedoch die Notwendigkeit für den branchen- und unternehmensspezifischen Fall, die Methodenwahl zu differenzieren. Welches Verfahren dabei für den Anwendungsfall in der Automobilindustrie die optimale Auswahl darstellt, soll im nachfolgenden Kapitel analysiert werden.

3.2 Methoden der Ergonomiebewertung

Die Analyse ergonomischer Güte in der Automobilproduktion leitet sich von den ersten beiden Stufen, *Ausführbarkeit* und *Erträglichkeit*, der Beurteilung menschlicher Arbeit nach Kirchner und Rohmert ab (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 64). Als erste Kriterien zur Kontrolle der Ausführbarkeit sind in der ergonomischen Arbeitsgestaltung Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit festgelegt. Dabei wird jedoch noch nicht der Faktor Dauer einer Belastung berücksichtigt. Erfolgen die Untersuchungen zur Auswirkung der Belastung auf die Dauer einer Schicht, eines Jahres oder gar des ganzen Berufslebens, spricht man von der Überprüfung der Erträglichkeit. Ein Großteil der Verfahren zur Belastungsanalyse hat sich auf die Untersuchung der physiologischen und anthropometrischen Beanspruchung spezialisiert. Begründet liegt dies an der Vielzahl von Studien, welche einen dominierenden Anteil von Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) mit zirka 23 – 30 % als Ursache für arbeitsbedingte Fehltage festgestellt haben (vgl. BMAS, 2014, S. 263; Ghezal-Ahmadi et al., 2007, S. 10; Neubert, 2013, S. 62; Großmann & Laun, 2002, S. 997). Krankheitsbilder des Atmungs- und Verdauungssystems beispielsweise sind von den im nachfolgenden vorgestellten Verfahren ausgeschlossen. Auswirkungen von Monotonie und repetitiven Tätigkeiten auf die psychische Beanspruchung finden zu Teilen über den psychophysischen Ansatz in den Verfahren Anwendung (vgl. Schaub et al., 2012, S. 5). Entscheidend für die Auswahl eines Verfahrens ist zum einen der gewünschte Detaillierungsgrad der zu erwartenden Ergebnisse. Als wichtig erscheint dabei die Entscheidung welche, wie viele und mit welcher Aussage (qualitativ oder quantitativ) sich die Parameter bewerten lassen. Zum anderen sind der notwendige Aufwand und die Einstufungsdauer weitere entscheidende Faktoren für einen praxisorientierten Einsatz.

In der einfachsten Stufe der Verfahren wird über einen geringen Detaillierungsgrad versucht, dem Betriebspraktiker eine „Orientierung“ über die Erträglichkeit der Arbeitssituation zu geben. (vgl. LASI, 2001, S. 15-21; Schönherr, 2014, S. 38). Auch als *Grob-Screening* (siehe Tabelle 4, S. 28) bezeichnet, dienen diese Verfahren der Selektion, um weiterführend ein Detailverfahren oder Ergonomie-Experten zu Rate zu ziehen (vgl. Kugler et al., 2010, S. 18). Die *Checkliste für Unternehmer, Betriebsärzte, Fachkräfte und Arbeitssicherheit* (BGI/GUV-I 504-46, 2009) ist ein Beispiel des Grob-Screenings, welches über einfache Fallentscheidungen mit „ja“ oder „nein“ abprüft, ob ein Risiko in der Arbeitssituation vorliegt.

Tabelle 4: Übersicht einer Auswahl von Bewertungsverfahren physiologischer & anthropometrischer Belastungen (vgl. Kugler et al., 2010, S. 17; LASI, 2001, S. 16 f.)

Kategorisierung der Verfahren nach Detaillierungsebene		Belastungsarten			
		Lastenhandhabung ¹	Körperhaltung ²	Aktionskräfte ³	Repetitive Tätigkeiten ⁴
Orientierende Verfahren (Grob-Screening)	BGI/GUV-I 504-46	X	X	X	X
	LMM-(HHT-Z/S)	X			
	RULA		X		X
Quantifizierende Verfahren (Screening- & Expertenverfahren)	OCRA-Verfahren				X
	NIOSH-Verfahren	X			
	IAD-BkB	X	X	X	X
	EAWS	X	X	X	X
Wissenschaftliche Messverfahren	CUELA	Kontinuierliche Messung von Belastungsgrößen (z. B. Herzfrequenz, Gelenkwinkel, Gelenkmomenten, Körpertemperatur)			
	Motion Capture				
Legende: Einzelbelastung- und Grenzwertverfahren  Kombinationsverfahren 					
1 Lastenhandhabung beinhaltet das „Heben, Halten, Tragen“(HHT), „Ziehen/Schieben“(Z/S), sowie kombinierte Lasthandhabungsarten 2 Durch Tätigkeit erzwungene ungünstige statische & dynamische Körperhaltung 3 Hohe Belastungen durch Krafteinwirkung auf Hand-Arm- und Ganzkörpersystem 4 Repetitive Finger-Hand-Armbelastung mit stark erhöhter Handhabungsfrequenz					

Die zu untersuchende biomechanische Belastungsart ist über die Arbeitssituation von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich. Einige Verfahren, wie das *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) oder die *US National Institute of Occupational Safety and Health lifting equation* (NIOSH), haben sich aus diesem Grund auf Einzelbelastungsarten spezialisiert (vgl. Takala et al., 2010, S. 12 f.). Für die Belastungsart der Lastenhandhabungen gibt das NIOSH-Verfahren Indizes und Grenzwerte zu dem Verhältnis von empfohlenem zu tatsächlich gehandhabtem Lastgewicht bewerteter Arbeitssituationen aus (vgl. Waters, Putz-Anderson und Garg, 1994, S. 4). In der Realität der Automobilmontage können jedoch während einer Schicht verschiedene Belastungsarten sukzessive oder simultan auftreten (vgl. Schaub und Landau, 2004, S. 55). Die obligatorische Weiterentwicklung der ergonomischen Bewertungsverfahren zu sogenannten *Kombinationsverfahren* (siehe Tabelle 4) hilft, die Komplexität der Wirkzusammenhänge besser zu beschreiben (vgl. Kugler et al., 2010, S. 21). Um differenzierte Aussagen zur Ursache der Belastung und des notwendigen Interventionsbedarfes zu treffen, kam ebenfalls der Quantifizierung eine gleichgewichtete Bedeutung zu.

Ergonomic Assessment Worksheet (ursprünglich: European Assembly Worksheet)

Das dafür vom Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) und dem internationalen MTM-Direktorat (IMD) entwickelte *Ergonomic Assessment Worksheet* (EAWS) ist ein Bewertungsverfahren zur kombinierten Belastungsbewertung. Die Verbindung der Einzelbelastungsverfahren RULA, *Ovako Working Posture Assessment System* (OWAS), Leitmerkmalmethode (LMM) und *Occupational Repetitive Actions* (OCRA) ermöglicht dafür einen holistischen Ansatz der Ganzkörperbewertung (vgl. Schaub et al., 2012, S.4 f.; Takala et al., 2010, S. 5-13). Die aus den einzelnen Verfahren gewonnenen Teilergebnisse werden summarisch zu einem Gesamtrisiko addiert, welches nachfolgend das Gefährdungspotential über ein Dreizonenmodell (Ampelschema) nach DIN EN 614-1 (2009, S. 20 ff.) in „niedriges Risiko“ grün, „mögliches Risiko“ gelb oder „hohes Risiko“ rot einstuft (siehe Abbildung 11).

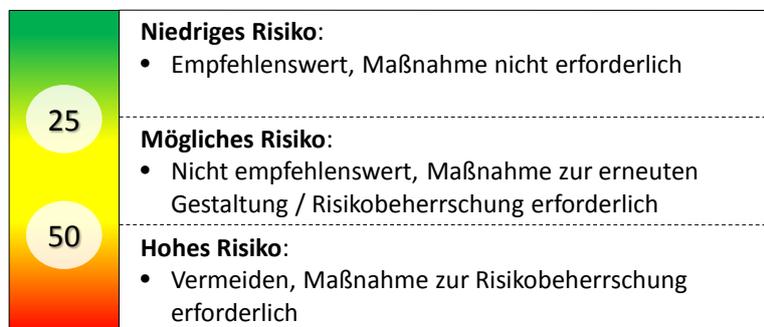


Abbildung 11: Einstufungsgrenzen des EAWS (Schaub et al., 2012, S. 9)

Dabei indizieren die gestrichelten Linien zwischen den Bereichen, dass es keine harten Grenzen sondern Übergangsbereiche gibt. Eine Bewertung mit 47 oder 53 Punkten repräsentiert dabei den gleichen „orangenen“ Bereich (vgl. Schaub et al., 2012, S. 4). Die individuellen Leistungsvoraussetzungen jedes Menschen erlauben es weder aus physiologischen noch aus wirtschaftlichen Gründen, diese Grenzen als Dogmen anzusetzen (vgl. Volkswagen AG, 2014a, S. 12). Aufgrund der für die Anwendung benötigten Ergonomiefachkenntnisse bedarf es sowohl geschulten Personals als auch eines höheren Bewertungsaufwandes.

Die letzte Stufe von Verfahren stellen wissenschaftliche Untersuchungen und Messungen dar, die mit Hilfe von sensibler technischer Ausstattung, umfassender Planung und wissenschaftlichem Personal durchgeführt werden (vgl. Schönherr, 2014, S. 39). Den Möglichkeiten mit kamerabasierten Videoanalysen, Herzfrequenz- und Temperaturmessungen sowie mit Hilfe von Elektromyographie (EMG) beliebig komplexe Forschungen zu betreiben, sind kaum Grenzen gesetzt. Die *Computer unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems* (CUELA) nutzt beispielsweise eine Kombination aus Inertialsensorik, Bodenreaktionskraftmessung und Videodokumentation zur ganzheitlichen Aufnahme biomechanischer Belastungsfaktoren am Beispiel von Schleifarbeitsplätzen (vgl. Ellegast und Hermanns, 2006, S. 1

ff.). Da die Untersuchungsergebnisse jedoch nur für die jeweiligen (Labor-)Bedingungen und die speziellen Probandengruppen gültig sind, ermöglichen sie nur eine eingeschränkte Übertragbarkeit auf ein weiteres Arbeitsplatzspektrum (vgl. Schönherr, 2014, S. 39). Das resultierend schlechtere Aufwand-Nutzen-Verhältnis ist der Hauptgrund, weshalb sich diese Verfahren nicht im Masseneinsatz für die ergonomische Arbeitsplatzbewertung etabliert haben.

3.3 Ergonomie-Absicherung am Praxisbeispiel der Automobilproduktion der Volkswagen AG

Zum Abschluss der Situationsanalyse erfolgt die Überprüfung des Umsetzungsgrades des betrieblichen Gesundheitsmanagements am Praxisbeispiel. Es gilt dabei, alle notwendigen Informationen in eine Strukturierung ähnlich der oben erläuterten Managementsysteme zu bringen, um nachfolgend eine übersichtliche Ableitung der Defizite aus Theorie und Praxis gleichermaßen zu erarbeiten. Eine enge Zusammenarbeit mit vielen produktionsnahen Bereichen der Volkswagen AG ermöglicht die detaillierte Analyse eines bereits weit entwickelten und etablierten Gesundheitsmanagements. Nachfolgende Erkenntnisse zu Verfahren und Prozessen beziehen sich zum Teil auf den gesamten Volkswagen Konzern mit seinen aktuell 12 Marken und zirka 600.000 Mitarbeitern. Der tiefer greifende Fokus der Untersuchung konnte aus Gründen der Machbarkeit nur auf die Kernmarke Volkswagen und den Standort Wolfsburg gelegt werden. Die Analyse erfolgt anhand der aus den Managementkonzepten von Chodora (2011, S. 66) und Bierwirth (2011, S. 35) individuell abgeleiteten Struktur:

- **Modul Integration in den PEP**
(nach Bierwirth Modul 2 & 3)
- **Modul Bewertungsverfahren**
(nach Bierwirth Modul 1 & Chodora Modul A2 & B5)
- **Modul Ableitung und Bewertung der Maßnahmen**
(nach Chodora Modul B4 & B5, Bierwirth Modul 2)
- **Modul Dokumentation & Wirksamkeitskontrolle**
(nach Bierwirth Modul 2 & Chodora Modul C7 & B5)
- **Modul Fähigkeitsorientierte Planung**
(nach Bierwirth Modul 4)

Modul Integration in den PEP

Nach Dul et al. (2012, S. 382) muss im ersten Schritt einer strategischen Ausrichtung zur Ergonomiebeeinflussung die Forderung durch einflussreiche *stakeholder* (dt. Teilhaber) wie z. B. durch das Top-Management erfolgen. Innerhalb des Volkswagen Konzerns trägt, über die Organisations-Anweisung 509/3 geregelt, „der Vorstand [...] die Verantwortung für den Arbeits- und Gesundheitsschutz [...]“ (vgl. Volkswagen AG, 2015a, S. 2). Zur Umsetzung werden die daraus resultierenden Pflichten einer ergonomischen Arbeitsgestaltung auf alle beteiligten Geschäfts- bzw. Fachbereiche delegiert. Eine Auswahl der Beteiligten sind dabei die technische Entwicklung, die Planung, das Industrial Engineering, das Personalwesen, das Gesundheitswesen und der Arbeitsschutz sowie der Betriebsrat (vgl. Volkswagen AG, 2015a, S. 2.). Die gesamtstrategische Ausrichtung über den Konzern erfolgt über das *Konzernproduktionssystem* (KPS), in welchem über Säulen und Methodenbausteine ein standardisierter und wertschöpfungsorientierter Rahmen für die kundenorientierte Produktion geschaffen wird. Ergonomie stellt dabei als Grundlagenbaustein den Menschen mit dem Ziel der Umsetzung ergonomischer Lösungen und Standards in den Mittelpunkt (vgl. Volkswagen AG, 2013a, S. 12). Die Kontrolle der Einhaltung und Qualität ergonomischer Optimierung im Fahrzeugprojekt erfolgt über fest definierte Meilensteine (*quality gates*) im Produktentstehungsprozess (siehe Kapitel 2.2). In Abbildung 12 sind die fünf konzernweit abgestimmten „Ergonomie-Meilensteine“ im PEP dargestellt.

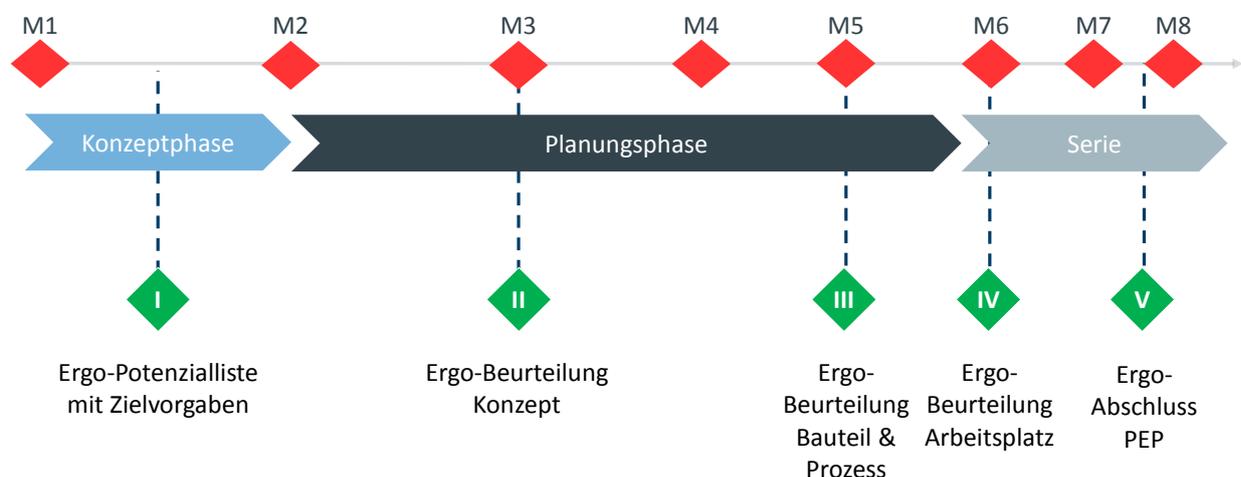


Abbildung 12: Ergonomie-Meilensteine im Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG (basiert auf Volkswagen AG, 2015b, S. 1)

Modul Bewertungsverfahren

Die vorhergehenden Kapitel zeigten, dass der Einsatz etablierter Verfahren zur Risikoidentifizierung und Arbeitsplatzbewertung für Ergonomie-Optimierung eine Notwendigkeit darstellt. Aus diesem Grund hat der Vorstand und Betriebsrat im Jahr 2009 die Einführung einer konzernweit einheitlichen Bewertungsmethode auf Basis der arbeitswissenschaftlichen Verfahren des EAWS

und AAWS (*Automotive Assembly Worksheet*) in der Volkswagen AG definiert (vgl. Volkswagen, 2009a, S. 1). Über die in Kapitel 3.2 beschriebene Bewertungsskala ist eine Interpretation der Arbeitsplätze anhand von Punktbewertungen möglich. Zur Unterstützung und einheitlichen Dokumentation wurde die EAWS-Bewertungssystematik in dem IT-System *Arbeitsplan* (ap) der Volkswagen AG umgesetzt. Arbeitspläne sind neben der Werkstückzeichnung die wichtigsten Informationsträger für die Produktion. Sie enthalten in Prozessplänen die Beschreibung der Arbeitsvorgänge zur Herstellung eines Teiles, einer Gruppe oder eines Erzeugnisses (vgl. Westkämper, 2006, S. 156). Der Aufbau, die Archivierung sowie die Pflege der Prozesspläne wird für jedes Fahrzeugprojekt der Volkswagen AG in diesem System durchgeführt (vgl. Neubert, 2013, S. 48). Auf einer tieferen Detaillierungsebene sind die Prozessplänen über das sogenannte *Methods-Time Measurement* (MTM) Grundverfahren mit Arbeitsablauf-Zeitanalysen beschrieben. Dieses System vorbestimmter Zeiten ermöglicht bereits in der Planungsphase eine normierte Analyse von Arbeitstätigkeiten. Je nach Komplexität der Anwendungsbedingungen und Streben nach Praktikabilität ist der Einsatz von MTM-Systemen mit unterschiedlichen Verdichtungsebenen möglich. In der Volkswagen AG hat sich das *universelle Analysiersystem* (UAS) etabliert und wird im weiteren Verlauf der Arbeit näher diskutiert. Informationen zu weiteren Verfahren sind in Schlick (2010) und Britzke (2010) zu finden.

Die dadurch bereits für die Arbeitsabläufe detaillierten Zeitanalysen lassen sich für die nachfolgenden Ergonomiebewertungen weiterverwenden sowie alle ergonomierelevanten Parameter an diese koppeln. Aus der Summe der vorliegenden Belastungsart und verknüpften Belastungsdauer ergibt sich der Ergonomiepunktwert. In Folge der softwaregestützten und teilautomatisierten Kopplung an die Zeitbewertungen entsteht das Risiko einer tendenziellen Überbewertung der ergonomischen Belastung im Vergleich zur manuellen Papier- und Bleistiftmethode. Aus diesem Grund hat sich das Expertengremium für Arbeitsmedizin und Ergonomie in der Volkswagen AG zu einer Anhebung der Punktegrenze von 25 auf 30 Punkte als plausible Gegenmaßnahme entschieden.

Die Arbeitsplatzbewertung mit EAWS im System *Arbeitsplan* ist als beobachtungs-basierte Methode von der Qualität der Eingangsgrößen abhängig. Bewertungen der Körperhaltung sind demnach valider, wenn die Umgebung (z. B. Fahrzeughöhe) im Arbeitstakt genau definiert ist. Bei der Beurteilung von Finger- oder Ganzkörperkräften haben die Entwicklungsstände der Bauteile bereits eine starke Auswirkung. Prototypenbauteile erzeugen aufgrund des unterschiedlichen Reifegrades im Vergleich zu Serienbauteilen auch unterschiedliche Kraftwerte. Aus diesem Grund wird eine finale Arbeitsplatz- oder Prozessbewertung erst im späteren Produktentstehungsprozess und frühestens 18 Monate vor *Produktionsbeginn* (*start of production* – SOP) eingesetzt (siehe Meilenstein IV in Abbildung 12, S. 31). Mit dem Ziel in Anlehnung an die „Zehnerregel zur

Fehlerkostenvermeidung“ (siehe Kapitel 2.2) auch Änderungskosten aufgrund ungünstiger Ergonomie frühzeitig zu vermeiden, mussten weitere Bewertungsmethoden für die frühe Phase etabliert werden. Die von den EAWS-Modulen abgeleitete „Ergo-Checkliste“, stellt ein dafür eigens entwickeltes Grob-Screening zur Identifizierung ergonomisch kritischer Teilprozesse dar. Fünf einfache Einstufungsfragen von Körperhaltung bis Lastenhandhabung ermöglichen eine Grobabschätzung, ob Interventionsbedarf in der ergonomischen Produkt- oder Prozessgestaltung besteht. Als Beispiel würde die Auswahl der Montage in hockender Körperhaltung über eine Zeitdauer von 0,6 Minuten diesen Bedarf aufzeigen (siehe Abbildung 13).

Checkliste		Identifikation von ergonomisch kritischen Bauteilen																																																																
Belastungsarten	Beispiel	Montagezeiten bzw. Häufigkeiten																																																																
beugen / neigen?		Montagezeit je Arbeitsplatz																																																																
<input type="checkbox"/> JA <input checked="" type="checkbox"/> Nein		<input type="checkbox"/> < 0,2 min	<input type="checkbox"/> 0,2-0,3 min	<input type="checkbox"/> 0,3-0,5 min	<input type="checkbox"/> > 0,6 min																																																													
Armhaltung auf bzw. über Kopfhöhe?		Montagezeit je Arbeitsplatz																																																																
<input checked="" type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> Nein		<input type="checkbox"/> < 0,2 min	<input type="checkbox"/> 0,2-0,3 min	<input type="checkbox"/> 0,3-0,5 min	<input type="checkbox"/> > 0,6 min																																																													
einsteigen bzw. knien/hocken?		Montagezeit je Arbeitsplatz																																																																
<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Einsteigen	<input type="checkbox"/> < 0,2 min	<input type="checkbox"/> 0,2-0,3 min	<input type="checkbox"/> 0,3-0,5 min	<input type="checkbox"/> > 0,6 min																																																													
Sind Finger bzw. Ganzkörperkräfte (>30N) erforderlich?	 F: Fingerkräfte G: Ganzkörperkräfte	Häufigkeiten je Arbeitsplatz																																																																
<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> Nein		<input type="checkbox"/> F 1-9 G 1-2	<input type="checkbox"/> F 10-20 G 3-7	<input type="checkbox"/> F >7 G >7																																																														
Lasten ab 3Kg handhaben?		Geringes Rumpfneigen / Last am körpernah																																																																
<input type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> Nein		Häufigkeit (Anzahl)																																																																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Lastgewicht (kg)</th> <th colspan="7">Häufigkeit (Anzahl)</th> </tr> <tr> <th>5</th> <th>25</th> <th>120</th> <th>350</th> <th>392</th> <th>500</th> <th>750</th> <th>1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10-15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Lastgewicht (kg)	Häufigkeit (Anzahl)							5	25	120	350	392	500	750	1000	3									5									7,5									10									10-15								
Lastgewicht (kg)	Häufigkeit (Anzahl)																																																																	
	5	25	120	350	392	500	750	1000																																																										
3																																																																		
5																																																																		
7,5																																																																		
10																																																																		
10-15																																																																		
Ergonomisch kritisches Bauteil, bei:	1x <input type="checkbox"/>	mind. 1x <input type="checkbox"/>	mind. 2x <input type="checkbox"/>	mind. 3x <input type="checkbox"/>	1x <input type="checkbox"/> u. 2x <input type="checkbox"/>																																																													

Abbildung 13: „Ergo-Checkliste“ als Grob-Screening für Teilprozesse der Montage in der frühen Phase des Produktentstehungsprozess (Volkswagen AG, 2013b, S. 1)

Fällt zu diesem frühen Zeitpunkt im PEP die Untersuchung eines Produkt- oder Prozessumfanges an, so steht in den meisten Fällen noch kein physischer Prototyp des Fahrzeuges zur Verfügung. Dem Prinzip des *concurrent engineering* (CE) „right first time“ (beim ersten Mal richtig) folgend, ist auch für die Ergonomieabschätzung eine Bearbeitung mittels CAD (Computer Aided Design) Software notwendig (vgl. Bullinger, Richter und Seidel, 2000, S. 332).

Der Einsatz des Werkzeuges „Editor menschlicher Arbeit“ (ema) befähigt dabei den Planer auf einfache Art und Weise eine Simulation des Montageprozesses, wie in Abbildung 14 dargestellt, zu erzeugen (vgl. imk, 2013, S. 7). Das Programm führt nach der Eingabe weiterer Randbedingungen, wie z. B. von Lastgewichten und Kräften, eine detaillierte semi-automatische Ergonomiebewertung nach EAWS durch. Der ema ergänzt damit als Planungsmethodik der digitalen Fabrik die frühzeitige virtuelle Absicherung (vgl. Schönherr, 2014, S. 121). Das EAWS-Verfahren, die Checkliste und der ema bilden dabei die Kernmethoden und -werkzeuge der Ergonomie-Absicherung in der Produktionsplanung der Volkswagen AG.

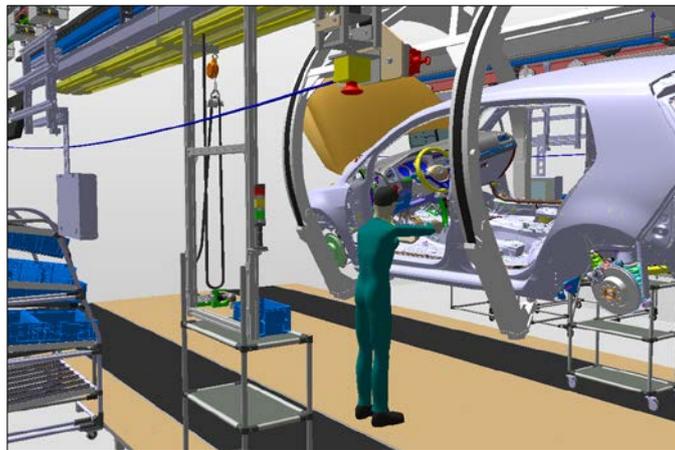


Abbildung 14: Simulation der Montage Kreuzgelenk mit dem digitalen Werkzeug ema (Volkswagen AG, 2016a)

Modul Ableitung und Bewertung der Maßnahmen

Nach der eben beschriebenen Ermittlung des Interventionsbedarfes sind im Anschluss Maßnahmen und Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Die Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Arbeitssystem bleiben dabei abhängig von der Reife des Fahrzeugprojektes im Produktentstehungsprozess. Während in der sehr frühen Identifikationsphase die besten Chancen bestehen, Maßnahmen zu generalisieren, bleiben Entscheidungen zur Anpassung von Produkt, Prozess oder Organisation der Mitarbeiter noch offen. Zur optimalen Entscheidungsfindung kommen dafür gemäß der Regelkreise des Qualitätsmanagements (siehe Kapitel 2.2) interdisziplinäre Arbeitsgruppen verschiedener Fachbereiche in Arbeitstreffen (*workshops*) zusammen. Eine im Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG fest definierte Methode ist der *production preparation process (3P) workshop*, welcher vier Mal von der Konzept- bis zur Anlaufphase durchgeführt wird. Weitere Ziele neben der Verbesserung der Ergonomie sind die Reduzierung der Montagezeiten, erste Baubarkeitsuntersuchungen und eine Steigerung der Qualität (vgl. Volkswagen AG, 2015b, S. 271). Jeder von den Fakultäten der Entwicklung, Planung, Arbeitsmedizin oder Produktion hervorgebrachte Maßnahmenvorschlag wird diskutiert und in übersichtli-

cher Form, als sogenanntes Schmetterlingsblatt dem Management vorgestellt. Abbildung 15 verdeutlicht anhand der Beschreibung sowie Auflistung der Zahlen, Daten und Fakten, welche Auswirkung die Maßnahme ergonomisch als auch kostentechnisch hervorruft.

		F-Zeit-Reduzierung/ Ergonomieverbesserung durch Schrauberaufsatz AP 5253						
		VORHER		NACHHER			FAKTEN	
FOTO							Standort Wolfsburg	
		<ul style="list-style-type: none"> Manuelles Verschrauben des Deckels am Ausgleichsbehälter Schlechte Ergonomie = „roter Arbeitsplatz“ 		<ul style="list-style-type: none"> Verwendung eines Akkuschraubers mit speziellem Aufsatz analog Foshan Verbesserte Ergonomie = „gelber Arbeitsplatz“ Drehmoment des Schraubers ca. 9 Nm zum Verrasten 			Gewerk / Bereich Montage	
BESCHREIBUNG							Methoden 	
ZDF		6s	---	5s	€ _{Inv}	500 €	---	Massnahmen@web 314062
		54,5	---	40,5	€	---	---	WissensWerk
								Quelle 3P Prozess

Abbildung 15: Darstellung eines Maßnahmenvorschlages aus einem 3P-Workshop in Form eines Schmetterlingsblattes (Volkswagen AG, 2014b, S. 6)

Die Einbeziehung der Mitarbeiter, Koordinatoren und Meister der betroffenen Fertigung verfolgt dabei nicht nur das Ziel, die Akzeptanz sondern auch die Umsetzungswahrscheinlichkeit der Maßnahmen zu verbessern (vgl. Chodora, 2011, S. 90). Den wichtigsten Beitrag zur Umsetzung einer Maßnahme liefert für das Management eine Aufwand-Nutzen-Bewertung mit eindeutigem Ergebnis. Der erste Teil der Aufwandsabschätzung entspricht in der Regel einer Kostenaufstellung für die Änderung der Konstruktion, der Werkzeuge oder der Neubeschaffung von Betriebsmitteln. Diese in Euro sehr detailliert abgebildeten Kosten stellen in den meisten Aufwandsabschätzungen eine valide und akzeptierte Kenngröße dar.

Im Gegensatz zur Aufwandsbetrachtung ist der Nutzen einer Maßnahme nicht in jedem Fall valide mess- oder berechenbar. Gemäß dem Qualitätsmanagement-Gedanken sollen Kosten, in Form von präventiver Fehler- oder Fertigungszeitreduzierung, vermieden werden (siehe Kapitel 2.2). Für die Quantifizierung der eventuell entstehenden Kosten beziehungsweise des gleichwertigen Nutzens einer Maßnahme haben die Bereiche der Qualitätssicherung, der Planung und des Industrial Engineerings bereits feste Kennzahlen definiert. Als ein Beispiel sei die Umrechnung von Fertigungsmehrzeit über einen durchschnittlichen Stundenlohn der Fertigungsmitarbeiter an deutschen Standorten in Euro genannt. Unweit komplexer stellt sich jedoch die Aufgabe für die Berechnung des Nutzens von Maßnahmen zur Ergonomieverbesserung dar. Sowohl in der Literatur als auch in der Volkswagen AG existieren Ansätze, wie in Einzelfällen ergonomische Wirtschaftlichkeitsberechnungen als ex-post Betrachtungen durchführt werden können (vgl.

Neubert, 2013, S. 122). Als ex-post bezeichnet man dabei die erst nach der Maßnahmenumsetzung durchgeführte Erfolgskontrolle (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 37). Eine ex-ante Methode zur Effizienzprognose einer ergonomischen Maßnahme ist aufgrund der fehlenden validen und quantifizierten Eingangsdaten bei der Volkswagen AG nicht im Einsatz. Neben dem generellen Verständnis, dass ergonomische Maßnahmen eine Verbesserung der Arbeitssituation ermöglichen und dadurch indirekt Kosten reduzieren, ist die Anwendung weiterer Hilfsmittel notwendig. Die in der Arbeitsplatzanalyse errechnete, nicht monetäre Punktzahl kann beispielsweise als ein Indikator für den Grad der möglichen Verbesserung verwendet werden.

Modul Dokumentation & Wirksamkeitskontrolle

Nach Bierwirth (2011, S. 42) steigert eine transparente Darstellung der Risiken und Ursachen die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung einer Maßnahme. Im Speziellen müssen die Ergebnisse einer Dokumentation dabei adressatengerecht verdichtet und aufbereitet sein (vgl. Wengler, 2009, S. 574). Der Ansatz eines einheitlichen Berichtswesens im gesamten Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG, erfolgte im ersten Schritt durch die Einführung der sogenannten *Ergo-Potentialliste*. Diese wird zum Start des Lebenszyklus eines Fahrzeugprojektes mit Potentialen aus dem Referenzfahrzeug oder Produktionsstandort gefüllt und gegebenenfalls mit neuen Potentialen erweitert. Eine Weitergabe der Liste bei den jeweiligen Ergonomie-Meilensteinen ist bereichsübergreifend abgestimmt. (vgl. Volkswagen AG, 2015c, S. 10). Zusätzlich steht in Form einer automatisch generierten Ergonomie-Landkarte im System Arbeitsplan eine verdichtete Darstellung aller Ergonomiebewertungen der Montagelinien zur Verfügung (siehe Abbildung 16). Die Ergebnisse unterliegen einer dynamische Berechnung und sind bei jeder Anpassung des Arbeitssystems, wie z. B. aufgrund der Umsetzung einer Maßnahme oder Änderung des Fahrzeugprogrammes, auf dem aktuellen Stand.

	0932										0921															
	C618										S652	S653	S655	S657	S659	S663	S666	S668	S669	S673	S674	S675				
Modul 0-3											25,5	14,1	14,1	30,7	29,9	14,1	14,1	30,7	29,4	39,7	43,4	44,5	44,9	10,4	11,0	35,4
	0921										0934															
	S675	S676	Z649							S627	S628	S629	S630	S631	S634	S635										
Modul 0-3	34,7	18,2	21,2							84,5	31,2	31,2	27,4	27,1	93,2	35,1	76,6	42,8	40,6	39,3						
	0934										0922															
	S638	C642							S678	S679	S680	S681	S683	S684	S685											
Modul 0-3	51,1							30,6	30,6	44,5	44,5	45,9	45,9	26,7	26,7	40,0	40,1	45,8	45,9	36,8						

Abbildung 16: Ausschnitt aus einer Ergonomie-Landkarte mit Arbeitsplatzbewertungen und Ampelschemata

Als große Herausforderung neben der ausführlichen Dokumentation von Maßnahmen bleibt die Kontrolle der Wirksamkeit. Wie bereits im Grundlagenteil erläutert, ist das Ziel einer präventiven Arbeitsgestaltung, das Erkrankungsrisiko des Muskel-Skelett-Systems zu minimieren. Individuelle

Leistungsvoraussetzungen und die schwer quantifizierbare Dauer ab wann eine Erkrankung eintritt, verhindern dabei eine plausible Wirksamkeitskontrolle. Lediglich im laufenden Serienprozess können korrektiv ergriffene Maßnahmen sinnvoll kontrolliert werden. Die Ärzte der Arbeitsmedizin können in Krankenrückkehrgesprächen und der Arbeitsausfallstatistik die individuellen Krankheitsgründe auswerten und dadurch Rückschlüsse zu den umgesetzten Maßnahmen ziehen.

Modul Fähigkeitsorientierte Planung

Das zunehmende Alter der Bevölkerung hat ebenfalls Auswirkungen auf die Planung von Arbeitssystemen. Für ältere Arbeitnehmer nimmt beispielsweise die Fähigkeit zu sensomotorischer Arbeit, welche häufig bei einfachen Arbeiten unter hoher Geschwindigkeit benötigt wird, ab. Steigender Blutdruck, eingeschränktes Seh- oder Hörvermögen sind weitere Faktoren, die in der Arbeitsgestaltung berücksichtigt werden sollten. Auch die Größe eines Produktionsbetriebes, wie beispielsweise den der Volkswagen AG am Standort Wolfsburg mit seinen zirka 5000 Fertigungsmitarbeitern, stellt eine von Bierwirth (2011, S. 62) beschriebene fähigkeitsorientierte Planung vor besonderen Herausforderungen. Die verantwortlichen Bereiche des Serienbetriebes der Produktion benötigen eine gewisse Flexibilität in der Personaleinsatzplanung, um hohe Fluktuationen und Krankheitsausfälle zu kompensieren. Alle vom Personal- und Gesundheitswesen geführten Daten über die Mitarbeiter unterliegen hohen Datenschutzbestimmungen. In Fällen ärztlich attestierter Einschränkungen lassen sich personenbezogene Einsatzmöglichkeiten oder individuelle Arbeitsplatzanpassungen als korrektive Maßnahmen planen.

Die Summe der eben benannten Herausforderungen verhindert die Bereitstellung personenspezifischer Daten in den früheren Planungsphasen des Produktentstehungsprozesses und somit die frühzeitige Einbeziehung der personenspezifischen Fähigkeiten. Zusätzlich ist es im Sinne der Arbeitnehmervertretung, die Arbeitsplätze so zu planen und zu gestalten, dass nach Möglichkeit keine Diskriminierung bei der Arbeitsplatzwahl der Mitarbeiter entstehen kann. Aus diesem Grund hat man sich in der Volkswagen AG beispielsweise auf die standardisierten Werte eines repräsentativen männlichen Mitarbeiters im Alter zwischen 35 und 40 Jahren mit 1,76 m Körperhöhe des 50. Körperhöhenperzentils (DIN CEN ISO/TR 7250-2, 2011) und eines geübten Übungsgrades festgelegt. In der Planungsphase unterstützt diese standardisierte Definition die Vergleichbarkeit ergonomischer Bewertungen.

3.4 Identifizierung von Defiziten existierender Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung aus Theorie und Praxis

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln Elemente der ganzheitlichen Ergonomie-Absicherung durch Managementsysteme in dem Kontext der Theorie und Praxis beschrieben wurden, erfolgt abschließend die Ableitung der vorgefundenen Defizite. Aufgrund der größten Anzahl von manuellen Tätigkeiten und Arbeitsplätzen im Gewerk der Montage liegt der Fokus auf den Defiziten in diesem Bereich der Automobilproduktion. Die Gewerke des Presswerks, des Karosseriebaus, der Lackiererei sowie der Logistik weisen an Produktionsstandorten in Deutschland einen hohen Automatisierungsgrad auf und stehen somit für die angestrebte Absicherung der Ergonomie manueller Tätigkeiten nicht im Fokus dieser Arbeit. Alle im folgenden Abschnitt definierten Defizite sind zum einen durch eigene Erfahrungen in der Mitarbeit im Produktentstehungsprozess mehrerer Fahrzeugprojekte gesammelt. Zum anderen flossen Informationen aus Befragungen und Gesprächen mit Fachexperten aus unterschiedlichen an der Produktentstehung beteiligten Bereichen mit in die Auswertung ein. In der frühen Produktentstehungsphase während der Bauteilentwicklung kamen die meisten Informationen aus der Konzept- und Montageplanung sowie von Mitarbeitern der technischen Entwicklung. Sobald die Arbeitsplatzgestaltung und Eintaktung der Umfänge am jeweiligen Standort konkretisiert wurde, waren Kollegen des Industrial Engineerings und der Serienplanung involviert. Durch das operative Tagesgeschäft zur Arbeitsplatzbewertung von Montagelinien sowie aufgrund der engen Zusammenarbeit mit der Arbeitsmedizin konnten ebenfalls wertvolle Informationen erzeugt werden. Der Betrachtungszeitraum dieser Analysen erstreckte sich dabei über drei Jahre von 2013 - 2015.

Integration in den Produktentstehungsprozess

In den Managementsystemen SALUCONTROL und TEM wird die Relevanz der Initiierung ganzheitlichen Gesundheitsmanagements durch die Führungsebene gleichermaßen gefordert. Über die allgemeine Forderung hinaus fehlen jedoch detaillierte Vorgehensweisen und Beschreibungen, die in ihrer Allgemeingültigkeit auf verschiedene Unternehmensbranchen und Abschnitte im Produktentstehungsprozess übertragbar wären. Um eine Integration in bestehende Prozesse zu ermöglichen, ist eine vollständige Detaillierung dieser Vorgehensweisen notwendig. Dabei ist es wichtig, die Verknüpfungen, Strategien, Ziele, Verantwortlichkeiten und Zusammenhänge ausnahmslos einzubeziehen. Dieses Vorgehen zur Steuerung und Planung von geschäftlichen Arbeitsabläufen wird in der der Literatur und Industrie unter den Begriffen *Prozessmanagement* oder *Geschäftsprozessmanagement* zusammengefasst (vgl. Gadatsch, 2015, S. 7; Kapitel 4). Unternehmen versuchen dafür aus Gründen der Komplexitätsbeherrschung und unter Wettbewerbsdruck ihre gesamten Aktivitäten mit Prozessmodellen und -abläufen zu beschreiben (vgl.

Richter, 2009, S. 432 ff.). Für das Management der Ergonomie schlägt Bierwirth den Einsatz des Problemlöseprozesses PDCA nach Deming vor (vgl. Kapitel 2.2; Bierwirth, 2011, S. 44). Mit seiner logischen Reihenfolge der Prozessschritte erfüllt dieser allerdings nur einen Teil der Minimalanforderungen an ein Prozessmanagement. Vielmehr fehlen in der Literatur die Betrachtungen der Schnittstellen von Ergonomie zu anderen Prozessen sowie die Rolle welche diese dann zur Unterstützung einnehmen (vgl. Richter, 2009, S. 435). Das betrifft einerseits den Abgleich der für eine ergonomische Belastungsanalyse notwendigen Eingangsgrößen und den tatsächlich in dem jeweiligen Betrachtungszeitraum zur Verfügung stehenden Daten. Die Praxisanalyse in der Volkswagen AG zeigte, dass trotz eines übergeordneten Ergonomie-Prozesses mit Meilensteinen immer noch Informationen, die in einer anderen Phase eine hohe Relevanz hätten, über die Vielzahl an Schnittstellen verloren gehen. Erklärbar ist dies zum Teil durch den sehr langen Zeitraum von über vier Jahren in dem Informationen über ein Fahrzeugprojekt und davon abhängig auch des Arbeitssystems generiert und weitergegeben werden müssen. Geeignete Daten über ungünstig gestaltete Arbeitsplätze sind aktuell nicht in der Form bereitgestellt, dass sie in der frühen Produktgestaltung für einen Entwickler nutzbar sind. Bierwirth führt mit seiner Darstellung der beeinflussbaren Parameter (siehe Abbildung 9, S. 25) entlang des Produktentstehungsprozesses einen ersten Ansatz einer solchen Berücksichtigung in der frühen Phase an, belegt diesen aber nicht mit detaillierten Untersuchungen.

Wichtig ist neben der Kenntnis der relevanten Eingangsgrößen auch die Definition, wer für die Beschaffung der Informationen verantwortlich ist. Es bleiben darüber hinaus offene Fragen, in welcher Form und zu welchem Zeitpunkt die Bereitstellung der Informationen erfolgen sollte, sodass diese von einem Ergonomie-Experten mit den entsprechenden Methoden bewertet werden können. Diese Schwachstellen lassen sich als unzulängliche oder fragmentierte *Verantwortlichkeiten* bezeichnen, welche auch für den Ergonomieprozess nicht hinreichend beschrieben sind (vgl. Staud, 2006, S. 18). Abteilungen der Arbeitsmedizin oder Serienplanung sind per se die Organisationen mit den detailreichsten Informationen zur ergonomischen Arbeitssystemgestaltung, erfahren aber aktuell in den Ergonomie-Prozessen der frühen Phase geringe bis keine Beteiligung. Eine Möglichkeit zur Reduktion von Schnittstellen und Organisationsbrüchen ist die Einführung von sogenannten *interdisziplinären* Prozessteams (vgl. Richter, 2009, S. 438).

Zusammengefasste Defizite:

- Fehlendes Prozessmanagement der Ergonomie
- Ungeklärte Schnittstellen & Verantwortlichkeiten
- Unzureichende interdisziplinäre Teamarbeit in der frühen Phase

Bewertungsverfahren in der frühen Phase des PEP

Verfahren zur Risikobewertung ergonomischer Belastungen am Arbeitsplatz sind im Großteil der Automobilindustrie bereits etablierte Standards. Eines dieser quantifizierenden Expertenverfahren ist das *Ergonomic Assessment Worksheet* (EAWS), welches auch im TEM von Bierwirth (2011, S. 36) als Empfehlung genannt wird. Das anhand einer Arbeitsplatzbewertung identifizierte Risiko lässt sich dabei in Anlehnung an DIN EN ISO 12100 als eine Funktion des *Schadensausmaßes* und der *Eintrittswahrscheinlichkeit* verstehen (vgl. DIN EN ISO 12100, 2011, S. 24). Wie bereits beschrieben, haben die individuellen Leistungsvoraussetzungen jedes einzelnen Mitarbeiters einen großen Einfluss auf mögliche Verletzungen und Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems. Aus diesem Grund liegt der Fokus der wissenschaftlichen Betrachtungen auf den objektiv beeinflussbaren Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit und nicht auf dem subjektiven Schadensausmaß. Aktuell sind den Möglichkeiten zur Vermeidung des Schadensausmaßes in der Automobilproduktion wie in der Problemstellung herausgestellt, Grenzen gesetzt (Kapitel 1). Zwei Gründe haben sich dafür im Zusammenhang mit Bewertungsverfahren physischer Belastungen in der Situationsanalyse ergeben. Zum einen bilden Verfahren wie das EAWS das Risiko und die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit auf der Betrachtungsebene des Arbeitsplatzes und der Montagestruktur ab (siehe Abbildung 17, S. 41). Aufgrund des zeitlichen Versatzes zwischen der Konstruktion der Bauteile und Ausgestaltung der Arbeitsplätze resultieren dadurch bereits weniger und zeitgleich kostenintensivere Möglichkeiten zur Einflussnahme. Zum anderen können die qualitativen Aussagen anhand einer Ergo-Checkliste den Entwicklern und Planern keine hinreichend genaue Informationsgüte abbilden, die den tatsächlichen Handlungsbedarf zwischen der Vielzahl an Bauteilen abschätzt und priorisiert (vgl. Kapitel 1 „Müssen wir da etwas machen?“, „Was bringt uns das ergonomisch?“). In dieser grob qualitativen Aussageform leisten die Verfahren nur ähnlich verallgemeinernde Vorgaben, wie z. B. die Forderungen der Produktion nach montagegerechter Konstruktion. Einige ausgewählte Gestaltungsgrundsätze für die Produktentwicklung lauten demzufolge nach Müller (2013, S. 714 ff.):

- Verbessere die Zugänglichkeit!
- Ermögliche eine stabile Handhabung!
- Unterstütze das Zusammenstecken von Teilen!
- Minimiere die Montagerichtungen, strebe einfache Bewegungsmuster an!

Es lässt sich leicht vorstellen, dass anhand dieser Anforderungen lediglich eine geringe Einschätzung des Zusammenhanges oder gar einer Risikobeurteilung biomechanischer Belastungsgrößen für den Mitarbeiter am späteren Arbeitsplatz möglich ist.

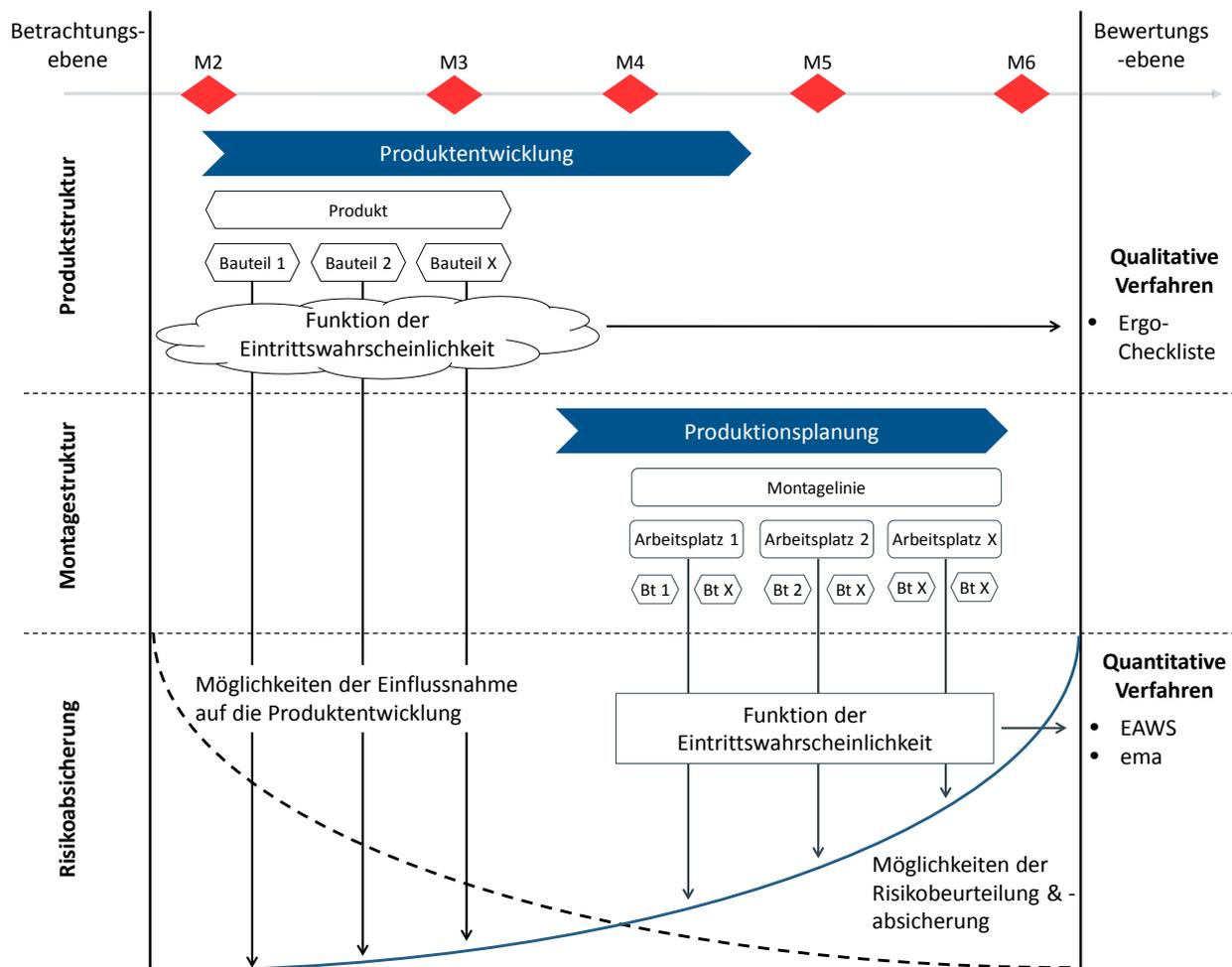


Abbildung 17: Schematische Darstellung der Problemstellungen für ergonomische Risikobewertung in der frühen Phase des PEP

Aktuell existieren keine Bewertungsverfahren ergonomischer Risiken, die in der Schnittstelle zur Produktentwicklung validierte sowie quantitative Aussagen treffen können. Im Kontext der Forderung nach zufriedenstellender Praktikabilität von Absicherungsverfahren leisten qualitative Bewertungsergebnisse für Neuentwicklungen und -planungen keine wiederverwendbare Informationsgüte. Durch die Bestrebungen der Automobilhersteller mit Hilfe von Baukastenstrategien Bauteile und Baugruppen zu vereinheitlichen und Kosten zu senken, erhalten kennzahlenbasierte Bewertungsverfahren mit Datenbankanbindung zusätzliches Potential, den Bewertungsaufwand in höherem Maße zu reduzieren.

Zusammengefasste Defizite:

- Keine quantitative Risikoanalyse ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene
- Keine Praktikabilität existierender Verfahren
- Keine hinreichende Informationsgüte über ergonomische Einflussfaktoren für die Schnittstelle zur Produktentwicklung

Ableitung und Bewertung von Maßnahmen

Nach Bierwirth (2011, S. 42) erfolgt eine optimale Maßnahmenermittlung bei bestmöglicher Transparenz der Risiken und Ursachen. Eine Priorisierung von Interventionsmaßnahmen ist dabei für häufig auftretende Belastungsschwerpunkte zielführend (vgl. Bierwirth, 2011, S. 42). Die zur guten Verständlichkeit beitragende Güte der Transparenz wird bei Bierwirth allerdings nicht präzise beschrieben. Wie die eingangs erwähnte Frage „Was bringt uns das ergonomisch?“ aufzeigt, können die qualitativen Bewertungsmethoden in Form einer Checkliste für die ergonomische Beeinflussung der Bauteilkonstruktion keine hinreichende Transparenz und keine hinreichenden Änderungsmöglichkeiten darstellen. Am Beispiel des Schmetterlingsblattes (Abbildung 15, S. 35) zeigt sich, dass zum aktuellen Zeitpunkt eine ergonomische Verbesserung erst mit der Arbeitsplatzbewertung quantifiziert ausweisbar ist. Im Gegensatz dazu wählt Chodora (2011, S. 91) für die Effizienzprognose einen subjektiven Ansatz und lässt die Wirksamkeit auf die körperliche Belastungsreduzierung von einem Expertenkreis in vier Einstufungen schätzen. Für ihn ist es gar eine Forderung, dass die Wirksamkeit einer Maßnahme nur durch die subjektive Beurteilung eines betroffenen Mitarbeiters seinen vollen Erfolg erreichen kann (vgl. Chodora, 2011, S. 89 ff.). Eine personenorientierte Bewertung stellt sich jedoch gerade in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses im Automobilbau durch die technikbezogene Entwicklung als nicht möglich heraus. Zum Teil ist in dieser frühen Phase noch nicht bekannt, an welchem Standort das Fahrzeug gebaut sowie an welchem Arbeitsplatz das Bauteil verbaut werden soll und wie viele Mitarbeiter in einem Dreischicht-System davon betroffen wären.

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, erweitert SALUCONTROL die Maßnahmenbewertung auch auf den wirtschaftlichen Aspekt ergonomischer Verbesserungen. Die monetäre Bewertung des Nutzens wird der Kostenseite in einer Aufwand-Nutzen-Betrachtung gegenübergestellt und dadurch eine Priorisierung der Maßnahmen abgeschlossen. Für die vorliegende Arbeit ist die Aussagekraft der Wirtschaftlichkeit an dieser Stelle aus zwei Gründen in Frage gestellt. Zum einen besteht weiterhin die Schwierigkeit, eine möglicherweise eintretende Reduzierung des Krankenstandes präventiv zu messen und zum anderen die detaillierten Untersuchungen des Krankenstandes aus Chodoras Arbeit (2011, S. 116) auf andere Unternehmen als Prognose zu übertragen (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 9). Trotz der offensichtlichen Herausforderungen müssen diese Defizite zur Lösung der zweiten und dritten Forschungsfrage mit Blick auf die Notwendigkeit einer Entscheidungsfindung für ergonomische Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Gewichtung der einzelnen Kriterien im Entscheidungsprozess. Um Entscheidungen „aus dem Bauch heraus“ zu vermeiden, ist eine nachvollziehbare Gewichtung der Kriterien in der Nutzwertanalyse essentiell (vgl. Mussgnug, 2007, S. 945). In der Automobilproduktion sind neben der ergonomischen Nutzenbetrachtung beispielsweise auch der Personal-

und Logistikaufwand zu beleuchten und neben technischen Randbedingungen in die Gewichtung miteinzubeziehen. Ein letztes Defizit in der Maßnahmenableitung und -definition begründet sich auf den fehlenden Kenntnissen zur optimalen Beeinflussbarkeit der Ergonomie. Bierwirth (2011, S. 118) hat in der Übersicht zu den belastungsrelevanten Parametern im PEP (siehe Abbildung 9, S. 25) zwar erste Rahmen zur Beeinflussbarkeit der Ergonomie aufgezeigt, aber die Bedeutung und Verflechtungen der Einflussgrößen nicht weiter untersucht. Die Beeinflussbarkeit der Ergonomie lässt sich grob in die Bereiche der Produkt-, Prozess- und Organisationsanpassung unterteilen. Am Beispiel des Bodenbelages für Fahrzeuge im Oberklassensegment, welcher aufgrund seiner Größe sehr sperrig ist, kann eine mögliche positive Beeinflussung in der Produktgestaltung durch Gewichtsreduzierung über unterschiedliche Materialien erreicht werden. Am Montageplatz der Produktion wären geeignete Hebe- oder Montagehilfen zur ergonomischen Entlastung denkbar. Abschließend bestünde auch die Möglichkeit, eine optimierte Aufteilung mit anderen weniger belastenden Arbeitsumfängen neben dem Bodenbelag in der Linienorganisation umzusetzen. Bereits an diesem Beispiel zeigt sich die Notwendigkeit, eine nachvollziehbare Gewichtung über die Zeitpunkte und Methoden der optimalen Ergonomiebeeinflussung zu untersuchen.

Zusammengefasste Defizite:

- Keine existierende Aufwand-Nutzen-Betrachtung für Ergonomie in der frühen Phase des PEP
- Fehlende Methodik zur Handlungsempfehlung für Produkt-, Prozess- oder Organisationsanpassung im Bereich der Ergonomie-Optimierung
- Effizienz und Effektivität ergonomischer Maßnahmen aktuell nicht prognostizierbar

Dokumentation & Wirksamkeitskontrolle

Ein Kernprinzip aller Managementsysteme ist die Kontrolle eines Systems auf seine Leistung (Schloske und Thieme, 2009, S. 667). Dieses Prüfen betrifft von der Produktqualität über die Einhaltung von Prozessen jeden Bereich eines Unternehmens als Gesamtsystem. Über eine geeignete Dokumentation stellt das Unternehmen sicher, die Wirksamkeit der Teilprozesse und des Gesamtsystems messbar zu machen (vgl. DIN EN ISO 9001, 2014, S. 40; Bierwirth, 2011, S. 42). In den Arbeiten von Chodora (2011, S. 94) und Bierwirth (2011, S. 39 ff.) sowie in der Anwendung der Volkswagen AG finden sich verschiedene individuelle Beispiele für die Dokumentation ergonomiebezogener Messgrößen. Diese Lösungen sind in ihrer Art nur für spezielle Anwendungszeiträume und -bereiche im Produktentstehungsprozess definiert. Anhand der Darstellung in Abbildung 18 ist der Wechsel des Informationsgehaltes über ergonomische Potentiale zwischen den

jeweiligen Phasen im Produktentstehungsprozess dargestellt. In den ersten Entwicklungsschritten erfolgen grobe qualitative Aussagen ob sich die Ergonomie „verbessert“ oder „verschlechtert“ hat. Im Gegensatz dazu werden in der späten Planungs- und Serienphase präzise Bewertungen der Arbeitsplätze anhand quantitativer Punktwerte nach dem EAWS-Verfahren durchgeführt. Diese offensichtliche Inhomogenität der Dokumentation ist ein Hauptdefizit für die Zielerreichung einer plausiblen Wirksamkeitskontrolle.

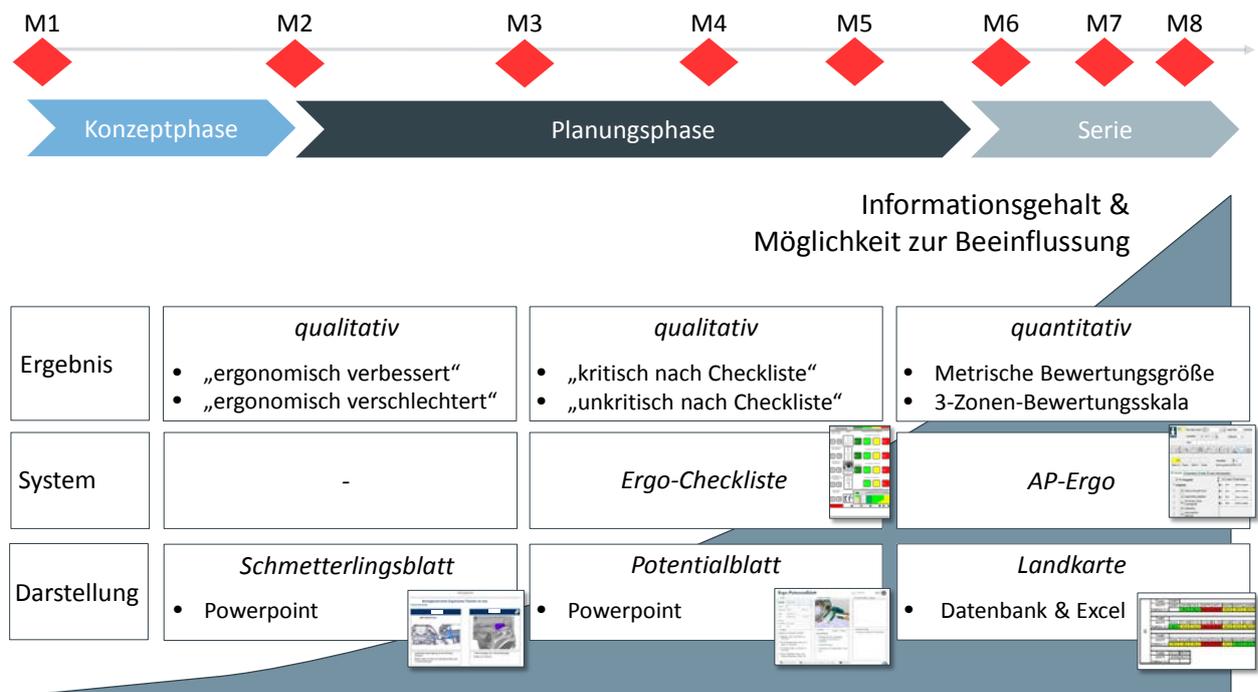


Abbildung 18: Informationsgehalt und Dokumentationslandschaft im Ergonomieprozess der Volkswagen AG

Als Gründe dafür lassen sich das Fehlen einer quantitativen Bewertungsmethodik auf Bauteilebene sowie die fehlende Möglichkeit der Mitarbeiter, sich abteilungsübergreifend im gesamten Produktentstehungsprozess mit der Komplexität der Ergonomie befassen zu können, nennen. Die Erstellung und Verwaltung von Daten zu ergonomierelevanten Themen wie z. B. Bewertungen, Maßnahmen, Entscheidungen und Regelungen sind aus eben genannten Gründen aktuell nicht standardisiert. Daraus resultieren ein hoher manueller Aufwand und das Risiko von Datenverlust im Ergonomieprozess. Unter dem Begriff *Wissensmanagement* zusammengefasst, fehlt für die Ergonomie ein zielgerichteter Ansatz, um Wissen als Voraussetzung für Problemlösung und zur Vernetzung von Managementsystemen nutzbar zu machen (vgl. Wesoly, Ohlhausen und Bucher, 2014, S. 700 ff.). Eine Möglichkeit, den Erfolg und die Wirksamkeit eines Ergonomieprozesses zu kontrollieren, ist das Einführen von Kennzahlen und Reifegradsystematiken. Periodisch erhoben und in einem definierten Zyklus aktualisiert, sollen diese Kennzahlen die Effektivität und Effizienz von Prozessen und deren Ergebnisse messen (vgl. Richter, 2009, S. 436). Am Beispiel des

Ergonomieprozesses der Volkswagen AG erfüllen die Ergonomie-Meilensteine bereits formal diese Aufgabe, einen aktuellen Projektstand abzufragen. Wie bereits erwähnt, fehlt in der frühen Phase des PEP für die benötigten Kennzahlen ein geeignetes Ermittlungsverfahren. Als wichtige Prämisse bei der Erstellung eines solchen Verfahrens gilt es, die Akzeptanz und das Verständnis bei den zu steuernden Organisationseinheiten zu erreichen. Dadurch wird die Forderung nach transparenter Informationsaufarbeitung weiter verstärkt. Dem Punkt der Kommunikation kommt im Zusammenhang mit Kennzahlen dabei eine besondere Bedeutung zu (vgl. Richter, 2009, S. 436 ff.). Neben der Wirksamkeitskontrolle des Ergonomieprozesses sind zusätzlich die Möglichkeiten zur Messung der Auswirkungen von präventiven Maßnahmen nach ihrer Umsetzung nicht zufriedenstellend erfüllt.

Forschungsarbeiten der Literatur bestätigen zwar in den einzelnen Untersuchungen positive Effekte auf Krankenstand, Fehler- und Kostenreduzierung, aber weisen dennoch auf Komplikationen in der Ermittlung der Daten hin (vgl. Chodora, 2011, S. 61 ff.; Falck, Örtengren und Högberg, 2009, S. 6 ff.). Es fehlt in den Diskussionen der Versuch, aus den gewonnenen Daten zur Wirksamkeit generelle Prognosen für Folgeprojekte abzuleiten. Am Beispiel der Automobilproduktion liefert Neubert (2013, S. 117 ff.) mit der Anwendung des *return on investment* (ROI) erste Erkenntnisse über die Zusammenhänge der quantitativen Bewertung ergonomischer Verbesserung mit EAWS und den resultierenden Kostenreduzierungen. Mit der geringen Fallbeispielzahl von drei Maßnahmen liefern ihre Ergebnisse jedoch noch nicht die gewünschte Güte für eine Lösung der dritten Forschungsfrage dieser Arbeit.

Zusammengefasste Defizite:

- Inhomogene Dokumentationslandschaft
- Keine Reifegradsystematik ergonomischer Kennzahlen in der frühen Phase des PEP
- Fehlende Methodik zur Prognose der Wirksamkeit ergonomischer Maßnahmen
- Unvollständiges Wissensmanagement für ergonomierelevante Informationen in der frühen Phase des PEP

Neben den aus dem Stand der Wissenschaft und Praxis beschriebenen Defiziten soll das Lösungskonzept einer ganzheitlichen Ergonomie-Absicherung außerdem Anforderungen sich abzeichnender Technologieentwicklungen, wie z. B. der Industrie 4.0 oder der Mensch-Roboter-Kooperationen in den jeweiligen Kapiteln berücksichtigen.

4 Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses

4.1 Modelltheoretisches Lösungskonzept

Die Ausführungen in Kapitel 3 haben auf Basis der Forschungsfragen den Handlungsbedarf zur ergonomischen Absicherung im Produktentstehungsprozess dargelegt. Ziel dieses Kapitels ist es, die Wissensdefizite und ihre elementaren Bestandteile über eine Aufstellung ihrer Beziehungen im Ergonomieprozess auf optimale Weise darzustellen, sodass im zweiten Schritt die festgestellten Zusammenhänge quantitativ durch empirische Forschung bestätigt werden können. Aufgrund des komplexen Wirkungsgefüges der einzelnen Defizite empfiehlt sich ein systematischer Modellansatz als Darstellungsform. Ein Modell als formalisiertes Abbild der Realität soll dabei drei wesentliche Merkmale erfüllen. Zum einen repräsentiert ein Modell über Abbildungsrelationen einen Realweltausschnitt (Abbildungsmerkmal) und zum anderen verkürzt es durch Abstrahierung den Realweltausschnitt (Verkürzungsmerkmal). Abschließend soll das Modell noch pragmatisch motiviert sein und den Zweck des Subjektes verfolgen (pragmatisches Merkmal) (vgl. Ahlemann, Schroeder und Teuteberg, 2005, S. 10).

Das entwickelte Modell des Managementsystems zur Ergonomie-Absicherung als Gesamtsystem besteht aus mehreren Modulen, welches zum Teil die beschriebenen Herausforderungen durch die Entwicklung neuer Methoden untersucht (siehe Abbildung 19, S. 47). Modulübergreifende Defizite können auch als Wechselwirkungen untereinander auftreten und die Untersuchung der Kausalität zwischen ihnen erfordern. Das Managementsystem ist mit dem pragmatischen Ziel einer erfolgreichen Umsetzung in Automobilunternehmen so gestaltet, dass es in den Kernprozess der Produktentstehung einfach integrierbar ist. Dieser Ansatz des integrierten Managementsystems verfolgt dabei das Ziel, Probleme von nebeneinander existierenden Managementsystemen zu reduzieren. Unklare Schnittstellen, hoher Pflegeaufwand und Konflikte in der Priorisierung der einzelnen Systeme lassen sich dadurch vermeiden (vgl. Haasis, 2008, S. 178). Durch den Fokus auf die Erfüllung von Kundenanforderungen und Betrachtung von durchgeführten Prozessen leisten QM-Systeme eine Optimierung an der Gesamtleistung von Unternehmen (vgl. DIN EN ISO 9001, 2014, S. 5 ff.). In dem in der vorliegenden Arbeit beschriebenen System stellt der Kunde nicht den Käufer eines Fahrzeuges sondern die unternehmensinternen Prozesse dar. Für die Optimierung dieser Prozesse und Wirkungsketten wurden die notwendigen Anforderungen in der Defizitanalyse bereits herausgestellt und in die jeweiligen Module integriert (siehe Kapitel 3.4).

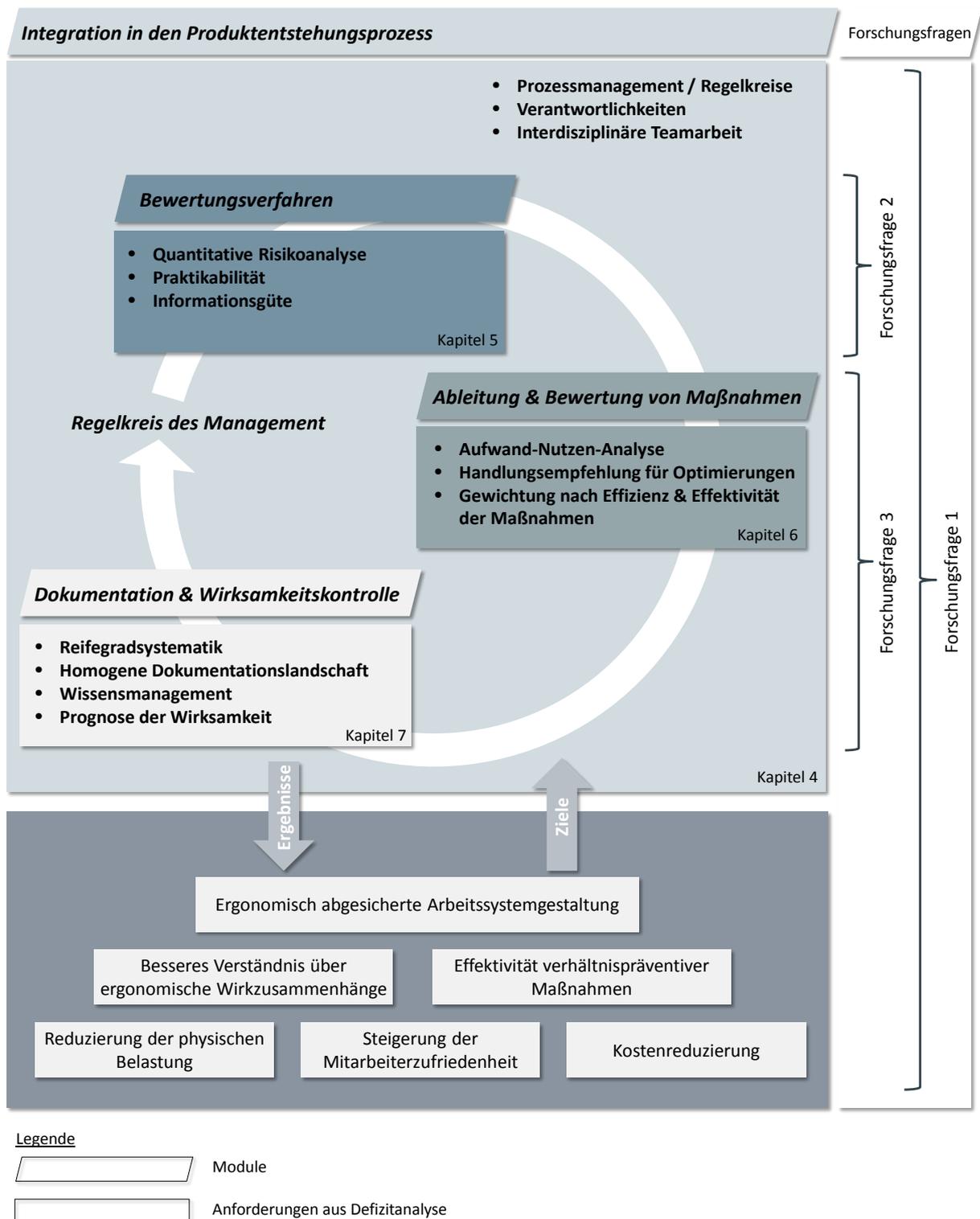


Abbildung 19: Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses

Zur Gewährleistung der kontinuierlichen Verbesserung der Leistung des Managementsystems sind die Module in einem Regelkreis strukturiert. Dadurch wird zusätzlich die Möglichkeit der rechtzeitigen Anpassung an sich verändernde Leistungsanforderungen gewährleistet (vgl. Haasis, 2008, S. 182). Im Blick auf die erste Forschungsfrage stellt das Modell des Managementsystems

zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des PEP dafür den modelltheoretischen Lösungsansatz dar. Es beinhaltet das Modul *Integration im Produktentstehungsprozess*, welches unter Berücksichtigung der Randbedingungen die Anforderungen des Prozessmanagement, der Verantwortlichkeiten und interdisziplinären Teamarbeit übergreifend beschreibt. Darauf aufbauend besteht im zweiten Schritt die Notwendigkeit, die existierenden Defizite der Evaluationsmechanismen in der frühen Entwicklungsphase zu untersuchen. Mit Hilfe einer theorie- und anwendungsbezogenen Anforderungsanalyse wird dafür in Kapitel 5 ein *Bewertungsverfahren* zur quantitativen Risikoeinstufung ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene entwickelt. Die zur Evaluation durchgeführten Studien dienen dabei dem Ziel, die zweite Forschungsfrage mit Hilfe empirischer Daten zu beantworten. Neben den theoretischen Erkenntnissen über identifizierte Risiken und Handlungsbedarfe ist es für die Praxisanwendung wichtig, geeignete Maßnahmen zur Verbesserung abzuleiten. Für unternehmerisches Handeln spielt dabei häufig die Frage nach der Effizienz und Effektivität eine übergeordnete Rolle. Mit diesem Ziel werden in Kapitel 6 geeignete Kriterien und Informationen untersucht, die eine Aufwand-Nutzen-Betrachtung von Ergonomiemaßnahmen sowohl auf wirtschaftlichen als auch auf belastungsreduzierenden Faktoren ermöglicht. In Verbindung mit einer empirischen Studie am vorliegenden Praxisbeispiel besteht das weiterführende Ziel darin, problemspezifische als auch allgemeine Handlungsempfehlungen ableiten zu können.

Die Sicherstellung der Wirksamkeit physischer Belastungsreduzierung kann sowohl auf Einzelmaßnahmen als auch auf das gesamte Fahrzeugprojekt bis zum Serieneinsatz bezogen sein. Reifegrad- und Kennzahlensysteme stellen mögliche Kontrollmechanismen dar, deren Anwendbarkeit im Kontext der Ergonomie-Absicherung noch untersucht werden muss (Kapitel 7). Die Zusammenführung der Erkenntnisse über eine geeignete *Dokumentation & Wirksamkeitskontrolle* erfüllt den letzten Prozess im Regelkreis des Managements zur Ergonomie-Absicherung. Wie in Abbildung 19 zu erkennen, bilden zu Beginn definierte Ziele die Grundlage, um den Erfolg eines Managementsystems zu kontrollieren. Abgeleitet aus der Ist-Situation im ersten Kapitel bilden sich diese Ziele über mehrere Dimensionen ab. Als oberste Prämisse bleibt im Kontext des demographischen Wandels die Reduzierung der physischen Belastung am Arbeitsplatz. Sekundär lässt sich dadurch aber auch eine Förderung der psychischen und sozialen Zufriedenheit der Mitarbeiter im Sinne der WHO-Definition von Gesundheit erwarten. Zusätzlich zielt eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Ergonomie auch auf eine Erhöhung der Anzahl von Maßnahmen zur Verhältnisprävention ab (vgl. Bullinger und Schmauder, 1997, S. 501). Abschließend ist, mit Hilfe eines verbesserten Verständnisses der Zusammenhänge von Ergonomie in allen Phasen der Produktentstehung, eine verstärkte Identifikation und höheres Verantwortungsbewusstsein für präventive Maßnahmen zu erwarten.

4.2 Prozessmanagement der Ergonomie-Absicherung

Um den Anforderungen von Prozessmanagement und dem Ziel einer erfolgreichen Integration in die frühe Phase des Produktentstehungsprozesses gerecht zu werden, ist eine Betrachtung der Gestaltung des Prozesses der Ergonomie-Absicherung notwendig. Die Ergonomie-Absicherung besitzt aufgrund ihrer geringen bis nicht vorhandenen Wertschöpfung die Funktion eines sogenannten *Unterstützungs- bzw. Supportprozesses*. Sie wird dabei zur Unterstützung der Durchführung den wertschöpfenden Kern- bzw. Geschäftsprozessen untergeordnet (vgl. Seidlmeier, 2010, S. 3 ff.). Kernprozesse, die einen zur Wertschöpfung beitragenden Nutzen haben, sind beispielsweise Produktentwicklung, Auftragsabwicklung, Produktionsplanung und Kundendienst (vgl. Staud, 2006, S. 12). Die meisten Unternehmen haben diese Prozesse aufgrund ihrer Bedeutsamkeit bereits über Prozessmodelle und Modellierungssprachen detailliert beschrieben. Der Prozess zur Ergonomie-Absicherung in der frühen des PEP ist dagegen noch nicht weiter definiert. Im Allgemeinen erfolgen zu Beginn einer solchen Definition sogenannte Ist-Modellierungen und Ist-Analysen, um so Schwachstellen und Verbesserungspotentiale zu lokalisieren (vgl. Schwegmann und Laske, 2005, S. 165). In dem vorliegenden Fall erfüllt die Defizitanalyse der Managementsysteme zur Ergonomie-Absicherung aus Theorie und Praxis (vgl. Kapitel 3.4) bereits diese Voraussetzung. Daraus resultierend beschreibt die nachfolgende Modellierung ein Soll-Modell mit kombinierten Zielen aus einer Ist-Analyse und Erwartungen an eine bessere Kommunikation, Reduktion von Planungszeiten und gesteigerter Prozesstransparenz (vgl. Speck und Schnetgöke, 2005, S. 195).

Die Modellierungssprache *Architektur integrierter Informationssysteme* (ARIS) wurde aufgrund ihrer bereits weit verbreiteten Anwendung in den Prozessen der Volkswagen AG und ihrer Ähnlichkeit zu anderen etablierten, objektorientierten Modellierungssprachen ausgewählt, um den Prozess der Ergonomie-Absicherung zu beschreiben. Übersichten zu weiteren Modellierungssprachen und Informationssystemen finden sich in Scheer und Thomas (2009, S. 549 ff.) sowie Gadatsch (2015, S. 15 ff.). Das dargestellte Prozessmodell in Abbildung 20 (S. 52) beinhaltet aus Gründen der Verständlichkeit und Übersichtlichkeit nur die Daten- und Funktionssicht. Auf die ebenfalls notwendige Organisations- und Ressourcensicht wird im nachfolgenden Abschnitt der Verantwortlichkeiten näher eingegangen. Das Prozessmodell ist ebenfalls in die drei Phasen Planung, Steuerung und Kontrolle des Management-Regelkreises nach Gladen (2003, S. 26) untergliedert. Im ersten Abschnitt der *Planung* initiiert eine Auftragserteilung in einem Fahrzeugprojekt den Prozess der Ergonomie-Absicherung und führt zu dem Folgeschritt, der Beschaffung notwendiger Informationen (Schritt 1 in Abbildung 20, S. 52). Dieser von der Projektleitung verantwortete Prozess führt zum einen die am Projekt beteiligten Parteien in Projektrunden zusammen und zum anderen klärt er die Ressourcenbeschaffung im Sinne der Kapazitätsplanung der

einzelnen Abteilungen. Außerdem werden alle bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Informationen zu dem Fahrzeugprojekt wie z. B. die Fahrzeugklasse, der Produktionsstandort oder die geplanten Stückzahlen verteilt. Vor dem Hintergrund der Baukastenstrategien und den somit über mehrere Fahrzeuggenerationen gleichbleibenden Komponenten erweist es sich als sinnvoll, im zweiten Schritt anhand von Wissensdatenbanken der Vorgängerfahrzeuge bereits bekannte Risiken früher zu identifizieren (2). Sollten neue Umfänge wie z. B. ein Panorama-Schiebedach, neue Elektronikausstattungen oder eine komplette Neuentwicklung des Fahrzeuges geplant sein, sind neue Risikoanalysen durchzuführen (3). Ein geeignetes Verfahren zur ergonomischen Risikoanalyse in der frühen Phase des PEP und die dabei notwendige Diskussion der Eingangsdaten und Ergebnisse sind Bestandteil des fünften Kapitels dieser Arbeit und werden zum späteren Zeitpunkt näher erörtert. Aus diesen beiden Schritten kann jeweils als Ergebnis die Identifizierung eines Risikos resultieren. Lässt sich in dieser Phase durch beide Prozessschritte kein Risiko feststellen, so ist die Ergonomie-Absicherung an dieser Stelle als abgeschlossen zu betrachten (13).

Bei bestehenden Risiken empfiehlt sich dann als nächstes, eine umfangreiche Ursachenanalyse durchzuführen, um dadurch den konkreten Handlungsbedarf aufzuzeigen (4). Diese Informationen sollten im optimalen Fall so ausgestaltet sein, dass sie als Eingangsgrößen für die Erstellung von neuen Maßnahmen zur ergonomischen Produkt- und Prozessgestaltung dienen (vgl. Bierwirth, 2011, S. 42). Im Prozess der Maßnahmendefinition beruht die Lösungsfindung auf den Erfahrungen des interdisziplinären Teams sowie der Ergonomie-Experten (5). So können als Lösungen einerseits die Umgestaltung der Konstruktion eines Bauteils oder der Einsatz eines Hilfsmittels als geeignet erscheinen. Für die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Reduzierung von Lasten wäre es zum einen denkbar, die Aufteilung des Bauteils so zu gestalten, dass beispielsweise aus einer schweren Rücksitzbank zwei Elemente aus Sitzbank und Lehne werden. Zum anderen wäre der Einsatz einer Hebehilfe an der Montagelinie zur Reduzierung der Gewichtsbelastung planbar. Die Produkt- oder Prozessmaßnahmen können somit einzeln oder auch in Kombination das Ergebnis einer ergonomischen Verbesserung erreichen. Weitere Lösungsvorschläge, die sich beispielsweise bereits in anderen Fahrzeugprojekten bewährt haben, lassen sich in den Unternehmen aus einem Prozess des Best-Practice oder den SET-Gesprächen ableiten (6). Die Erfahrungen in der Praxis zeigen an dieser Stelle aber auch, dass häufig keine technischen Lösungen gefunden werden können. Für diese Fälle gilt der Ergonomie-Absicherungs-Prozess ebenfalls als abgeschlossen (13). Alle identifizierten Maßnahmen wiederum müssen nach Ausgestaltung erneut quantitativ ergonomisch bewertet werden, um so die Güte der Verbesserung und die Erkenntnis über ein bestehendes oder beseitigtes Risiko festzustellen (7). Nachdem die

Feststellung des ergonomischen Nutzens aller Möglichkeiten erfolgt ist, müssen weitere betriebswirtschaftliche Faktoren wie Kosten und Zeit für die Umsetzung mit einbezogen und gewichtet werden (8). Dieser Prozess hat eine enge Verbindung mit dem generellen Analyseprozess für Themen in der Produktentwicklung. Um eine größtmögliche Transparenz und Umsetzungswahrscheinlichkeit zu erreichen, empfiehlt es sich, eine identische Vorgehensweise sowie Kennzahlensystematik anzuwenden. Es ist dabei von elementarer Bedeutung alle betroffenen Parteien und Bereiche frühzeitig mit einzubeziehen, um später Mehraufwand zu vermeiden. Zusätzlich bleibt die oberste Prämisse für die interdisziplinären Teams, die Erfüllung der Kundenanforderungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund erhalten in solchen Team-Gesprächen Themen wie beispielsweise Korrosion und Anmutung von den Bereichen der Qualitätssicherung den höchsten Stellenwert (9).

Im Anschluss an alle Abwägungen wird als Ergebnis des Abschnitts *Steuerung*, die Entscheidung zur Umsetzung oder Ablehnung einer Maßnahme getroffen. Die Umsetzung der Maßnahmen ist ein weiterer Prozess, der in seiner Durchführung und Verantwortung nicht bei den Ergonomie-Experten liegt, da die konstruktiven Änderungen der Bauteile oder die Beschaffung von Betriebsmitteln als wertschöpfende Tätigkeiten in die bereits benannten Kernprozesse des PEP einzuordnen sind (10). Über ein geeignetes Berichtswesen soll die Kontrolle der Leistungserbringung und des Umsetzungsstandes der Maßnahmen im Ergonomie-Absicherungs-Prozess erfolgen (11). Erst wenn die über den Zeitraum der Fahrzeugentwicklung entschiedenen Maßnahmen tatsächlich umgesetzt wurden, stellt die Dokumentation über die erfolgreiche Umsetzung den letzten Schritt im Gesamtprozessmodell dar (12). Das optimale Ergebnis des Gesamtprozesses ist somit eine frühzeitig abgesicherte, ergonomische Arbeitssystemgestaltung. Abschließend besteht die Notwendigkeit, alle Verbesserungsmaßnahmen, auch diejenigen die keine oder nur eine geringe Verbesserung der Ergonomie erzielt haben, zu dokumentieren. Bleibt nach diesen Maßnahmen das Risiko erhalten, sollte der Regelkreis bei der Maßnahmendefinition erneut begonnen und erst abgeschlossen werden, wenn kein Lösungsvorschlag mehr präsentiert werden kann. Im Anschluss an den unterstützenden Prozess der frühzeitigen Ergonomie-Absicherung setzt der Ergonomieprozess der Serienphase ein, welcher mit seiner detaillierten Betrachtungsebene, der Arbeitsorganisation, weitere Belastungsreduzierungen ermöglichen kann (14).

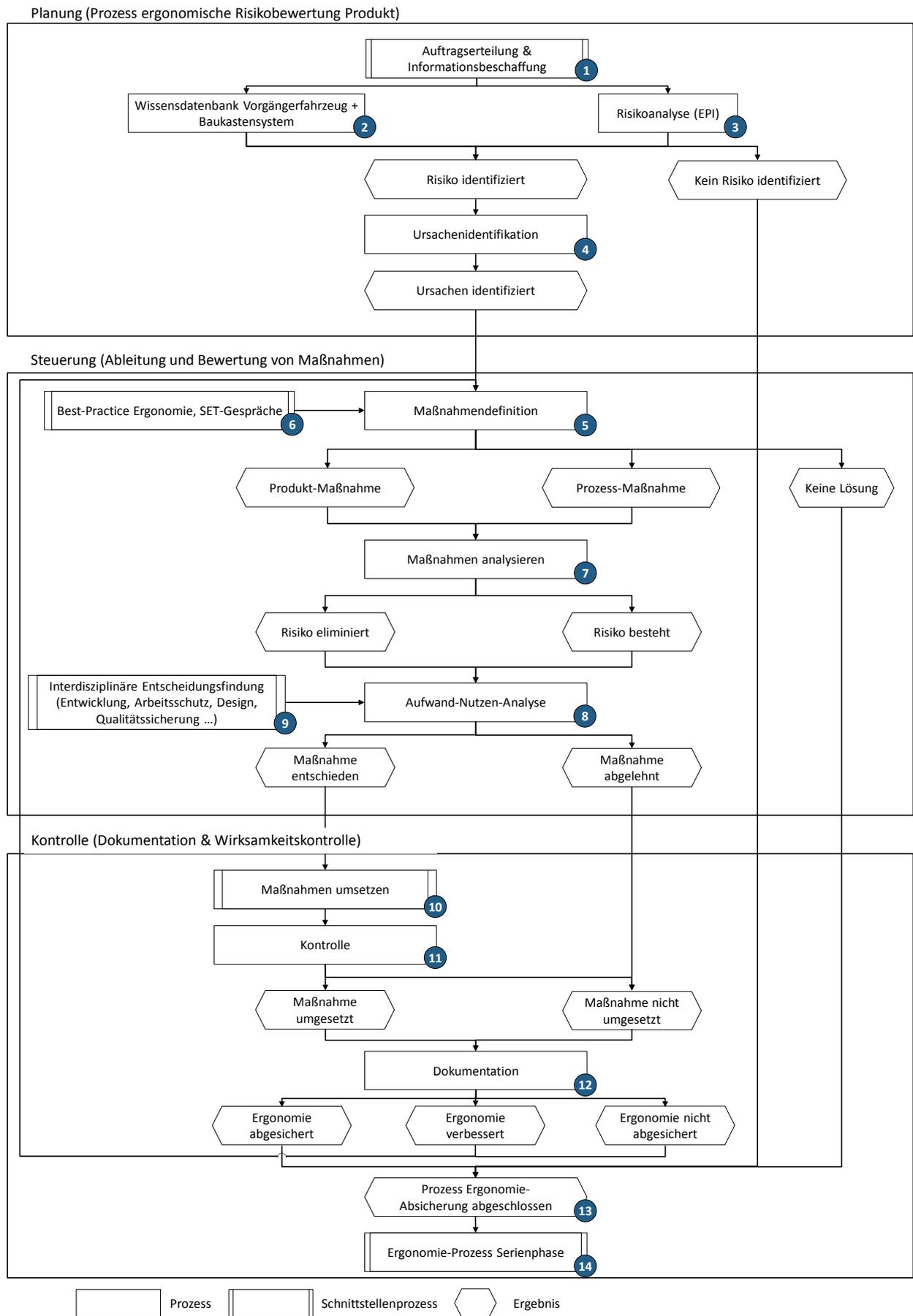


Abbildung 20: Prozessmodell der Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des PEP

4.3 Verantwortlichkeiten und Interdisziplinäre Prozessteams

Ein aus der Situationsanalyse abgeleiteter optimaler Soll-Prozess allein gewährleistet noch nicht, dass die definierten Aufgaben, wie geplant, abgearbeitet werden (vgl. Richter, 2009, S. 438). Eine Vielzahl von Schnittstellen und intransparenten Aufgabenverantwortungen erschwert es, den Bearbeitungsstand im Prozess festzustellen. Aus diesem Grund setzt die Form der Aufbauorganisation auf eine Integration der Prozesse in einer Hand (vgl. Spath, 2009, S. 6). Es bietet sich dafür an, sogenannte interdisziplinäre Prozessteams zu etablieren und ihnen die Verantwortung ganzheitlicher Prozessmodule, ähnlich dem Ergonomie-Absicherungs-Prozess zu übertragen (vgl. Richter, 2009, S. 438). Diese wiederum bewirken durch schnittstellenarme Informationsflüsse kürzere Durchlaufzeiten und die Reduktion von Informationsverlusten (vgl. Spath, 2009, S. 6). Mitglieder solcher Prozessteams entwickeln dabei sogenannte „T-Qualifikationen“ und verstehen einerseits den Gesamtprozess und sind andererseits dennoch Experten für ihre spezifischen Aufgaben. Erst durch diese Vernetzung entsteht die Möglichkeit, eine kontinuierliche Verbesserung von Prozessen zu erreichen (vgl. Richter, 2009, S. 439 ff.).

Um diese Ziele für den Ergonomie-Absicherungsprozess zu erreichen, ist nachfolgend die Erstellung einer optimalen Organisationssicht mit Beziehungen zwischen Aufgaben und Aufgabenträgern notwendig (vgl. Seidlmeier, 2010, S. 19). Die vorangestellte Analyse in Kapitel 3 zeigte, dass Ergonomie-Management erst durch die Vielzahl von Zusammenhängen und Informationen ermöglicht wird. Zur Darstellung der komplexen Zusammenhänge von Verantwortlichkeiten etablierten sich in der Literatur und Praxis sogenannte *responsibility assignment matrices* (RAM) oder auch *linear responsibility charts* (LRC) (vgl. Cadle und Yeates, 2008, S. 125; PMI, 2000, S. 110). Die Darstellungsform dieser als *Verantwortlichkeit-Zuordnungs-Matrix* oder kurz Verantwortlichkeitsmatrix übersetzten Organisationsansicht ist im Allgemeinen eine zwei-dimensionale Tabelle mit Prozessschritten in der linken Spalte und zugeordnete Rollen in der Kopfreihe. Aus Gründen der Übertragbarkeit auf andere Automobilunternehmen und Industriebranchen ist die Verantwortlichkeitsmatrix in Abbildung 21 (S. 54) eine in diesen Branchen etablierte RASI-Matrix. Wie in der Legende der Abbildung zu erkennen, sind die Stufen der Verantwortlichkeiten noch einmal in vier weitere Rollen untergliedert. Als *responsible* (dt. verantwortlich) wird die Rolle markiert, die tatsächlich für die Ausführung des Prozesses definiert ist. Die Gruppe mit der Berechtigung, investitionsrelevante Entscheidungen zu treffen, erhält die Kennzeichnung *approval* (dt. genehmigend). Rollen, die ebenfalls an der Erarbeitung der Ergebnisse beteiligt sind, aber eine geringere Verantwortung tragen, können als *support* (dt. unterstützend) verstanden werden. Zur optimalen Wissensweitergabe und Nutzung paralleler Prozesse ist die Rolle der *informed* (dt. informierten) Gruppe geeignet.

Prozess-Schritte		Nr.	Ergonomie-Experte	Projekt-leitung	Fertigungs-planer	Technische Entwickler	Arbeits-medizin	Industrial Engineering	Ergebnis
Planung	Auftragserteilung & Informationsbeschaffung	1	Support	Responsible	Support				Abgestimmtes Projektteam, Verantwortlichkeiten & Bewertungsrahmen
	Wissensdatenbank Vorgängerfahrzeug	2	Responsible		Support		Support	Support	Ergonomische Risiken aus Referenzfahrzeug identifiziert
	Risikoanalyse	3	Responsible	Informed			Support		Vollständige Risikoanalyse mit quantitativer Bewertung aller abgestimmten Umfänge
	Ursachenidentifikation	4	Responsible				Support		Übersichtliche und nachvollziehbare Darstellung der Belastungsursachen
Steuerung	Maßnahmendefinition	5	Support		Responsible	Support			Beschriebene Maßnahmen zur Risikominimierung
	Best-Practice Ergonomie, SET-Gespräche	6	Informed		Support	Responsible	Informed		Beschriebene Maßnahmen zur Risikominimierung
	Maßnahme Analysieren	7	Responsible						Quantitative Aussage zum Potential der Risikoreduzierung
	Aufwand-Nutzen-Analyse	8	Support		Responsible	Support			Priorisierte Maßnahmenvorschläge
	Interdisziplinäre Entscheidungsfindung (...)	9		Approval	Support	Responsible	Informed		Entscheidungsblätter zur Umsetzung / Ablehnung der Maßnahme
Kontrolle	Maßnahme umsetzen	10			Support	Responsible			Umgesetzte Maßnahme
	Kontrolle	11	Support	Informed	Responsible	Support			Status zur Wirksamkeit umgesetzter / nicht umgesetzter Maßnahmen
	Dokumentation	12	Responsible	Informed				Informed	Dokumentierte Ergebnisse
	Ergonomie-Prozess Serienphase	13	Support					Responsible	Dokumentierte ergonomische Verbesserung im Serienprozess



Responsible (Verantwortlich)
 Approval (Genehmigend)
 Support (Unterstützend)
 Informed (Informiert)

Abbildung 21: Verantwortlichkeitsmatrix für den Ergonomie-Absicherungs-Prozess in der frühen Phase des PEP (Formatierung nach Volkswagen AG, 2016d, S. 13)

Anhand der in der Produktentstehung und Ergonomie üblicherweise beteiligten Personen ist die jeweilige Verantwortlichkeitszuordnung ausgewählt (siehe Abbildung 21). Die Prozessschritte und Aufgaben aus der bereits definierten Soll-Modellierung sind dabei auf der linken Seite wiederzufinden. Im Kern des unterstützenden Prozesses stehen die Bewertung ergonomischer Risiken in der frühen Phase des PEP sowie die Ableitung von Maßnahmen. Mit den spezialisierten Kenntnissen über arbeitsbedingte Belastungen in der Produktion und den wissenschaftlichen Bewertungsverfahren ist der Ergonomie-Experte eines Unternehmens der Hauptverantwortliche für diesen Prozess. Neben dem Ergonomie-Experten muss die Projektleitung als Führungsebene in den Prozess integriert sein, um beispielsweise den Beginn sowie weitere notwendige Informationen über die Fahrzeugprojekte zu vermitteln. Des Weiteren bedarf es einer Entscheidung der Projektleitung nach ausführlicher Maßnahmendiskussion, kostenwirksame Investitionen für die

Konstruktionsänderung oder Betriebsmittelbeschaffung zu initiieren. Jede Problematik im Produkt oder Montagekonzept muss auf der technischen Seite von der Fertigungsplanung oder technischen Entwicklung betreut werden. Änderungen im Hinblick auf die Verbesserung der ergonomischen Produkt- und Prozessgestaltung in der Montagelinie entstehen aus den Anforderungen der Fertigungsplanung. Die Beschreibungen, wirtschaftlichen Bewertungen und Kontrollen dieser Maßnahmen liegen dementsprechend in ihrer Verantwortung. Das medizinische Fachpersonal und die Mitarbeiter des Industrial Engineerings der Standorte sind besonders zu Beginn des Ergonomie-Prozesses von hoher Bedeutung, da sie Erfahrung und Wissen zu Problempunkten aus den Vorgängermodellen aktuell und in detaillierter Form bereitstellen können. Durch die Betrachtung des Gesamtprozesses und der Definition der interdisziplinären Teamarbeit über Verantwortlichkeitsbeschreibung von der Planung bis zur Arbeitsmedizin wird ein permanenter Informationsfluss und Wissenstransfer gewährleistet. Die erarbeitete RASI-Matrix stellt somit ein leicht verständliches Werkzeug zur Abstimmung der notwendigen Aufgaben mit allen Beteiligten in der Ergonomie-Absicherung dar.

5 Verfahren zur Ergonomiebewertung auf Bauteilebene

5.1 Anforderungsanalyse

Wie aus der Defizitanalyse hervorgegangen, besteht im Produktentstehungsprozess der Automobilproduktion die Herausforderung, ergonomische Risiken frühzeitig identifizieren zu können. Erst durch den Einsatz von geeigneten Bewertungsverfahren ist die Grundvoraussetzung gegeben, bereits in der Produktentwicklung auf belastungsrelevante Faktoren Einfluss zu nehmen. Mit dem Ziel der Entwicklung eines Verfahrens zur Ergonomiebewertung auf Bauteilebene beinhaltet dieses Kapitel ein wichtiges Modul des ganzheitlichen Managementsystems zur Ergonomie-Absicherung und soll zur Lösung der zweiten Forschungsfrage beitragen (siehe Kapitel 1.2). Die methodische Vorgehensweise entspricht im ersten Schritt einer induktiven Theoriebildung anhand der in der Empirie festgestellten Defizite. In Form einer Anforderungsanalyse können daraus die für das spätere Bewertungsverfahren geltenden Bedingungen abgeleitet werden. Im Anschluss erfolgt eine deduktive Überprüfung der erarbeiteten, allgemeingültigen Lösungsansätze in Form einer empirischen Evaluierung.

Eine Anforderungsanalyse leistet die vollständige Beschreibung aller für die Entwicklung eines neuen Bewertungsverfahrens notwendigen Kriterien. Folgende Defizite stellten sich, bezugnehmend auf die Ist-Analyse, für ergonomische Risikobewertungen in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses heraus (Kapitel 3.4):

- Keine quantitative Risikoanalyse ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene
- Keine hinreichende Praktikabilität existierender Verfahren
- Keine hinreichende Informationsgüte über ergonomischen Einflussfaktoren für die Schnittstelle zur Produktentwicklung

In Anlehnung an eine Systemanalyse erscheint es für das bessere Verständnis sinnvoll, diese übergeordneten Ziele in weiteren Anforderungen auszudifferenzieren. Dabei untergliedert man grob in zwei Gruppen von Anforderungen, die *funktionalen* und *nicht funktionalen Anforderungen* (vgl. Rupp, 2013, S. 19). Als funktional werden alle Anforderungen bezeichnet, die die Aufgabe des Systems bzw. des Bewertungsverfahrens beschreiben. Alle Kriterien zu Qualitätsanforderungen, der Güte des Systems oder den relevanten Randbedingungen sind den nicht funktionalen Anforderungen zuzuordnen (vgl. Rupp, 2013, S. 20).

Funktionale Anforderungen

Die funktionserfüllende Aufgabe des Bewertungsverfahrens ist die Risikoanalyse ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene. Im Vergleich zu klassischen Verfahren der Risikobewertung oder Beobachtungsverfahren entstehen bei einer Bewertung auf Bauteilebene neue Rahmenbedingungen für die methodische Vorgehensweise. So liegt aufgrund der zeitlichen Abfolge in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses der Betrachtungsfokus auf der Konstruktion der Bauteile. Eine allgemeine Abgrenzung der Begriffsdefinition eines Bauteils oder der Bauteilebene gestaltet sich aufgrund der Vielzahl an unterschiedlich komplexen Produkten und Erzeugnissen als schwierig. Abbildung 22 zeigt die schematische Darstellung einer sogenannten *Erzeugnisgliederung*, die ein Erzeugnis in Elemente höherer und niederer Ordnung hierarchisch unterteilt (vgl. Pahl et al., 2007, S. 525). Dabei spricht man auf der untersten Ebene von Einzelteilen, Bauteilen oder Komponenten, während Elemente der Zwischenebene meist als Baugruppen und Unterbaugruppen bezeichnet werden (vgl. Göpfert und Tretow, 2013, S. 256; List, 2015, S. 4).

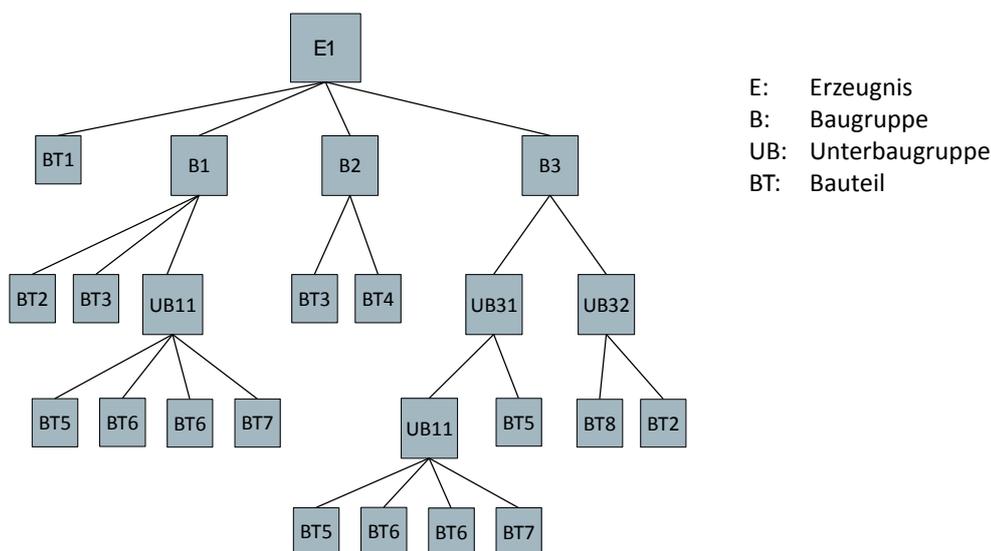


Abbildung 22: Schematische Erzeugnisgliederung (basiert auf Pahl et al., 2007, S. 525)

Diese Produktstruktur gibt dabei den technisch-physischen Zusammenbau für die Funktionserfüllung an (vgl. Göpfert und Tretow, 2013, S. 255). Für das zu entwickelnde Bewertungsverfahren muss eine der beschriebenen Betrachtungsebenen für Bauteile gelten, um dadurch eine Kommunikationsschnittstelle in die Konstruktion zu ermöglichen.

Nach DIN EN ISO 12100 (2011, S. 23) müssen für eine Risikobeurteilung das Schadensausmaß sowie die mögliche Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens bestimmt werden. Dadurch entsteht als weitere Anforderung für das Bewertungsverfahren die Notwendigkeit, eine Differenzierung zwischen dem Verständnis von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit in der späten Phase des PEP und frühen Phase der Produktentwicklung zu schaffen. Für die Betrachtung

des Schadensausmaßes im Kontext der Fließbandfertigung in der Automobilendmontage existieren unterschiedliche Erkrankungen, welche für eine Untersuchung berücksichtigt werden können. Neben den schwer beeinflussbaren motivationsbedingten Fehltagen entfällt ein Großteil der arbeitsbedingten Krankheitsfälle jedoch auf psychische (11,0 %) sowie muskuloskelettale (23,2 %) Belastungen (vgl. BMAS, 2014, S. 263). Aus diesem Grund finden in der Automobilindustrie, wie bereits im dritten Kapitel erläutert, sogenannte *Kombinationsverfahren* zur ergonomischen Risikobeurteilung von monoton wiederkehrenden Tätigkeiten ihre Anwendung (vgl. Bierwirth, 2011, S. 36; Kugler et al., 2010, S. 21).

Diese in der Automobilfertigung auch als Montageprozesse bezeichneten Tätigkeiten bilden zur manuellen Fertigstellung des Endproduktes einen großen Anteil an der Wertschöpfungskette der Unternehmen. Mit den Zielen eine maximale Ausbringung, hohe Prozesssicherheit, niedrige Lohnkosten und eine schnelle Einarbeitung zu erreichen, seien nur einige Gründe für die Gestaltung der Montageprozesse nach ökonomischen und zeitlichen Aspekten genannt (vgl. Müller, 2013, S. 702 ff.). Aus dem Kontext einer Standardisierung von Montageprozessen entsteht ein Spannungsfeld zwischen optimaler Wirtschaftlichkeit und steigender psychischer Belastung der Mitarbeiter durch geringere Flexibilität in der Arbeitsausführung. Dadurch kommt der Betrachtung und Umsetzung von Gruppenarbeitsformen als mögliche Verbesserung der Arbeitsgestaltung für Unternehmen eine besondere Bedeutung zu (vgl. Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 505). Diese arbeitsorganisatorischen Gestaltungsmaßnahmen stehen dabei jedoch nicht speziell mit der Bauteilkonstruktion oder Prozessplanung in der frühen Phase des PEP im Zusammenhang und sind somit auch kein Teil der nachfolgenden Untersuchungen.

Im Fokus der Bewertungsmethodik stehen die durch den Entwickler in der Konstruktion beeinflussbaren Montageprozesse und die daraus resultierenden Belastungen. Eine mögliche Gliederung dieser Prozesse lässt sich der Abbildung 23 (S. 59) nach Müller (2013, S. 705) entnehmen. Neben der Erfüllung der Funktionalität und Bestimmung des Designs gibt die Konstruktion außerdem den Rahmen für die Montagereihenfolge vom Bauteil bis zum finalen Produkt vor. In Kombination mit der geometrischen Form und Beschaffenheit des Bauteiles sowie dem Verbauort in der Karosserie ergeben sich die unterschiedlichen komplexen und variablen Belastungen für den Mitarbeiter. Um den vielfältigen gestalterischen Möglichkeiten in der frühen Phase eine detaillierte ergonomische Belastungsauswirkung zuzuordnen, muss notwendigerweise bei der Entwicklung des Bewertungsverfahrens ein Detaillierungsgrad von Expertenverfahren angestrebt werden (vgl. LASI, 2006, S. 15 ff.; siehe Tabelle 4, S. 28).

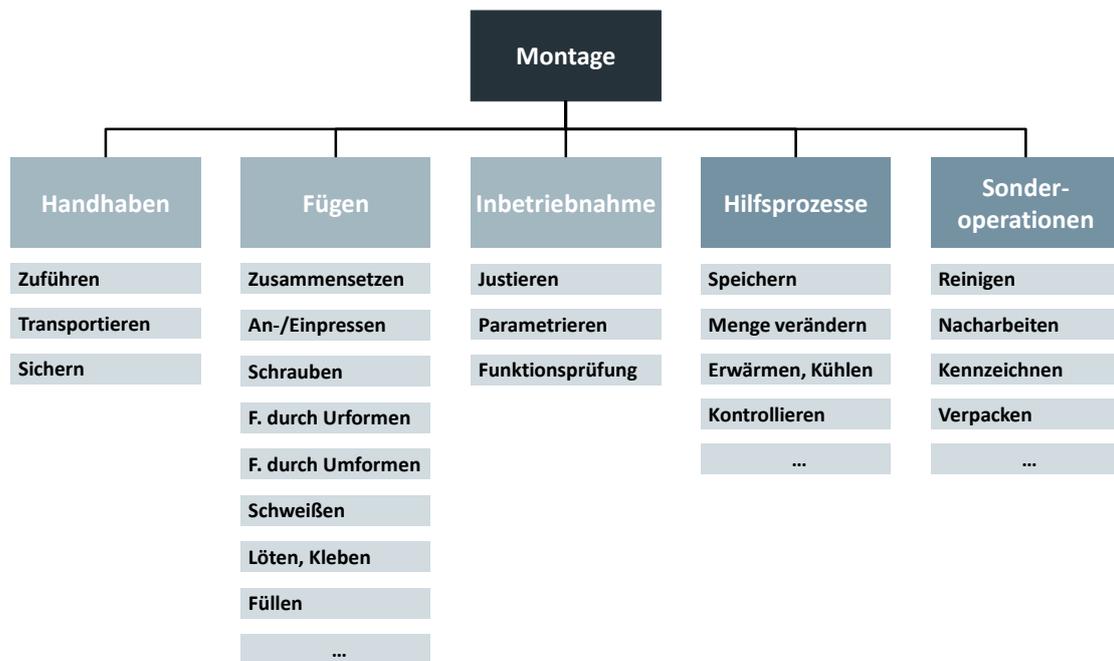


Abbildung 23: Gliederung der Montageprozesse (Müller, 2013, S. 705)

Im Vergleich zu den qualitativen Verfahren bilden diese, durch die Erhebung von Indices und Punktwerten, eine Berechnungsgrundlage für eine quantitative Belastungsbewertung. Messverfahren wie z. B. die Herzschlagfrequenz- und Muskelaktivitätsmessung sowie die kamerabasierten Bewegungsaufnahmen bieten zwar noch präzisere physiologisch-biomechanische Ergebnisse, gehen aber mit einem bis zu sechsmal höherem zeitlichen Arbeits- und Auswertungsaufwand einher (vgl. Volkswagen AG, 2012a, S. 88). Hinzukommend besteht aus der Defizitanalyse für die Praxisanwendung die Anforderung, eine hohe Praktikabilität zu realisieren.

Abschließend ist für die Aufstellung der funktionalen Anforderungen, eine Differenzierung der Funktion der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos in der frühen Phase des PEP notwendig. Während die Betrachtung des ergonomischen Risikos auf den Umfang der Montageprozesse eines Bauteils beschränkt wird, müssen die aus den etablierten Verfahren bekannten Grenzwerte zur Risikoeinstufung in der späteren arbeitsplatzbezogenen Bewertung dennoch ihre Gültigkeit behalten. Die Herausforderungen entstehen dabei durch die in der Montagesystemgestaltung inhärenten Kombinationsmöglichkeiten, Bauteile und deren Montageprozesse an Arbeitsplätzen beliebig zu verteilen. In analoger Weise geht damit die Verteilung von konstruktionsbedingten Belastungen einher. Aus diesem Grund wird eine empirische Prüfung dieses Zusammenhanges empfohlen, um nachfolgend den Grad des Risikos und der möglichen Schädigung bewerten zu können. In Abbildung 24 sind die beschriebenen funktionalen Anforderungen zur Entwicklung eines neuen Bewertungsverfahrens zusammenfassend dargestellt.

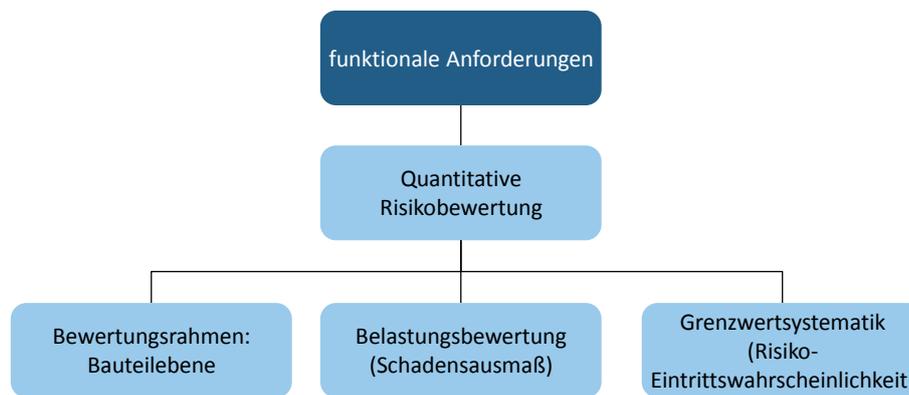


Abbildung 24: Übersicht der funktionalen Anforderungen

Nicht funktionale Anforderungen

Über die rein funktionserfüllenden Aufgaben hinaus werden aus Praxis und Wissenschaft weitere Qualitätsanforderungen an das Bewertungsverfahren gestellt. Messverfahren und Tests zu wissenschaftlichen Forschungszwecken verlangen nach einem hohen Grad an methodischer Strenge (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 91). Dies dient dazu, die Qualität der Messungen und erfassten Daten zu beurteilen sowie Fehler zu minimieren (vgl. Himme, 2009, S. 485; Döring und Bortz, 2016, S. 95). Verfolgt wird dieses Ziel durch die Anwendung und Einhaltung von sogenannten Haupt- und Nebengütekriterien. Folgende Hauptgütekriterien nach DIN EN ISO 10075-3 (2004, S. 10 ff.), Döring und Bortz (2016, S. 107 ff.) sowie Himme (2009, S. 485) gelten als nicht funktionale Anforderungen für das zu entwickelnden Bewertungsverfahren:

- **Objektivität** (Anwenderunabhängigkeit) – Die Objektivität gibt an, ob ein Test bzw. dessen Ergebnis von der testanwendenden Person unabhängig ist.
- **Reliabilität** (Zuverlässigkeit) – Die Reliabilität bestimmt das Maß der Genauigkeit mit dem ein Test das zu prüfende Merkmal misst und wie stark es durch Messfehler verzerrt ist.
- **Validität** (Gültigkeit) – Die Validität prüft mit welcher Sicherheit der Test über die kausalen Ursache-Wirkungs-Relationen tatsächlich misst, was er vorgibt zu messen.

Neben diesen Hauptgütekriterien existieren in der Literatur noch bis zu sieben Nebengütekriterien (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 449). In Übereinstimmung mit den Nebengütekriterien nach DIN EN ISO 10075 (2004, S. 12) und Himme (2009, S. 486) werden ausschließlich die Kriterien Gebrauchstauglichkeit und Nützlichkeit in die Anforderungen mit aufgenommen.

- **Gebrauchstauglichkeit** (Ökonomie) – Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt, ob ein Messverfahren oder Test seine Ergebnisse im Vergleich zum Aufwand möglichst effektiv und effizient zur Verfügung stellt.
- **Nützlichkeit** (Praktikabilität) – Als nützlich erweist sich ein Test, der auf Basis eines praktischen Bedürfnisses ein Merkmal misst, welches kaum oder nur in beschränkter Güte von anderen Verfahren gemessen werden kann.

Für die erfolgreiche Durchführung einer Bewertung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses ist die Sicherstellung der benötigten Eingangsgrößen notwendig. Wie bereits in der Einleitung durch die Fragestellungen aus der Praxis belegt, kommt der Art und Weise der Datenbereitstellung eine hohe Bedeutung zu. Es bedarf neben der Vollständigkeit der Informationen auch einer für den Nutzer in der frühen Phase des PEP verständlichen Darstellung ergonomierelevanter Parameter. Diese bereichs- und prozessbezogene Informationsgüte kann dabei über eine geeignete, informationstechnische Unterstützung erleichtert werden (siehe Kapitel 3.1). Damit einhergehend verringern IT-gestützte Systeme manuelle, durch den Anwender erzeugte, Fehler. In Abbildung 25 sind die an das Bewertungsverfahren gestellten nicht funktionalen Anforderungen zusammenfassend dargestellt.

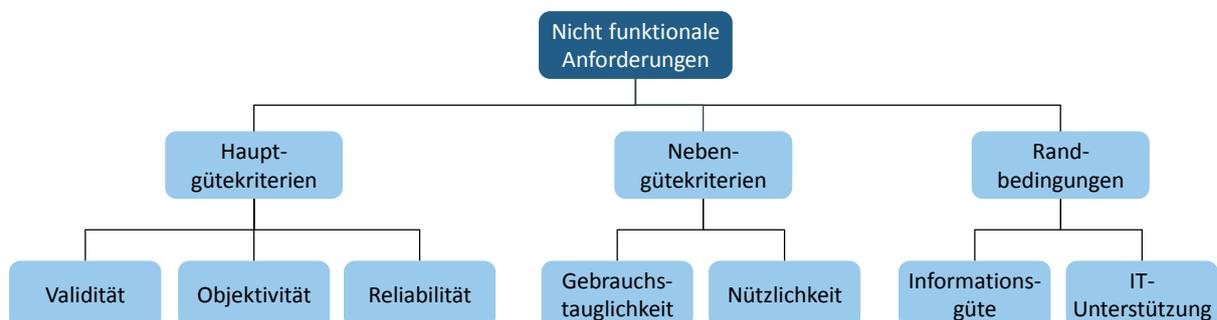


Abbildung 25: Zusammenfassung der nicht funktionalen Anforderungen

5.2 Entwicklung des Ergonomie-Potential-Index (EPI)

5.2.1 Umsetzung der Bauteilbewertungsebene

Das nachfolgend beschriebene Verfahren zur ergonomischen Risikoanalyse in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses ist mit den zuvor beschriebenen wissenschafts-theoretischen und anwendungsbezogenen Anforderungen während der projektbegleitenden Arbeiten in der Planung der Marke Volkswagen entwickelt worden. Aufgrund des Ziels, ein quantifizierbares ergonomisches Risiko mit der gleichzeitigen Darstellung gestalterischer Möglichkeiten (Potentialen) am Bauteil zu verbinden, bekam das Verfahren den Namen *Ergonomie-Potential-Index* (EPI). Die Entwicklung des EPI baut dabei auf erste konzeptionelle Entwürfe aus Studienarbeiten des Volkswagen Konzerns auf (siehe Volkswagen AG, 2011a; Volkswagen AG, 2013c; Volkswagen AG, 2013d). Als Grundlage für die Bewertung von Bauteilen muss für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und das Verständnis aller Beteiligten eine einheitliche Definition dieser Ebene existieren. Aufgrund der produkt- und firmenspezifischen Anforderungen an eine Erzeugnisstruktur gibt es für diese keine allgemeingültigen Vorgaben (vgl. Pahl et al., 2007, S. 526). Aus diesem Grund wurde für den EPI die Produktstruktur des Anwendungsbeispiels der Volkswagen AG zugrunde gelegt.

Auf der obersten Ebene ist dabei das gesamte Fahrzeug in fünf Fachgruppen untergliedert und alle Untergruppen und Bauteile sind diesen funktional zugeordnet (siehe Abbildung 26). Unter der Fachgruppe Ausstattung befinden sich beispielsweise die Baugruppen der Instrumententafel, Sicherheitssysteme und Innenverkleidungen. Für die interdisziplinäre Abstimmung zwischen den Bereichen der Entwicklung, Produktion und Beschaffung finden auf der Fachgruppenebene die sogenannten Besprechungen der *simultaneous engineering teams* (SET) statt (vgl. Feldhusen und Grote, 2013, S. 31). Abschließend werden die Bauteile wie z. B. die Verkleidung der B-Säule auf der untersten Ebene den SETs zugeordnet. Diese unterste Bauteilebene ist zugleich die einzige bedeutungs- und bezeichnungsgleiche Schnittmenge zwischen der Produktstruktur der Entwicklung und der Fertigungsstruktur der Produktion. Die Fertigungsstruktur legt den Verlauf der Montagereihenfolge, die Zeiten, Maschinen sowie Arbeitskräfte, die zur Herstellung benötigt werden, fest (vgl. Stolz, 2009, S. 261). Wie an dem Beispiel der Verkleidung B-Säule in Abbildung 26 dargestellt, lässt sich auch innerhalb der Montageprozessbeschreibung eines Arbeitsplatzes eine identische Bauteilebene finden. Dadurch kann die erste notwendige Anforderung für einen optimalen Informationsaustausch an das Bewertungsverfahren umgesetzt werden.

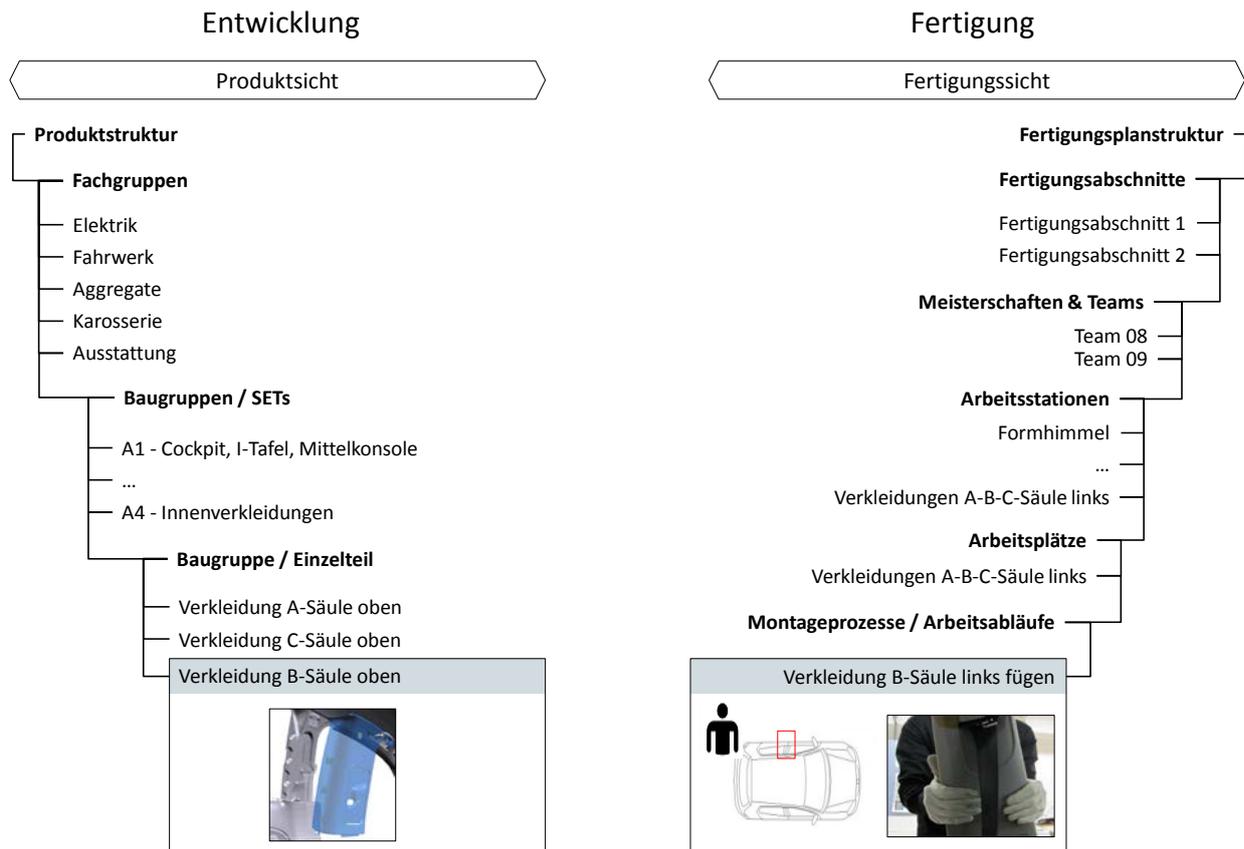


Abbildung 26: Übersicht einer einheitlichen Bauteilbewertungsebene zwischen Produkt- und Fertigungssicht eines Automobilunternehmens

5.2.2 Umsetzung der Belastungsbewertung

In Kapitel 3.4 wurden bereits bekannte Verfahren zur Bewertung der Ausführbarkeit und Erträglichkeit menschlicher Arbeit diskutiert. Dabei zeigte sich, dass aufgrund des häufigen Auftretens von Muskel-Skelett-Erkrankungen Verfahren zur Belastungsbewertung von physisch-biomechanischen Einflussfaktoren bereits weit entwickelt und etabliert sind (siehe Kapitel 3.4). Als weiteren wichtigen Einflussfaktor auf die Beurteilung der menschlichen Leistung stellt die DIN EN 1005-1 die Auswirkung der Körpermaße auf die Form von Körperhaltung und Bewegung sowie die verfügbare Maximalkraft heraus (vgl. DIN EN 1005-1, 2009, S. 4). Aufgrund der Kombination von zugrundeliegenden epidemiologischen und biomechanischen Studien erscheint eine Auswahl der zu bewertenden Belastungsarten nach DIN EN 1005-1 (2009, S. 4) und Kugler et al. (2010, S. 16 ff.) als zielführend:

- **Körperhaltung** (Körperbewegung) – Aufgrund des Arbeitssystems erzwungene Körperhaltung oder Bewegungen mit geringem Kraftaufwand
- **Aktionskräfte** (Kraftgrenzen) – Aufgrund der Tätigkeit oder äußerer Einflüsse erhöhte Krafteinwirkung

- **Manuelle Handhabung von Gegenständen & Lasten** – Belastungseinwirkung durch das Ziehen, Schieben, Heben, Tragen oder Halten von Lasten

Die vierte Belastungsart der *kurzzyklischen Tätigkeiten* findet aus zwei Gründen in der nachfolgenden Verfahrensentwicklung keine weitere Berücksichtigung. Zum einen wird die Anforderung an hohe Repetitivität mit einer Zykluszeit unter 30 Sekunden in der Automobilendmontage mit Standardtaktzeiten um die 60 - 240 Sekunden nicht erfüllt (vgl. DIN EN 1005-5, 2009, S. 13). Zum anderen entspricht der durch Experten beurteilte notwendige Aufwand für eine Untersuchung der kurzzyklischen Tätigkeiten nicht der Anforderung nach einem praktikablen Bewertungsverfahren.

Da die unterschiedlichen Belastungsarten an den Arbeitsplätzen simultan und/oder sukzessiv aber in jedem Fall in Kombination auftreten, wird für das Bauteilbewertungsverfahren ein holistischer Ansatz gewählt (vgl. Schaub und Landau, 2004, S. 54 ff.). Diese Vorgehensweise ermöglicht es, Risiken aufzudecken, die bei separater Betrachtung eventuell nicht entdeckt werden (vgl. Schaub et al., 2012, S. 18). Diese Ergebnisse der Belastungsbewertung sollen aufgrund der Anforderungsanalyse in quantifizierter und in detaillierter Form vorliegen. Das vom IAD und IMD entwickelte *ergonomic assessment worksheet* (EAWS) erfüllt dafür die benötigten Anforderungen und dient der EPI-Entwicklung als methodische Ausgangssituation (siehe Kapitel 3.4). Für das Gütekriterium der Reliabilität sind dabei die bereits in der EAWS-Entwicklung durchgeführten Inter-Rater Reliabilitätsstudien mit anderen etablierten Verfahren wertvoll (vgl. Schaub et al., 2012, S. 6). Als weiterer Vorteil für eine EPI-Entwicklung auf Basis des EAWS zeichnen sich die Durchgängigkeit der Bewertungsergebnisse und Reduzierung methodischer Fehler aufgrund einer einheitlichen Bewertungsbasis über den gesamten Produktentstehungsprozess aus. Eine direkte Übertragung der Bewertungsmethodik des EAWS auf die Beurteilung von Bauteilen während der Konstruktion ist jedoch aufgrund der Bezugsebene und der davon abhängigen Eingangsgrößen nicht möglich. Das Grundkonzept des EPI basiert daher auf der Annahme, dass eine Belastungsbewertung auf Bauteilebene durch die Reduktion aller nicht von der Konstruktion des Bauteils beeinflussbaren Arbeitsprozesse möglich ist. Für dieses Ziel erzeugen Analysiersysteme vorbestimmter Zeiten nach MTM eine normierte Beschreibung von Arbeitsprozessen und die Möglichkeit zur feinen Abgrenzung von konstruktivbedingten, prozess- oder arbeitssystem-induzierten Prozessen (siehe Kapitel 3.3).



Abbildung 27: Ausschnitt aus den Arbeitsgängen Montage Verkleidung B-Säule (Volkswagen AG, 2016b)

Der Ausschnitt aus der Prozessbeschreibung für die Montage der *Verkleidung B-Säule* verdeutlicht die möglichen produkt- und prozessspezifischen Differenzierungen (siehe Abbildung 27 und Tabelle 5, S. 66). In den ersten zwei Prozessschritten zur Montage der Verkleidung B-Säule müssen wiederkehrend Wege zurückgelegt und vorbereitende, logistische Tätigkeiten durchgeführt werden. Diese Tätigkeiten können aufgrund beispielsweise weiter entfernter Anstellungskonzepte oder unterschiedlicher Ausgangspunkte beliebig gestaltet sein. Im Vergleich zu diesen stellen die sich anschließenden fünf Prozesse jeweils durch die Produktgestaltung induzierte und unveränderliche Montagetätigkeiten dar. Die Konstruktion gibt hierbei die Fügereihenfolge mit vorgelagertem Fädeln des Gurtbeschlages durch die Verkleidung B-Säule und nachfolgendes Verastern an der Karosserie vor. Zum Abschluss muss die Verkleidung mit einer Schraube befestigt werden. Diese eindeutige Differenzierbarkeit in der Prozessbeschreibung bildet somit die eindeutige Grundlage für eine Belastungsbewertung auf Bauteilebene.

Am Praxisbeispiel der Prozessbeschreibung ausgerichtet, sind in Spalte 3 die standardisierten Analysierbausteine nach dem MTM-Verfahren beschrieben. Abgeleitet aus Filmaufnahmen und Mikro-Bewegungsstudien bilden diese für die Anwendungsoptimierung zusammengefassten Grundvorgänge den immer identischen Zeitanteil für die Dauer gleicher Vorgänge (vgl. Britzke, 2010, S. 89 ff.). Für die einfachere Handhabung werden diese Zeitbausteine mit der Anzahl der zu gehenden Meter oder Fügstellen multipliziert. Auch an dieser Stelle der konstruktivbedingten Zeitbausteine ist eine Manipulation des Zeitfaktors durch unterschiedliche Ausgangssituationen des Mitarbeiters möglich. Es könnte beispielsweise eine Differenzierung zwischen den Entfernungsbereichen, in denen sich der Mitarbeiter zu Beginn des Fügeprozesses befindet, geben. Das Bauteil kann sich beispielsweise vor seinem Körper in nahem Entfernungsbereich oder bereits im Fahrzeug in weiterem Entfernungsbereich befinden. Um diese Bewertungsfehler und Unschärfen in der Definition der Zeiten zu vermeiden, existieren Regeln und Vorgaben zur Aufnahme dieser auch als *engineered hours per vehicle* (EHPV) bezeichneten Zeiten.

Tabelle 5: Ablauf Montage Verkleidung B-Säule mit Prozesszuordnung

Prozessbeschreibung	Prozesszuordnung	MTM-Analysierbaustein	Anzahl	Dauer (in s)
• Weg zum Materialwagen & Karosse	Laufwege	KA	2	1,8
• Verkleidung B-Säule auf Materialwagen ablegen	Vorbereitende Tätigkeiten	AA2	1	1,3
• Verkleidung B-Säule aufnehmen und Gurtbeschlag durch Säule fädeln	Konstruktivbedingte Vorrichtungen	AB2	3	4,9
• Verkleidung B-Säule an Karosse positionieren und verrasten (beidhändig)	Konstruktivbedingte Vorrichtungen	PC1	2	2,2
• Akkuschrauber aufnehmen	Konstruktivbedingte Vorrichtungen	HB2	1	2,2
• Schraube aufnehmen und auf Akkuschrauber platzieren	Konstruktivbedingte Vorrichtungen	AE2	1	2
• Verschrauben	Konstruktivbedingte Vorrichtungen	PT	45	1,6
• Behälter wechseln	Vorbereitende Tätigkeiten	AA3	2	3,6

Unter vergleichbaren Bedingungen muss die EHPV derart definiert sein, dass diese standort- und automatisierungsartunabhängig sowie nur durch Produktänderungen reduziert werden kann (vgl. Volkswagen AG, 2014c, S. 6). Aus Gründen der Montagezeit- und der damit einhergehenden Kostenreduzierung ist die vollständige Aufnahme der EHPV bereits in einer sehr frühen Phase des Produktentstehungsprozesses für jedes Fahrzeugprojekt verpflichtend. Zusammenfassend zeigt sich, dass die EHPV als standardisierte, bauteilbezogene Zeit für die Bewertung der Belastungssituation unterschiedlicher Körperhaltungen eine geeignete Basis darstellt.

Neben den Prozessbeschreibungen bedarf es für eine Beurteilung der jeweiligen Belastungsarten weiterer biomechanischer Eingangsparameter. Dafür müssen Körperhaltungen und -bewegungen durch Beobachtungen, Dokumentationen oder Erfahrungen kategorisiert werden. Für diesen Zweck sind im EAWS 16 Auswahlmöglichkeiten symmetrischer Körperhaltungen von „Stehen“, „Sitzen“ und „Knien“ bis zum Arbeiten in einer liegenden Position beschrieben. Auch Oberkörperrotation, laterale Beugung und Armstreckung für Reichweiten stehen als asymmetrische Körperpositionen für die Beurteilung zur Auswahl (vgl. Schaub et al., 2012, S. 7 ff.). Die Körperhaltungssektion beinhaltet bereits Kraft- und Lastanstrengungen unter 30-40 N oder 3-4 kg und ist somit nicht zusätzlich in den weiteren Kategorien zu bewerten (vgl. Schaub et al., 2012, S. 8). Um eine informationstechnische Umsetzung zu ermöglichen, hat man im Anwendungsbeispiel der Volkswagen AG die diskreten Grenzen 30 N und 3 kg festgelegt (vgl. Volkswagen, 2012b, S. 32).

Daraus resultiert, dass jede gemessene oder geschätzte Kraftbelastung über 30 N innerhalb der Belastungsart Aktionskräfte zu bewerten ist. Dabei unterscheidet das EAWS in Aktionskräfte des Hand-Finger-Systems auch als Fingerkräfte (FK) bezeichnet und Aktionskräfte mit Kraftbelastung auf den gesamten Körper auch als Ganzkörperkräfte (GK) bezeichnet. Die für die Punktberechnung angenommenen Maximalkraftwerte und Risikoeinstufungen der unterschiedlichen Nutzerpopulationen entstammen der DIN EN 1005-3 (2009, S. 8 ff.) sowie dem montagespezifischen Kraftatlas von Wakula et al. (2009, S. 191 ff.). An dieser Stelle ist nochmals zu erwähnen, dass jede Person unterschiedlichen Leistungsvoraussetzungen unterliegt, weshalb die Kraftbewertungsverfahren Annahmen und Korrekturen für statistische Populationsgruppen einsetzen. So werden beispielsweise Geschlecht, Alter und Trainiertheit mit verschiedenen Korrekturfaktoren in den Studien berücksichtigt. Für den Einfluss des Geschlechtes auf das maximale Kraftvermögen erhalten die weiblichen Perzentile einen Korrekturfaktor von 0,5 im Vergleich zur männlichen Maximalkraft (vgl. Wakula et al., 2009, S. 185 ff.). Da in den meisten Montagelinien Frauen und Männer gemeinsam tätig sind, folgt die Entwicklung des EPI der Vorgabe im EAWS, ein geschlechtsneutrales 40. Kraftperzentil zu verwenden. Nach einer statistischen Wahrscheinlichkeitsverteilung sollten somit mehr als 60 % der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen die zugrundeliegenden Maximalkräfte erreichen.

Einen weiteren Einflussfaktor auf die maximale Krafterzeugung stellen die möglichen Stellungen der Gelenke und die Haltung des gesamten Körpers während der Kraftausführung dar. Je nach Greifart der Hand ist eine Unterscheidung in Kontakt-, Zufassungs- oder Umfassungsgriff möglich (Bullinger und Solf, 1979, S. 106). Auch die Anzahl der verwendeten Finger und die Position der Kraftaufbringung steuern die Varianten der Greifart. In der Automobilproduktion besonders häufig vorkommend sind der Daumenkontaktgriff sowie der Zufassungsgriff (vgl. Walther, 2015, S. 34). Aufgrund der gleichzeitig auftretenden Veränderung der gesamten Körperhaltung während einer Kraftausübung lassen sich die bewertbaren Körperstellungen zwischen der ersten Belastungsart Körperhaltung und den Aktionskräften zusammenführen. Zum Abschluss der Bewertung des Risikos durch Aktionskräfte fließt außerdem die Häufigkeit der Kraftausführung mit in die Berechnung ein.

In der Phase der Konstruktion ebenfalls bekannt, sind das kalkulierbare Lastgewicht und die geometrischen Abmaße der Bauteile. Überschreitet ein per Hand zu fügendes Bauteil das Gewicht von 3 kg wird eine Bewertung in der Belastungskategorie *manuelles Handhaben von Lasten* erforderlich. Die dem EAWS zugrundeliegende Methodik basiert dabei auf der *Leitmerkmalmethode* von Steinberg et al. (2007, S. 1 ff.). Über eine summarische Gewichtung der Merkmale Zeit, Last, Haltung sowie Ausführungsbedingungen entsteht dabei ein Maß der Belastung durch Hebetätigkeiten (vgl. LASI, 2001, S. 17). In die Bewertung der Last fließt nur die tatsächlich auf den

Mitarbeiter wirkende Gewichtskraft ein. Aufgrund dieser Regel reduziert sich bei einer Handhabung der Last durch zwei Mitarbeiter das in die Bewertung einfließende Lastgewicht um den Faktor 0,85 (vgl. DIN EN 1005-2, 2009, S. 16). Ebenso muss bei der ein- oder beidhändigen Lastbewertung eine unterschiedliche Faktorisierung erfolgen. Im nachfolgenden Kapitel der Punktberechnung wird auf die zu beachtenden Regelungen näher eingegangen. Die Merkmale Zeit, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen lassen sich wie in der Aktionskräftebewertung mit den Kategorien der ersten Belastungsart in Verbindung bringen. Eine exemplarische Übersicht zu den primär notwendigen Eingangsgrößen einer Bauteilbelastungsbewertung lässt sich aus Tabelle 6 erneut am Beispiel der Verkleidung B-Säule entnehmen.

Tabelle 6: Zeitliche und biomechanische Eingangsgrößen für Montage Verkleidung B-Säule

Prozessbeschreibung	Dauer (in s)	Belastungsarten & biomechanische Eingangsgrößen				
		Körperhaltung		Kräfte		Lasten
		Sym.	Asym.	FK	GK	
• Verkleidung B-Säule aufnehmen und Gurtbeschlag durch Säule fädeln	4,9	Aufrecht Stehen	Seitliche Beugung	-	-	-
• Verkleidung B-Säule an Karosse positionieren und verrasten (beidhändig)	2,2	Aufrecht Stehen	Seitliche Beugung	-	1 x 70 N	-
• Akkuschauber aufnehmen	2,2	Aufrecht Stehen	Reichweite	-	-	-
• Schraube aufnehmen und auf Akkuschauber platzieren	2	Aufrecht Stehen	-	-	-	-
• Verschrauben	1,6	Arme über Schulter	Seitliche Beugung	-	-	-

Durch die Beschreibung der Eingangsgrößen wird deutlich, dass die Bereitstellung der notwendigen Informationen nicht allein durch den Konstrukteur erfolgen kann. Im Vergleich zur Methode der *Produktionsgerechten Konstruktion* (PROKON) soll der EPI den durch das Bauteil bedingten realen Montagevorgang analysieren und sich nicht allein auf die technische Zeichnung des Bauteils und des Bauraumes beziehen (vgl. DMTM-V, 1996, S. 12). Diese Vorgehensweise dient dem Forschungsziel eines einheitlichen Verständnisses aller ergonomie-relevanten Eingangsgrößen physischer Belastung in der Montage. Die gesteigerte Komplexität einer Bewertung in der frühen Phase der Bauteilkonstruktion soll ebenso den Entscheidungsprozess zwischen prozessualen Maßnahmen der Arbeitsumgebungsgestaltung sowie konstruktiven Maßnahmen in der Produktgestaltung verbessern. Aus diesen Gründen ist die Bauteilbewertung, in den dafür geeigneten interdisziplinären Gruppen der *simultaneous engineering teams* (SET), durchzuführen.

5.2.3 Punktwertberechnung der Belastung nach der EPI-Systematik

Nach der Definition der Voraussetzungen und Eingangsgrößen einer Belastungsbewertung auf Bauteilebene beschreiben die nachfolgenden Schritte die Berechnungswege und Umsetzungen der EAWS-Regeln für eine EPI-Bewertung. Die Punktetabellen und Grenzwerte beziehen sich auf die EAWS-Datenblätter der Version 1.3.3. Zum Zeitpunkt der Anfertigung dieser Dissertation entsprachen diese der aktuellsten Arbeitsplatzbewertungsversion des Beispielunternehmens (siehe Anhang A). Von der deutschen MTM-Gesellschaft erfolgen in bestimmten Abständen Revisionen der Datenblätter, sodass es bei neueren oder älteren Versionen zu minimalen Punktwertunterschieden in den einzelnen Sektionen kommen kann. Um ein besseres Verständnis der prinzipiellen Vorgehensweisen und Berechnungen des EPI zu erhalten, werden anhand der Beispiele *Verkleidung B-Säule* und *Stirnwanddämpfung* alle Belastungsarten näher erläutert (siehe Abbildung 28, S. 70). Unterstützend dafür sind die biomechanischen Eingangsgrößen und EHPV zum Teil gerundet und vereinfacht dargestellt.

Körperhaltung

Bezüglich der Belastungsart Körperhaltung (KH) gilt die Regel, dass sich die Punktebewertung erhöht, je länger sich der Mitarbeiter in einer ungünstigen Körperhaltung befindet (vgl. Schaub et al., 2012, S. 8). Dementsprechend errechnet sich der Punktwert aus der Summe der Zeitdauern des Mitarbeiters in der jeweiligen Körperhaltung und dem für diese Zeitdauer zugeordneten Belastungswert. In Abbildung 28 ist diese Funktionsweise für die Dauer von 40 Sekunden in der leicht gebeugten Körperhaltung während der Montage der Stirnwanddämpfung exemplarisch dargestellt. Der resultierende Belastungspunktwert beträgt anhand der vordefinierten Wertetabelle 32 Punkte. Befindet sich die gemessene oder geschätzte Zeit zwischen den vorgegebenen Intervallen kann der gesuchte Punktwert x (rotes Quadrat) über lineare Interpolation zwischen dem davor liegenden Punktwert a mit Zeitwert t_a und nachfolgendem Punktwert b mit Zeitwert t_b nach folgender Formel 1 berechnet werden.

$$(1) \quad x = a + \frac{b - a}{t_b - t_a} \times (t_x - t_a)$$

Körperhaltung (KH)											
			$Dauer \left[\frac{s}{min} \right] = \frac{Dauer \text{ Körperhaltung(en)} \times 60}{Taktzeit}$								
			[%]	5	7,5	10	15	20	27	33	50
[s/min]	3	4,5	6	9	12	16	20	30	40	50	
 <ul style="list-style-type: none"> • Stehen aufrecht 	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1,5	2	
 <ul style="list-style-type: none"> • Leicht gebeugt (20 - 60 °) 	2	3	5	7	9,5	12	18	23	32	40	
 <ul style="list-style-type: none"> • Stark gebeugt (> 60 °) 	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63	

Abbildung 28: Berechnung des Belastungswertes aus der Körperhaltung und Zeitdauer (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 2)

Die vom EAWS definierten Punktwerte beziehen sich auf eine Taktzeit beziehungsweise Zykluszeit von 60 Sekunden (s). Weichen die Taktzeiten in dem betrachteten Unternehmen ab, müssen die festgestellten Zeitdauern auf 60 s normiert werden (siehe Abbildung 28; Anhang A.2). Auch für das hier entwickelte Bauteilbewertungsverfahren ist diese Taktzeit bereits in einer sehr frühen Phase bekannt. Zum einen ist die Taktzeit abhängig von der zu erbringenden Stückzahl, welche für die Kostenkalkulation von der Projektsteuerung bereits zu Beginn des PEP erstellt wird. Zum anderen finden aus Gründen der Kostenreduzierung in den meisten Fällen Einplanungen in bestehende Montagelinien statt und die Taktzeiten bestehender Montagelinien sind ebenfalls bereits dokumentiert.

Infolge von Expertengesprächen und Analysen existierender Arbeitsplätze wurden die 16 im EAWS bewertbaren Körperhaltungen um fünf reduziert. An den gesamten Montagelinien der Volkswagen AG am Standort Wolfsburg ist kein Arbeitsplatz mit liegender (Zeile 15) oder kletternder (Zeile 16) Körperhaltung gestaltet (siehe Anhang A.2). Die Reduzierung auf die elf in Abbildung 29 dargestellten Körperhaltungen begründet sich außerdem durch das Ziel, einen Kompromiss zwischen der maximal möglichen Differenzierung und minimal nötigen Genauigkeitsanforderung der Merkmalausprägungen zu schaffen.

Symmetrische Körperhaltungen (SKH)		
	• Stehen aufrecht	
	• Stark gebeugt (> 60 °)	
	• Leicht gebeugt (20 - 60 °)	
	• Stehen aufrecht & Arme über Schulterhöhe	
	• Stehen aufrecht & Arme über Kopfhöhe	
		

Abbildung 29: Elf mögliche Grundkörperhaltungen für eine EPI-Bewertung (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 2)

In der asymmetrischen Körperhaltung wird identisch verfahren und aus der Dauer der beschriebenen Rumpfdrehung oder Armstreckung lässt sich der Belastungswert ermitteln. Die möglichen Abstufungskriterien der Rotation in 5 bis 10 Grad Schritten vermitteln dabei eine Genauigkeit der Bewertung, die auch in der späten Arbeitsplatzbeobachtung für das menschliche Auge kaum zu unterscheiden ist (siehe Anhang A.2). Darin begründet sich die weitere Festlegung, dass diese Merkmale trotz einer Reduzierung der verfahrensinternen Genauigkeit nicht als Auswahlmöglichkeiten in die EPI-Bewertung der frühen Phase mit einfließen. In Abbildung 30 ist das Schema zur Bewertung asymmetrischer Körperhaltung (AKH) dargestellt und an dem ausgewählten Beispiel ergeben sich für eine starke Rumpfdrehung über 13 Sekunden 9 Belastungspunkte für die Montage der Stirnwanddämpfung.

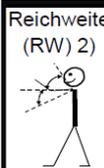
Asymmetrische Körperhaltung (AKH)					
		Höhe			
		25° (stark)		Höhe	
		3 P		80 %	
Dauer			Dauer		
nie	4 sec	10 sec	13 sec	nie	4 sec
0	1,5	2,5	3	0	1
<i>Punkte AKH = Höhe × Dauer</i>					

Abbildung 30: Belastungsbewertungsschema asymmetrische Körperhaltung (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 2)

Treten unterschiedliche Körperhaltungen in einer Prozessbeschreibung auf, sind die jeweiligen Teilsummen zu einem Zwischenergebnis der Körperhaltungspunkte zusammenzufassen.

$$Punkte KH = \sum_{i=1}^n Punkte SKH_i + Punkte AKH_i + Punkte SKH_{i+n} + Punkte AKH_{i+n}$$

Aktionskräfte

Die Berechnung der Aktionskräfte unterteilt sich in Ganzkörperkräfte sowie Fingerkräfte und erfolgt ebenfalls nach dem Schema der Multiplikation von Intensität (Krafthöhe) und Frequenz (Häufigkeit) der auftretenden Kraftfälle (vgl. Schaub et al., 2012, S. 8). Wie bereits beschrieben, fließen in die Berechnung der Intensität auch die Körperhaltungen und Ausführungsbedingungen ein. Nach DIN EN 1005-3 (2009, S. 8 ff.) und Wakula et al. (2009, S. 26 ff.) sind die maximal ausführbaren Kraftmomente für Ganzkörperkräfte abhängig davon, ob ein Mitarbeiter steht, sitzt, kniet oder sich in gebeugter Haltung befindet. Die im EAWS und im montagespezifischen Kraftatlas definierten Körperhaltungen können aufgrund ihrer Ähnlichkeit in der Beschreibung zur Reduktion der Bewertungskomplexität zusammengefasst beziehungsweise daraus abgeleitet werden. In einer EPI-Bewertung bestimmt sich die Körperhaltung für Aktionskraftberechnungen aus der vorher bereits definierten Körperhaltung in der Prozessbeschreibung (siehe Abbildung 31).

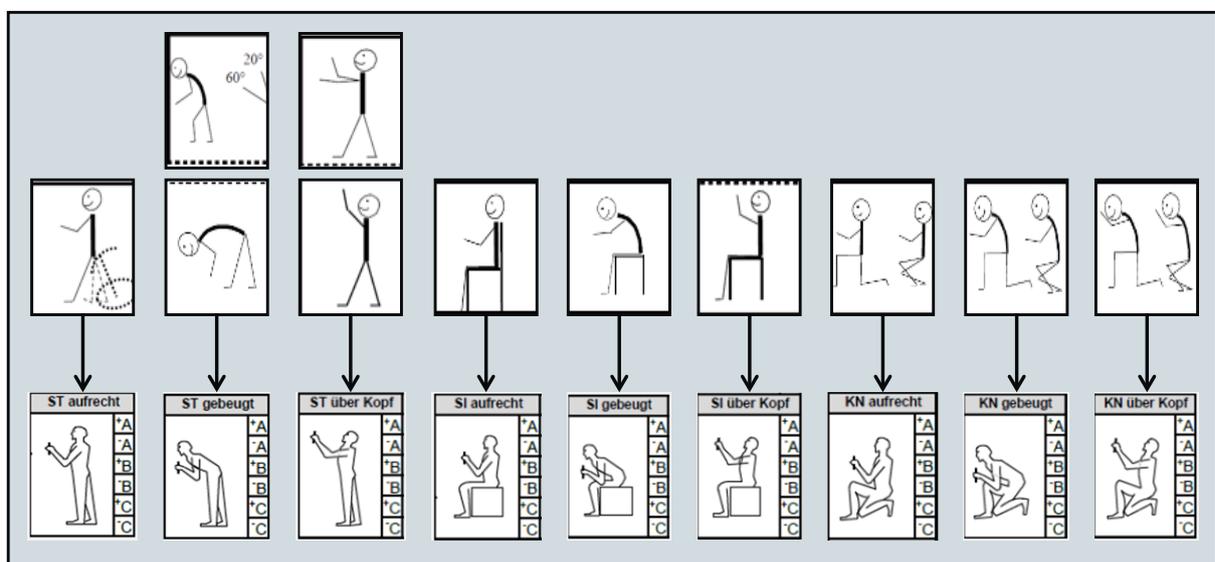


Abbildung 31: Ableitung der Ausführungsbedingungen für Ganzkörperkräfte anhand der Grundkörperhaltungen (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 3)

Zusätzlich zur Körperhaltung muss der Bewertende die Richtung der Kraftausübung definieren. Durch diese Krafrichtungen und Körperhaltungen lassen sich mit Hilfe der Vorgabetabellen auf die biomechanisch aufbringbaren Maximalkräfte schließen. Für ein Beispiel zur Berechnung der Belastung einer Ganzkörperkraft sind in Abbildung 32 alle dafür notwendigen Eingangsgrößen

und das Vorgehen dargestellt. Während der Montage der Verkleidung B-Säule muss der Mitarbeiter mit beiden Händen die Verkleidung mit 70 N Fügekraft verclipsen. In aufrechter Körperhaltung und mit der Fügeichtung B+ (nach hinten gerichtet) ergeben sich daraus 6 Intensitätspunkte ($1/3 F_{max}$) und 1,5 Häufigkeitspunkte sowie eine resultierende Gesamtbelastung von 9 Punkten. Die vollständige Abbildung aller Tabellenwerte für Aktionskräfte des EAWS ist im Anhang A.3 dokumentiert.

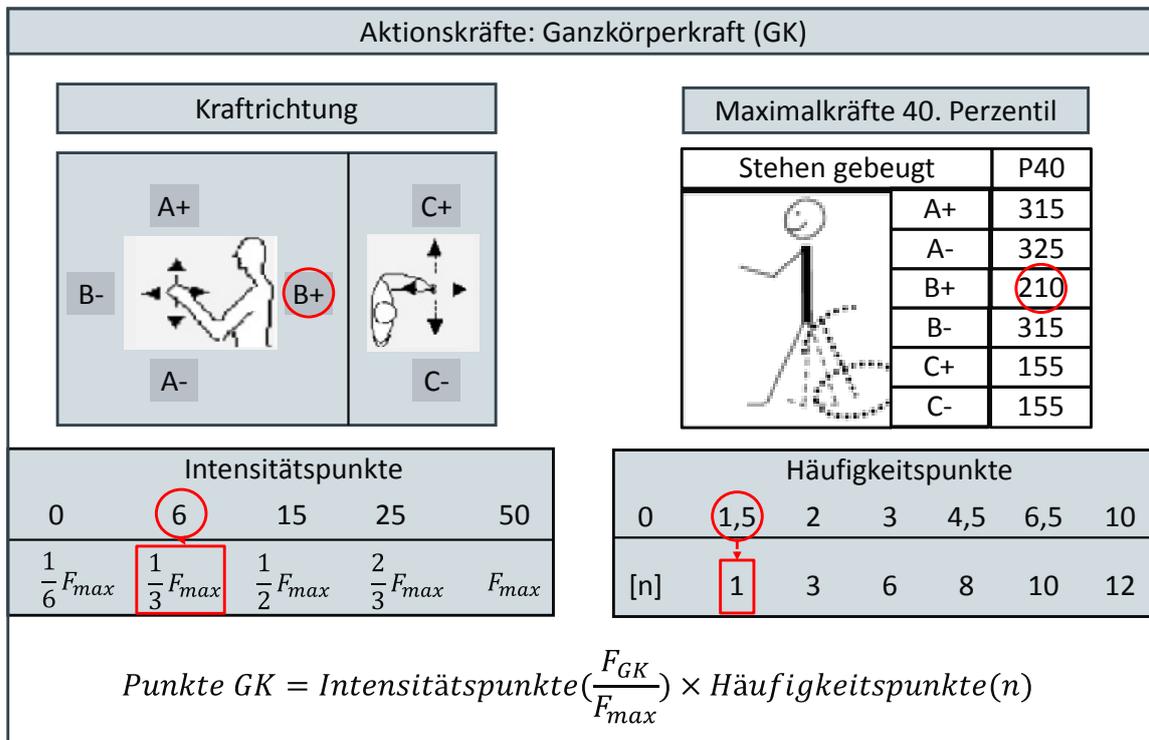


Abbildung 32: Belastungsbewertungsschema für Ganzkörperkräfte (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 3)

Bestimmte Bauteile besitzen zur Funktionserfüllung kleinere Einzelteile wie z. B. Halter für Leitungen, Stecker für elektrische Verbindungen oder Dichtungen und Stopfen für abdichtende Funktionen. Bei der Montage dieser Bauteile im Fahrzeug müssen zum Teil hohe Kräfte durch das Finger-Hand-System aufgebracht und abgefangen werden (vgl. Walther, 2016, S. 10 ff.). Die Bewertung dieser hier unter der Gruppe Fingerkräfte bezeichneten Aktionskräfte erfolgt nach dem gleichen Schema, wie die Berechnung der Ganzkörperkräfte. Nachdem die Greifart des Finger-Hand-Systems bestimmt ist, lassen sich die Intensitätspunkte anhand der Maximalkrafttafel ermitteln. Am Beispiel der Montage Stirnwanddämpfung muss der Mitarbeiter vier Druckknöpfe mit dem Daumen und einer Kraft von 35 N in die Karosserie fügen. Daraus errechnet sich eine Belastungspunktzahl von 22,5 Punkten (siehe Abbildung 33, S. 74). An einem Bauteil oder einer Baugruppe können zusätzlich unterschiedlich hohe Aktionskräfte auftreten. Es wird dabei der Empfehlung des EAWS gefolgt, eine gewichtete Mittelwertberechnung der Intensitätspunkte zwischen allen auftretenden Kräften zu ermitteln (Formel 2).

$$(2) \text{ Intensitätspunkte (Eingabekraft)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Kraft}_i \times \text{Anzahl}_i}{\sum_{i=1}^n \text{Anzahl}_i}$$

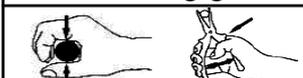
Aktionskräfte: Fingerkraft (FK)														
Greifarten und Maximalkräfte														
Umfassungsgriff					F_{max}	Daumenkontaktgriff					F_{max}			
					P40						P40			
					205						70			
Daumen auf 2 Finger					F_{max}	Zeigefinger-Daumen					F_{max}			
					P40						P40			
					55						50			
Intensitätspunkte										Häufigkeitspunkte				
0	7	15	25			25	50			0	1,5	2	2,5	3
$\frac{1}{6} F_{max}$	$\frac{1}{3} F_{max}$	$\frac{1}{2} F_{max}$	$\frac{2}{3} F_{max}$			F_{max}			[n]	4	10	15	20	
$\text{Punkte FK} = \text{Intensitätspunkte} \left(\frac{F_{FK}}{F_{max}} \right) \times \text{Häufigkeitspunkte}(n)$														

Abbildung 33: Belastungsbewertungsschema für Fingerkräfte (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 3)

Manuelles Handhaben von Gegenständen & Lasten

Auch für die Bewertung eines möglichen Risikos durch das Handhaben schwerer Bauteile ist die Kombination der Einflussfaktoren Gewicht, Ausführungsbedingungen und Häufigkeit der Handhabungen pro Schicht von Bedeutung. Das Bauteilgewicht als erster Risikofaktor lässt sich der Teilezeichnung oder Stückliste entnehmen und im ersten Schritt der Berechnung einem Intensitäts- beziehungsweise Lastpunkt zuweisen (siehe Abbildung 34, S. 75). Die bereits in vorherigen Bewertungsschritten angenommene Körperhaltung hat ebenfalls auf die Gewichtung der Ausführungsbedingungen während der Lastenhandhabung einen Einfluss. Daraus ergeben sich in Anlehnung an die LMM und das EAWS folgende in Abbildung 34 dargestellte Körperhaltungen sowie die zugehörigen Intensitätspunkte (vgl. Steinberg et al., 2007, S. 45 ff.; Schaub et al., 2012, S. 12). Im abschließenden Schritt fließt die Häufigkeit der Lastenhandhabung mit in die Berechnungsabfolge ein. Infolge von Untersuchungen zu den möglichen Arten von Lastfällen innerhalb einer Montagelinie, stellen das Aufnehmen und Umsetzen von Gegenständen die häufigsten Fälle der Lastenhandhabung dar. Das im EAWS und der LMM aufgeführte *Halten* von Lasten tritt,

aufgrund der kurzen Prozesszeiten in denen ein Bauteil oder Betriebsmittel gehandhabt wird, selten bis nie auf. Es ist daher erforderlich mit dem Ziel hoher Praktikabilität in einer Bauteilbewertung, die Häufigkeit von Umsetzungsvorgängen eines Bauteils zu bewerten. Mit der beispielhaften Annahme der Handhabung einer Last von 3 kg in gebeugter Körperhaltung mit je einer Wiederholung pro Zykluszeit ergeben sich für eine Gesamtanzahl von 350 Zyklen pro Schicht 18 Belastungspunkte durch die Lastenhandhabung (siehe Abbildung 34).

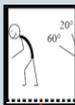
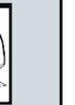
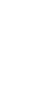
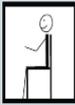
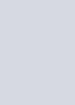
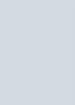
Manuelles Handhaben von Gegenständen und Lasten (L)										
Gewichtung der Last										
Gewicht in kg	3	10	15	20	25	30	35	40		
Lastpunkte	1	1,5	2	3	4	5,5	7	8,5		
Gewichtung der Ausführungsbedingung										
Körperhaltung										
										
Haltungspunkte	1	2	3	4	5	6	5	4	3	
Häufigkeit der Lastenhandhabung pro Schicht										
[n]	5	25	120	350	750	1000	1500	2000	2500	3000
Häufigkeitspunkte	1	2	4	6	8	10	11	13	14	15
$Punkte L = (Lastpunkte + Haltungspunkte) \times Häufigkeitspunkte(n)$										

Abbildung 34: Eingangsgrößen und Belastungsbewertungsschema für Lastenhandhabung (basiert auf IAD und AMI, 2012, S. 4)

Eine weitere Differenzierung der Bewertung existiert zwischen der ein- oder beidhändigen Handhabung von Lasten sowie des Einsatzes von Ganzkörperkräften. So kann einerseits die Konstruktion oder die mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmende Arbeitssituation den einhändigen Verbauprozess erzwingen. In diesem Fall ist das anzunehmende Lastgewicht oder die Ganzkörperkraft um den Faktor 1,7 zu erhöhen (vgl. DMM, 2014, S. 111; DIN EN 1005-2, S. 16). Unabhängig

gig von den zuvor beschriebenen Hauptbelastungsarten können weitere, das Bauteil betreffende, Belastungen auftreten. Es ist für den Mitarbeiter zum Teil notwendig, in jedem Zyklus in das Fahrzeug ein- und auszusteigen, um zu einem von außen nicht erreichbaren Verbauort zu gelangen. Diese mit den anderen Belastungsarten nicht abbildbare Beanspruchung wird in Anlehnung an das Modul der Extrapunkte (EP) des EAWS mit einer einmaligen Zusatzpunktzahl von 9 Punkten berücksichtigt (vgl. DMM, 2014, S. 61). Auch eine durch kleine Blechöffnungen oder Verdeckungen erschwerte Erreichbarkeit von Fügepartnern kann mit einer solchen einmaligen Zusatzpunktzahl berücksichtigt werden. Es ist dabei eine Unterscheidung in schwere (5 Punkte) sowie sehr schwere (10 Punkte) Zugänglichkeit möglich. Zusammen dürfen diese Belastungen aus Zeile *Ob* jedoch 10 Punkte nicht überschreiten (siehe Anlage A.1). Eine vollständige Auflistung aller für die Berechnung notwendigen Regelfestlegungen, Annahmen und Randbedingungen ist aus Gründen der Übersichtlichkeit im Anhang A.6 dokumentiert.

EPI – Gesamtbelastungsindex des Bauteils

Mit der Annahme, dass sich aufgrund der zunehmenden Anzahl einzelner Belastungen durch Synergieeffekte auch die Gesamtbelastung auf den Mitarbeiter erhöht, stellt die Bildung eines Gesamtpunktwertes in der EPI-Bewertung den letzten Berechnungsschritt dar (vgl. Steinberg, 2007, S. 47; Schaub et al., 2012, S. 18). Dieser *Ergonomie-Potential-Index* errechnet sich dabei als Summation der Teilbelastungen je Belastungsart, welche sich der jeweiligen Prozessbeschreibung zuordnen lässt (Formel 3).

$$(3) \quad EPI = EP + \sum_{i=1}^n \text{Punkte } KH_i + \text{Punkte } FK_i + \text{Punkte } GK_i + \text{Punkte } L_i$$

Für die beiden Praxisbeispiele der Montage Stirnwanddämmung (siehe Tabelle 7, S. 77) und Verkleidung B-Säule (siehe Tabelle 8, S. 77) sind die Ergebnisse nachfolgend zusammengefasst. Die vollständige Auswertung der Teilbelastungen ist im Anhang A.5 dargestellt. In den Berechnungsschritten wurden die einzelnen Teilbelastungen bereits gewichtet. Eine Rundung des Gesamtergebnisses auf ganze Zahlen ist aus Gründen der einfacheren Anwendung gemäß der EAWS-Vorgehensweise ebenfalls sinnvoll. Obwohl das EAWS ein Expertenverfahren ist, verringert diese Rundung eine suggerierte aber nicht messbare Genauigkeit von Nachkommastellen.

Tabelle 7: Gesamtergebnis Ergonomie-Potential-Index Stirnwanddämpfung

EPI-Bewertung Stirnwand-dämpfung		Belastungspunkte					
Prozess	Dauer (in s)	Körperhaltung		Aktionskräfte		Lasten	Extra-punkte
		SKH	AKH	FK	GK		
• Einbau Stirnwanddämpfung	40	32	9	22,5	-	21	
Ergonomie-Potential-Index (Ergebnis auf ganze Zahlen aufgerundet)		$EPI = EP + \sum_{i=1}^n \text{Punkte } KH_i + \text{Punkte } FK_i + \text{Punkte } GK_i + \text{Punkte } L_i$ $EPI = 0 + \sum 32 + 9 + 22,5 + 21$ $EPI = 85 \text{ Punkte}$					

Tabelle 8: Gesamtergebnis Ergonomie-Potential-Index Verkleidung B-Säule

EPI-Bewertung Verkleidung B-Säule		Belastungspunkte					
Prozess	Dauer (in s)	Körperhaltung		Aktionskräfte		Lasten	Extra-punkte
		SKH	AKH	FK	GK		
• Einbau Verkleidung B-Säule	12,9	2	11	-	9	-	-
Ergonomie-Potential-Index (Ergebnis auf ganze Zahlen aufgerundet)		$EPI = EP + \sum_{i=1}^n \text{Punkte } KH_i + \text{Punkte } FK_i + \text{Punkte } GK_i + \text{Punkte } L_i$ $EPI = 0 + \sum 13 + 9$ $EPI = 22 \text{ Punkte}$					

Die höhere Anzahl sowie Intensität der Belastung aufgrund des Bauteils der Stirnwanddämpfung zeigt sich auch im Gesamtergebnis des EPI-Belastungswertes von 85 Punkten. Im Vergleich dazu ergibt sich für die Verkleidung B-Säule ein Ergebnis von 22 Punkten. Eine Interpretation dieser Punkte ermöglicht erste Rückschlüsse auf das Belastungsrisiko für den Mitarbeiter am zukünftigen Montagearbeitsplatz. Mit Hilfe der Zwischenergebnisse der einzelnen Belastungsarten erfolgt somit eine einfache und eindeutige Identifizierung an welchen Stellen sich die größten, durch konstruktionsbedingte Prozesse hervorgerufenen, Risiken befinden. Wie bereits in der Abbildung 28 (S. 70) zu erkennen, entsteht mit 32 Punkten ein Großteil der Belastung während der Montage Stirnwanddämpfung aus der ungünstigen Körperhaltung. Auch das hohe Gewicht von 10 kg, welches 350 Mal pro Schicht bewegt wird, wirkt sich mit 21 Punkten ähnlich stark wie die Fingerkräfte mit 22,5 Punkten auf die Gesamtbelastung aus. Mit diesen ersten schnell gewonnenen Erkenntnissen und den zusätzlich quantifizierten Belastungspunkten erhalten die Konstrukteure und Produktionsplaner bereits frühzeitig erste Aussagen über ergonomierelevante Informationen und belastungssteigernde Gestaltungsmerkmale. Auch der Wert und die Höhe des Gesamtergebnisses sind für eine Interpretation interessant. Im ersten Schritt besteht die Mög-

lichkeit zu einer Priorisierung über die rein mathematische Differenz zwischen den beiden betrachtenden Bauteilen. Diese zeigt bereits eindeutig, dass zwischen der Stirnwanddämpfung und Verkleidung B-Säule mit 63 Punkten ein großer Unterschied in der gesamten Belastungshöhe besteht. Unter ergonomischen Gesichtspunkten existiert dadurch für die Stirnwanddämpfung ein größeres Potential an Verbesserungsmöglichkeiten. In Bezug auf die zu Beginn erläuterte Frage „Was bringt uns das ergonomisch?“ ist der EPI fähig, diese mit einer quantifizierten Kennzahl zu beantworten (siehe Kapitel 1.1). Im zweiten Schritt kann die reine Belastungszahl die Frage nach dem „Müssen wir da etwas machen?“ noch nicht lösen. Mit dieser Forderung entsteht auch gemäß der Risikoabsicherung nach DIN 12100 (2011, S. 23) der Bedarf, die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos zu bestimmen.

5.2.4 Umsetzung der Risikobewertung (Eintrittswahrscheinlichkeit)

In den meisten ergonomischen Bewertungsverfahren erfolgt die Einstufung eines jeweiligen Risikos über ein dreistufiges Ampelschema gemäß DIN EN 614-1 (2009, S. 20 ff.). Am Beispiel des EAWS haben sich dafür die Zonen „niedriges Risiko“, „mögliches Risiko“, „hohes Risiko“ zwischen den Risikogrenzen 30 und 50 Punkte etabliert (siehe Kapitel 3.2). Eine einfache Übertragung dieser Grenzen auf die Bauteilbewertung erscheint aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen der Risikoeinstufung als nicht zielführend. Während bei einer Arbeitsplatzbewertung immer alle Arbeitsvorgänge auf die identische Zykluszeit von beispielsweise 60 s bezogen werden, ist die Anzahl der Montageschritte oder Zeitdauern zwischen den Bauteilen hoch variabel. An den beiden Beispielen der Stirnwanddämpfung und Verkleidung B-Säule zeigt sich eine Differenz von 27 s zwischen den konstruktivbedingten Montagezeiten. Bei einem Risikovergleich auf einer Skala ohne Bezug zur relativ benötigten Verbauzeit entstünde somit ein systematischer Fehler in der Risikobewertung für Bauteile. Aus diesem Grund wurde für die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos auf Bauteilebene ein Bezug der Risikogrenzen zur bauteilspezifischen EHPV hergestellt. Dafür soll der Belastungswert relativ zu seiner EHPV ins Verhältnis gesetzt und nach Formel 4 gewichtet berechnet werden.

$$(4) \quad ERI = \frac{EPI}{EHPV}$$

mit

ERI : *Ergonomie-Risiko-Index* zur bauteilbezogenen Risikoeinstufung aus dem EPI-
Belastungsindex relativ zur EHPV

Diese Vorgehensweise folgt dabei ähnlichen Gewichtungsansätzen wie z. B. der *Risikoprioritätszahl* der FMEA oder des *lifting index* (dt. „Heben-Index“) des NIOSH-Verfahrens (vgl. Kamiske und Brauer, 2003, S. 77; Waters, Putz-Anderson und Garg, 1994, S. 4 ff.). Um die entsprechenden Risikogrenzwerte zu erhalten, müssen die etablierten Arbeitsplatzbewertungsgrenzen des EAWS ebenfalls relativ zur Zykluszeit gesetzt werden. Die daraus resultierenden Funktionen sind in Abbildung 35 mit den Punktegrenzen 30 (gelb) und 50 (rot) bei einer Standardzykluszeit von 60 s graphisch dargestellt.

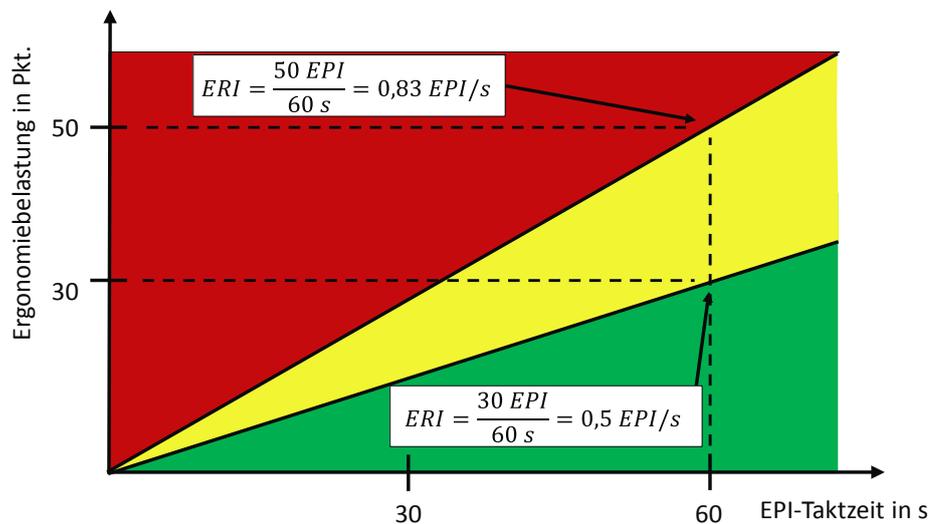


Abbildung 35: Funktion der Risikogrenzen einer Bauteilbewertung

Aufgrund der Neuartigkeit dieses Ansatzes fehlen Vergleichswerte aus Literatur und Praxis, so dass eine Annahme zunehmender Belastungsgrenzen in Form einer linearen Funktion als plausibel erscheint. Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen empirischen Studien untersuchen die Genauigkeit dieser Vorhersage und diskutieren die betreffenden Fehlereinflüsse.

Tabelle 9: Risikoeinstufungen und Interpretation der ergonomischen Güte von Bauteilen

Risikoeinstufung („Ergonomiegüte“ des Bauteils)		Beschreibung	Gestaltungsmaßnahmen
Punktwert	Bezeichnung		
$ERI \leq 0,5$	unkritisch	Gesundheitsgefährdung durch Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich	<ul style="list-style-type: none"> Keine Maßnahmen erforderlich
$0,5 \geq ERI \leq 0,83$	hohes Risiko	Gesundheitsgefährdung durch Überbeanspruchung ist möglich	<ul style="list-style-type: none"> Optimierung der konstruktionsbedingten Montageprozesse sinnvoll Arbeitsgestaltung prüfen und ggf. anpassen Eintaktung mit weiteren, belastenden Bauteilen zu vermeiden
$ERI \geq 0,83$	kritisch	Gesundheitsgefährdung durch Überbeanspruchung ist wahrscheinlich	<ul style="list-style-type: none"> Gestaltungsmaßnahmen zur Risikobeherrschung erforderlich Aufteilung auf mehrere Arbeitsplätze oder Eintaktung mit gering belastenden Bauteilen zwingend erforderlich

Die Definition der bauteilspezifischen Risikoeinstufungen ist in Tabelle 9 mit den jeweils dafür abgeleiteten Handlungsempfehlungen dargestellt. Für die beiden oben aufgeführten Bauteile ergeben sich daraus folgende Risikoeinstufungen:

Bauteil	Stirnwanddämpfung	Verkleidung B-Säule
ERI	$ERI = \frac{EPI}{EHPV} = \frac{85 EPI}{40 s}$ $ERI = 2,12 EPI/s$	$ERI = \frac{EPI}{EHPV} = \frac{22 EPI}{12,9 s}$ $ERI = 1,71 EPI/s$
Ergebnis	kritisch	kritisch

Mit einer Risikoeinstufung der Verkleidung B-Säule von 1,71 EPI/s stellt sich in Bezug zu ihrer relativ geringen EHPV bereits ein hoher Belastungsanteil dar, weshalb das Bauteil ebenfalls als kritisch einzustufen ist. Während die Stirnwanddämpfung allein mit dem EPI Belastungswert von 85 Punkten die Grenze von 50 Punkten eines roten Arbeitsplatzes überschreitet und somit eindeutig als risikobehaftetes Bauteil anzusehen ist, ließe sich der Verbau der Verkleidung B-Säule mit 22 Punkten noch als grün einstufen. Die Korrektur dieser Fehleinstufung durch den relativen ERI erscheint auch vor der unternehmerischen Zielvorgabe einer maximalen Mitarbeiterauslastung in den Arbeitsplätzen als zielführend. Nach dem Verbau der Verkleidung B-Säule in 12,9 s wird der Mitarbeiter noch weitere Bauteile und Tätigkeiten zugewiesen bekommen, um die Taktzeit von 60 s maximal auszufüllen. Die Vermutung einer ganzheitlich hohen Belastung in einer Montagelinie stützt sich zum einen auf eine Dokumentanalyse aller Arbeitsplätze sowie zum anderen auf die Feststellung einer steigenden Anzahl von Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems (vgl. Kapitel 3.2). Zusammenfassend lässt sich der vorgestellte Ansatz einer linearen Belastungszunahme als konservativer und praktikabler Lösungsweg ansehen. Wie bereits angedeutet, bedarf es noch empirischer Überprüfungen der definierten Grenzen und Annahmen, um deren Gültigkeit zu stützen und nachzuweisen. Die ausführlichen Erörterungen werden dazu in Kapitel 5.4 fortgesetzt.

5.3 Umsetzung eines Softwareprototypen

Die zuvor beschriebenen Vorgehensweisen einer EPI-Bewertung erfüllen den ersten Teil der funktionellen Anforderungen an das neue Bewertungsverfahren. Unter Berücksichtigung des Nebengütekriteriums der Gebrauchstauglichkeit soll das Bewertungsverfahren möglichst ökonomisch gestaltet sein (vgl. Himme, 2009, S. 486). Vor dem weiteren Hintergrund anwenderbezogene Fehler zu reduzieren, bringt eine semi-automatisierte Umsetzung der Berechnungsschritte eine Verbesserung der Durchführungsobjektivität sowie eine deutliche Verkürzung der benötigten Bewertungsdauer (vgl. Döring und Bortz, 2016, S.449).

Ein funktionierender Softwareprototyp wurde in der Microsoft Excel Umgebung mit Hilfe der Programmiersprache VBA (visual basic for applications) umgesetzt. Diese Form der Softwareimplementierung unterstützte dabei die nötigen Anpassungen, um eine erfolgreiche Evaluation im Produktentstehungsprozess zu gewährleisten. Es soll nachfolgend eine möglichst große Stichprobe von Bauteilen im Rahmen eines realen Fahrzeugprojektes überprüft und die Konsequenzen im späteren Verlauf der Prozessgestaltung ausgewertet werden. Für in Ergonomie geschultes und ungeschultes Personal erleichtert eine benutzergeführte Oberfläche die Anwendung in der frühen Phase des PEP. Zusätzlich ermöglicht eine software-gestützte Umsetzung die spätere Implementierung in eine Datenbank, um im Nachgang die gesammelten Bauteilbewertungen und Erkenntnisse über den Gesamtproduktentstehungsprozess mehrerer Fahrzeugprojekte verfolgen zu können.

Die nachfolgenden Beschreibungen der Programmoberfläche und Funktionsweise dokumentieren anhand der bereits verwendeten Beispiele den Softwarestand, welcher für die empirischen Studien verwendet wurde. Ein einfacher dreiseitiger Grundaufbau unterstützt den Anwender bei der Durchführung einer EPI-Bewertung. Im ersten Schritt entscheidet der Nutzer über das Anlegen einer neuen Bewertung oder Laden einer bereits existierenden (siehe Abbildung 36, S. 82). Ein Klick auf die Fläche *Neue Bewertung* schaltet die Eingabefelder der allgemeinen Bauteildaten frei und rahmt die Pflichtfelder ein. Da die Felder Bauteilname und EHPV, in diesem Fall die Stirnwanddämpfung und 40 s, für die Risikoberechnung und Abspeicherung am Ende der Bewertung nicht fehlen dürfen, sind sie verpflichtend auszufüllen. Neben diesen Feldern ist es dem Anwender überlassen, weitere Informationen, wie z. B. die Zuordnung zum bauteilverantwortlichen SET oder eine Bauteilzeichnung für das bessere Verständnis, anzulegen. Anschließend besteht die Möglichkeit, Angaben zu Extrabelastungen aufgrund von erschwerter Zugänglichkeit oder des Ein- und Aussteigens zu tätigen. In Folge der Regel, dass Extrapunkte nur einmalig je Bewertung vergeben werden können, sind diese Punkte auf der übergreifenden Ebene der Startseite eingebaut.

Abbildung 36: Oberfläche der Startseite einer EPI-Bewertung

Mit Bestätigung des Feldes *Nächste* öffnet der Anwender die detaillierte Bewertungsseite (siehe Abbildung 37, S. 83). Auf dieser Seite befinden sich auf der linken Fläche die notwendigen Felder zum Erstellen (Plussymbol), Löschen (Minussymbol) und Bearbeiten (Stiftsymbol) von *Verrichtungen*. Unter dem Begriff *Verrichtung* fasst die Bewertungssoftware alle Möglichkeiten zusammen, eine Prozessbeschreibung verschieden granular zu definieren. Wie bereits in vorangegangenen Kapiteln erläutert, dient diese Flexibilität dem Nutzer, je nach seinem momentanen Anwendungsfall bis auf detaillierter MTM-Bausteinebene zu bewerten oder aus Übersichtlichkeits- und Effektivitätsgründen Zeiten zusammenzufassen. Sobald der Anwender eine *Verrichtung* angelegt und in Textform beschrieben hat, schaltet sich die rechte Seite mit den drei Hauptbelastungsarten frei. Am Beispiel der Stirnwanddämpfung ist hier die erste *Verrichtung* des Aufnehmens und Platzierens ausgewählt, in welcher das Bauteil mit 10 kg Gewicht 350 Mal pro Schicht in gebeugter Körperhaltung an die vorgesehene Verbauposition gebracht werden muss.

Abbildung 37: Oberfläche zur Belastungseinstufung einer EPI-Bewertung

Die Programmierung ist so gestaltet, dass direkt nach Eingabe der Daten auch die Zwischenergebnisse der jeweiligen Belastungen in den Punktefeldern daneben zu sehen sind. Ziel dieser Implementierung ist es, eine Anpassung der Bewertung in Echtzeit zu ermöglichen, um dadurch in Planungs- und Entwicklungsgesprächen die Auswirkungen von Lösungsalternativen direkt darstellbar zu machen. Auch die Frage nach dem „Was bringt uns das ergonomisch“ kann dabei in quantifizierter Form beantwortet werden. An diesem Beispiel sollten die verantwortlichen Arbeitsgruppen konstruktive und/oder prozessuale Maßnahmen zur Reduzierung des Lastgewichtes oder der erzwungenen Körperhaltungen einplanen. Nachdem der Anwender alle Verrichtungen erstellt und bewertet hat, gelangt er über das Feld *Nächste* auf die letzte Seite der Gesamtübersicht (siehe Abbildung 38, S. 84).

Auf dieser Seite befinden sich im oberen Teil die Eingangsinformationen zum Bauteil sowie die Extrapunkte. Im mittleren und unteren Teil sind die Zwischenergebnisse sowie die gewichtete Gesamtbewertung aller Belastungsarten aufgeführt. Für das Bauteil der Stirnwanddämpfung summiert sich das Ergebnis auf 85 EPI-Punkte. In Kombination mit der notwendigen EHPV von 40 s errechnet sich ein Risikofaktor von 2,12 EPI/EHPV. Durch eine Untergliederung in die Kategorie der kritischen Bauteilbewertungen und einem rot unterlegten Feld wird auf die ergonomisch ungünstige Gestaltung visuell verstärkt aufmerksam gemacht.

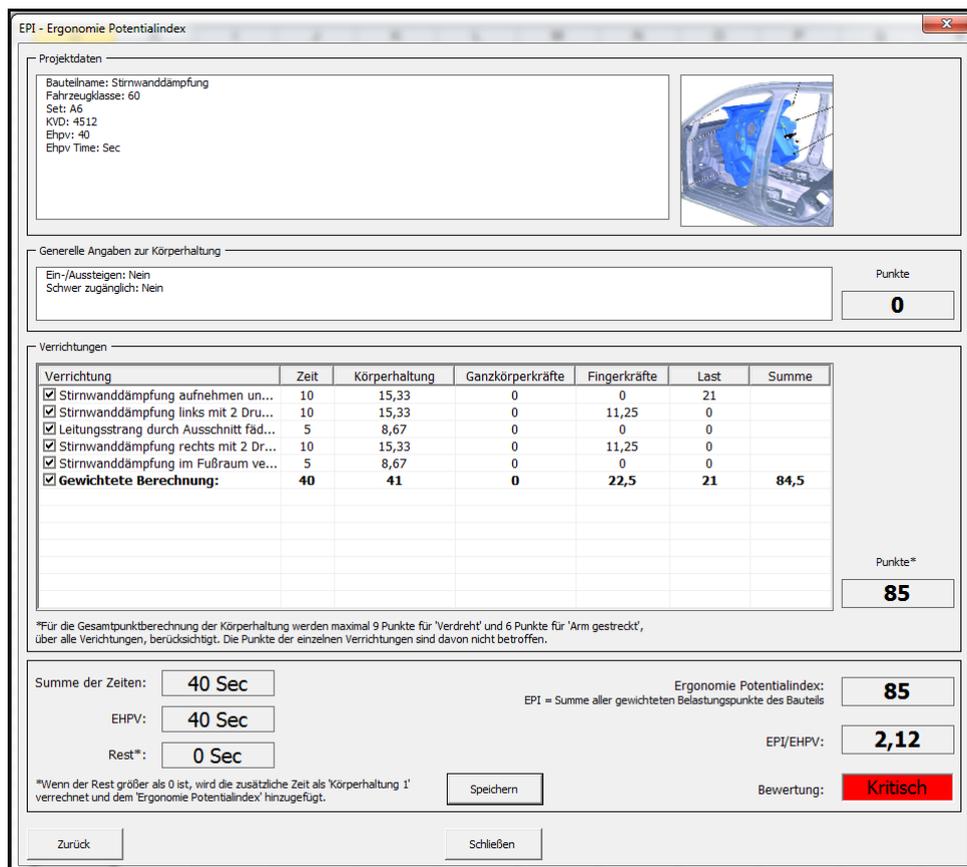


Abbildung 38: Ergebnisübersicht der EPI-Bewertung im Softwareprototyp

Der Benutzer kann über das Feld *Zurück* seine vorher getätigten Eingaben kontrollieren und anpassen. Über das Feld *Speichern* und *Schließen* sichert er die Bewertung und beendet den Softwareprototypen. Die Funktion des Speicherns und Ladens von Bewertungen ist dabei essentiell für die Forderung der IST-Analyse, ergonomierelevante Informationen in der Art und Weise aufzuarbeiten, sodass sie über den gesamten Produktentstehungsprozess wiederverwendbar sind. Mitarbeiter aus anderen Bereichen können dadurch die Belastungsbewertungen einfach finden und damit die Bewertungsschritte nachvollziehen. Des Weiteren verbirgt sich hinter einer datenbankbasierten Dokumentation der Informationen ein hohes Potential zur Aufwandsreduzierung für zukünftige Fahrzeugprojekte. Verstärkt wird dieser Effekt durch die kostensenkenden Baukästen- sowie Gleichteilstrategien der Hersteller, woraus für neue Bauteilbewertungen nur minimale Anpassungen resultieren und sich dadurch wiederum die Bedeutung einer frühzeitigen Bewertung verstärkt. Eine vollständige und dokumentationsfähige Umsetzung des Prototypens in ein Datenbankmanagementsystem des Beispielunternehmens war im zeitlichen Rahmen der Dissertation nicht realisierbar.

5.4 Evaluierungsstudie des Ergonomie-Potential-Index im Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG

5.4.1 Konzeptionelle Vorüberlegungen

Zu Beginn der Entwicklung der Bewertungsmethodik standen die aus der Ist- und Anforderungsanalyse gewonnenen Forschungsdefizite auf dem Gebiet der Verfahren zur ergonomischen Belastungsbewertung auf Bauteilebene. An die Beschreibung des neu entwickelten Verfahrens Ergonomie-Potential-Index anschließend, soll in diesem Kapitel auf die Möglichkeiten zur qualitativen und quantitativen Evaluierung in der Praxis eingegangen werden. Wie bereits in der Einleitung erläutert, stehen Absicherungsmethoden vor dem Problem, eine Risikoeinschätzung für ein in der Zukunft liegendes Ereignis vorhersagen zu wollen. Aus diesem Grund ist auch für das EPI-Verfahren eine methodisch strenge Evaluierung der Gütekriterien problematisch. Im Fall einer ergonomischen Risikoprognose entspräche der sogenannte wahre Wert dem Eintritt einer Muskel-Skelett-Erkrankung des Mitarbeiters, der über einen längeren Zeitraum unter konstanten Randbedingungen den exakt gleichen Belastungen ausgesetzt war. Alle auf diesen Wert einwirkenden Variablen vom Menschen über die Umwelt und der variierenden Arbeitsplatzsituation sind in einer empirischen Studie nicht kontrollier- und leistungsfähig. Aus diesem Grund müssen gemäß kritischem Rationalismus Vorgehensweisen diskutiert werden, um dennoch Ausschnitte dieser Wirkzusammenhänge für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn untersuchbar zu machen (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 223 ff.).

Die Güte eines Test- oder Messverfahrens lässt sich dabei an den bereits vorgestellten Hauptgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität überprüfen. Das Vorhandensein eines Softwareprototypens ermöglicht in diesem Schritt eine teilautomatisierte und standardisierte Durchführung der EPI-Bewertungen. In Verbindung mit den in einem EPI-Handbuch beschriebenen Vorgehensweisen zur Informationsbeschaffung und -bewertung sind bereits die Anforderungen an die sogenannte *Durchführungsobjektivität* eines Messverfahrens umgesetzt (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 443). Zusätzlich sind durch das metrische Skalenniveau, die fest definierten Risikogrenzwerte und abgeleitete Handlungsempfehlungen vom Anwender unabhängige Ergebnisinterpretationen möglich (siehe Tabelle 9, S. 79). Diese Einhaltung des Kriteriums der *Interpretationsobjektivität* erfüllt bereits die notwendige Voraussetzung für Reliabilität und Validität (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 448). Aufgrund der methodischen Ableitung der Bewertungskriterien des EPI-Verfahrens vom EAWS-Verfahren ist auch die Diskussion über eine bereits inhärente Reliabilität plausibel. Ebenso basiert das EAWS als Kombinationsverfahren bereits auf Bewertungsverfahren, die auf einer mehrjährigen Evaluierung und Bestätigung ihrer Inter-Rater-Reliabilität beruhen (vgl. Takala et al., 2010, S. 7; Schaub et al., 2012, S. 6; Fritzsche, 2010, S. 119). Objektivität

validität und Reliabilität sind notwendige jedoch keine hinreichenden Voraussetzungen für ein valides Verfahren (vgl. Himme, 2009, S. 491). Aufgrund dieser Bedeutung als hierarchisch letztes Glied in der Kette der Gütekriterien wird auch in dieser Arbeit der Fokus der quantitativen Untersuchung auf das Gütekriterium der Validität gesetzt (vgl. Niederauer, 2009, S. 133 ff.).

5.4.2 Kriteriumsvalidität zur Prüfung der Güte von EPI-Bewertungen

Bei in der Praxis durchgeführten sogenannten nichtexperimentellen Studien wird zwischen Inhaltsvalidität (content validity), Kriteriumsvalidität (criterion validity) und Konstruktvalidität (construct validity) unterschieden. Inhaltsvalidität bestimmt sich in der Regel durch eine subjektive Bewertung von Experten, welche definiert ob alle Inhalte eines zu messenden Konstruktes enthalten sind (vgl. Himme, 2009, S. 492 ff.). Im vorliegenden Fall der Ergonomiebewertung ist unter Berücksichtigung des holistischen Ansatzes mit mehreren Belastungsarten bereits von bestehender Inhaltsvalidität auszugehen. Konstruktvalidität eines Verfahrens liegt dann vor, wenn mehrere Konstrukte zur Messung eines Ergebnisses führen und sich die kausalen Zusammenhänge der Konstrukte erklären lassen (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 446). Da am Ende einer EPI-Bewertung nur ein Kriterium der ergonomischen Belastung berechnet wird, ist diese Form der Validitätsprüfung nicht anwendbar.

Die Kriteriumsvalidität hingegen prüft die Korrelation der Messergebnisse mit einem extern erfassten Kriterium unter der Annahme kausaler Zusammenhänge. Im speziellen die Prognosevalidität (predictive validity) erfasst, inwieweit die Messung ein in der Zukunft erfasstes Kriterium oder Phänomen vorhersagen kann (vgl. Himme, 2009, S. 492). Auf das vorliegende Verfahren zur ergonomischen Bauteilbewertung bezogen, entstehen folgende Fragestellungen zum Prognoseindikator einer EPI-Bewertung:

Nr.	Fragestellung
I	Kann eine ERI-Risikoeinstufung am Bauteil bereits in der frühen Phase des PEP den Handlungsbedarf zur Risikoreduzierung vorhersagen?
II	Kann eine EPI-Bewertung die durch das Bauteil verursachte Belastung am Arbeitsplatz bereits in der frühen Phase des PEP vorhersagen?
III	Welche Fehler können diese Prognosen beeinflussen und wie sind diese zu bewerten?

Validität der Risikoeinstufung (I)

Der erste Teil der Prognosevalidität entspricht einem Vergleich zwischen der Risikoeinstufung des Bauteiles in der Produktentwicklungsphase und der Risikoeinstufung des späteren Arbeitsplatzes in dem das Bauteil maßgeblich verbaut wird. Je höher der als Trefferrate (Hit-Rate) bezeichnete Wert dieses Verhältnisses ist, desto höher ist die Güte der gesetzten Risikogrenzen auf Bauteilebene einzuschätzen.

$$P_{Ri} = \frac{R_i^{korrekt}}{R_i^{gesamt}}$$

mit

P_{Ri} : Prognosegüte als Validität der Risikoeinstufung je Risikokategorie i des EPI-Verfahrens in der frühen Phase des PEP

$R_i^{korrekt}$: Anzahl der korrekt vorhergesagten Risikoeinstufungen je Risikokategorie i

R_i^{gesamt} : Gesamtanzahl der Risikoeinstufungen in der jeweiligen Risikokategorie i

Für die Auswertung der Daten wurden die Ergebnisse der EPI-Bewertungen und Risikoeinstufungen in Verbindung mit den notwendigen Informationen in Excel überführt. Über eine Dokumentenanalyse des Systems Arbeitsplan konnten die zugehörigen Informationen der Arbeitsplatzbewertungen manuell exportiert und ebenfalls in die Auswertungsdatei importiert werden. Die Ergebnisse der Risikoeinstufungen ließen sich als multivariate Häufigkeitsverteilungen in einer Kontingenztabelle darstellen (vgl. Duller, 2013, S. 117). Neben der Prognosevalidität der direkten Risikovorhersagen wurden zusätzlich die Zusammenhänge aller nominalskalierten Vorhersagen mit den Assoziationsmaßen Chi-Quadrat χ^2 und Cramers V auf ihre Abhängigkeiten geprüft (vgl. Duller, 2013, S. 121 ff.).

Validität der EPI-Belastungswerte (II)

Die Berechnung des EPI-Punktwertes stellt eine quantitative Belastungsaussage über den frühen Konstruktions- und Planungsstand eines Bauteiles dar. Die Validität dieser Aussage lässt sich erst über die tatsächlich am Arbeitsplatz auftretenden Belastungen überprüfen. Ein einfacher Vergleich zwischen den Punktwerten einer EPI-Bauteilbewertung und einer EAWS-Arbeitsplatzanalyse lässt dabei folgende Probleme erkennen:

- Wenn Montageumfänge eines Bauteiles über mehrere Arbeitsplätze verteilt werden, verteilt sich in gleichem Maße die Belastung.
- Füllt ein Bauteil aufgrund seiner kurzen EHPV-Zeit nicht die vorgegebene Taktzeit aus, lässt es sich mit anderen Bauteilumfängen kombinieren.
- Arbeitsplätze können einen hohen Anteil logistischer und nicht wertschöpfender Arbeitsprozesse enthalten.

Ein möglicher Ansatz zur Lösung des Problems wäre die Verwendung einer standardisierten Reihenfolge aller Montageumfänge. Die dafür existierenden *Vorranggraphen* oder sogenannten *Standardaufbaureihenfolgen* bieten jedoch nur eine grobe Orientierungshilfe, da sie lediglich eine optimale Montagereihenfolge einiger Zusammenbauteile aufgrund technischer Restriktionen vorschlagen. Exemplarisch lassen der Türenausbau, welcher aufgrund der Zugänglichkeit stets zu Beginn erfolgt, sowie der Sitzeinbau, welcher stets zum Ende der Produktionsstraße erfolgt, nennen. (vgl. Volkswagen AG, 2010, S. 1). Auch die projektbegleitende Arbeit in Prozess-Workshops zeigte ein deutliches Bild der hohen Variabilität in der Umgestaltung und Verteilung von Arbeitsumfängen bis zur finalen Montagereihenfolge. Demzufolge ist es notwendig, verschiedene Varianten zur Verteilung von Montageumfängen und den damit verbundenen Verteilungen von Belastungsbewertungen eines Bauteils in die Montagelinie abzubilden und zu untersuchen. Abbildung 39 (S. 89) zeigt die schematische Vorgehensweise zur Validitätsüberprüfung der EPI-Belastungsbewertung anhand empirischer Daten sowie der Zuhilfenahme qualitativer Ergebnisauswertungen. Die Übereinstimmung wird dabei mit dem Maß der absoluten Abweichung (dA) als Differenz zwischen der Bauteilbewertungskennzahl EPI und des EAWS-Punktwertes der späteren Arbeitsplatzbewertung ausgewertet. Eine relative Abweichung (rA) dient der normierten Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Die Grafik zeigt, dass bei gering variablen Tätigkeiten (m_v) aufgrund von Ausgleichszeit oder einem bereits vollen Arbeitstakt auch die Übereinstimmung zwischen Bauteil und Arbeitsplatz am höchsten sein müsste. Wie in Variante 2 dargestellt, können sich bei der Kombination zweier Bauteile an einem Arbeitsplatz zusätzlich zu den variablen Tätigkeiten auch Punktwertunterschiede durch die Punktwertinterpolation innerhalb des EAWS ergeben. Die größtmöglichen Abweichungen sind bei Bauteilen zu erwarten, die über mehr als einen Arbeitsplatz verteilt verbaut werden (Variante 3).

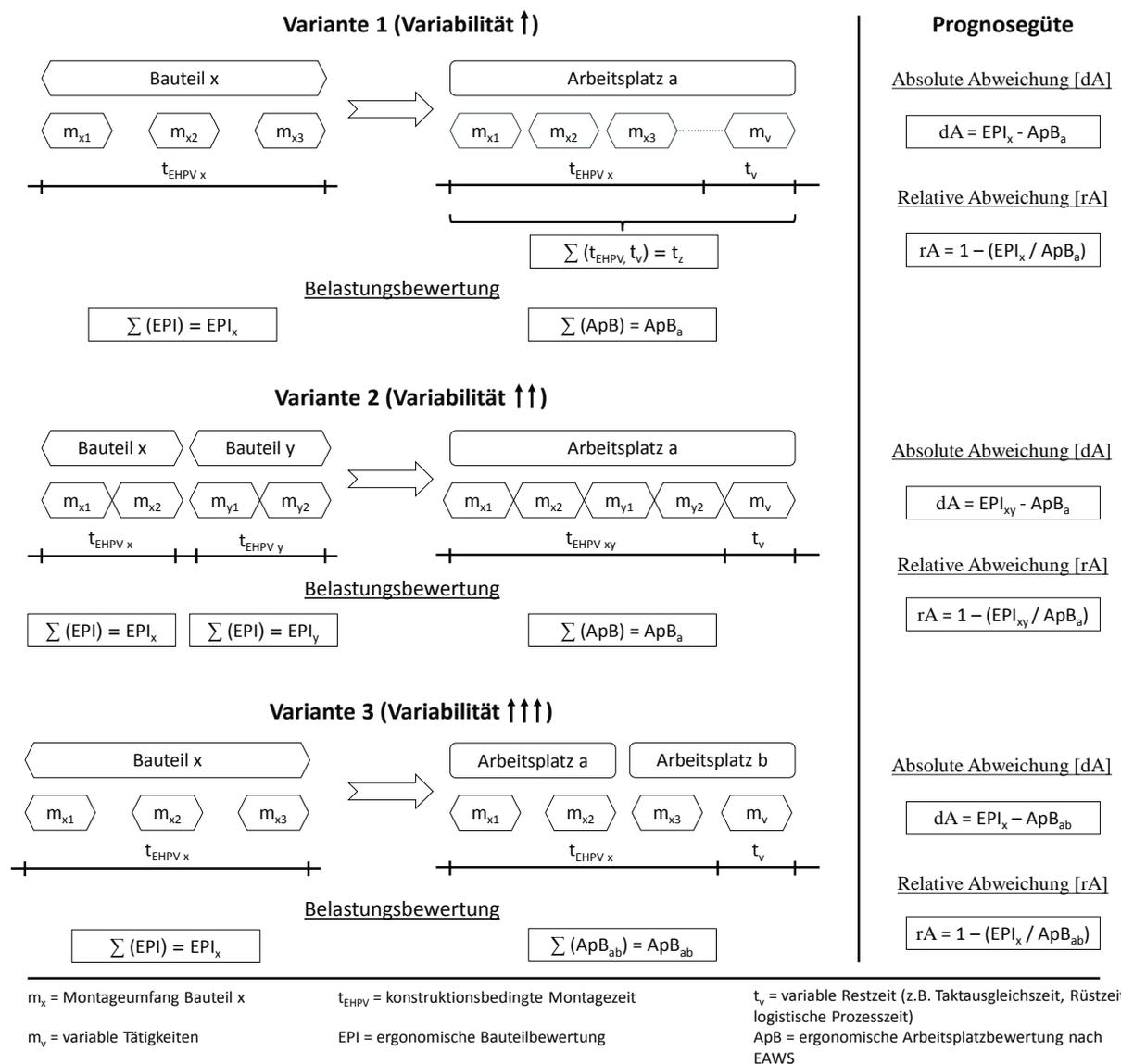


Abbildung 39: Schematische Darstellung einer Vorgehensweise zur Überprüfung verschiedener Belastungssituationen vom Bauteil am späteren Arbeitsplatz

Bewertung möglicher systematischer Fehler (III)

Während der ersten Pilotierung des Softwareprototypens wurden weitere noch nicht im EPI berücksichtigte Faktoren sichtbar. Die als Einbaurrate (EBR) bezeichnete Verbauhäufigkeit eines Bauteils beeinflusst die resultierende Arbeitsplatzbelastung. Bei einer beispielhaften EBR von 2 % eines Sonderausstattungsbauteiles muss der Mitarbeiter dieses bei zirka 400 Takten je Schicht nur lediglich acht Mal fügen. Dadurch reduziert sich auch die über die Schicht bewertete Belastung des Mitarbeiters nach dem EAWS-Verfahren. Unterschiedliche Einbauraten entstehen auch bei Mix-Fertigungen mit mehreren Fahrzeugen auf einer Montagelinie. Um diesen systematischen Fehler zu evaluieren, werden zusätzlich die Einbauraten der Bauteile dokumentiert und bei starken Abweichungen der Prognosegüten qualitativ ausgewertet. Es hat sich außerdem gezeigt, dass nicht jede Montagelinie eine Zykluszeit nahe der standardisiert angenommenen 60 s

hat. Durch die im EAWS in der Arbeitsplatzbewertung vorgenommene Normierung auf 60 s verringern sich bei höheren absoluten Zykluszeiten die Belastungspunktwerte im Vergleich zu geringeren absoluten Zykluszeiten. Zur Feststellung der möglichen systematischen Abweichung wird bei einem Teil der bewerteten Bauteile eine erneute Bewertung mit 109 s Bezugszeit (Taktzeit der Montageline 1 in Wolfsburg) durchgeführt und ausgewertet.

5.4.3 Auswahl des geeigneten Untersuchungsgegenstandes

Aufgrund der zeitlichen Differenz zwischen einer ergonomischen Bauteilbewertung in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses und den jeweiligen Entwicklungszyklen der Fahrzeugprojekte in der Praxis wurde die Validierung in zwei Studien realisiert. Die erste Studie wurde als ex-post Untersuchung anhand der Informationen des damals kurz vor Produktionsbeginn stehenden Passates der achten Generation durchgeführt. Aufgrund des zeitlich weit fortgeschrittenen Projektstandes existierten bereits die für den Serienanlauf bewerteten Arbeitsplätze. Ex-post bedeutet dabei, dass für die Validitätsprüfung der Risikogrenzen der wahre Wert der EAWS-Einstufung des Arbeitsplatzes zum Zeitpunkt der EPI-Bewertung bereits bekannt war. Um eine möglichst große Stichprobe von Bewertungen zu erhalten, führten drei geschulte Ergonomie-Experten aus dem Bereich der Produktionsplanung die Bewertungen von 126 Bauteilen im Zeitraum von Oktober 2013 bis Januar 2014 durch.

Neben den Vorteilen, dass die Daten vollständig vorliegen und in kurzen zeitlichen Abständen bewertbar sind, liegen die Nachteile einer ex-post Studie im Fehlen von realen Einflussgrößen entlang der Produktentstehung und somit einer resultierenden, geringeren Realitätsnähe der Bewertung. Mit dem Ziel einer praxisnahen Evaluierung des EPI erfolgte die zweite Studie als ex-ante Untersuchung im Fahrzeugprojekt des VW Touran der zweiten Generation. Die Begleitung dieser Studie war im Zeitraum während der Produktentwicklung bis zur Planung der Arbeitsplätze über einen Zeitraum von 18 Monaten (Oktober 2013 – März 2015) möglich. Die Bauteil- und Arbeitsplatzbewertungen führten in gleicher Vorgehensweise wie in der ersten Studie die drei Ergonomie-Experten der Produktionsplanung durch. Die Gesamtanzahl bewerteter Bauteile betrug in dieser Studie 139. In Abbildung 40 (S. 91) ist der zeitliche Ablauf dieser Studien noch einmal an den jeweiligen Produktentstehungsprozessen dargestellt. Die Auswahl der zu bewertenden Bauteile erfolgte zum einen anhand der jeweiligen Produktstruktur des Fahrzeugprojektes über alle Fach- und Baugruppen sowie aufgrund erfahrungsbasierter Einschätzungen über belastungsverursachende Bauteile.

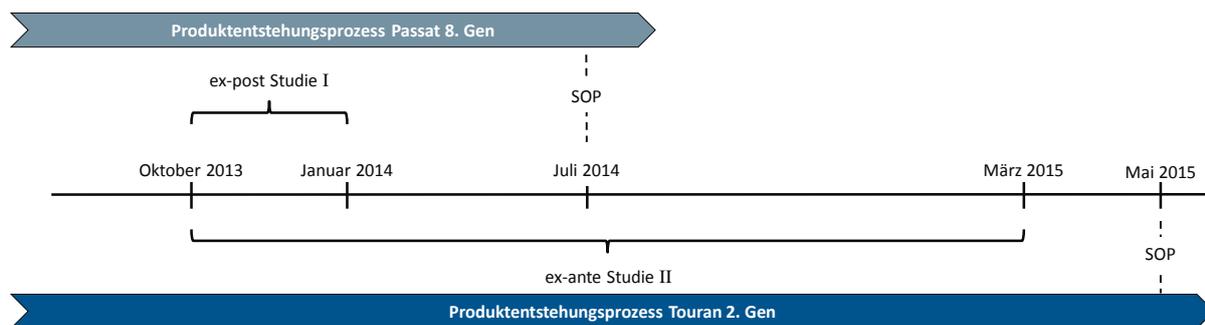


Abbildung 40: Schematische Darstellung der Evaluierungsstudien

Dazu gehört der Großteil aller in der Endmontage der Fahrzeugproduktion gefügten Bauteile, deren Beeinflussung auch im Fokus der Produktionsplanung steht. Komponenten und Einzelteile, wie z. B. der Motor oder die Sitzbezüge, welche von externen Lieferanten produziert werden, sind nicht Teil der betrachteten Bauteile. Die Anbindung des Motors an die Aggregate des Fahrzeuges und der Einbau der Sitze wiederum finden während der Fahrwerkvormontage und in der Endmontage statt, sodass diese Verbindungsstellen mit in die Betrachtung fallen. Nicht bewertet wurden außerdem Kleinstbauteile wie z. B. Aufkleber oder einzelne Stopfen.

5.4.4 Ergebnisse der quantitativen Evaluierungsstudie

Exemplarisch sind in Tabelle 10 die Bewertungsergebnisse und Informationen von vier verschiedenen Bauteilen dargestellt. Diese beinhalten die Zuordnung der Bauteile in die Produktstruktur (SET) sowie die Nummer des Arbeitsplatzes (Ap.-Nr.) und des Fertigungsabschnittes (FA) in der Montagelinie. Die vollständige Ergebnisdokumentation aller Bauteilbewertungen ist im Anhang B.1 aufgelistet. Zur besseren Visualisierung sind die Risikobereiche den entsprechenden Farben des Ampelschemas zugeordnet. In Summe wurden in beiden Fahrzeugprojekten 256 Bauteile vollständig bewertet und zirka 800 Arbeitsplatzbewertungen analysiert. Von den 256 Bauteilen sind 30 der Risikokategorie *unkritisch* und 41 der Kategorie *hohes Risiko* zuzuordnen. Die größte Anzahl der Bewertungsergebnisse liegt mit 194 im Bereich der *kritischen* Risikoeinstufung.

Tabelle 10: Ergebnisdokumentation der Bauteilbewertungen des SET A1

kritisches Bauteil	SET	FA	Ap.-Nr.	EHPV [s]	EPI [Pkt.]	ERI [EPI/s]	Bt.-Risiko	ApB. [Pkt.]	Ap.-Risiko
Handschuhkasten	A1	1/ CVM	1731/1751	57,78	30	0,52	hohes Risiko	27	
Mittelkonsole	A1	6a/5a	6055/6032/ 6031/5212	263,70	213	0,81	hohes Risiko	56	
Fußraumverkl. Mittelkonsole	A1	6a/5a	6031/5062	29,34	26	0,89	kritisch	52	
Kabelsack	A1	1	1212	23,34	58	2,49	kritisch	34	

Eine überwiegende Verteilung der Bauteile im kritischen Bereich konnte zum einen aufgrund des konservativen Bewertungsansatzes sowie zum anderen aufgrund der projektbezogenen Auswahl von belastungsverursachenden Bauteilen erwartet werden. Insgesamt beträgt der Anteil ausgewählter und bewerteter Bauteile etwa 25 % an der Gesamtbauteilsumme eines Fahrzeugprojektes. Eine absolute Anzahl pro Fahrzeugprojekt lässt sich auch nach Ansicht von Mitarbeitern des Industrial Engineering nicht genau bestimmen, da die betrachtete Aggregationsebene flexibel definierbar und zugleich gröber als die der Stückliste ist. Um die Genauigkeit und Validität der Ergebnisse neben dieser ersten Plausibilitätseinschätzung näher zu bestimmen, erfolgt im zweiten Schritt die ausführliche statistische Auswertung.

Validität der Risikoeinstufung (I)

Vergleiche zwischen der Risikoeinstufung einer Bauteilbewertung und der einer Arbeitsplatzbewertung sind notwendig, um die Validität der Risikovorhersagen des EPI zu prüfen. Tabelle 11 zeigt die realen Zuordnungen der Bauteilrisikoprognosen und die später identifizierten Arbeitplatzeinstufungen beider Stichproben aus den Fahrzeugprojekten Passat und Touran (detaillierte Ergebnisse und Auswertungen beider Studien sind im Anhang B.1 zu finden). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass von 194 als kritisch eingestuften Bauteilen auch 114 Bauteile an roten Arbeitsplätzen wiedergefunden wurden. Dadurch ergibt sich eine direkte Vorhersagegenauigkeit von 58,8 % ($P_{Ri} = 0,588$). Da bei gelb bewerteten Arbeitsplätzen ebenfalls von einer möglichen Gefährdung ausgegangen wird, erscheint es nur als sinnvoll, die Prognosen kritischer Bauteile bezüglich gelber und roter Arbeitsplätze zusammen zu betrachten. Dadurch ergibt sich eine angepasste Prognosegüte von 91,8 % ($P_{Ri}^* = 0,91$), die bestätigt, dass die definierte Grenze für kritisch bewertete Bauteile das Risiko einer Arbeitsplatzsituation präzise vorhersagt. Bei Bauteilen mit hoher Risikoeinstufung liegt die Prognosevalidität mit direkter Zuordnung zu gelben Arbeitsplätzen ebenfalls lediglich bei 31,7 % aber als kombinierte Vorhersage mit roten Arbeitsplätzen bei 70,7 %.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Risikovorhersagen und Prognosevalidität beider Stichproben

Risikoeinstufung	Arbeitsplatz			Prognosegüte			
	rot	gelb	grün	R_i^{gesamt}	$R_i^{korrekt}$	P_{Ri}	P_{Ri}^*
kritisch	114	64	16	194	114	0,588	0,918
hohes Risiko	16	13	12	41	13	0,317	0,707
unkritisch	7	7	16	30	16	0,533	-

Anmerkung: n = 265 bewertete Bauteile
 * angepasste Prognosevalidität zur Darstellung der Trefferrate kritischer & hoher Risiko Bauteilbewertung für rote + gelbe Arbeitsplätze
 Chi-Quadrat $\chi^2 = 45,075$; $p < 0,05$; Cramers $V = 0,292$

Unkritisch eingestufte Bauteile fanden sich zu 53,3 % an grünen Arbeitsplätzen und im Umkehrschluss zu 46,3 % an gelben und roten Arbeitsplätzen wieder. Die Ergebnisse des Chi-Quadrat-Test bestätigen einen signifikanten Zusammenhang der Vorhersageergebnisse ($\chi^2 = 45,075$; $p < 0,05$). Besonders die Prognosegüte von 91,8 % in einer bereits sehr frühen Phase des PEP lässt sich als positives Kriterium für valide Vorhersageergebnisse interpretieren. Es zeigt sich zwar, dass die Einstufung, ob das Bauteil zu einem roten, gelben oder grünen Arbeitsplatz führt, zu keiner 100 % präzisen Vorhersage gelangt, jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit prognostiziert, ob das Eintreten eines roten oder gelben Arbeitsplatzes zu erwarten ist. Dadurch erfüllen die Grenzen das Ziel, bereits frühzeitig auf einen ergonomischen Handlungsbedarf hinzuweisen. Auch die geringe Vorhersagegüte der unkritischen Bauteileinstufung kann akzeptiert werden, da eine detaillierte Nachuntersuchung der sieben roten und sieben gelben Arbeitsplätze bestätigte, dass die unkritischen Bauteile nicht die Belastungsursachen an diesen Arbeitsplätzen darstellten. Der nach Cramers V ($V = 0,292$) festgestellte schwache Zusammenhang lässt sich durch die Inhomogenität der Daten beziehungsweise durch die Überrepräsentation kritischer Bauteile im Vergleich zu unkritischen Bauteilen erklären (vgl. Duller, 2013, S. 123).

Validität der EPI-Belastungswerte (II)

Für die Gesamtvalidität des EPI und der damit verbundenen Belastbarkeit der prognostizierten Ergebnisse sollten neben der Risikoeinstufung auch die Belastungspunktevorsagen am späteren Arbeitsplatz geprüft werden. Aufgrund der variablen Möglichkeiten zur Verteilung der konstruktivbedingten Bauteilumfänge erschien es während der 2. Evaluierungsstudie plausibel, Bauteilbewertungen auszuwählen, die möglichst genau in die drei vorgestellten Varianten der Verteilung passen (siehe Abbildung 39, S. 89). In Tabelle 12 sind die Ergebnisse für Variante 1 mit der geringsten Variabilität dargestellt. Die identifizierten Bauteile füllen zum Teil fast vollständig die Arbeitsumfänge eines Arbeitszyklus oder sind mit gering belastenden Ausgleichstätigkeiten ergänzt. Dadurch zeigt sich in den Ergebnissen, dass die größte Abweichung bei -5 Belastungspunkten sowie im relativen Mittel bei lediglich 8 % der vorhergesagten Punkte liegt.

Tabelle 12: Variante 1 Belastungspunktunterschiede zwischen Bauteilbewertungen und Arbeitsplätzen

Variante 1						
Bauteil	EPI [Pkt.]	ApB [Pkt.]	dA	rA	\overline{dA}	\overline{rA}
Türdichtung links	31	31	0	0,00	2,6	0,08
Bremsdruckleitung	46	42	-4	-0,10		
Klimakompressor	23	24	1	0,04		
Ladeluftrohr Frontend	24	27	3	0,11		
Kraftstoffleitungen Motorraum	42	37	-5	-0,14		

Die Ursachen für die Möglichkeit einer Überbewertung (negative Differenz) werden im Punkt III der systematischen Fehler diskutiert. Auch für Variante 2 ließen sich fünf Kombinationen finden, bei denen ein Mitarbeiter zwei unabhängige Bauteile in Summe an einem Arbeitsplatz montiert. Die Ergebnisse belegen auch hier, dass sich trotz der kombinierten Belastungssituation am Arbeitsplatz lediglich eine absolute Abweichung von 5,8 Punkten und eine relative mittlere Abweichung von 14 % ergibt (siehe Tabelle 13). Die detaillierten Ergebnisse der Bauteil- und Arbeitsplatzauswahl für Variante 2 und 3 finden sich im Anhang B1.

Tabelle 13: Gesamtvergleich der Belastungspunkteunterschiede zwischen allen Varianten der Variabilität

Beispielbauteil	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	dA	rA	dA	rA	dA	rA
1	0	0,00	14	0,11	23	0,43
2	-4	-0,10	2	0,03	10	0,10
3	1	0,04	2	0,09	38	0,48
4	3	0,11	-7	-0,32	24	0,24
5	5	-0,14	4	0,13	10	0,13
$\overline{dA} / \overline{rA}$	2,6	0,08	5,8	0,14	21	0,28

Mehrheitlich zweistellige absolute Abweichungen wurden dagegen in der dritten Untersuchungsvariante festgestellt ($\overline{dA} = 21$). Dabei ist es zum Teil kaum kontrollierbar, ob ein komplexes Bauteil vollständig zwei Arbeitszyklen oder nur einen vollständig und den zweiten zu einem minimalen Anteil ausfüllt. Dieser größere Unterschied, dass sich Belastungspunkte zwischen einer Bauteil- und zwei oder mehreren summierten Arbeitsplatzbewertungen unterscheiden, gehört zu den erwarteten Ergebnissen. Auch die Anzahl der über mehrere Arbeitsplätze verteilten Bauteile bleibt mit einem Anteil von 25 % der Gesamtstudie ($n = 256$) in einem kleineren Bereich. Mit einer erklärbaren mittleren relativen Abweichung von 28 % kann somit auch bei größerer Variabilität davon ausgegangen werden, dass die EPI-Belastungsbewertung akzeptable Ergebnisse erzeugt. Für die frühe Phase der Produktentwicklung stellt sich auch nicht die konkrete Frage an welchem oder welchen Arbeitsplätzen die Belastung zu erwarten ist, sondern ob sie in dieser quantifizierten Form überhaupt auftritt. Die Ergebnisse der Untersuchungsstudie belegen, dass der EPI diese belastbaren Aussagen treffen kann.

Bewertung möglicher systematischer Fehler (III)

Zum Abschluss der Validierung bezieht sich die letzte Fragestellung auf die Untersuchung möglicher systematischer Fehler, welche sowohl die Risikoeinstufung als auch die Belastungsbewertung beeinflussen. Wie bereits in den empirischen Ergebnissen festgestellt, können bei der EPI-

Kennzahl geringe Überbewertungen (entsprechen negativen Abweichungen) auftreten. Als eine Ursache wurde die Einbaurrate identifiziert, welche bei einer Bauteilbewertung zur Standardisierung mit 100 % angenommen wird. In der späteren Prozessgestaltung kann diese aber einen geringeren Anteil annehmen. Die qualitative Ergebnisauswertung am Beispiel der Touran-Studie zeigt, dass separat betrachtet, die Höhe des Belastungswertes fast proportional zur Einbaurrate am Arbeitsplatz sinkt. Dieser Zusammenhang stellt eine mögliche Ursache für falsche Vorhersagen in den Risikoprognosen dar. Am Beispiel der als kritisch eingestuften und an einem grünen Arbeitsplatz verbauten Bauteile lassen sich fünf von neun falschen Risikoprognosen auf eine Einbaurrate von unter 50 % zurückführen. Insgesamt hatten 20 von 139 bewerteten Bauteilen eine Einbaurrate unter 50 %, sodass zukünftig als ein Verbesserungspotential für EPI-Bewertungen die Berücksichtigung der Einbauraten in der Berechnung als auch der Informationsbeschaffung betrachtet werden sollte.

Durch die auf 60 s normierten Punktwertgrenzen des EAWS reduziert sich die Höhe der möglichen Punktzahlen in den Belastungsarten der Körperhaltungen, der Finger- sowie der Ganzkörperkräfte prozentual mit der Höhe der Taktzeit. Zur Betrachtung dieses Effektes auf die Genauigkeitsvorhersage des EPI-Verfahrens erfolgte eine erneute Berechnung aller Bauteilbewertungen der Touran-Studie. Der Berechnung wurde dabei die Bezugszeit einer anderen Montagelinie im Werk Wolfsburg (ML 1 mit 109 s Zykluszeit) zugrunde gelegt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei einer annähernden Verdopplung der Bezugszeit (60 s zu 109 s) die EPI-Punktwerte im absoluten Mittel um 15 Punkte und prozentual gesehen um 37 % verringern. Daraus kann ebenfalls geschlussfolgert werden, dass sich die oben beschriebenen Genauigkeitsabweichungen der Validitätsuntersuchung zum Teil auf diesen Faktor zurückführen lassen. Schlussfolgernd empfiehlt sich daraus eine identische Vorgehensweise wie bei der Einbaurrate. Während der zukünftigen Weiterentwicklung des EPI sollten stark abweichende Zykluszeiten stärker berücksichtigt sowie in die Methodik integriert werden.

5.4.5 Zusammenfassende Beurteilung und kritische Würdigung der EPI Methode

Aus der Ausgangssituation (Forschungsfrage 2) dieser Arbeit ist der Bedarf hervorgegangen, ein Bewertungsverfahren zur ergonomischen Belastungsbeurteilung auf Bauteilebene zu entwickeln. Das daraus entstandene Verfahren des *Ergonomie-Potential-Index* erfüllt die Möglichkeit, konstruktivbedingte Montageprozesse eines Bauteiles mit den daraus resultierenden ergonomischen Belastungen in Verbindung zu bringen. Als quantifizierendes Kennzahlensystem erfüllt es dabei den vom Anwender in der frühen Produktentwicklungsphase gewünschten Vorteil, einen indirekten Nutzen von Maßnahmen zur ergonomischen Risikoreduzierung auszuweisen. Neben

dem zur Orientierung dargestellten Gesamtpunktwert des EPI sind vor allem auch die Ausprägungen der einzelnen Belastungsarten von Bedeutung, da sie konkrete Informationen für Präventionsansätze und Umgestaltung liefern (exemplarische Beispiele folgen in Kapitel 6.1) (vgl. Steinberg et al., 2007, S. 47). Die Bewertung des Nebengütekriteriums Nützlichkeit lässt sich mit diesem hohen praktischen Bedürfnis und dem Fehlen eines vergleichbaren Verfahrens als sehr gut einstufen. An dieser Stelle soll ebenfalls erwähnt werden, dass digitale Werkzeuge wie z. B. Motion Capture oder Menschmodell-Simulationen (*ema* und *process simulate*) in der frühen Phase ergonomische Schwerpunktuntersuchungen ermöglichen können und auch während der EPI-Entwicklung Berücksichtigung fanden. Diese Werkzeuge besitzen jedoch mit durchschnittlich mindestens zwei bis drei Stunden Vorbereitungs- und Simulationserstellungsaufwand ein deutlich schlechteres Aufwand-Nutzen-Verhältnis als eine EPI-Bewertung mit zirka 10 – 20 min Dauer (vgl. Volkswagen AG, 2012a, S. 88). Im Kontext einer vollständigen Planungsabsicherung ersetzt das EPI-Verfahren diese Werkzeuge nicht, sondern ergänzt die Stärken der Visualisierung und Plausibilitätsprüfung um eine schnelle und frühzeitige Identifikation von kritischen Montageprozessen.

Neben den positiven Rückmeldungen der Anwender zur Gebrauchstauglichkeit des EPI konnten auch die empirischen Ergebnisse mit über 90 % Prognosegüte bei Vorhersagen von gelben und roten Arbeitsplätzen die geforderten Anforderungen erfüllen. Daraus resultierend wurde in Folge von Abstimmungen in konzernweiten Arbeitsgruppen der Volkswagen AG mit Beteiligten des Betriebsrates und Gesundheitswesens der operative Einsatz des EPI für die Marke Volkswagen PKW bestätigt. Obwohl das EPI-Verfahren als quantifizierendes Verfahren entstanden ist, sollte es aus diesem Grund dennoch nicht im Sinne einer präzisen Krankheitsprognose oder der Vorhersage von Mitarbeiterausfällen verstanden und überbewertet werden. Denn die einfache mathematische Verknüpfung unterschiedlicher Belastungsformen mit begrenzter Berücksichtigung der Zusammenhänge birgt auch die Gefahr methodischer Fehler. Das ist ein kritisch anzumerkender Punkt der EPI-Entwicklung, bei dem ein Großteil der methodischen Annahmen und biomechanischen Grenzwerte auf epidemiologischen Studien, Genauigkeiten sowie Erfahrungen des EAWS und seinen zugrundeliegenden wissenschaftlichen Verfahren beruht (vgl. Schaub et al., 2012, S. 5 ff; Steinberg et al., 2007, S. 22). Auch im Blick auf die Vollständigkeit aller in der Arbeitssituation auftretenden Belastungen bleibt die Berücksichtigung psychosozialer Faktoren zum großen Teil in der EPI-Bewertung außen vor. Aus diesem Grund besteht zusätzlich der Bedarf, Verfahren zur Beurteilung von Stress und Monotonie anzuwenden oder im optimalen Fall in Zukunft mit der EPI-Systematik zu kombinieren.

Einen weiteren Punkt in der abschließenden Diskussion der Methodik stellt die Genauigkeit der Eingangsgrößen dar. Zum einen ist die Berechnung des EPI sensitiv abhängig von der Errechnung der konstruktivbedingten EHPV-Zeit und zum anderen bestimmt der Anwender individuell die biomechanischen Parameter wie z. B. auftretende Kräfte oder eingenommene Körperhaltungen. Kräfte und Lasten lassen sich zwar mit Messmitteln wie einer Kraftmessdose genau bestimmen aber die Beurteilung der Körperhaltung bleibt ein individuelles, durch Beobachtung festgelegtes, Bestimmungsmaß. Zur Prüfung der individuellen Bewertungsfehler empfiehlt sich daher, in zukünftige Anwendungsstudien eine umfangreiche Inter-Rater-Reliabilitätsstudie mit mehreren Probanden durchzuführen. Insgesamt betrachtet ist das EPI-Verfahren zuverlässig und praktikabel sowie unter der notwendigen Berücksichtigung der Fehlerquellen aus methodisch kritischer Sicht gelungen.

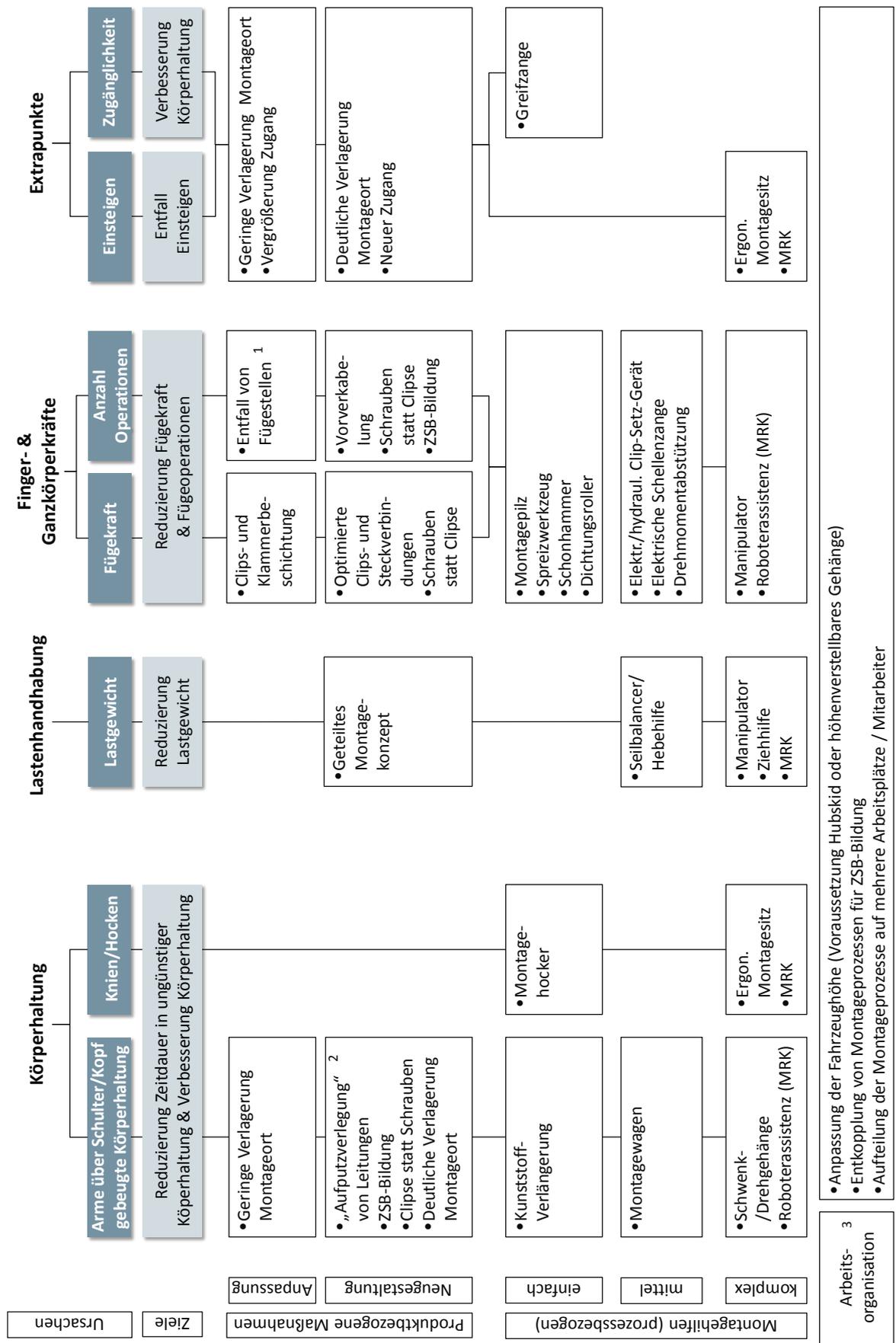
6 Ableitung und Bewertung von Maßnahmen zur Verhältnisprävention in der frühen Phase des PEP

6.1 Gestaltungsmaßnahmen auf Basis der empirischen Ergebnisse

In der Situationsanalyse (Kapitel 3.4) bestand ein wesentliches Defizit zur optimalen Maßnahmenermittlung in dem Fehlen von detaillierten Analysen der Belastungsursachen und -risiken in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses. Eine gesteigerte Transparenz durch quantitative Belastungsbewertungen der Bauteilkonstruktionen konnte bereits mit Hilfe der EPI-Entwicklung realisiert werden. Auf Basis dieser neuartigen sowie im Prozess vorgezogenen Informationen hat im zweiten Schritt des Managementsystems zur Ergonomie-Absicherung die Ableitung und Bewertung geeigneter Verbesserungsvorschläge zu erfolgen. Aufgrund der Neuartigkeit einer ergonomischen Bauteilbewertung findet in der aktuellen Vorgehensweise noch der Großteil aller Maßnahmendefinitionen in der Prozessplanungsphase der Arbeitsplatzgestaltung statt. Eine direkte Übertragung aller produktionsnahen und ergonomierelevanten Problempunkte in die Arbeitsgruppen der Produktentwicklung erscheint dabei als nicht zielführend. Ziel dieses Kapitels ist es, mit erkenntnisorientierten Maßnahmenvorschlägen die Tätigkeiten und Anforderungen der SETs (Kapitel 5.1) mit ihren bereits vielzähligen Zielkriterien zu unterstützen. Denn durch diese Verschiebung der Maßnahmendiskussion in Verantwortlichkeitsbereiche anderer Abteilungen sind auch automatisch die Arbeitskapazitäten der Mitarbeiter betroffen. Um nicht von Beginn an eine Ablehnungshaltung der betroffenen Mitarbeiter zu erzeugen, ist eine optimale Unterstützung dieses Prozesses notwendig.

Die weiterführende Frage stellt sich dabei über das „Wie“ der Maßnahmendefinitionen beziehungsweise auf welche Art und Weise die entsprechenden Lösungsvorschläge generiert werden sollen. Aus zeitlichen und eben erwähnten kapazitiven Einschränkungen ist ein standardisierter Problemlöseprozess nach der VDI-Richtlinie 2221 (1993, S. 3) für jedes der kritischen Bauteile ausgeschlossen. Die Recherche nach Maßnahmen in themennaher Literatur kann als Möglichkeit ebenfalls ausgeschlossen werden. Es lassen sich zwar Beispiele in Untersuchungsstudien und Lehrbüchern finden, aber diese sind meist in zu stark verallgemeinerter Form dargestellt oder beziehen sich wiederum auf individuelle und nicht übertragbare technische Ursachen (vgl. Schaub und Landau, 2004, S. 52 ff.; Schlick, Bruder & Luczak, 2010, S. 1141 ff.; Chodora, 2011, S. 127, ff.). Im Vergleich dazu beinhalten Best-Practice-Lösungen und Maßnahmenlisten aus Prozess- und Anlaufworkshops des bereits analysierten Automobilherstellers einen mit der Technik übereinstimmenden Bezug zu den Belastungsbewertungen. In Verbindung mit den eigenen erfahrungsbasierten und induktiv gewonnenen Verbesserungsideen stellt eine Dokumentenanalyse die bestmögliche Wissensbasis für die vollständige Maßnahmendefinition dar. Dafür erfolgt

unter anderem eine Berücksichtigung der in den unterschiedlichen Phasen des PEP dokumentierten Maßnahmen aus den Bereichen der Produkt-, Prozess- oder Organisationsanpassung. Für diese Untersuchung wurden zirka 250 Maßnahmen zur ergonomischen Verbesserung aus fünf verschiedenen Fahrzeugprojekten betrachtet. Die Maßnahmen reichen beispielsweise von der frühzeitigen Konzeptänderung des Bauteils über viele Arten von Hilfsmitteln bis zu Änderungskonstruktionen in der Serienphase. Einige Maßnahmen haben sich nur in geringem Maße in ihrer technischen Umsetzung oder durch das Anwendungsobjekt unterschieden, sodass sich diese unter einem selbst gewählten Oberbegriff zusammenfassen ließen. Ersichtlich ist ebenfalls ein Komplexitätsunterschied der Maßnahmen und Hilfsmittel. Im Vergleich zum Manipulator mit Drei-Achsen-Antrieb bietet beispielsweise ein sogenannter „Schonhammer“ zur Kraftumleitung eine technisch sehr einfache Unterstützung. Die Maßnahmen wurden den jeweiligen Belastungsursachen zugeordnet und in Form einer Matrixdarstellung in Abbildung 41 (S. 100) zusammengeführt. Wie in der Abbildung zu erkennen, ergibt sich für eine durch das Bauteil resultierende Belastung in jedem Fall mehr als eine Verbesserungsmöglichkeit. Absolut betrachtet standen 97 Maßnahmen mit differenzierbaren Anwendungsfällen zur Verfügung. Daraus entstand eine Verteilung von 25 produkt-, 52 prozess- und 20 organisationsbezogenen Maßnahmen. Die dargestellte Ergebnisübersicht kann dabei jedoch nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Dennoch lässt sich ein besserer und umfangreicherer Kenntnisstand als zu Beginn dieser Forschungsarbeit vorfinden.



1 – nur bei Gewährleistung der Sicherheit & Überdimensionierung des Verbindungskonzeptes

2 – bezeichnet die einfachere Leitungsführung auf dem Blech im Vergleich zum Fädeln der Leitung zwischen dem Blech

3 – Rotationsprinzip wird nicht betrachtet, da es in der frühen Phase des PEP nicht bewertet wird (dennoch für alle Arbeitsstationen in der Serie vorausgesetzt)

Abbildung 41: Ursachenbezogene Darstellung produkt- und prozessbezogener Ergonomiemaßnahmen

An dem bereits bekannten Bauteil Verkleidung B-Säule (Abbildung 27, S. 65) werden die Maßnahmen „Schonhammer“ und „Klammerbeschichtung“ exemplarisch vorgestellt und diskutiert. Ausschlaggebende Ursache für die zu hohe Belastung des Bauteils ist die zum Fixieren benötigte Fügekraft der Verkleidung. Als Befestigungselement fungiert zwischen dem Blech der Karosserie und der Verkleidung eine sogenannte Omega-Klammer (Abbildung 42). In Folge einer Untersuchung wurde mit Hilfe von Kraftmessungen festgestellt, dass ähnliche Klammern mit unterschiedlichen Beschichtungen an verschiedenen Stellen im Fahrzeug die gleiche Funktion erfüllen, dabei jedoch unterschiedlich hohe Fügekräfte aufweisen können. Die Klammern erbringen trotz der verschiedenen Beschichtungen die jeweils notwendigen Haltekräfte. Aufgrund dieser Erkenntnisse sowie des Änderungsantrages zur Beschaffung beschichtungsoptimierter Klammern reduzierten sich die Belastungen deutlich. In einem weiteren Fahrzeugprojekt wiederum entstand die Idee zur Nutzung eines Schonhammers (Abbildung 42), um die benötigte Kraft durch eine Schlagbewegung aufzubringen und über das dämpfende Material Rückschlagkräfte zu vermeiden. Die zwei Beispiele zeigen, dass über eine Sammlung von Maßnahmen bereits in der frühen Phase der Produktentwicklung Verbesserungsvorschläge aus dem produktbezogenen sowie aus dem prozessbezogenen Bereich zur Verfügung stehen. Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich weitere Fragestellungen über die Details und Bewertbarkeit der jeweiligen Maßnahmen.

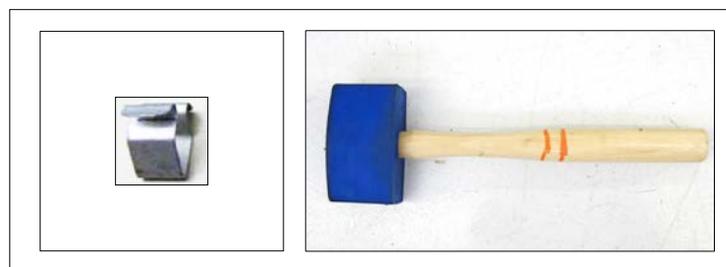


Abbildung 42: Exemplarische Darstellung einer Omega-Klammer (links) und eines Schonhammers (rechts) (Volkswagen AG, 2016b)

6.2 Aufwand-Nutzen-Betrachtung präventiver Verhältnisergonomie

6.2.1 Allgemeine Aufwand-Nutzen-Betrachtung

„Was sparen wir dadurch?“, „Was bringt uns das ergonomisch?“ sowie „Wir sind ein Industrieunternehmen und [...] werden von unseren Kunden [...] bezahlt.“ (Kapitel 1.1; Rebmann und Wittig, 1997, S. 62) sind Fragen und Aussagen, die verdeutlichen, wie fundamental für ein Unternehmen die Entscheidungsfindungen auf Basis von wirtschaftlichen und quantifizierbaren Kennzahlen in der frühen Phase des PEP sind. Dieses Kapitel verfolgt im Sinne der dritten Forschungsfrage das Ziel, existierende Herausforderungen und Wissensdefizite kennzahlenbasierter

Aufwand-Nutzen-Betrachtungen zu untersuchen und mit Hilfe theoretisch-empirischer Forschung zu lösen. An erster Stelle sind dafür noch einmal kurz mögliche Gründe zusammengefasst, weshalb sich trotz der Vielzahl an Studien (Kapitel 2.1) zu diesem Thema keine zufriedenstellenden Ergebnisse vorfinden lassen.

- Großteil der empirischen Studien untersucht den wirtschaftlichen Nutzen verhaltenspräventiver Maßnahmen für z. B. Rauchen, Alkoholkonsum sowie Diabetes
- Gesundheitsverbessernde Maßnahmen sind langfristige Investitionen, deren Auswirkungen erst Monate und Jahre später eintreten
- Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bleiben oft ungeklärt
- Nicht vermeidbare Unsicherheiten der Informationen bei zukunftsbezogenen Berechnungen (ex-ante)
- Verhältnispräventive Maßnahmen sind individuell und komplex, was eine Übertragung der Studienergebnisse erschwert
- Starker Einfluss individueller Faktoren in den Studien (Anzahl und Alter der Mitarbeiter, gesundheitliche Vorbelastungen, Art der Arbeitsaufgaben sowie Höhe des Gehaltes)

(vgl. Pieper und Schröer, 2015, S. 12; Chodora, 2011, S. 44; Westkämper, 2006, S. 105; Ulich und Wülser, 2015, S. 213 ff.)

Unter Vorbehalt der Kenntnis über die schwierige Beweislage des ökonomischen Nutzens präventiver Ergonomiemaßnahmen sehen Unternehmen diese dennoch als wichtige Investitionen in das Humanvermögen (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 12). Die Vielzahl sowie Variabilität der bereits identifizierten Interventionen (Kapitel 6.1) unterstützen diese Feststellung und eröffnen die Frage, welche von diesen Maßnahmen aus unternehmerischer Sicht die beste Alternative darstellt. Weitergedacht schließt sich die Frage an, mit welchen Maßnahmen bei begrenztem Kapital das bestmögliche Optimum der Belastungsreduzierung zu erreichen wäre. Das mit hohem Kapitaleinsatz und langfristiger Kapitalbindung durch Investitionen für Unternehmen entstehende Risiko stellt einen weiteren Grund dar, weshalb eine informationsgestützte Aufwand-Nutzen-Betrachtung trotz der oben genannten Probleme unabdingbar ist (vgl. Westkämper, 2006, S. 104). Mit Hilfe weiterführender Untersuchungen unter fest definierten Bedingungen erscheint es als möglich sowie auch notwendig, die Wirtschaftlichkeit verhältnispräventiver Maßnahmen zu bewerten (vgl. Neubert, 2013, S. 65).

Im ersten Schritt erfolgt dafür eine kurze Einführung in die Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen. Ausgangspunkt dafür sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht die klassischen Investitionsrechnungsverfahren (vgl. Landau, 2002, S. 52). Sie dienen im Allgemeinen zur Beurteilung der Effizienz und Effektivität von Investitionsvorhaben und stellen Zielbeiträge (=Nutzen) dem erforderlichen Mitteleinsatz (=Aufwand) gegenüber (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 12). Investitionsrechnungsverfahren lassen sich dabei in statische und dynamische unterteilen (siehe Abbildung 43).



Abbildung 43: Klassische Investitionsrechnungsverfahren (basiert auf Westkämper, 2006, S. 105)

Statische Methoden zeichnen sich durch eine einfache und schnelle Durchführbarkeit sowie die Begrenzung auf einen festen Bezugszeitraum aus (vgl. Westkämper, 2006, S. 106). Soll jedoch die zeitliche differenzierte Berücksichtigung von Ein- und Auszahlungen sowie Zinseffekte in die Genauigkeit der Bewertung einfließen, so sind die dynamischen Verfahren vorzuziehen (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 21). Aus Gründen der Übersichtlichkeit und späteren Bedeutung soll an dieser Stelle nur auf die Rentabilitätsrechnung eingegangen werden. Ziel dieser Berechnung ist die Bestimmung der Rentabilität einer Investition aus dem Verhältnis des zu erwartenden Gewinnes und dem dafür eingesetzten Kapital (siehe Formel 5). Diese auch als *Return On Investment* (ROI) bezeichnete Rentabilität besitzt eine hohe Aussagekraft und ist besonders für die Priorisierung von Investitionen geeignet (vgl. Westkämper, 2006, S. 109 ff.).

$$(5) \quad \text{Rentabilität} \left(\frac{\%}{\text{Jahr}} \right) = \frac{\text{Gewinn} \left(\frac{\text{€}}{\text{Jahr}} \right)}{\text{Ø Kapiteleinsatz}} \times 100 \%$$

Da sich die klassischen Investitionsrechnungen stets auf die Erfassung des monetären Nutzens beziehen, befassen sich mit der Bewertung nicht-monetärer (z. B. Reduzierung des Krankenstandes) Ziele die sogenannten erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalysen. Darunter zählen die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA), die Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA) sowie die Nutzwertanalyse (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 22 ff.). In der Betrachtungsweise der KNA beispielsweise werden Kosten und Nutzen mehrfach differenziert. Kosten und Nutzen lassen sich in tangibel (messbar) oder intangibel (nicht messbar) sowie direkt oder indirekt unterscheiden (vgl. Mattke

und Weißert-Horn, 2007, S. 747). Das Beispiel der Reduzierung des Krankenstandes entspricht einem direkt messbaren Nutzen, weil sich der Krankenstand auf betriebswirtschaftlicher Ebene beispielsweise über Lohnfortzahlungen in eine monetäre Größe umrechnen lässt. Mit der Beschränkung auf direkt und indirekt monetäre Größen ist die KNA auch einer eindimensionalen Wirtschaftlichkeitsanalyse zuzuordnen (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 22). Durch diese Berücksichtigung direkt und indirekt monetarisierbarer Kriterien stellt die KNA in Verbindung mit der Rentabilitätsberechnung den bestmöglichen Kompromiss aus Vollständigkeit der Bewertungskriterien und Komplexität der Berechnung dar. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit präventiver Ergonomiemaßnahmen erfolgt im nächsten Schritt die Identifizierung der notwendigen Kriterien zur Berechnung des Aufwandes und Nutzens in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses.

6.2.2 Aufwand-Kalkulation präventiver Ergonomiemaßnahmen

Definiert sind Kosten als der „bewertete Verzehr von Vermögen, Gütern und Diensten zur Erstellung betrieblicher Leistungen“ (Westkämper, 2006, S. 78). Die Kosten müssen dabei mit dem Aufwand nicht in voller Höhe übereinstimmen, sodass sich eine weitere Differenzierung in perioden- und betriebsfremden sowie außerordentlichen Aufwand ergibt. Speziell der außerordentliche Aufwand ist aufgrund seiner Unregelmäßigkeit und Art von der üblichen Leistungserstellung (Produktion) abzugrenzen und für die Verwendung im Kontext präventiver Ergonomiemaßnahmen besonders geeignet (vgl. Westkämper, 2006, S. 78). In der normalen Betriebstätigkeit erfolgt die Erfassung aller Aufwendungen durch die Finanzbuchhaltung und Kostenrechnung des Betriebes (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 29). Unterteilt werden die Kosten dann wiederum in *fixe Kosten*, die auch bei einem Aussetzen der Produktion anfallen sowie in *variable Kosten*, die nur bei Produktion und Bezug von Ressourcen entstehen. Gemeinsam ergeben sie die Gesamtkosten. Für die Berechnung ebenfalls relevant sind die *Einzelkosten*, die sich genau einem Kostenträger oder Kalkulationsobjekt zuordnen lassen sowie die *Gemeinkosten*, welche wie z. B. die Verwaltungskosten keinem konkreten Kalkulationsobjekt zugerechnet werden können. (vgl. Westkämper, 2006, S. 78). Für die in Abbildung 41 (S. 100) dargestellten Varianten präventiver Ergonomiemaßnahmen ergibt sich nach Abfrage von Mitarbeitern aus Planung und Entwicklung folgende Übersicht abhängiger Kostenarten (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht der bewertbaren Kostenarten präventiver Ergonomiemaßnahmen (basiert auf Mattke und Weißert-Horn, 2007, S. 749; Westkämper, 2006, S. 82 ff.)

Kostenart	Beschreibung	Beispiele
Personalkosten	<ul style="list-style-type: none"> sind durch den Einsatz des Produktionsfaktors Arbeit verursachte Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> Fertigungspersonalkosten (FPK) stehen im Zusammenhang mit der benötigten Fertigungszeit (F-Zeit) Indirekte Personalkosten für Maßnahmenerstellung, Projektmanagement und Verwaltung
Dienstleistungskosten	<ul style="list-style-type: none"> fallen für die Nutzung von Leistungen anderer Unternehmen (Lieferanten) an 	<ul style="list-style-type: none"> Vormontagen und Zusammenbauteile (ZSB) als extern erbrachte Leistungen
Betriebsmittelkosten	<ul style="list-style-type: none"> werden von Anlagen für die Durchführung der Produktion verursacht durch den Einsatz verschleißten Betriebsmittel (BM) und die Anschaffungskosten müssen über die Dauer verteilt werden 	<ul style="list-style-type: none"> Beschaffungskosten für Manipulatoren, Hebehilfen und Maschinen zur Automatisierung
Materialkosten	<ul style="list-style-type: none"> sind dem Produkt zurechenbare Roh- und Betriebsstoffe können auch die Beschaffungswerte von Waren der Zulieferer sein Transport und Lagerkosten gliedern sich in diese Kategorie 	<ul style="list-style-type: none"> Material- oder Materialeinzelkosten (MEK) (geändertes Befestigungskonzept, Mehrfachstecker)
Energiekosten, Medienkosten	<ul style="list-style-type: none"> darunter fallen Kosten für Heizung und Prozessenergie sowie Bereitstellung von Wasser, Gas oder Druckluft 	<ul style="list-style-type: none"> Druckluft für hydraulische Clip-Setz-Geräte und Manipulatoren

6.2.3 Nutzen-Kalkulation präventiver Ergonomiemaßnahmen

Im Anschluss an die Beschreibung der Vorgehensweise zur monetären Kostenbewertung und deren Aufteilung für präventive Ergonomiemaßnahmen folgt in diesem Kapitel die Nutzenbetrachtung. Der Nutzen definiert sich als Summe aller positiven Wirkungen einer Investition und wird häufig auch als Erfolg, Vorteil oder Ertrag bezeichnet. Für die Kontrolle der Wirtschaftlichkeit, Rentabilität, Produktivität sowie in Summe für die Gewährleistung des Betriebserfolges ist die Nutzenermittlung in jedem Fall notwendig (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 33). Aus den Grundaufgaben der Ergonomie lassen sich im ersten Schritt zwei übergreifende Nutzenziele unterscheiden. Zum einen wird durch die Berücksichtigung der Ergonomie in Unternehmen das Ziel verfolgt, eine arbeitstechnische Rationalisierung und damit einhergehend eine Steigerung der Produktivität zu erreichen (Schlick, Bruder und Luczak, 2010, S. 6). Zum anderen dienen präventive Ergonomiemaßnahmen der Schaffung erträglicher sowie humanitärer Arbeit (vgl. Laurig, 1982, S. 18). Wie bereits angedeutet können diese Nutzenaspekte sowohl messbar, nicht mess-

bar als auch direkt oder indirekt in Erscheinung treten. Pieper und Schröer (2015, S. 12) beispielsweise fassen anhand einer Analyse von Metastudien zusammen, dass der Hauptnutzen von Maßnahmen zur betrieblichen Gesundheitsförderung in der Verringerung von Krankheitskosten und Absentismus, als krankheitsbedingtes Fernbleiben vom Arbeitsplatz, liegt. Doch auch das Gegenteil des Präsentismus, wenn Mitarbeiter krank zur Arbeit erscheinen, kann zu einer Verringerung der Qualität oder Produktionsausfällen führen (vgl. Pieper und Schröer, 2012, S. 12). Ein Vergleich zur Nutzenbewertung von Qualitätsmanagement macht deutlich, dass auch für Ergonomie-Absicherung als ökonomische Zielgröße die Kostensenkung im Produktentstehungsprozess im Mittelpunkt steht (vgl. Sesma Vitrián, 2004, S. 64 ff.). Die häufig verwendete Darstellungsform eines Eisbergs offener und verdeckter Kosten veranschaulicht (Abbildung 44), dass ein Großteil der ökonomischen Einsparpotentiale in Aufwand-Nutzen-Betrachtungen kaum berücksichtigt oder nur schwer in monetäre Größen ausweisbar ist.



Abbildung 44: Offene und verdeckte Kosten unzureichender ergonomischer Arbeitsgestaltung (basiert auf Schaub und Landau, 2004, S. 57; Neubert, 2013, S. 43 ff.)

Bevor jedoch auch die indirekt-monetären Nutzenaspekte berücksichtigt werden können, muss eine Überprüfung der tatsächlichen Wirkungszusammenhänge erfolgen (vgl. Krüger, Müller und Stegemann, 1998, S. 34). Empfohlen für die Herstellung eines Zusammenhanges sind die Methoden der statistischen Korrelations- und Regressionsanalyse (vgl. Sesma Vitrián, 2004, S. 114; Pieper und Schröer, 2015, S. 12). Dafür wiederum müssen repräsentative und signifikante Daten vorliegen. Aus diesem Grund entstand im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Notwendigkeit,

eine Auswahl der Nutzenpotentiale zu treffen, bei denen eine ex-post Analyse bereits dokumentierter Daten möglich und gleichzeitig eine signifikante Abhängigkeit zur ergonomischen Arbeitsgestaltung zu erwarten ist. Es ist an dieser Stelle zusätzlich anzumerken, dass eine ausführliche Betrachtung des reinen zeitwirtschaftlichen Nutzens sowie der Rationalisierung von unnötigen Laufwegen und Bewegung kein Bestandteil der vertiefenden Studie sein wird. Diese Entscheidung begründet sich in der Feststellung, dass zeitliche Einsparungen in jedem Fall mit oder auch ohne ergonomischen Hintergrund im Fokus der Abteilungen des Industrial Engineering stehen. Zum Abschluss der Vorbetrachtungen sind in Tabelle 15 die Nutzenpotentiale für Produktivität und Qualität aufgelistet, welche sich für eine empirische Studie heranziehen und in einer nachfolgenden Auswertung in monetären Nutzen umrechnen lassen.

Tabelle 15: Monetär bewertbare Nutzenpotentiale präventiver Ergonomiemaßnahmen

Nutzenpotential	Beispiele für Kosteneinsparungen
Fehlzeitenreduzierung (Produktivität)	<ul style="list-style-type: none"> • Lohnfortzahlung bei arbeitsbedingten Krankheitstagen • Für Fehlzeitenausgleich erzeugte Mehrarbeit geliehener Mitarbeiter • Anlernzeit für neue Mitarbeiter
Fertigungszeitreduzierung (Produktivität)	<ul style="list-style-type: none"> • Summierte Reduzierung der F-Zeit entspricht Einsparung bei Fertigungspersonalkosten
Fehler- und Nacharbeitsreduzierung (Qualität)	<ul style="list-style-type: none"> • Durch Fehler benötigte Nacharbeitsarbeitsplätze und Personal • Fehlernacharbeit erzeugt Betriebsstörungen und reduziert die mögliche Ausbringungsmenge an Fahrzeugen

6.3 Arbeitsbedingte Fehlzeiten zur monetären Nutzenbestimmung präventiver Ergonomiemaßnahmen

6.3.1 Allgemeine Betrachtung von Fehlzeiten

Der Fehlzeitenstand gibt dem Personalwesen eines Unternehmens die Aufschlüsselung, ob es sich um krankheitsbedingte Arbeitsunfähigkeit oder um Abwesenheit aufgrund von gesetzlichen Regelungen wie z. B. dem Mutterschutzgesetz, allgemeine Rehabilitationen oder entschuldigte Fehlzeiten, handelt (vgl. Neubert, 2013, S. 51). Arbeitsunfähigkeit liegt im rechtlichen Sinne vor, wenn der Arbeitnehmer infolge seiner Krankheit nicht imstande ist, die vertragliche Arbeitsleistung zu erbringen (vgl. Chodora, 2011, S. 50). Nicht eindeutig stellt sich dagegen die Definition der Ursachen von Arbeitsunfähigkeit und den damit verbunden Fehlzeiten dar. Da sie von mehr als 200 in der Literatur gefundenen Faktoren beeinflusst werden, bezeichnen Brandenburg und Nieder (2009, S. 14) Fehlzeiten als multifaktoriell determiniert. Eine Möglichkeit zur Aufteilung ist, zwischen medizinisch attestierter und motivationsbedingter Arbeitsunfähigkeit zu unterscheiden (vgl. Ulich und Wülser, 2015, S. 146). Aus Betriebsicht interessiert jedoch eher die

Frage, ob es sich dabei um beeinflussbare, von der Arbeitssituation abhängige, oder unbeeinflussbare, von der Arbeitssituation unabhängige, Krankheitsursachen handelt (Chodora, 2011, S. 13). Zu letzteren zählen z. B. Verletzungen beim privaten Hausbau oder Grippewellen, die in einer Fehlzeiteauswertung besonders ins Gewicht fallen können. Aufgrund der praxisorientierten Zielstellungen liegt der Fokus für die nachfolgende Betrachtung auf den beeinflussbaren, tätigkeitsabhängigen Arbeitsunfähigkeitstagen (Au-Tage). Gemäß der Belastungstheorie wird ein kausaler „Zusammenhang zwischen Arbeitsbedingungen, Erkrankungen und Arbeitsunfähigkeit“ angenommen (vgl. Brandenburg und Nieder, 2009, S. 25). Noch mehr wird dabei der kausale Zusammenhang zwischen physischen Belastungsursachen und den Au-Tagen untersucht. Wie bereits in Kapitel 3.2 aufgezeigt, entfallen etwa 25 % aller Krankheitsfälle auf Erkrankungen des Bewegungsapparates (MSE-Fälle). Verschiedene Quellen schätzen darunter einen arbeitsbedingten Anteil von etwa 30 % (vgl. Kugler et al., 2010, S. 8; Brandenburg und Nieder, 2009, S. 24). Diese Zahlen basieren jedoch größtenteils auf gemittelten statistischen Ergebnissen der Krankenkassen über alle Wirtschaftszweige und Unternehmensgrößen hinweg. Dabei existieren jedoch deutliche Unterschiede der Krankenstände zwischen Berufen, Wirtschaftsgruppen und Unternehmensgrößen (vgl. Brandenburg und Nieder, 2009, S. 26). Um für den Anwendungsfall der Fließbandfertigung in der Automobilindustrie präzise finanzielle Nutzensaussagen treffen zu können, gilt es im ersten Schritt, diese Schätzungen unter den betriebspezifischen Randbedingungen zu prüfen. Liegen die Ergebnisse der Zusammenhangsbetrachtung vor, bedarf es im zweiten Schritt mit Hilfe betriebsinterner Kostensätze der monetären Nutzenbetrachtung.

6.3.2 Vorgehensweise und Studienaufbau

Aus den Vorbetrachtungen lassen sich für eine empirische Untersuchung folgende Zusammenhangshypothesen aufstellen:

ZHH 1: *Je höher die physischen Belastungen am Arbeitsplatz, desto höher ist die Anzahl der arbeitsbedingten Au-Tage.*

ZHH 2: *Der Zusammenhang von Arbeitsplatzbelastung und arbeitsbedingten Au-Tagen stellt sich in Form eines linearen Anstieges dar, welcher dadurch die Berechnung eines monetären Nutzenfaktors ermöglicht.*

ZHH 3: *Je länger die Mitarbeiter physischen Belastungen am Arbeitsplatz ausgesetzt sind, desto höher ist die Anzahl der arbeitsbedingten Au-Tage.*

Bei der Wahl einer geeigneten Methode zur Datenerhebung und nach Gesprächen mit dem Personalwesen wurde deutlich, dass eine Differenzierung des Fehlzeitenstandes der Mitarbeiter

zwischen arbeitsbedingten und nicht-arbeitsbedingten Au-Tagen nicht umfassend möglich ist. Die vermutete Notwendigkeit einer Differenzierung konnte anhand der Ergebnisse einer ähnlichen, internen Studie des Beispielunternehmens weiter bestätigt werden. Dabei erreichte die Korrelation aller Fehlzeiten ohne Differenzierung mit der Arbeitsplatzbelastung sogar einen negativ gerichteten Zusammenhang, demzufolge würden sogar mehr Belastungspunkte eine geringere Anzahl von Fehltagen hervorrufen (vgl. Volkswagen, 2016c, S. 46). Eine zweite Herausforderung entstand durch strenge Restriktionen seitens der Kommission Datenschutz und des Betriebsrates. Um den Schutz personenbezogener Daten zu gewährleisten, war eine Auswertung auf Mitarbeiter- und Arbeitplatzebene auszuschließen. In Abstimmung mit allen Beteiligten ließ sich die nächsthöhere Aggregationsebene, der sogenannten Teams, als zulässige Auswertungsebene verwenden. Ein Team setzt sich dabei aus einer nicht fest definierten Anzahl von Mitarbeitern zusammen und umfasst ebenso eine nicht einheitliche Anzahl von Arbeitsplätzen. Aufgrund des Drei-Schicht-Betriebes und der Möglichkeit für Mitarbeiter zwischen den Schichten „Früh“, „Spät“ und „Nacht“ flexibel zu wechseln, erschien es als notwendig, alle drei Schichten eines Teams zusammengefasst zu betrachten.

Fragebogen zur Datenerhebung arbeitsbedingter Au-Tage

Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen wurde zur Erfassung der arbeitsbedingten Au-Tage ein Fragebogen entwickelt, welcher diese Merkmalsausprägung präziser als bisher möglich sowie quantitativ erfassen kann. Im Vergleich zur generellen wissenschaftlichen Fragebogenmethode zielt die Konstruktion des Fragebogens nicht auf die Untersuchung des gesamten Forschungsproblems ab (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 399). Dies liegt zum einen darin begründet, dass beispielsweise eine Abfrage der empfundenen physischen Belastungen zwar eine Bereicherung im Untersuchungskontext darstellen würde, aber durch die Menge der benötigten Frage-Items eine Sicherstellung des Datenschutzes in Teams mit einer geringen Mitarbeiteranzahl nicht mehr zu gewährleisten sei. Zum anderen erteilte das Management aus ersichtlichen Gründen der Betriebsgewährleistung keine Freistellung der Mitarbeiter zur Befragung in der Fertigung. In Abstimmung mit dem Betriebsrat bestand jedoch die Möglichkeit, die Befragung während der offiziellen, großen Pause (30 min.) der Mitarbeiter durchzuführen. Aus diesem Grund stellte die Befragung in Form eines schriftlichen Fragebogens mit Austeilen und Einsammeln in einer Grupsituation die einfachste und ökonomischste Form der Datenerhebung dar (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 413). Als quantitative, vollstandardisierte Befragungsform fiel die Entscheidung auf geschlossene Fragen mit Ankreuzaufgabe (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 399). Die Wahl der Merkmalsausprägungen (*Items*) sowie die verwendete Skala einer Befragung sollte sich generell

an, in der Literatur etablierten, Vorgaben orientieren (vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 407). Aufgrund der oben aufgeführten Rahmenbedingungen und der Aggregationsebene des Teams wurden die zwei relevanten Items, der ausgesetzten Belastungsdauer und der Au-Tage für den Fragebogen ausgewählt (Fragebogen siehe Anhang C.1).

Item	Skalierung			
<i>Belastungsdauer</i>	< 6 Monate	< 3 Jahre	> 3 Jahre	
<i>Anzahl arbeitsbedingter Au-Tage</i>	nie	ca. 1 Woche	ca. 2 Wochen	ca. 4 Wochen

Die Abstufung der Auswahlmöglichkeiten erfolgte bewusst in einfacher Form, da an einer genaueren Ermittlung der arbeitsbedingten Au-Tage des Vorjahres, auf Basis der Erinnerung der Mitarbeiter, berechtigter Zweifel bestand. Unter diesem Aspekt und dem Ziel eine möglichst signifikante Stichprobe von Au-Tagen zu erhalten, erschien die Wahl des Betrachtungszeitraumes von einem Jahr (2014) als bestmöglicher Kompromiss aus hinreichender Genauigkeit und Aussagekraft der Antworten. Es wurden insgesamt 567 Mitarbeiter aus 20 Teams der Montagelinie 4 und der zugehörigen Cockpitvormontage des VW Touran (erste Generation) befragt. Die Untersuchung belief sich auf einen Zeitraum von etwa vier Monaten bis August 2015. Das Durchschnittsalter der Beschäftigten liegt in diesem Bereich bei 39,4 Jahren. Zu Beginn der Befragung wurden die Mitarbeiter über das Ziel der Befragung und die Bedeutung arbeitsbedingter Fehlzeiten informiert. Zusätzlich bedurfte es der Erläuterung, inwiefern diese zu privaten Unfällen oder motivationsbedingten Fehlzeiten zu differenzieren sind. Außerdem konnten durch den direkten Kontakt Verständnisfragen geklärt und Anmerkungen der Mitarbeiter für die Ergebnisdiskussion mit aufgenommen werden.

Insgesamt gingen 559 vollständige Fragebögen zurück und die Rücklaufquote lag somit bei 99 %. Für die Auswertung wurden die Antworten anschließend in Excel übertragen und die Au-Tage über die Multiplikation der Wochensummen mit jeweils fünf Arbeitstagen pro Woche errechnet. Um die mittleren, den Teams zugehörigen, Arbeitsplatzbelastungen für das Jahr 2014 zu erhalten, bot sich erneut eine Dokumentenanalyse der bereits mit EAWS bewerteten Arbeitsplätze im System Arbeitsplan an (siehe Kapitel 5.4.2). Bevor die Übertragung der Daten in Excel erfolgen konnte, war eine erneute Überprüfung auf Plausibilität und Korrektheit notwendig sowie eine in Einzelfällen mit aktuelleren Erkenntnissen durchgeführte Bewertungsanpassung. Für die statistische Überprüfung der Hypothesen *ZHH 1* und *ZHH 2* ließ sich aufgrund der metrisch skalierten Variablen „Au-Tage“ und „durchschnittliche Arbeitsplatzbelastung“ eine Korrelationsanalyse nach Bravais-Pearson ρ durchführen sowie das Bestimmtheitsmaß ρ^2 berechnen (Duller, 2013,

S. 127 ff.). Die Überprüfung der dritten Zusammenhangshypothese erfolgt mit Hilfe der Berechnung der Assoziationsmaße Chi-Quadrat χ^2 und Cramers V (vgl. Duller, 2013, S. 121 ff.).

6.3.3 Ergebnisse der empirischen Studie

Die befragte Mitarbeiteranzahl je Team variiert stark von 11 Mitarbeitern in der kleinsten bis zu 44 Mitarbeiter in der größten Gruppe. Dadurch bedingt zeigt sich auch in der Summe der arbeitsbedingten Au-Tage eine große Streuung von im Minimum 30 bis im Maximum 295 Au-Tagen pro Team im Jahr 2014 (vollständige Ergebnisdarstellung siehe Anhang C.2). Für die Auswertung der Korrelation zwischen physischer Belastungsbewertung und Au-Tagen erscheint es daher als notwendig, eine relative, auch die Mitarbeiteranzahl berücksichtigende, Au-Tage-Betrachtung vorzunehmen. Es ergibt sich dadurch ein Minimum von 2,69 Au-Tagen pro Mitarbeiter in einem Team. In dem Team mit den meisten relativen arbeitsbedingten Au-Tagen war jeder Mitarbeiter im Jahr 2014 durchschnittlich 10,75 Tage arbeitsbedingt krankgeschrieben. Über alle Teams betrachtet errechnet sich ein Mittelwert von 5,07 arbeitsbedingter Au-Tage pro Team. Die für die jeweiligen Teams ermittelten physischen Belastungsbewertungen liegen zwischen 12,63 EAWS-Punkten im grünen Bereich und 56,93 EAWS-Punkten mit hohen Belastungen im roten Bereich. Im errechneten Mittel liegt die Belastung aller Teams bei 30,11 Punkten genau an der Grenze vom grünen zum gelben Risikobereich. Zur Überprüfung der anfangs gestellten Hypothesen 1 und 2 lässt sich der vermutete Zusammenhang zwischen arbeitsbedingten Au-Tagen und physischer Belastungsbeurteilung bestmöglich in einem Diagramm graphisch untersuchen.

Abbildung 45 zeigt als Ergebnis der quantitativen Befragungsstudie die Verteilung der teambezogenen Au-Tage in Abhängigkeit zu ihrer durchschnittlichen Belastungsbewertung. Die Streuung der Datenpunkte wird ebenfalls in der Korrelationsanalyse nach Bravais-Pearson mit einem Korrelationskoeffizienten von $\rho = 0,419$ deutlich. Demnach kann nur ein mittlerer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen bestätigt werden (vgl. Duller, 2013, S. 129). Dennoch unterstützt eine positive Abhängigkeit von zunehmender Belastung sowie ansteigenden, arbeitsbedingten Au-Tagen die erste Zusammenhangshypothese. Ob der festgestellte Zusammenhang auch der Qualität eines linearen Anstieges genügt, stellt sich mit Hilfe einer Regressionsanalyse heraus. In Abbildung 45 (S. 112) wird optisch deutlich, dass die Datenpunkte in großem Maße um eine lineare Regressionsgerade streuen. Das niedrige Bestimmtheitsmaß von $\rho^2 = 0,175$ führt ebenfalls zu der Schlussfolgerung, dass die vorgefundenen Ergebnisse keine Näherung eines linearen Anstieges darstellen und somit die zweite ZHH nicht erfüllt wird.

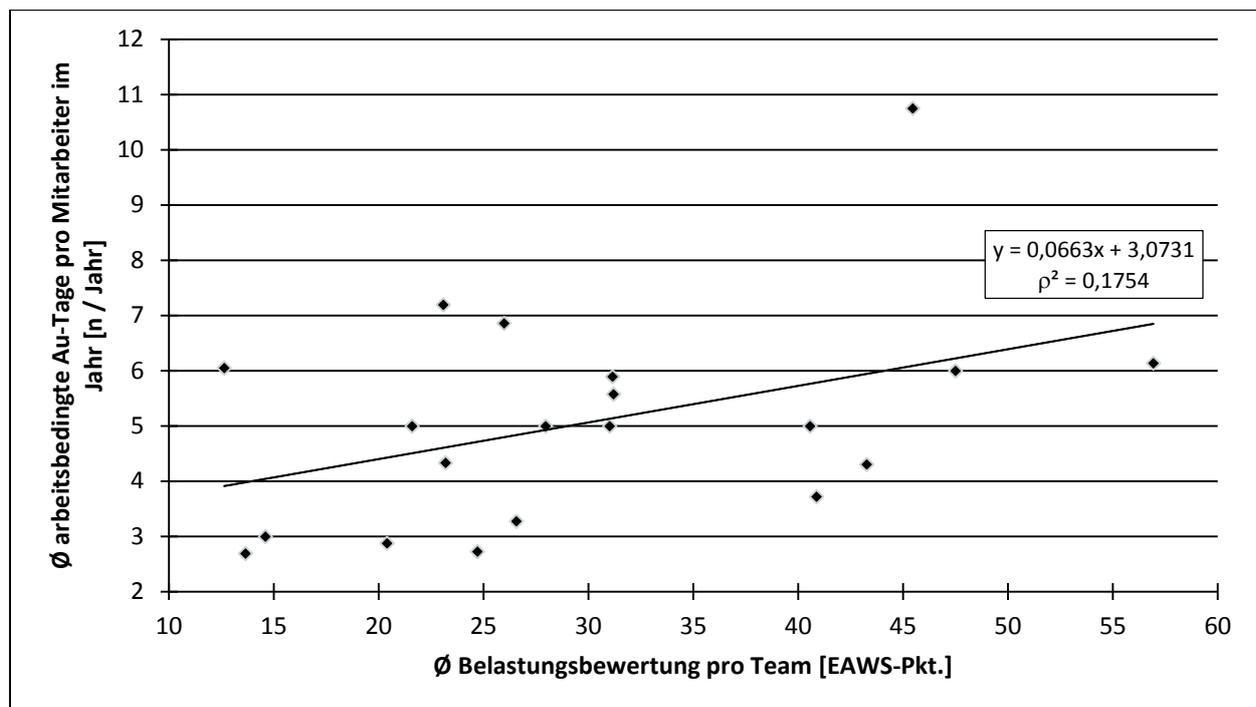


Abbildung 45: Graphische Darstellung des Zusammenhangs ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung und arbeitsbedingter Au-Tage

Die fehlenden Vergleichsstudien in der Literatur geben an dieser Stelle ebenfalls keine Möglichkeit, die Güte der Ergebnisse in einem Vergleich zu bewerten. In welcher Weise die Ergebnisse dennoch unter qualitativer Berücksichtigung und aufgrund ihrer Neuartigkeit für eine weitere monetäre Nutzenbetrachtung verwendet werden können, soll in einer nachfolgenden Diskussion näher beleuchtet werden. Darüber hinaus bedarf es für den Zusammenhang zwischen den Zeitdauern in welchen Mitarbeiter ergonomisch ungünstigen Belastungen ausgesetzt sind und den arbeitsbedingten Au-Tagen, sowie dessen konkreten Einfluss auf die gesamte Belastungstheorie einer weiteren Überprüfung. Diese quantitative empirische Untersuchung konnte in geringem Umfang durch die Befragung realisiert werden. In Tabelle 16 sind die Ergebnisse in Form von absoluten und bedingten Häufigkeiten der jeweiligen Dauer, die ein Mitarbeiter in seinem aktuellen Team tätig war, als auch die dazugehörigen arbeitsbedingten Krankheitstage in Wochen dargestellt. Die Verteilung der 559 befragten Mitarbeiter zeigt, dass nur ein geringer Anteil ($n = 38$) weniger als sechs Monate in ihrem aktuellen Team gearbeitet hat und die meisten Mitarbeiter ($n = 287$) bereits länger als 3 Jahre in ihren aktuellen Teams tätig sind. Aus diesem Grund ist eine Betrachtung der bedingten Häufigkeiten je Zeitintervall für die Auswertung des Zusammenhanges besser geeignet.

Tabelle 16: Ergebnistabelle der Zusammenhangsüberprüfung von ausgesetzter Belastungsdauer zu arbeitsbedingten Au-Tagen

Arbeitsbedingte Au-Tage pro Jahr (in Wo.)	Anzahl Mitarbeiter je Beschäftigungsdauer (Δ ausgesetzter Belastungsdauer) im Team					
	kürzer als 6 Monate		kürzer als 3 Jahre		länger > 3 Jahre	
	absolute Anzahl	bedingte Häufigkeit	absolute Anzahl	bedingte Häufigkeit	absolute Anzahl	bedingte Häufigkeit
Nie	32	0,84	79	0,59	168	0,43
1 Woche	3	0,08	25	0,19	89	0,23
2 Wochen	2	0,05	23	0,17	78	0,20
4 Wochen	1	0,03	7	0,05	52	0,14

Anmerkung: n = 559 befragte Mitarbeiter
 Chi-Quadrat $\chi^2 = 31,701$; $p < 0,05$; Cramers $V = 0,168$

Mit der Verschiebung in den Bereich der länger ausgesetzten Belastungsdauer steigt auch die bedingte Häufigkeit von höheren arbeitsbedingten Au-Tagen. Als Beispiel liegt die Häufigkeit von keinem arbeitsbedingten Krankheitstag in Spalte 3 (< 6 Monaten) noch bei 84 %. In Spalte 7 (> 3 Jahre) fällt diese Häufigkeit bereits auf 43 %. Auch die maximale Dauer oder Anzahl der Au-Tage steigt mit längerer Belastungsdauer von 3 % (Spalte 3) auf 14 % (Spalte 4). Eine detaillierte Differenzierung, ob es sich tatsächlich um längere Krankheitsfälle oder nur um die reine Summenbildung der Au-Tage handelt, lässt sich aufgrund der Datenschutzrestriktionen und davon abhängigen Gestaltung dieser Studie nicht erstellen. Die Ergebnisse würden sich jedoch mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen, dass die Dauer von Krankheitsfällen bei älteren und implizit auch länger belasteten Mitarbeitern deutlich ansteigt, teilweise erklären lassen (vgl. Brandenburg und Nieder, 2009, S. 25; BMAS, 2014, S. 157). Mit den Ergebnissen des Chi-Quadrat-Testes ($\chi^2 = 31,701$; $p < 0,05$) lässt sich zwar ein statistisch signifikanter Zusammenhang feststellen, jedoch ist dieser durch Cramers Assoziationsmaß nur als schwach einzuschätzen ($V = 0,168$).

An dieser Stelle sollen kurz die Ergebnisse, die Repräsentativität der Studie sowie deren Ursachen kritisch diskutiert werden. Die teilweise sehr hohe Streuung der Au-Tage, unabhängig von der objektiv festgestellten Arbeitsbelastung, bestätigt in erster Linie den in der Literatur vorherrschenden Konsens, dass die vermuteten Wirkzusammenhänge nicht eindeutig belegbar sind (vgl. Pieper und Schröder, 2015, S. 12; Ulich und Wülser, 2015, S. 215). Es fehlte in Folge der Datenschutzbeschränkung die Möglichkeit, auf individuelle Dispositionen einzugehen und somit Ausreißer, auch bei geringbelastenden Teams, valide zu identifizieren und auszuschließen. Eine weitere Beschränkung des Studiendesigns bestand in der als Kompromiss gewählten Bezugszeit von einem Jahr. Vermehrte Mitarbeiteraussagen zeigten, dass sie zwar nicht im Jahr 2014 arbeitsbe-

dingt krankgeschrieben waren, dafür jedoch in den Jahren zuvor. Kritisch zu berücksichtigen waren außerdem die niedrigen bis nicht auftretenden Fehlzeiten von Zeitarbeitnehmern. Aus nachvollziehbaren Gründen sowie Sorgen um die eigene Arbeitsstelle bestätigte ein Großteil der befragten Zeitarbeitnehmer, dass sie aus diesem Grund im Jahr 2014 keinen einzigen Fehltag hatten. Mit den Zielen der Gleichbehandlung und des Datenschutzes wurde auch hier von einer die Genauigkeit verbessernde Differenzierung abgesehen. Auf den untersuchten Fertigungsbe-
reich bezogen liegt der Anteil an Zeitarbeitnehmern bei etwa 16 %, kann jedoch in einzelnen Teams auch bis zu 50 % betragen.

Dennoch zeigen die vorliegenden Studienergebnisse auch gute Übereinstimmungen mit anderen Untersuchungen und Expertenmeinungen im Bereich des prozentualen Anteils arbeitsbedingter Fehlzeiten an der gesamten Fehlzeitenstatistik. So betrug die durchschnittliche Anzahl von Au-Tagen pro Mitarbeiter im direkten Bereich der untersuchten Fertigung rund 17 Au-Tage (vgl. Volkswagen AG, 2015e, S. 1). Davon waren laut der empirischen Datenerhebung durchschnittlich fünf Au-Tage pro Mitarbeiter arbeitsbedingt. Gerundet ergibt sich somit ein Anteil von 30 % arbeitsbedingter Au-Tage, welche in Verbindung mit einer erhöhten physischen Arbeitsbelastung in Verbindung stehen. Diese Feststellung ist identisch mit den 30 % von Großmann und Laun (2002, S. 997) sowie näherungsweise mit den 29 % von Brandenburg und Nieder (2009, S. 24) vergleichbar. Auch die etwas höhere Abweichung zum Anteil von 23 % MSE an Au-Tagen der gesetzlichen Krankenkassenuntersuchung BMAS (2014, S. 263) lässt sich mit einer vermutlich höheren Arbeitsbelastung des Fahrzeugbaus im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen und indirekten Bereichen begründen. Obwohl den vorliegenden empirischen Ergebnissen aufgrund der genannten Einschränkungen keine vollständige Repräsentativität zugesprochen werden kann, so ist es dennoch denkbar, dass diese für nachfolgende Studien zur Deskription und Datenanalyse von großem Nutzen sind (vgl. Strauß, 1996, S. 19).

6.3.4 Diskussion der Ergebnisse im Kontext einer monetären Nutzenbetrachtung

Nachdem sich die vermuteten Wirkzusammenhänge von Ergonomie und Fehlzeiten in Teilen durch die vorangestellten Ausführungen mit eigenen Forschungsdaten bestätigen ließen, erfolgt im zweiten Schritt die Erarbeitung von Möglichkeiten zur Umrechnung des monetären Einsparpotentials. Wie in Tabelle 15 (S. 107) dargestellt, entstehen durch Au-Tage Kosten in Form von Gehaltsfortzahlungen oder Mehrarbeit geliehener Mitarbeiter. Diese Kosten werden generell vom Personalwesen ermittelt und häufig auch in Form eines festen Kostensatzes für Au-Tage angenommen. In der Studie von Chodora (2011, S. 116) beispielsweise findet sich ein fester Satz von 200 € pro Au-Tag, während bei Baicker, Cutler und Song (2010, S. 6) der mittlere Lohnstundensatz von 20,49 \$/h mit den Arbeitsstunden multipliziert einen Kostensatz von 164 \$ pro Au-

Tag ergibt (entspricht 180 € pro Au-Tag, Wechselkurs 1:1,1). Neubert (2013, S. 61) verweist auf eine Studie von Bridger, welcher den 3,5-fachen Lohnstundensatz als Kosten für einen Au-Tag formuliert. In Abstimmung mit dem verantwortlichen Personalwesen erschien es auf Basis der variablen Einflüsse als plausibel, mit dem einfachen Lohnkostensatz des indirekten Bereiches einen konservativeren Ansatz zu wählen. Für die nachfolgenden Kalkulationen ergibt sich somit als erste Prämisse die Bestimmung des Kostensatzes für einen Arbeitsunfähigkeitstag (K_{Au})(Formel 6):

$$(6) \quad K_{Au} = \frac{\text{Leistungslohn p. a.}}{\text{Arbeitstage p. a.}} = \frac{60.000 \text{ €}}{220} \approx 273 \text{ €}$$

Aufgrund der Auswahl des Teams als Aggregationsebene in der empirischen Studie müssen sich die weiterführenden Berechnungen ebenfalls auf dieses beziehen. Obwohl die lineare Regressionsgleichung in Abbildung 45 (S. 112) nur eine schwache Näherung an die gefundene Ergebnisstreuung darstellt, lässt sie sich aufgrund ihres geringen Anstieges dennoch als weitere konservative Bedingung heranziehen. Auf Basis dieser Gleichung ergibt sich zwischen der Anzahl der Au-Tage und Punktzahl der Belastungsbewertung folgender Zusammenhang:

$$\Delta \left(\frac{\emptyset 1 \text{ Au-Tag}}{\frac{\text{Mitarbeiter}}{\text{Team}}} \right) \cong \Delta \left(\frac{\emptyset 15 \text{ Belastungspunkte}}{\frac{\text{Arbeitsplatz}}{\text{Team}}} \right)$$

Dieser Zusammenhang bezieht sich auf die durch das Studiendesign ermittelten Durchschnittswerte. Zur Umrechnung in absolute Kostenzahlen und Belastungspunkte wird die in diesem Fertigungsbereich durchschnittliche Anzahl von Mitarbeitern und Arbeitsplätzen pro Team eingesetzt:

$$\Delta \left(\frac{1 \text{ Au-Tag} * \emptyset 40 \text{ Mitarbeiter}}{\text{Mitarbeiter}} \right) \cong \Delta \left(\frac{\emptyset 15 \text{ Belastungspunkte} * \emptyset 10 \text{ Arbeitsplätze}}{\text{Arbeitsplatz}} \right)$$

$$\Delta 40 \text{ Au-Tage} \cong \Delta 150 \text{ Belastungspunkte}$$

An dieser Stelle lässt sich abschließend der Kostensatz für Au-Tage anwenden und die Kostenkalkulation für die Reduzierung um einen Belastungspunkt als finales Ergebnis errechnen:

$$40 \text{ Au-Tage} = 40 * K_{Au}(273 \text{ € p. a.}) = 10.920 \text{ € p. a.}$$

$$\Delta 1 \text{ Belastungspunkt} = \frac{10.920 \text{ € p. a.}}{150} = 73 \text{ € p. a.}$$

Das Ergebnis der Kostenkalkulation und somit des monetären Nutzenpotentials für präventive Ergonomiemaßnahmen beträgt bei der Belastungsreduzierung eines Arbeitsplatzes oder Bauteils um einen Punkt etwa 73 € pro Jahr. Die Betrachtung im Gesamtkontext der Aufwand-Nutzen-Analyse über die Vielzahl der Maßnahmen und den Bedingungen der frühen Phase folgt im Abschluss des Kapitels. An dieser Stelle soll kurz anhand eines praxisnahen Beispiels die Verwendung und Auswirkung dieser neuen Kennzahl verdeutlicht werden. Abbildung 46 zeigt als Maßnahme zur Reduzierung der Fingerkräfte den Einsatz einer elektrisch betriebenen Schellenzange. Dadurch ergibt sich am Arbeitsplatz der Kühlwasserverschlauchung ein Einsparpotential von zirka 20 Belastungspunkten (BP).

	Vorher: Einsatz manuelle Schellenzange	Nachher: Einsatz elektrische Schellenzange
		
Notwendige Fingerkraft:	<ul style="list-style-type: none"> • je nach Schelle 105 N - 227 N 	<ul style="list-style-type: none"> • < 15 N
Arbeitsplatzbewertung:	<ul style="list-style-type: none"> • 46 EAWS-Pkt. 	<ul style="list-style-type: none"> • 26 EAWS-Pkt.

Abbildung 46: Darstellung der Belastungsreduzierung mit Hilfe des Einsatzes einer elektrischen Schellenzange (linkes Bild: Volkswagen AG, 2014d; rechtes Bild: Kaschytza, 2016)

Die Investitionshöhe zur Beschaffung dieser Schellenzange beträgt rund 1.200 €. Mit Hilfe der Annahme einer Au-Tage-Einsparung von 73 € pro reduzierten BP lässt sich für die Reduzierung von 20 BP am vorliegenden Beispiel eine Kostenersparnis von 1.460 € berechnen (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Rentabilitätsberechnung durch Anwendung des Ergonomie-Faktors am Beispiel der Schellenzange

Nutzen		Aufwand	Ergebnis		
Ergonomieverbesserung	Nutzenfaktor	Nutzenberechnung für 1 Jahr	Kosten der Maßnahmen	Rentabilität (ROI)**	Einsparpotential
Δ 20 BP*	Δ 1 BP* ≅ 73 €	Δ 20 BP* ≅ 1.460 €	1.200 €	121 %	260 €
		Nutzenberechnung für 7 Jahre			
		Δ 20 BP* ≅ 10.220 €	1.200 €	852 %	9.020 €

*BP = Belastungspunkte eines Arbeitsplatzes oder Bauteils (ermittelt mit EAWS oder EPI)
 **Berechnung der Rentabilität nach Formel 5

Im Hinblick auf die Aufwand-Nutzen-Betrachtung dieser Maßnahme ließe sich somit eine Rentabilität von 121 % für den Entscheidungsprozess vorweisen. Noch deutlicher steigt die Effizienz der Maßnahme, wenn der für einen Fahrzeuglebenszyklus typischerweise angenommene Betrachtungszeitraum von sieben Jahren herangezogen wird. In Summe steigt das Einsparpotential abzüglich der Investitionskosten nach sieben Jahren auf 9.020 €.

“Wait a minute, did you say you have more than a dozen well-designed studies that show an ROI of 3:1? I have a lot less evidence than that when I have to make billion-dollar investment decisions on new products!” (Greenwald aus O’Donnell, 2012, S. 12)

Dieses Zitat des damaligen Vize-Vorstands der Chrysler Corporation greift in einer deutlichen Art die zu Beginn des Kapitels gestellte Forderung auf, dass trotz methodischer Restriktionen und Annahmen eine wissens- oder kennzahlenbasierte Entscheidungshilfe für unternehmerische Tätigkeiten einen maßgeblichen Vorteil darstellt. Besonders aufgrund des Fehlens von Studien zur Wirksamkeit arbeitsgestalterischer Maßnahmen lassen sich der hier vorgestellte Ansatz und die aus der Empirie gewonnen Erkenntnisse als neue und bessere Näherungen an die realen Wirkzusammenhänge begreifen. Vor diesem anwendungsorientierten Forschungsansatz zur quantifizierten Kennzahlenbildung soll auch die Untersuchung des Zusammenhanges von Qualität und Ergonomie im nachfolgenden Kapitel erfolgen.

6.4 Fehler- und Nacharbeitsanalyse zur monetären Nutzenbestimmung präventiver Ergonomiemaßnahmen

6.4.1 Ergonomie als ein Einflussfaktor auf die Produktionsqualität

Bereits in Kapitel 2.2 wurde auf die Bedeutung des offensichtlichen Einsparpotentials durch Fehlerreduzierung in ganzheitlichen Produktionssystemen eingegangen. Für die Höhe der entstehenden Kosten sind der Zeitpunkt der Fehlerentdeckung sowie die Anzahl der auftretenden Fehler bedeutsam. Zur Reduzierung und frühzeitigen Entdeckung von Fehlern während des gesamten Produktentstehungsprozesses haben sich zum einen präventive Verfahren wie z. B. die *FMEA* oder *Poka Yoke* (methodische Fehlervermeidung) etabliert (vgl. Korge und Lentes, 2009, S. 571). Zum anderen entstanden, von Toyota erfolgreich vorgelebte, *quality circles* (Qualitäts-Zirkel) und kontinuierliche Verbesserungskonzepte. Dabei werden allen Mitarbeitern eines Fertigungsteams die Aufgaben und Verantwortungen übertragen, während der laufenden Produktion korrektive Fehlerbeseitigung durchzuführen (vgl. Womack, Jones und Roos, 1990, S. 56 ff.). Allen Maßnahmen gemein sind dabei das Identifizieren und nachfolgende Abstellen der Fehlerursachen. Aufgrund des in dieser Forschungsarbeit auf den manuellen Montageprozessen

liegenden Fokus besteht primär das Interesse an der Frage, wie groß der Einfluss ergonomischer Arbeitsgestaltung als technische Komponente auf die arbeitsausführende Humankomponente in Wirklichkeit ist. Die Literaturrecherche bestätigt die Vermutung, dass sich aufgrund der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit bereits viele Studien mit der Untersuchung dieses Zusammenhanges befasst haben. Ein großer Teil dieser beschäftigte sich mit Einflussfaktoren der Arbeitsumgebung wie z. B. Temperatur, Vibrationen, Lärm und Beleuchtung. Da diese Faktoren jedoch nicht bauteil- und arbeitsprozessspezifisch sind, soll an dieser Stelle lediglich auf die detaillierten Ausführungen von Eklund (1999, S. 145 ff.) verwiesen werden. Studien von Womack, Jones und Roos (1990), Lin, Drury und Kim, (2001) sowie von Büttner (2015), die arbeitsorganisatorische Gegebenheiten wie z. B. Arbeitsumfang, Zykluszeit, Auslastung und daraus resultierende Auswirkungen des psychischen Stresses auf Fehlerhäufigkeiten untersuchten, eignen sich aus diesem Grund ebenfalls nicht für eine vertiefende Berücksichtigung.

In der Zusammenhangsbetrachtung von physischen Belastungen und der sich daraus ergebenden Fehleranzahl in der Produktion findet Eklund (1995, S. 17) ein 2,95-fach höheres Risiko der Fehlerentstehung von ergonomisch belastenden zu ergonomisch günstigen Arbeitsstationen. Ähnlich signifikante Aussagen zwischen guter und schlechter Arbeitsgestaltung sind bei Falck, Örtengren und Högberg (2002, S. 5) mit 5,2-fach höherer Fehleranzahl, bei González, Adenso-Díaz und González Torre (2003, S. 38) mit rund zweifach höherer Fehleranzahl sowie bei Almgren und Schaurig (2012, S. 43) mit rund 2,6 Mal so viel Fehlern zu finden. Die vorgefundenen Studien waren dabei so gestaltet, dass lediglich eine ex-post Prüfung auf das Vorhandensein eines Zusammenhanges zwischen guter und schlechter Arbeitsgestaltung durchgeführt wurde. Trotz der bestätigten Signifikanz in den Ergebnissen fehlt in diesen Studien die Betrachtung einer möglichen Korrelation beider Parameter. Es lässt sich vermuten, dass mit keiner der Studien ein mit dieser Dissertation vergleichbares Ziel verfolgt wurde, durch Korrelationsanalysen auch eine Prognose für zukünftige Fehlerreduzierungen treffen zu können. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll nachfolgend mit der gleichen Vorgehensweise wie am Beispiel der arbeitsbedingten Au-Tage, eine kennzahlenbasierte Nutzenbetrachtung für arbeitsbedingte Fehler erfolgen.

6.4.2 Vorgehensweise und Studienaufbau

Als Voraussetzung für die Zusammenhangsuntersuchung mit Hilfe einer Korrelations- und Regressionsanalyse muss im ersten Schritt eine aussagekräftige Datenbasis gefunden werden. Zur Bewertung der physischen Belastungssituation empfiehlt es sich dabei, in Anlehnung an die vorangegangenen Studien auf die Bauteil- (EPI) oder Arbeitsplatzebene (EAWS) zurückzugreifen. Dies bringt den Vorteil, die Ergebnisse und Verbesserungsmaßnahmen auf einer Betrachtungsebene zu verbinden und den hohen Aufwand für Neubewertungen zu vermeiden. Schwieriger

gestaltet sich dagegen die Situation zur Informationsbeschaffung über arbeitsbedingte Produktionsfehler. Wie zuvor erwähnt, können in der Automobilproduktion Fehler bereits in den ersten Qualitätsregelkreisen (QRK) auf Teamebene während der laufenden Produktion entdeckt, dokumentiert und behoben werden. Dennoch tritt der Fall ein, dass Fehler unentdeckt bleiben oder nicht im laufenden Betrieb behebbar sind. Mögliche Ursachen sind z. B. das Fehlen des benötigten Bauteils, defekte Bauteile oder eine nicht erfolgte Anlieferung. Da ein lang andauernder Produktionsstopp durch Warten auf das richtige Bauteil deutlich höhere Kosten erzeugt, erfolgt die Behebung dieser Fehler erst im Anschluss der Produktionskette in einem Nacharbeitsbereich. Die Summe dieser in der Produktion verursachten oder festgestellten Fehler lassen sich im Beispielunternehmen der Volkswagen AG in einem elektronischen System namens *FIS-eQS* (Fertigungs-, Informations- und Steuerungssystem der elektronischen Qualitätssicherung) systematisch erfassen. Fehler, die erst beim Kunden im sogenannten „Feld“ auftreten oder durch zufällige Fahrzeugprüfungen (Audits) der Qualitätssicherung entdeckt werden, fallen nicht in die systematische Erfassung des *FIS-eQS*. Obwohl die Behebung dieser Fehler mit erheblich höherem Aufwand und somit auch Kosten verbunden ist, lässt sich dieser hohe manuelle Nachverfolgungsaufwand nicht in einer akzeptablen Zeit für eine statistische Datenanalyse realisieren.

Nachdem im ersten Schritt die Eingrenzung der Eingangsdaten erfolgt ist, sind im zweiten Schritt die aus dem System *FIS-eQS* gewonnenen Daten qualitativ auf eine mögliche Zusammenhangswirkung mit der vorliegenden Einbausituation zu prüfen. Das bedeutet in einer Voruntersuchung die als „Wochenübersicht“ gespeicherten Fehlerberichte nach jeder möglichen Art der Fehlerbezeichnungen zu analysieren. Jeder Fehler lässt sich dabei eindeutig einem Fehlerort, in Form der Bezeichnung des jeweiligen Bauteiles, zuordnen. In Summe liegen dadurch rund 700 individuelle bauteilbezogene Fehlerorte vor. Zusätzlich zum Fehlerort erfolgt eine Beschreibung der Art des dokumentierten Fehlers. In Tabelle 18 ist beispielhaft ein Teil dieser Fehlerberichte dargestellt, welcher eine Auswahl von Fehlerbezeichnungen enthält. Ein einziger, vollständiger Wochenbericht enthält in Summe rund 2600 dieser dokumentierten Fehlerzeilen.

Tabelle 18: Exemplarischer Fehlerbericht mit Fehlerbezeichnung, Zuordnung und Anzahl

Montagelinie Team 8	Kalenderwoche 10					
Fehlerort & Fehlerart	03.03.	04.03.	05.03.	06.03.	07.03.	Anzahl
Stoßfänger Spaltmaß fehlerhaft	25	27	23	24	26	125
Radhausschale lose	6	3	7	7	2	25
Radhausschale Clip/Klammer fehlt	1	1	0	3	0	5
Radhausschale fehlerhaft verbaut	0	2	0	1	0	3
Bodenbelag falsch	0	0	1	0	0	1

Fehler mit der Bezeichnung „Spaltmaß fehlerhaft“, „Spiel/Passung fehlerhaft“ oder „Kratzer“ ließen sich aufgrund der hohen Qualitätsansprüche als häufigste Fehlerarten in der Auswertung vorfinden. Für eine quantitative Auswertung müssen die Ursachen der Fehler ebenfalls plausibel mit einer physischen Überbelastung in Relation stehen. An dieser Stelle zeigt sich jedoch die größte methodische Herausforderung, aufgrund einer subjektiven Selektion zu entscheiden, welche Fehler in die Auswertung zu integrieren und welche auszuschließen sind. In den oben aufgeführten Studien wird die Auswahl der Fehlerkriterien nur teilweise, in kurzer Form oder überhaupt nicht thematisiert. So müssen Fehler für Almgren und Schaurig (2012, S. 28) lediglich verfolgbar sein und dürfen nicht, wie Oberflächenkratzer, irgendwo an der Montagelinie entstanden sein. Über diese pauschale Aussage hinaus führt lediglich Neubert (2013, S. 47) eine beispielhafte Auflistung möglicher Zusammenhänge von Überkopfarbeit zu losen Clipsen oder stark gebeugter Körperhaltung zu falsch verlegten Kabeln aus.

Infolge der Prämisse, unter Berücksichtigung ergonomischer Bewertungen eine Fehlerprognose für zukünftige Produkt- und Prozessentwicklungen zu erstellen, erscheint es als notwendig, eine methodisch strengere Kriterienauswahl zu treffen. Dafür wurden die den Bauteilen zugehörigen Fehlermöglichkeiten mit Mitarbeitern aus der Fertigung und Qualitätsregelkreisen besprochen sowie die Ursachen diskutiert. Dokumentationen über falsche Spaltmaße, Passungsprobleme, Kratzer oder fehlende Bauteile waren nicht als Fehler aufgrund von Belastungen zurückzuführen. Am Ende bestand in abgestimmter Meinung lediglich die Möglichkeit, Fehler mit der Bezeichnung „fehlerhaft verbaut“ zwischen allen Bauteilen und Arbeitsplätzen als vergleichbares Kriterium heranzuziehen. Obwohl diese Entscheidung eine drastische Reduzierung der gesamten Fehleranzahl um etwa den Faktor 65 nach sich zieht, erscheint diese dennoch als methodisch notwendig. Aufgrund der bauteilbezogenen Fehlerbezeichnung erfolgte eine Untersuchung von 39 Bauteilen mit jeweils unterschiedlichen ergonomischen Belastungshöhen. Von der niedrigsten EPI-Belastung des Batterieeinbaus mit 3 Punkten bis zur höchsten Belastung der Leitungssatzverlegung im Innenraum mit über 200 Punkten ist die Auswahl der Bauteile verteilt. Um eine möglichst repräsentative Stichprobengröße zu erhalten, umfasste der Betrachtungszeitraum ein Jahr. Mit dem Ziel der Vergleichbarkeit erfolgte die Analyse ebenfalls ex-post auf das Jahr 2014 sowie auf die gesamte Montagelinie der VW Touran Fertigung bezogen.

6.4.3 Auswertung und Ergebnisdiskussion

Die Zusammenführung der Fehlersummen zeigte bereits vor der statistischen Auswertung in Form einer Korrelations- und Regressionsanalyse hohe nicht durch Belastungsänderungen erklärbare Streuungen. Am Beispiel der zehn Bauteile im Belastungsbereich zwischen 30 und 50 EPI-Punkten wird die hohe Varianz der Fehlersummen deutlich (Tabelle 19, S. 121).

Tabelle 19: Ergebnisdarstellung der belastungsbezogenen Fehlerauswertung

Bauteil	EPI-Belastungswert [Pkt.]	Anzahl Fehler/ Jahr [n]
Kreuzgelenk	30	0
Handschuhkasten	30	0
Dachantenne	30	267
Wasserablaufschlauch	34	90
Verkleidung A-Säule	36	142
Verkleidung B-Säule	38	21
Radhausschale	44	558
Kühlwasserschlauch links	44	18
Bremsdruckleitungen Motorraum	46	14
ZSB Gas- /Bremspedal	49	0

Insgesamt ergab sich in der Fehlerauswertung eine Standardabweichung von $\sigma \approx 163$ Fehler/Jahr bei lediglich einem Mittelwert von $\mu \approx 104$ Fehler/Jahr.

Durch eine erneute Diskussion der ersten Ergebnisse mit den Fachbereichen stellte sich heraus, dass auch für diese Abweichungen die Ursachen nicht in der physischen Belastung zu finden waren. Für die Bauteile, die im Jahr 2014 nicht ein einziges Mal als „fehlerhaft verbaut“ vorgefunden wurden (insgesamt 10 von 39), ließen sich folgende Hauptgründe identifizieren:

- Sicherheitsrelevantes Bauteil, gekoppelt mit EC-Verschraubung (Kreuzgelenk & ZSB Gas-/Bremspedal)
- Einfaches und funktionales Montageprinzip (Handschuhkasten)

Obwohl der Verbau der sicherheitsrelevanten Bauteile in ungünstiger Körperhaltung mit starker Beugung durchzuführen ist, nimmt der größte Arbeitsumfang die EC-Verschraubung (electronic-control) ein. Die EC-Verschraubung wird zur Dokumentationspflicht an allen sicherheitsrelevanten Bauteilen eingesetzt und überwacht dabei die Drehmomentkurve sowie die Anzahl unvollständiger Schraubvorgänge. Lassen sich diese Verschraubungen aufgrund von beschädigten Gewinden, falschen Schrauben oder ähnlichen Gründen nicht in den dafür vorgesehenen Stationen abarbeiten, löst sich an dem Abschnitt der Montagelinie ein Bandstopp aus. Eine Aufnahme der 10 fehlerhaften Schraubvorgänge im FIS-eQS sowie deren anschließende Berücksichtigung in der Auswertung war unter diesen Bedingungen nicht möglich.

Am Beispiel des Handschuhkastens oder Bodenbelages zeigte sich, dass die individuelle Komplexität der jeweiligen Montageprozesse nicht im direkten Bezug zur physischen Arbeitsplatzbelastung stehen muss. Eklund (1995, S. 19) bestätigt diese Erkenntnis, dass beispielsweise das Heben von schweren Reifen, Sitzen oder hier dem Bodenbelag in keinem Fall einen falschen Verbau oder eine fehlerhafte Komponente hervorruft. Im Gegensatz dazu stellt sich bei Bauteilen wie

z. B. der Radhausschale, Dachantenne oder dem Formhimmel heraus, dass ein wesentlich höherer Komplexitätsgrad und Umfang von Teiltätigkeiten (heften, stecken und verclipsen) vorliegt. Diese kognitiv anspruchsvolleren Herausforderungen kombiniert mit dem durch Mehrumfänge entstehenden Zeitdruck, stellen weitere erklärbare Gründe für die bis zu zehn Mal höheren Fehlerraten bei diesen Bauteilen dar (vgl. Falck, Örtengren und Högberg, 2002, S. 6).

Infolge dieser neuen Auffälligkeiten und Herausforderungen kann durch die anfangs geforderte methodische Strenge eine Vielzahl von Bauteilen nicht in die Auswertung integriert werden. Zusammenfassend ergibt sich die Erkenntnis, dass jeder „fehlerhafte Verbau“ besser aufgrund individueller Charakteristika als aufgrund physischer Belastungszusammenhänge erklärbar ist. Durch die Vorwegnahme der Ergebnisse und zur Wahrung der Übersichtlichkeit wurde auf das Aufstellen und statistische Überprüfen der Zusammenhangshypothesen in diesem Kapitel verzichtet. Unstrittig bleibt an dieser Stelle ebenfalls, dass die in der Literatur vorliegenden Studien die vermutete Abhängigkeit von Fehleranzahl und arbeitsbedingten Faktoren bestätigen konnten. In ihrem zusammenfassenden Aufbau haben sie dabei jedoch nicht nach physischen, psychischen oder anderen Ursachen explizit differenziert. Mit den in dieser Arbeit festgestellten Erkenntnissen und Schwierigkeiten der notwendigen Differenzierung besteht jedoch keine hinreichende Grundlage anhand dieses Zusammenhanges eine monetäre Nutzenprognose für Ergonomiemaßnahmen in der frühen Phase des PEP zu treffen.

6.5 Zusammenfassende Bewertung präventiver Ergonomiemaßnahmen in der frühen Phase des PEP

6.5.1 Einzelfallbezogene Maßnahmenbewertung zur Entscheidungsunterstützung

In den vorangestellten Kapiteln wurden Maßnahmen zur ergonomischen Optimierung beschrieben sowie die Möglichkeiten einer Aufwand-Nutzen-Betrachtung monetärer und nicht-monetärer Einflussgrößen näher erläutert. Maßnahmenbewertungen, die bisher nur auf qualitativen Ergonomie-Abschätzungen beruhten, sollen durch die Verwendung der erarbeiteten quantitativen Kenngrößen bereits in der frühen Phase der Produktentwicklung objektive Entscheidungsgrundlagen bilden. Es ließ sich zeigen, dass produkt-, prozess- oder organisationsbezogene Maßnahmen sich aufgrund der technischen Voraussetzungen in ihrer Komplexität stark unterscheiden (siehe Abbildung 41, S. 100). Aus diesem Grund ist eine ziel- und informationsbezogene Bewertung einer standardisierten Vorgehensweise vorzuziehen. Die Vorteile dieses einzelfallbezogenen Ansatzes sollen nachfolgend durch Beispiele aus dem Produktentstehungsprozess der Volkswagen AG näher erläutert werden.

Betrachtungsbeispiel 1: Entsteht aufgrund der zu bewertenden Maßnahme eine Verbesserung der Ergonomie?

In der Praxis zeigt sich häufig der Wunsch von Mitarbeitern der Fertigung und Produktionsplanung, eine Maßnahme, deren Entscheidungslage in der Entwicklung aufgrund wirtschaftlicher sowie anderer Faktoren nicht eindeutig darstellbar ist, mit der Vermutung einer möglichen Ergonomie-Verbesserung dennoch rechtfertigen zu können. Speziell Produktveränderungen erfolgen nicht immer in großem Umfang, sodass teilweise nur eine kleine Verlagerung des Verbauortes oder die Anzahl der Fügstellen in einem Nachfolgeprojekt zur Diskussion stehen. Aufgrund dieser Unsicherheiten in der Frage über die genaue ergonomische Veränderung entsteht aus unternehmerischer Sicht die Notwendigkeit, eine quantifizierte Darstellung vorzunehmen. Für diesen Zweck empfiehlt es sich zwei Maßnahmen exemplarisch auszuwählen und zu bewerten, um anschließend anhand der Ergebnisse zu zeigen, wie eine Argumentation aus Sicht der Ergonomie in diesen Fällen erfolgen sollte. Als erste Maßnahme dient ein für die Plattform des Modularen Querbaukastens (MQB) formulierter Vorschlag, eine Montageortverlagerung des „Motorsteuergerätes“ (MSG) im vorderen Fahrzeugbereich vorzunehmen. Wie in Abbildung 47 zu erkennen, befindet sich das Steuergerät in der Ausgangssituation zentral vor der Stirnwand unterhalb der Frontscheibe. Durch die geöffnete Frontklappe nimmt der Mitarbeiter während der Montage eine gebeugte und verdrehte Zwangshaltung ein.

	Vorher: Lage des Motorsteuergerätes zentral unter der Frontscheibe	Maßnahme: Lage des Motorsteuergerätes am Längsträger rechts
Bewertungsrelevante Parameter:	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x 35 N Ganzkörperkraft • Gebeugte und verdrehte Körperhaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x 35 N Ganzkörperkraft • Aufrechte Körperhaltung
EHPV:	• 8 s	• 8 s
EPI:	• 18 Pkt.	• 4 Pkt.
Risikoeinstufung:		

Abbildung 47: Maßnahme zur Belastungsreduzierung durch Veränderung der Lage des Motorsteuergerätes (linkes Bild: Volkswagen AG, 2016b)

Die zu diskutierende Maßnahme sieht für alle Fahrzeuge des MQB eine veränderte Positionierung des MSG an den vorderen Teil des Längsträgers vor (siehe rechtes Bild in Abbildung 47). Infolge dieser Verlagerung montiert der Mitarbeiter das MSG in einer aufrechten Körperhaltung vor dem Fahrzeug. Die für die Maßnahme anhand der gleichbleibenden Verbauzeit und ergonomischen Bewertungsparameter ermittelte Belastung reduziert sich dabei deutlich von 18 auf 4 Punkte. Auch die Veränderung von einem roten, kritischen Bauteil zu einem grünen, unkritischen Bauteil in der Risikoeinstufung unterstützt dieses Bewertungsergebnis und somit die Entscheidung diese Maßnahme quantitativ als ergonomische Verbesserung einzustufen.

Weniger eindeutig stellt sich dagegen die Bewertungssituation im zweiten Beispiel der „Verkleidung A-Säule“ dar. Im Vergleich zur vorhergehenden Maßnahme wird die Veränderung des Befestigungskonzeptes primär aus Gründen der Fertigungszeitreduzierung angestrebt. Durch den Einsatz des geänderten Konzeptes, von drei Klammern und einer Schraube auf vier Klammern zu wechseln, entfällt das Handhaben eines Akku-Schraubers sowie das Bereitstellen der Schrauben (siehe Abbildung 48). Da die Verschraubung in der Ausgangssituation in einer nach innen gebeugten und verdrehten Zwangshaltung erfolgen musste, bestand die Vermutung, durch den Entfall dieser Verschraubung ebenfalls eine Ergonomieverbesserung ausweisen zu können.

	Vorher: Verkleidung A-Säule mit einer Verschraubung & 3 Klammern	Maßnahme: Verkleidung A-Säule mit 4 Klammern
Bewertungsrelevante Parameter:	<ul style="list-style-type: none"> 3 x 50 N Ganzkörperkraft Gebeugte & verdrehte KH Arme über Schulter 	<ul style="list-style-type: none"> 4 x 70 N Ganzkörperkraft Arme über Schulter
EHPV:	<ul style="list-style-type: none"> 22 s 	<ul style="list-style-type: none"> 17 s
EPI:	<ul style="list-style-type: none"> 39 Pkt. 	<ul style="list-style-type: none"> 41 Pkt.
Risikoeinstufung:		

Abbildung 48: Vorschlag zur Belastungsreduzierung durch den Einsatz von Klammern und Entfall von Verschraubungen (linkes Bild und rechts Bild: Volkswagen AG, 2016b)

Mit einer durch die EPI-Bewertung ermöglichten detaillierten Betrachtung des neuen Montageprozesses zeigte sich, dass durch die Erhöhung der Klammeranzahl sowie der Fügekraft sogar das umgekehrte Ergebnis eingetreten ist. Die Belastung erhöhte sich dabei von 39 auf 41 Punkte und ist somit aus ergonomischer Sicht als geringfügig schlechter zu bewerten. Beide vorgestellten Maßnahmen wurden bereits in der frühen Entwicklungsphase und nicht ausschließlich mit dem Ziel einer Ergonomie-Verbesserung diskutiert. Dadurch war der Aufwand zur Änderung noch sehr gering sowie bereits im Projekt eingeplant. Aus diesem Grund bestand in den Maßnahmenbewertungen auch kein Bedarf, eine umfangreiche monetäre Aufwand-Nutzen-Betrachtung aus Sicht der Ergonomie durchzuführen. Die quantifizierten Aussagen und Empfehlungen beantworteten dabei mit geringem Aufwand die zu den Bauteiländerungen gestellten Fragestellungen der ergonomischen Auswirkung. Neben diesen einfachen Bewertungsaufgaben treten entlang des Produktentstehungsprozesses häufig auch unterschiedliche Ergonomiemaßnahmen zur Reduzierung der gleichen Belastungsursache auf. Darüber hinaus beziehen sich diese sowohl auf Fahrzeuge in der Produktentwicklung als auch auf Fahrzeuge in der laufenden Produktion. Bei mehreren möglichen Lösungsvarianten, welche zudem unterschiedlich hohe Kosten verursachen, besteht aus unternehmerischer Sicht die Notwendigkeit, eine detailliertere Aufwand-Nutzen-Betrachtung durchzuführen.

Betrachtungsbeispiel 2: Welche Verbesserungsmaßnahme ist einer anderen bei identischer Belastungsursache vorzuziehen?

Diese Frage nach dem optimalen Verbauprozess ist von besonderem Interesse, wenn sowohl kostengünstige manuelle Montagelösungen sowie aufwändige produkt- oder prozessbezogene Varianten für eine Montage in Frage kommen. Am bereits bekannten Beispiel der Schellenmontage für die Motorverschlauchung lassen sich zum besseren Verständnis diese drei Varianten vergleichen. In Abbildung 49 (S. 126) ist neben der ergonomisch ungünstigsten manuellen Montage sowie der ergonomisch optimalen Handhabung mit einer elektrischen Schellenzange auch die produktbezogene Möglichkeit des Einsatzes von geklebten und vorgespannten Schellen dargestellt. Für diese Variante werden die jeweiligen Schläuche an einem Ende bereits mit vorgespannten Schellen beklebt, sodass nach dem Fügen der beiden Schläuche in der Endmontage, der Mitarbeiter lediglich eine Kraft für das Entspannen der Schellen aufbringen muss. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Motorenvarianten variiert auch die abhängige Anzahl an benötigten Schellen pro Fahrzeug. Aus diesem Grund war es in dem vorliegenden Beispiel praktikabel, eine mittlere Schellenanzahl von fünf und somit auch eine durchschnittliche Fingerkraft Häufigkeit anzunehmen.

	vorher: Einsatz manueller Schellenzange	Variante 1: Einsatz geklebter und vorgespannter Schellen	Variante 2: Einsatz elektrische Schellenzange
			
Bewertungsrelevante Parameter:	<ul style="list-style-type: none"> • Ø 10 x 150 N Fingerkraft • Aufrechte Körperhaltung • Reichweite 	<ul style="list-style-type: none"> • Ø 5 x 100 N Fingerkraft • Aufrechte Körperhaltung • Reichweite 	<ul style="list-style-type: none"> • Ø 10 x <15 N Fingerkraft • Aufrechte Körperhaltung • Reichweite
EHPV:	• 9,3 s (Σ = 46,5 s)	• 5,1 s (Σ = 25,5 s)	• 7,2 s (Σ = 36 s)
EPI:	• 68 Pkt.	• 30 Pkt.	• 7 Pkt.
Risiko-einstufung:			

Abbildung 49: Maßnahmen zur Belastungsreduzierung während der Federbandschellenmontage (Bild links und in der Mitte: Volkswagen AG, 2014d; rechtes Bild: Volkswagen AG, 2016b)

Wie dabei zu erkennen ist, sind für die Montage mit einer Zange dafür jeweils fünf Spann- und fünf Entspann-Vorgänge durchzuführen. Da die vorgespannten Schellen lediglich ein fünfmaliges Entspannen benötigen, ergibt sich für diese zweite Variante auch die kürzeste Montagezeit pro Schelle (5,1 s).

Neben den vorgestellten Bewertungsaspekten einer ergonomischen Betrachtung ist im zweiten Schritt die Berücksichtigung der monetären Aufwand-Nutzen-Aspekte notwendig. Die in Planungsworkshops am Praxisbeispiel der Volkswagen AG zusammengefassten Erkenntnisse über Kosten und Nutzen der oben beschriebenen Maßnahmen sind eine Momentabbildung des damaligen Ist-Standes und beruhen zum Teil auf Kostenschätzungen der Entwicklung, Beschaffung und Produktionsplanung. Eine Zusammenfassung dieser Eingangsinformationen folgt als ganzheitliche Aufwand-Nutzen-Betrachtung mit den zugehörigen ergonomischen Bewertungsergebnissen in Tabelle 20 (S. 127). Neben der Berechnung des indirekten monetären Nutzens aufgrund der Annahme reduzierter Au-Tage wird in der frühen Phase ebenfalls die Reduzierung der Fertigungszeit (F-Zeit) und somit der Fertigungspersonalkosten (FPK) als weiteres Einsparpotential berücksichtigt. Wie in der Berechnungsübersicht zu erkennen ist, entsteht durch die Fertigungszeitreduzierung für beide Maßnahmen das größte Einsparpotential. Insgesamt ergibt sich somit für Variante 1 der vorgespannten Schellen auf sieben Jahre Projektlaufzeit betrachtet eine indirekte Kostenersparnis von 809.018 €. Das Einsparpotential summiert sich bei Variante 2 trotz der höheren Belastungsreduzierung bei einer zugleich geringeren F-Zeitreduzierung auf 489.346 €.

Tabelle 20: Aufwand-Nutzen-Betrachtung der Ergonomiemaßnahmen zur Belastungsreduzierung am Beispiel der Schellenmontage

Aufwand-Nutzen-Betrachtung Variante 1				
Indirekter Nutzen		Nutzenkalkulation	Summe	
Ergonomie	Δ Belastungspunkte	Einsparung durch Reduzierung Au-Tage	∑ (1 Jahr)	∑ (7 Jahre)
	-38 BPkt.	Kostensatz: Δ 1 BPkt. = 73 € p. Jahr Einsparung = -38 BPkt. x 73 € p. Jahr	-2.774 €	-19.418 €
Fertigungszeit (F-Zeit*)	Δ EHPV (Δ F-Zeit)	Einsparung durch Reduzierung F-Zeit		
	-21 s (-37,8 s)	Kostensatz: Δ 1 min F-Zeit = 1 € p. Fzg.** Einsparung = $\frac{-37,8 s}{60 s} \times 1 \text{ € p. Fzg.}$ Hochrechnung auf 1 Jahr: ∑ = -0,63 x 235.000 Fzg. p. Jahr	-148.050 €	-1.036.350 €
Kosten		Kostenkalkulation	Summe	
Materialkosten	Δ MEK p. Schelle	Hochrechnung der Materialkosten		
	0,03 €	∑ p. Fzg. = MEK p. Schelle x 5 = 0,15 € ∑ p. Jahr = 0,15 € x 235.000 Fzg. p. Jahr	35.250 €	246.750 €
Ergebnis	Ergonomische Risikoeinstufung			
	Einsparpotential [€]		-115.574 €	-809.018 €
	Rentabilität (ROI) [%]		428 %	
Aufwand-Nutzen-Betrachtung Variante 2				
Indirekter Nutzen		Nutzenkalkulation	Summe	
Ergonomie	Δ Belastungspunkte	Einsparung durch Reduzierung Au-Tage	∑ (1 Jahr)	∑ (7 Jahre)
	-61 BPkt.	Einsparung = -61 BPkt. x 73 € p. Jahr	-4.453 €	-31.171 €
Fertigungszeit (F-Zeit*)	Δ EHPV (Δ F-Zeit)	Einsparung durch Reduzierung F-Zeit		
	-10,5 s (-18,9 s)	Einsparung = $\frac{-18,9 s}{60 s} \times 1 \text{ € p. Fzg.}$ Hochrechnung auf 1 Jahr: ∑ = -0,315 x 235.000 Fzg. p. Jahr	-74.025 €	-518.175 €
Kosten		Kostenkalkulation	Summe	
Investitions-kosten	Investition p. Schellenzange	Investition von 5 elektr. Schellenzangen		
	1.200 €	∑ = 1.200 € x 5	60.000 €	
Ergebnis	Ergonomische Risikoeinstufung			
	Einsparpotential [€]		-18.478 €	-489.346 €
	Rentabilität (ROI) [%]		131 %	916 %

Anmerkung: Berechnung auf der Annahme von fünf betroffenen Schellen in der Motorverschlauchung
 * unternehmensinterne Umrechnungsformel von konstruktionsbedingter EHPV in Fertigungszeit (F-Zeit): F-Zeit = 1,8 x EHPV
 ** Berechnung pro Fahrzeug unter der Annahme von 235.000 produzierten Fahrzeugen pro Jahr

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass beide Maßnahmen eine deutliche Belastungsreduzierung bei gleichzeitiger positiver Aufwand-Nutzen-Bilanz im Vergleich zur Ausgangssituation erzeugen. Aus ergonomischer Sicht und wirtschaftlicher Effizienz betrachtet, gilt dabei die Empfehlung, Variante 2 mit dem Einsatz elektrischer Schellenzangen umzusetzen. Steht der unternehmerische Entscheidungsfokus jedoch auf einer Maximierung der Einsparungen, so ist Variante 1 aufgrund der kürzeren Fertigungszeit vorzuziehen.

Es bleibt an dieser Stelle noch einmal anzumerken, dass es sich bei diesen Kosteneinsparungen um indirekte Rückflüsse handelt, die nicht bei den kostentragenden Bereichen anfallen und darüber hinaus auch nicht als Kapitalfluss messbar sind (vgl. Mattke und Weißert-Horn, 2007, S. 750). Trotz der zuvor erörterten Erkenntnisse aus Theorie und Praxis ist es notwendig, diese Feststellung für eine Investition kritisch zu berücksichtigen. Erschwerend kommt hinzu, dass vorgeschlagenen Ergonomiemaßnahmen in manchen Fällen nur eine geringe Belastungsreduzierung bei gleichzeitiger negativer Wirtschaftlichkeit ausweisen. Am Beispiel der Planung von Hebehilfen steigt dadurch in vielen Fällen die Fertigungszeit im Vergleich zum manuellen Heben, wodurch neben den monetären Verlusten außerdem die Auslastung der Mitarbeiter erhöht und in diesem Zuge auch die Akzeptanz zur Anwendung dieser erschwert wird. Diese sind nur einige Gründe und Einflussfaktoren, die aufzeigen, weshalb eine individuelle Maßnahmenbetrachtung für eine optimale Entscheidungsfindung in der frühen Phase unabdingbar ist.

6.5.2 Allgemeine Maßnahmenbewertung und Handlungsempfehlung zur ganzheitlichen Ergonomie-Optimierung

Neben einer einzelfallbezogenen Maßnahmenbetrachtung stellt sich für die Summe aller einem Fahrzeug zugehörigen Bauteile und Arbeitsplätze die Frage nach einem ganzheitlichen Optimierungsansatz. Es liegt die Vermutung nahe, dass aufgrund der getrennten Verantwortlichkeitsbereiche zwischen den jeweiligen SETs in der Produktentwicklung und den Fertigungsabschnitten in der Montageplanung keine übergreifende Beurteilung der Effizienz sowie Effektivität von Ergonomiemaßnahmen stattfindet (vgl. Kapitel 3.4). Beispielsweise werden häufig zu Projektbeginn Investitionen wie im vorliegenden Fall für Ergonomiemaßnahmen zurückgehalten, um eine mögliche Überschreitung des Projektbudgets zu einem späteren Zeitpunkt nicht zu gefährden. Die Praxiserfahrung zeigt aber, dass in der Vielzahl an Fällen zum Abschluss des Projektes noch ausreichend Budget zur Verfügung steht. In Folge dessen meistens eher reaktiv als proaktiv die Vorgabe erfolgt, noch die maximal möglichen Maßnahmen umzusetzen. Daraus resultierend stellt sich jedoch die Effizienz beziehungsweise das Verhältnis von Belastungsreduzierung zu benötigten Kosten der Maßnahmen meist deutlich schlechter als zu den zuvor bereits abgelehnten

Maßnahmen dar. Mit den abschließenden Betrachtungen wird eben dieses Ziel verfolgt, bereits in der frühen Phase des PEP unter der realistischen Annahme eines begrenzten „Ergonomie-Budgets“ die größtmögliche Belastungsreduzierung für die Gesamtheit aller Arbeitsplätze und betroffenen Mitarbeiter zu erwirken. Um eine belastungsbezogene Priorisierung und Steuerung der Ergonomiemaßnahmen vorzunehmen, müssen die Belastungsursachen und ihr Anteil an der Gesamtbelastung bekannt sein. Anhand der aus den empirischen Studien in Kapitel 5.4 ermittelten Arbeitsplatz- und Bauteilbewertungen konnte folgende den Belastungsursachen zugeordnete Verteilung aufgestellt werden:

Belastungsursache	<i>Körperhaltung</i>	<i>Aktionskräfte</i>	<i>Manuelles Handhaben von Lasten</i>	<i>Extrapunkte</i>
Belastungsverteilung	40 %	40 %	13 %	7 %

Insgesamt 80 % der gesamten physischen Belastungen in der Montagelinie entfallen in etwa gleich verteilt auf die Ursachen Körperhaltung sowie Aktionskräfte, unter denen Finger- und Ganzkörperkräfte zusammengefasst sind. Für eine Überbelastung aufgrund des Hebens schwerer Lasten ist lediglich ein Anteil von 13 % vorzufinden. Eine mögliche Ursache, weshalb dieser Wert so gering ausfällt, lässt sich aufgrund der Offensichtlichkeit einer Belastung durch schweres Heben und somit der bereits langjährigen Berücksichtigung dieser Ursachen in deutschen Produktionsstandorten vermuten. Die Montagelinien in deutschen Produktionsstandorten beinhalten bereits eine hohe Anzahl an Manipulatoren und Hebehilfen für schwere Bauteile wie z. B. für den Einbau von Türen, Sitzen, Frontend, Cockpit, Triebssätzen oder Abgasanlagen.

Nachdem die primären Belastungsursachen bekannt sind, wurde im zweiten Schritt eine Effektivitätsabschätzung der bekannten Maßnahmen durchgeführt, um die Maßnahmen mit dem größten Potential einer Belastungsreduzierung den jeweiligen Belastungsursachen zuordnen zu können (vgl. Kapitel 6.1):

Belastungsursache	<i>Körperhaltung</i>	<i>Aktionskräfte</i>	<i>Manuelles Handhaben von Lasten</i>	<i>Extrapunkte</i>
Ø Effektivität d. Maßnahmen	60 %	90 %	50 %	20 %

Es ist nötig, diese Angaben als Schätzwerte kritisch zu betrachten, da nicht für jede identifizierte Maßnahme eine quantifizierte Vorher-Nachher-Bewertung vorlag. Dennoch können diese Annahmen für eine ganzheitliche Handlungsempfehlung von großem Nutzen sein. Die Auswertung

zeigt, dass Maßnahmen zur Reduzierung von Finger- oder Ganzkörperkräften rund 90 % der ursprünglichen Belastung reduzieren, während im Vergleich dazu Maßnahmen für Zugänglichkeit oder Einsteigen (Extrapunkte) in das Fahrzeug nur mit einer Effektivität von 20 % einzuschätzen sind. Eine Reduzierung um etwa die Hälfte der Belastungshöhe lässt sich durch Maßnahmen zur Verbesserung der Körperhaltung oder Verringerung des zu handhabenden Lastgewichtes erreichen. Für eine Effizienz-Betrachtung fehlen abschließend noch die zugehörigen durchschnittlichen Kosten einer Maßnahme. Wie am Beispiel der Schellenmontage gezeigt, variieren die Kosten zwischen produkt- und prozessbezogenen Maßnahmen stark. Vor diesem Hintergrund ist ebenfalls die als Schätzung erstellte Kostenaufstellung in produkt- und prozessbezogene Maßnahmenkosten untergliedert:

Belastungsursache	<i>Körperhaltung</i>	<i>Aktionskräfte</i>	<i>Manuelles Handhaben von Lasten</i>	<i>Extrapunkte</i>
∅ Maßnahmenkosten: Produkt	20.000 €	500.000 €	-	10.000 €
∅ Maßnahmenkosten: Prozess	400.000 €	10.000 €	100.000 €	80.000 €

Die zusammenfassende Betrachtung der produktbezogenen Maßnahmenkosten zeigt, dass sich eine Verbesserung der Körperhaltung im Mittel mit zirka 20.000 € deutlich kosteneffizienter als eine vergleichbare Maßnahme zur Reduzierung der Kraftbelastung mit etwa 500.000 € darstellt. Dieser hohe Wert begründet sich an der häufig zur Kraftreduzierung geplanten Maßnahme, eine Vorverkabelung von beispielsweise elektrischen Steckungen in der Tür, der Mittelkonsole oder dem Formhimmel vorzunehmen. Bei einer Vorverkabelung fallen durch Zentralstecker und Isolierungen zusätzliche Materialkosten sowie externe Dienstleistungen in Höhe von ein bis vier Euro pro Fahrzeug an. Im Vergleich dazu sind die Kosten bei einer Verlagerung des Verbauortes sehr gering. In dieser Betrachtung wurden außerdem nur Maßnahmen berücksichtigt, deren technische Umsetzbarkeit gegeben war.

In der Auswertung der prozessbezogenen Maßnahmen sind Hilfsmittel zur Reduzierung der Aktionskräfte im Mittel deutlich kostengünstiger als Maßnahmen zur Verbesserung der Zwangshaltung. Sogenannte „Schwenkgehänge“ zum Heben und Senken sowie Rotieren des Fahrzeuges um seine Längsachse stellen zum Beispiel aufgrund ihrer Kosten im niedrigen Millionenbereich die teuersten Maßnahmen zur Verbesserung der Körperhaltung dar. Zusätzlich zeigte sich, dass in den bisherigen Projekterfahrungen keine produktbezogene Verbesserung zur Reduzierung eines Bauteilgewichtes vor dem Hintergrund ergonomischer Anforderungen erfolgte. Begründet lag dies in allen Fällen in einer höheren Priorisierung der kundenspezifischen Anforderungen für

z. B. eine stärkere Dämmschicht zum Lärmschutz im Innenraum. Als Fazit dieser Erkenntnisse lassen sich folgende vier Handlungsempfehlungen zur Priorisierung der Ergonomiemaßnahmen nach Effizienz und Effektivität in Bezug zum Zeitpunkt im Produktentstehungsprozess ableiten:

Nr.	Handlungsempfehlung
I	Ergonomiemaßnahmen sind in Bezug auf ihre Effektivität nach folgender Reihenfolge zu priorisieren: Aktionskräfte -> Körperhaltung -> Handhaben von Lasten -> Extrapunkte.
II	In der frühen Phase der Produktentwicklung sind Maßnahmen zur Verbesserung der Körperhaltung und Extrapunkte vorzuziehen und Maßnahmen zur Kraftreduzierung erst nachfolgend umzusetzen.
III	Für die Fertigungsplanungsphase sind in umgekehrter Reihenfolge Maßnahmen zur Kraftreduzierung und manuellem Handhaben von Lasten priorisiert umzusetzen und erst nachfolgend Maßnahmen zur Verbesserung der Körperhaltung zu entscheiden.
IV	Die Verteilung des Ergonomie-Budgets sollte aufgrund der Anzahl der Maßnahmen im Verhältnis von zirka 2:1 zwischen prozess- und produktbezogenen Maßnahmen erfolgen.

Für eine ganzheitliche Optimierung der Ergonomie entlang des Produktentstehungsprozesses neuer Fahrzeugprojekte bilden die zusammengefassten Handlungsempfehlungen eine nutzenbringende Grundlage. Eine erweiterte Analyse aller bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Maßnahmen mit absoluten Kosten- und Belastungsbewertungen war im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht realisierbar. Diese eventuell in zukünftigen Studien erfassbaren Kennzahlen könnten in Form einer Optimierungsfunktion genaue Effizienzgrenzen und Maßnahmenvorschläge zum jeweiligen Reifegrad des Fahrzeugprojektes ermöglichen. Die Sicherstellung der Wirksamkeit und Verwendung der bis zu diesem Punkt der Arbeit dargestellten Erkenntnisse für nachfolgende Fahrzeugprojekte ist Aufgabe des letzten Modules des Managementsystems zur frühzeitigen Ergonomie-Absicherung und wird in Kapitel 7 näher erörtert.

7 Dokumentation und Wirksamkeitskontrolle

Das in dieser Arbeit definierte Managementsystem zur frühzeitigen Ergonomie-Absicherung hat wie jedes Managementsystem die Überprüfung seiner Leistung als Kernaufgabe (vgl. Kapitel 3.4). Die Kontrolle oder Evaluation kann dabei auf verschiedenen Ebenen des Managementsystems erfolgen. Ulich und Wülser (2015, S. 197) unterscheiden zwischen einer Prozess- und Ergebnisevaluation. Eine Prozessevaluation lässt sich auf eine Einzelmaßnahme oder auf das gesamte Projektmanagement beziehen. In jedem Fall dienen diese Wirksamkeitskontrollen jedoch dem Zweck, die vom Unternehmen in der Planungsphase definierten Ziele und Strategien zu erreichen (vgl. Haasis, 2008, S. 182; Gladen, 2003, S. 25). In etablierten Managementsystemen erfüllen sogenannte Kennzahlen- und Reifegradsystematiken die Aufgaben zur Kontrolle und Steuerung (vgl. Richter, 2009, S. 436). Eine kurze Erläuterung der jeweiligen Systematiken soll Aufschluss über den potentiellen Einsatz im vorliegenden Anwendungsfall der Ergonomie-Absicherung geben.

Kennzahlensystematik

Ziel einer Kennzahlensystematik ist die willentliche Verdichtung von Informationen und Zahlen, um dadurch in einer konzentrierten Form über einen Sachverhalt berichten zu können (vgl. Gladen, 2003, S. 9). Darüber hinaus sollen Kennzahlen

- komplizierte Sachverhalte, Strukturen und Prozesse auf relativ einfache Weise abbilden,
- einen möglichst umfassenden und schnellen Überblick garantieren sowie
- Führungsinstanzen zur Analyse, Durchsetzung und Kontrolle durch Ausschaltung irrelevanter Daten dienen.

(vgl. Gladen, 2003, S. 10)

In der Planungsphase helfen sie, die Ist-Situation sowie eventuelle Probleme zu bewerten, um abschließend daraus Ziele für Handlungsalternativen abzuleiten (vgl. Gladen, 2003, S. 26). Problemspezifische Entscheidungskriterien unterstützen die Durchsetzung spezifischer Maßnahmen und Ziele, sodass mit Hilfe sogenannter Steuerungskennzahlen ein vergangenheitsorientierter Soll-Ist-Vergleich als Kontrollfunktion ermöglicht wird. Diese können dabei sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Ziele enthalten (vgl. Haasis, 2008, S. 183; Gladen, 2003, S. 28 ff.).

Reifegradsystematik

Reifegrad- und Kompetenzmodelle dienen in Unternehmen zur Überprüfung der Effizienz und Effektivität von Projektabwicklungen. Zusätzlich helfen sie neben einer Aussage über die Güte des *Projektmanagements* (PM) ebenfalls Verbesserungspotentiale für Prozesse, Personal oder verwendete Methoden zu identifizieren (vgl. Ahlemann, Schroeder und Teuteberg, 2005, S. 9 ff.). Im Besonderen die Reifegradsystematik (engl. *maturity model*) stellt die Erfüllung universeller Anforderungen über sogenannte Reifegrade dar, welche in eine sequentielle und aufeinander aufbauende Ordnung gebracht werden (vgl. Ahlemann, Schroeder und Teuteberg, 2005, S. 14). Eine häufig verwendete Differenzierung in fünf Ebenen der Reifegrade lässt sich nach Ahlemann, Schroeder und Teuteberg (2005, S. 19 ff.) folgendermaßen darstellen:

1. Ebene: *Fallweises PM* ist nicht standardisiert und die Koordination obliegt weitestgehend dem Projektleiter.
2. Ebene: *Definierte Prozesse* werden in Teilbereichen des PM etabliert und durchlaufen.
3. Ebene: *Standardisierte Prozesse* bilden die Grundlage für eine einheitliche Steuerung der Projekte.
4. Ebene: Mit Hilfe von quantitativen Zielen und Kennzahlen erfolgt die *Messung des PM-Erfolges* sowie die systematische Identifikation von Schwächen.
5. Ebene: Lässt ein Unternehmen die Informationen der 4. Ebene über institutionell verankerte Methoden zu einem Lernprozess aus vergangenen Projekten entwickeln, so ist die Ebene der *kontinuierlichen Verbesserung* erreicht.

Diese Zusammenfassungen zeigen, dass sich beide Vorgehensweisen eignen, sowohl die Wirksamkeit und Güte des gesamten Prozesses der Ergonomie-Absicherung als auch die einzelner Maßnahmen zu überprüfen. Die nachfolgenden Ausführungen stellen davon abgeleitete Empfehlungen und Möglichkeiten dar, wie diese Vorgehensweisen in der Praxis eines Fahrzeugprojektes umgesetzt werden könnten.

Die Grundlage zur Verbesserung und Absicherung der ergonomischen Belastungssituation innerhalb des gesamten PEP eines Fahrzeugprojektes beinhaltet im ersten Schritt die Identifikation der Defizite sowie darauf folgend die Definition von Verbesserungsmaßnahmen. Um die Belastung erfolgreich oder bestmöglich zu reduzieren, benötigen die für die Leitung und Entscheidung verantwortlichen Personen eine Information über den Stand der definierten Ergonomiemaßnahmen. Je nach Entwicklungs- oder Reifegrad einer Maßnahme können problemspezifische Entscheidungen helfen, das Soll-Ergebnis zu erreichen oder rechtzeitig Alternativen zu planen.

Die dargestellte sechsstufige Reifegradskala kann als eine mögliche Form der einfachen und verständlichen Repräsentation des Fortschrittes zur Umsetzung einer Ergonomie-Maßnahme Anwendung finden.

Reifegrad der Maßnahmen	Beschreibung
1	Ergonomierelevantes Defizit identifiziert; Ist- & Soll-Beschreibung der Maßnahme erfolgt
2	Maßnahme mit detaillierter Aufwand-Nutzen-Betrachtung vollständig bewertet
3	Maßnahme entschieden und Umsetzungstermin definiert
4	Maßnahme umgesetzt (Produkt oder Prozess angepasst)
5	Wirksamkeit der Maßnahme festgestellt (z. B. ergonomische Verbesserung, hohe Akzeptanz, wirtschaftliche Einsparung)
0	Maßnahme abgelehnt

Durch die Aggregation der Maßnahmenreifegrade innerhalb eines wöchentlich oder monatlich erstellten Berichtes lässt sich somit leicht auf mögliche Handlungsbedarfe hinweisen. Befinden sich Maßnahmen beispielsweise über einen längeren Zeitraum im ersten Reifegrad kann das Management aktiv werden und als externer Motivationsfaktor die vollständige Bewertung der Maßnahme fordern oder auf bereits vorherrschende Probleme eingehen. Im Gegensatz dazu können im Reifegrad zwei auch fehlende Managemententscheidungen zur Freigabe von Investitionen eine mögliche Ursache für die nicht termingerechte Weiterverfolgung einer Maßnahme darstellen.

Wie bereits für die Kennzahlensystematiken beschrieben, helfen Steuerungskennzahlen bei der Lösung von Planungs- und Entscheidungsproblemen. Auch für die Ergonomie-Absicherung besteht dabei der Bedarf, übergeordnete Unternehmensziele in quantitativen Sachzielen zu operationalisieren (vgl. Gladen, 2003, S. 27). Die Reduzierung des Krankenstandes sowie eine verbesserte Motivation der Mitarbeiter in der Produktion sind zwei Beispiele übergeordneter Unternehmensziele. Diese lassen sich beispielsweise aufgrund ihrer direkten sowie indirekten Abhängigkeit von der ergonomischen Arbeitsgestaltung und somit auch der Bauteilbewertung auf die Anzahl kritischer Bauteile oder die Gesamtsumme der Belastungen übertragen. Eine exemplarische Reduzierung der kritischen Bauteile und der dadurch beeinflussten roten Arbeitsplätze um 20 % ließe sich als ein messbares Teilziel formulieren. Spath et al. (2001, S. 1544) sowie Bierwirth (2011, S. 60) stellen dabei heraus, dass die Überprüfung der Teilziele und Kennzahlen systematisch zu bestimmten Zeitpunkten des Projektes erfolgen sollte. Ein Vorschlag ist dabei, diese Überprüfung an die bereits in Kapitel 2.2 beschriebenen *Quality-Gates* oder *Meilensteine*

des Produktentstehungsprozesses zu verknüpfen. Abbildung 50 stellt eine mögliche Form der Umsetzung dieser Kontrolle als Berichtsstatus entlang des PEP dar. In der Praxis der Automobilproduktion besitzt ein neues Fahrzeugprojekt in fast allen Fällen ein Referenz- bzw. Vorgängermodell. Mit Hilfe der ergonomischen Erstabschätzung der bekannten Probleme lässt sich daraus eine quantitative Zielvorgabe für neue Fahrzeugmodelle ableiten. Die in diesem beispielhaften Bericht verwendete Aggregation der kritischen Bauteile zu einer Kennzahl bildet ein einfaches Kontrollmedium für fest definierte Meilensteine im Fahrzeugprojekt, um dadurch die erfolgreiche Umsetzung der unternehmerischen Ziele gewährleisten zu können. Diese Berichtsform ist beliebig mit den erarbeiteten Kennzahlen der EPI-Bewertung, der Aufwand-Nutzen-Betrachtung oder den Investitionskosten der einzelnen Ergonomiemaßnahmen erweiterbar.

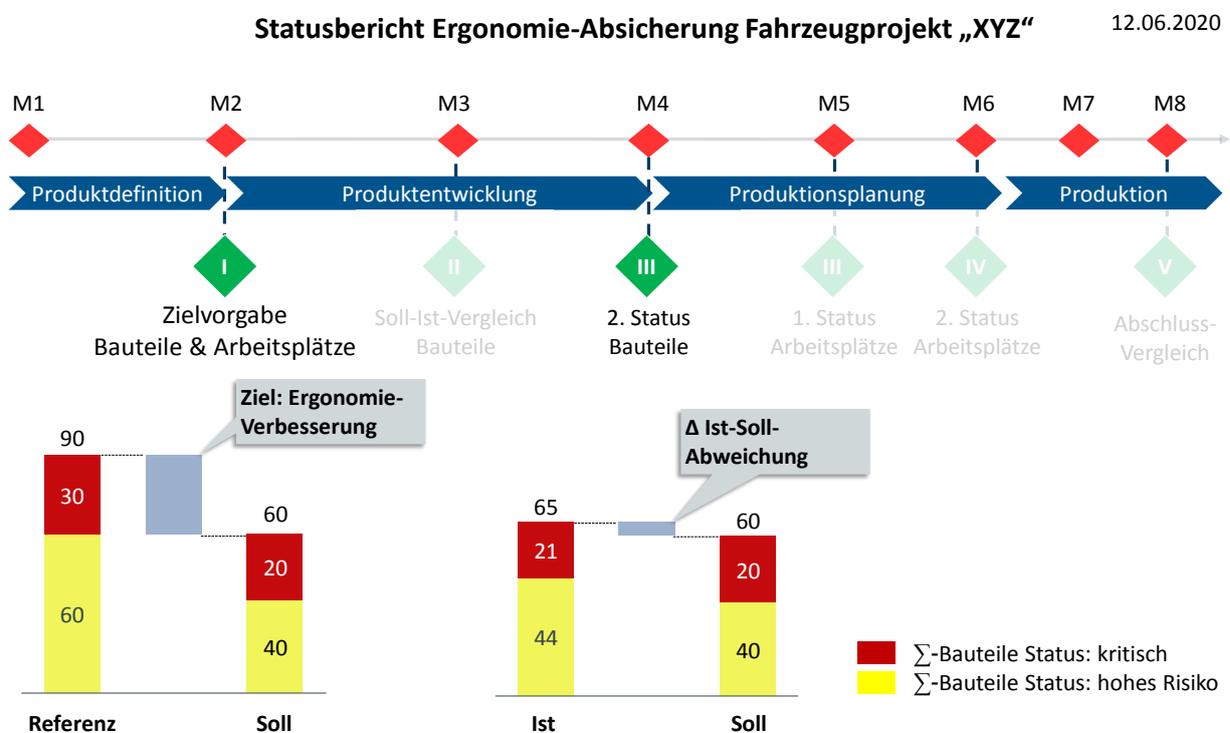


Abbildung 50: Mögliche Dokumentation einer Wirksamkeitskontrolle der Ergonomie-Absicherung mit Hilfe von Steuerungskennzahlen (basiert auf Bierwirth, 2011, S. 60; Volkswagen AG, 2015b, S. 1)

In vielen Fällen erzeugt die Ermittlung und Zusammenführung von Informationen zu Berichts-kennzahlen einen hohen Beschaffungsaufwand. Damit verbunden stellt sich auch die Bewertung eines möglichen Nutzens als schwierig bis nicht möglich heraus. Aus diesem Grund ist es auch für die Implementierung von Kennzahlen in ein Berichtswesen der Ergonomie-Absicherung wichtig, die Aufwand-Nutzen-Relation für die Erstellung dieser richtig einzuschätzen (vgl. Richter, 2009, S. 436). Wie bereits in Kapitel 3.4 als Defizit festgestellt, bestand aufgrund der fehlenden quantitativen Bewertungsmöglichkeit in der frühen Phase des PEP keine einheitliche Dokumen-

tationsbasis für ergonomierelevante Informationen. Die Einführung der kennzahlenbasierten Berichtsfunktion erleichtert die Dokumentation von Planungsergebnissen und unterstützt zugleich den Führungsprozess (vgl. Gladen, 2009, S. 25). Durch die einheitlich auf dem EAWS-basierenden Bewertungsverfahren ist eine standardisierte Dokumentation von bauteil- und arbeitsplatzbezogenen Ergonomie-Ergebnissen in einem Datenbanksystem möglich. Mit der Einführung einer Datenbank wurde im Rahmen dieser Arbeit für das Praxisbeispiel der Volkswagen AG bereits begonnen. Diese Form des Wissensmanagements führt zur Erhaltung von implizitem (personenbezogenes) sowie explizitem (formalisierbares) Wissen. Über mehrere Fahrzeuggenerationen lässt sich so die Verwendung der bestmöglichen Produkt- und Prozesslösungen als Standard gewährleisten (vgl. Wesoly, Ohlhausen und Bucher, 2014, S. 703; Bierwirth, 2011, S. 60).

Bezogen auf den Reifegrad des Managementsystems zur Ergonomie-Absicherung ist zusammenzufassen, dass die Vorgehensweisen und Prozesse standardisiert beschrieben (Kapitel 4) sowie quantitative Messungen der ergonomischen Güte in der frühen Phase ermöglicht wurden (Kapitel 5 und 6). Mit der in diesem Kapitel vorgeschlagenen Einführung und Integration einer Dokumentations- und Kontrollfunktion entsteht ein stetiger Lern- und Verbesserungsprozess. Das Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des PEP erfüllt somit alle Bewertungskriterien für die fünfte Reifegradstufe eines Reifegradmodelles für Projektmanagement (vgl. Ahlemann, Schroeder und Teuteberg, 2005, S. 19 ff.). Durch diese Überprüfung der einzelnen Ergonomie-Maßnahme bis zum ganzheitlichen Gesundheitsmanagement reduziert sich ebenfalls die Gefahr einer ungenügenden Wirksamkeit aufgrund mangelhaften Projektmanagements (vgl. Ulich und Wülser, 2015, S. 197).

8 Schlussbetrachtung

8.1 Zusammenfassung

Die Berücksichtigung ergonomischer Arbeitssystemgestaltung in der manuellen Fertigung der Automobilproduktion hat für Unternehmen und ihre Mitarbeiter aufgrund steigender Produktivitätsanforderungen sowie gesetzlicher Regelungen in den letzten Jahren weiter an Bedeutung gewonnen. Zusammenhänge zwischen den steigenden physischen Belastungen bei kurzzyklischen Tätigkeiten und Effekten des demografischen Wandels sind bereits hinreichend bekannt und führten gleichzeitig zu einer Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten, Methoden und Handlungsempfehlungen über ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. Trotz dieser Tatsache gibt es in Industrieunternehmen weiterhin eine hohe Anzahl von physisch hochbelastenden Arbeitsplätzen und damit einhergehend eine hohe Anzahl an krankheitsbedingten Ausfalltagen aufgrund von Muskel-Skelett-Erkrankungen. Als Hauptursache wird dabei das Fehlen belastungsrelevanter Erkenntnisse in der frühen Entwicklungs- und Planungsphase herausgestellt. Aus diesem Grund war es das Ziel dieser Arbeit, ein Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung zu entwickeln, welches es durch einen systematischen Ansatz ermöglicht, ergonomische Risiken frühzeitig zu identifizieren und durch die Einbeziehung in den Produktentstehungsprozess abzusichern. Die Vorgehensweise zur Beantwortung dieser Forschungsaufgabe beinhaltete im ersten Schritt eine Beschreibung des aktuellen Standes der Wissenschaft (Kapitel 2) im Bereich der Arbeitsplatzgestaltung und des Qualitätsmanagements. Aufbauend auf diesen Grundlagen diente die Analyse bereits bestehender Präventionsansätze sowie die Überprüfung ihrer Umsetzung in der automobilen Praxis dazu, konkrete Defizite zu identifizieren und zu beschreiben (Kapitel 3).

Die dadurch erarbeiteten Anforderungen wurden modular in das Lösungskonzept eines Managementsystems zur Ergonomie-Absicherung in der frühen Phase des PEP überführt. Um eine erfolgreiche Integration in bestehende Strukturen und Abläufe zu gewährleisten, war im ersten Modul die Beschreibung eines Prozessmodelles und der jeweiligen Aufgabenverantwortlichkeiten notwendig (Kapitel 4). Mit Hilfe der Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Bewertung ergonomischer Belastungen auf Bauteilebene sollten im Hauptteil dieser Arbeit mögliche Risiken bereits während der Konstruktionsphase aufgedeckt werden. Die anschließende in zwei Fahrzeugprojekten durchgeführte Validierung der Bewertungen bestätigt, dass die auf Bauteilebene getroffenen Risikovorhersagen eingetreten sind (Kapitel 5). Als nächster Teilschritt folgte gemäß dem Managementregelkreis die Ableitung und Bewertung verhältnispräventiver Maßnahmen. Ziel des dritten Modules war es, mit Hilfe einer ganzheitlichen Aufwand-Nutzen-Betrachtung von

Ergonomiemaßnahmen, Handlungsentscheidungen auf Basis wirtschaftlicher und arbeitswissenschaftlicher Faktoren zu unterstützen. Es wurde dabei untersucht, ob sich mit Hilfe von empirischen Studien schwer messbare Einflussgrößen wie z. B. Fehlzeiten oder Nacharbeit in monetären Nutzen umrechnen lassen (Kapitel 6). Dennoch tritt in der unternehmerischen Praxis aufgrund von parallelen Aufgaben und Verantwortlichkeiten häufig der Fall ein, dass Risiken und Maßnahmen nicht konsequent verfolgt oder in letzter Instanz auch umgesetzt werden können. Diesem Problem wurde mit der Einführung einer systematischen Reifegradkontrolle sowie des Einsatzes von Steuerungskennzahlen begegnet (Kapitel 7).

8.2 Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn und Anwendung in der Praxis

Die Ergebnisse der EPI-Entwicklung bestätigen, dass ein ergonomisches Frühwarnsystem theoretisch und praktisch umsetzbar ist. Auf Basis einer kombinierten Belastungsbewertung mit Krafteinwirkungen, Zwangskörperhaltungen und Lasten lässt sich das Risiko bauteilbezogener Montageprozesse einstufen. Es stellten sich dabei zwei dominierende Belastungsursachen heraus. Zum einen entsteht durch den steigenden Einsatz von Clips- und Steckverbindungen eine Vielzahl an Fingerkräften. Zum anderen treten in einem gleich häufigen Anteil ungünstige Zwangshaltungen durch die Arbeit über Kopf sowie in gebeugter Körperhaltung auf. Aufgrund der Verwendung einer metrischen Belastungs- und Risikokennzahl lässt sich daraus eine einfache Priorisierung sowie Handlungsempfehlung ableiten. Die Entscheidung zwischen produkt- oder prozessbezogenen Alternativen erfolgt somit nicht mehr rein auf qualitativen Einschätzungen sondern auf wissensbasierten Kennzahlen. In Verbindung mit dem integrativen Ansatz eines QM-Systems ermöglicht es diese einheitliche Bewertungsbasis, zusammenhängendes Wissen über die Ergonomie von der Bauteilentwicklung bis zum späteren Arbeitsplatz zu schaffen. Diese Informationen sind datenbankbasiert speicherbar und reduzieren den Bearbeitungsaufwand aufgrund der Wiederverwendbarkeit für nachfolgende Modellgenerationen. Gleichzeitig lässt sich für ein Unternehmen damit das Ziel erreichen, über Lernprozesse jeweils die bestmöglichen Ergonomiemaßnahmen im Sinne der Effizienzsteigerung zu standardisieren und wiederzuverwenden.

Die von Ingenieuren häufig gestellte Frage über den monetären Nutzen ergonomierelevanter Gestaltungsanpassungen konnte am empirischen Anwendungsfall der Volkswagen AG zu Teilen beantwortet werden. Unter Berücksichtigung existierender Einschränkungen des Untersuchungsdesigns ließ sich ein positiver Zusammenhang zwischen ergonomischer Arbeitsgestaltung und arbeitsbedingten Au-Tagen feststellen. Dennoch sollte die Genauigkeit der berechneten Kosteneinsparung ähnlich denen anderer Unternehmenskennzahlen nicht überschätzt werden und

nur unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen Anwendung finden. Eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf andere Industriebereiche und Unternehmen erscheint somit als nicht sinnvoll. Auch der Vergleich mit ähnlichen Studien zeigte, dass die hier gefundenen Einsparungen geringer als in anderen Untersuchungen ausgefallen sind. Aufgrund neuer quantitativer Arbeitsplatzbewertungen und der Verwendung eines konservativen Ansatzes über einen längeren Betrachtungszeitraum lässt sich allerdings vermuten, dass die in dieser Arbeit festgestellten Ergebnisse näher am wahren Wert liegen.

Insgesamt trugen die Erkenntnisse dieser Arbeit erfolgreich dazu bei, dass bestehende Forschungsdefizite in den Bereichen der ergonomischen Evaluationsmechanismen, Absicherung der Wirksamkeit sowie Verknüpfung in operative Prozesse des PEP aufgearbeitet und behoben werden konnten (vgl. Ghezel-Ahmadi et al., 2007, S. 29). Das entstandene Managementsystem zur Ergonomie-Absicherung leistet in der frühen Phase einen messbaren Mehrwert zur Reduzierung der physischen Arbeitsbelastung des Mitarbeiters in der Fließbandmontage. Trotz der unterstützenden Wirkung zur langfristigen Reduzierung des Krankenstandes darf es nicht als Ersatz sondern als Ergänzung zu existierenden Ansätzen der Gesundheitsförderung verstanden werden.

8.3 Ausblick

Wie im Sinne des ganzheitlichen Gesundheitsbegriffes in Kapitel 2.1 bereits ausgeführt, besitzen im soziotechnischen Arbeitssystem Faktoren wie Organisationsgestaltung, psychische Belastungen und individuelle Leistungsvoraussetzungen eine große Bedeutung. In Automobilproduktionen mit Fließbandfertigungen zeichnen sich die momentan noch vorherrschenden Arbeitsformen nach den japanischen Produktionssystemen durch kurze Zykluszeiten und einen geringen Komplexitätsgrad aus. Unter anderem auch Büttner (2015, S. 173 ff.) kommt zu dem Schluss, dass eine längere und optimal angepasste Zykluszeit positive Effekte auf die Motivation der Mitarbeiter sowie auf die Produktivität hat. Die nähere Untersuchung der Zusammenhänge zwischen optimaler Auslastung, abhängigen Personalkosten und den Möglichkeiten einer stabileren Produktion mit geringen Krankheitstagen und Montagefehlern bleibt eine Aufgabe für zukünftige Forschungsfragen, die in dieser Arbeit nur qualitativ berücksichtigt wurden. In einem spezialisierten Ansatz sieht Bierwirth (2011, S. 62 ff.) ebenfalls die Notwendigkeit, die individuellen Leistungsvoraussetzungen der Mitarbeiter in die frühe Planungsphase mit einzubeziehen. Diese Informationen bei einem Großunternehmen mit mehr als fünftausend Produktionsmitarbeitern in der Produktentstehung zu berücksichtigen, stellte für den Rahmen dieser Arbeit keinen plausiblen Ansatz dar. Für die Möglichkeit der Übertragung des hier beschriebenen Managementsystems auf ein kleines bis mittelständisches Unternehmen gilt jedoch die Empfehlung, die Dimensionen der Auswirkungen neu zu betrachten. Folglich sind dadurch beispielsweise

kostenintensive Investitionen für Anpassungen in der Montagelinie zu Gunsten von entkoppelten Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter denkbar. Trotz der durchgeführten empirischen Studien bleiben offene Forschungsfragen, welche sich mit der Übertragbarkeit und Implementierung der Ergebnisse in andere Automobilgewerke und Industriebranchen beschäftigen sollten. Die Tätigkeitsprofile im Karosseriebau oder der Lackiererei beispielsweise stellen differenzierte Anforderungen an die Evaluierungsmethodik. Zum Abschluss dieser Arbeit starteten dafür bereits erste Erprobungen in den Komponentenfertigungen der Volkswagen AG in Chemnitz und Braunschweig. Des Weiteren würde auch die Genauigkeit der Aufwand-Nutzen-Prognosen von langfristig angesetzten Studien in verschiedenen Industriebereichen profitieren.

Mit der Weiterentwicklung der Computertechnologie sowie intelligenter Algorithmen gewinnen die Themen *Digitalisierung* und *Industrie 4.0* auch für die ergonomische Arbeitsgestaltung weiter an Bedeutung. Ein Trend ist dabei die Technologie der *Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)*, welche das Ziel verfolgt, durch Roboterautomatisierung eine Effizienzsteigerung mit gleichzeitiger Reduzierung physischer Beanspruchungen zu erreichen (vgl. Beuthner, 2016, S. 62). Die Installation einer MRK-Applikationen ist aufgrund der technisch komplexen Anforderungen und hohen Investitionen nicht an jeder Arbeitsstation sinnvoll und zugleich mit hohem Planungsaufwand verbunden. Für zukünftige Planungsprojekte wäre es demzufolge denkbar, mit Hilfe der EPI-Bewertung auf Bauteilebene frühzeitig Entscheidungskriterien bereitzustellen, um aus ergonomischen und wirtschaftlichen Aspekten das am besten geeignete Einsatzszenario für ein MRK-Arbeitsplatz zu definieren.

9 Literaturverzeichnis

- Abrahamsson, L. (2000).** Production economics analysis of investment initiated to improve working environment. *Applied Ergonomics*, (31), 1-7.
- Ahlemann, F, Schroeder, C. & Teuteberg, F. (2005).** *Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement. Grundlagen, Vergleich und Einsatz.* Osnabrück: Universität Osnabrück, ISPRI – Forschungszentrum für Informationssysteme.
- Almgren, J. & Schaurig, C. (2012).** *The Influence of production ergonomics on product quality. A research project conducted at a paced assembly line.* Gothenburg, Schweden: Department of Product and Production Development.
- Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246),** das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 19. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3836) geändert worden ist.
- Badura, B., Walter, U. & Hehlmann, T. (2010).** *Betriebliche Gesundheitspolitik – Der Weg zur gesunden Organisation.* 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Baicker, K., Cutler, D. & Song, Z. (2010).** Workplace Wellness Programs Can Generate Savings. *HEALTH AFFAIRS*, (29), 2, 1-8.
- Bartsch, H. (2007).** Arbeitsschutz-Management-Systeme. In K. Landau (Hrsg.), *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess.* 1. Auflage. (S. 495-498). Stuttgart: Gentner.
- Beuthner, A. (2016).** Koop-Robs: Aufbruch zur smarten Montage. *Automobil-Produktion*, (4), 62-65.
- BGI/GUV-I 504-46 (2009).** *Information – Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge, nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 „Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen“.* Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
- Bierwirth, M. (2012).** *Entwicklung eines Managementmodells zur Integration einer systematischen Verhältnisprävention in die Arbeitsgestaltung in Industrieunternehmen – Total-Ergonomics-Management.* Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Brandenburg, W. & Nieder, P. (2009).** *Betriebliches Fehlzeiten-Management – Instrumente und Praxisbeispiele für erfolgreiches Anwesenheits- und Vertrauensmanagement.* 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- Brauweiler, J. & Zenker-Hoffmann, A. (2014).** *Essentials, Arbeitsschutzmanagementsysteme nach OHSAS 18001 – Grundwissen für Praktiker.* Wiesbaden: Springer Gabler

- Britzke, B. (2010).** Vom System vorbestimmter Zeiten zum Produktivitätsmanagement. *Angeordnete Arbeitswissenschaft*, (204), S. 86-102.
- Brockhaus (FRU - GOS) (1989).** *Brockhaus Enzyklopädie in 24 Bänden*. Bd. 8 (19. Auflage). Mannheim: F. A. Brockhaus GmbH.
- Bruder, R., Rademacher, H., Schaub, K. & Geiss, C. (2009).** Modular Concepts of Integrating Ergonomics into Production Processes. In C. M. Schlick (Hrsg.), *Industrial Engineering and Ergonomics. Visions, Concepts, Methods and Tools; Festschrift in Honour of Professor Holger Luczak* (S. 383 -394). Berlin: Springer.
- Bruhn, M. & Georgi, D. (1999).** *Kosten und Nutzen des Qualitätsmanagements*. München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Brüggemann, H. & Bremer, P. (2012).** *Grundlagen Qualitätsmanagement. Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM*. Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H. (2007).** Ergonomie. In K. Landau (Hrsg.), *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess*. 1. Aufl. (S. 495-498). Stuttgart: Gentner.
- Bullinger, H.-J., Richter, M. & Seidel, K.-A. (2000).** Virtual Assembly Planning. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, (10), 3, S. 331-341.
- Bullinger, H.-J. & Schmauder, M. (1997).** Gesundheitsmanagement im Produktionsbetrieb. *WT. Werkstattstechnik*, (87), S. 499-504.
- Bullinger, H.-J. & Solf, J. (1979).** *Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung I*. Dortmund: Wirtschaftsverlag NW.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). (2014).** *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2013 – Unfallverhütungsbericht Arbeit*. Dortmund/Berlin/Dresden
- Burr, H. (2008).** *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosseriebau*. Dissertation. Eingereicht an der Naturwissenschaftlich-technischen Fakultät III der Universität des Saarlandes.
- Büttner, J. (2015).** *Auswirkungen der Austaktung einer Automobil-Montagelinie auf menschliche Leistungsfaktoren*. Dissertation. Eingereicht an der Fakultät für Maschinenbau der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- Cadle, J. & Yeates, D. (2008).** *Project Management for Information Systems*. 5. Auflage. Essex: Pearson Education Limited.

- Chodora, M. (2011).** SALUCONTROL – Nutzen-Aufwand-Kalkulation von Maßnahmen im Betrieblichen Gesundheitsmanagement mit Support des Controllings. In E. Müller und B. Spanner-Ulmer (Hrsg.), *Wissenschaftliche Schriftenreihe des Instituts für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme*. Heft 89. Technische Universität Chemnitz Institut für Fabrikssysteme.
- Dicke, W. (2008).** *Why WAI? Der Work Ability Index im Einsatz für Arbeitsfähigkeit und Prävention Erfahrungsberichte aus der Praxis*. Dortmund-Dorstfeld: BAuA.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016).** *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R. & Van der Doelen, B. (2012).** A strategy for human factors / ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, (55), 4, S. 377-395.
- Dul, J. & Neumann, P. (2009).** Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics*, (40), 745-752.
- Duller, C. (2013).** *Einführung in die Statistik mit Excel und SPSS – Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch*. 3. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Gabler.
- Eigner, M. & Stelzer, R. (2009).** *Produkt Lifecycle Management – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Eklund, J. (1995).** Relationships between ergonomics and quality in assembly work. *Applied Ergonomics*, (26), 1, 15-20.
- Eklund, J. (1999).** Ergonomics and Quality Management – Humans in Interaction With Technology, Work Environment, and Organization. *International Journal of Occupational Safety And Ergonomics*, (5), 2, 143-160.
- Eklund, J. (2001).** A Developmental Quality Approach for Ergonomics. *Proceeding of the SELF-ACE Conference on Ergonomics for Changing Work*, 1, 26-38.
- Ellegast, R. & Hermanns, I. (2006).** *Einsatz des Messsystems CUELA zur Erfassung und Bewertung physischer Arbeitsbelastungen*. Sankt Augustin: BGIA – Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz.
- Eversheim, W., Pfeifer, T. & Weck, M. (2006).** *100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Falck, A. Örtengren, R. & Högberg, D. (2002).** *The influence of assembly ergonomics on product quality and productivity in car manufacturing – a cost-benefit approach*. Finnland: Nordic Ergonomic Society Conference.

- Falck, A. Örtengren, R. & Högberg, D. (2009).** *Early Risk Identification and Cost-Benefit Analyses through Ergonomics Simulation*. SAE Technical Paper 2009-01-2287. Warrendale, Penn.: Society of Automotive Engineers.
- Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2013).** Der Prozess des Konstruierens. In J. Feldhusen & K.H. Grote (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. (S. 11-23). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2013).** Effektive Organisationsformen. In J. Feldhusen & K.H. Grote (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. (S. 31-35). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Fritzsche, L. (2010).** *Work Group Diversity and Digital Ergonomic Assessment as New Approaches for Compensating the Aging Workforce in Automotive Production*. Dissertation. Eingereicht an der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften der Technischen Universität Dresden.
- Gadatsch, A. (2015).** *Geschäftsprozesse analysieren und optimieren – Praxistools zur Analyse, Optimierung und Controlling von Arbeitsabläufen*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Ghezel-Ahmadi, K., Schaub, K., Sinn-Behrendt, A., Mauerhoff, A. & Feith, A. (2007).** *Abschlussbericht: Arbeitsbezogene Belastungen des Muskel-Skelett-Systems – innovative und integrative Präventionsansätze*. Darmstadt: Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt.
- Gladen, W. (2003).** *Kennzahlen- und Berichtssysteme - Grundlagen zum Performance Measurement*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- González, B.-A., Adenso-Díaz, B. & González Torre, P. (2003).** Ergonomic performance and quality relationship: an empirical evidence case. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 31, 33-40.
- Göpfert, J. & Tretow, G. (2013).** Produktarchitektur. In J. Feldhusen & K.H. Grote (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. (S. 252-279). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Großmann, K. & Laun, G. (2002).** Orthopädie und Arbeitsmedizin. Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung im Fokus des betrieblichen Gesundheitsmanagements. *Der Orthopäde*, (10), 31, 997-1005.
- Haasis, H.-D. (2008).** *Produktions- und Logistikmanagement. Planung und Gestaltung von Wertschöpfungsprozessen*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

- Hilla, W., Sinn-Berendt, A., Stork, J. & Weißert-Horn, M. (2007).** Salutogenese. In K. Landau (Hrsg.), *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess*. 1. Aufl. (S. 598-600). Stuttgart: Gentner.
- Himme, A. (2009).** Gütekriterien der Messung: Reliabilität, Validität und Generalisierbarkeit. In S. Albers, D. Klapper, U. Konradt, A. Walter & J. Wolf (Hrsg.), *Methodik der empirischen Forschung*. 3. Auflage. (S. 485-500). Wiesbaden: Springer.
- Hörmann, G. (2007).** Salutogenese. In K. Landau (Hrsg.), *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess*. 1. Aufl. (S. 1101-1102). Stuttgart: Gentner.
- Ilmarinen, J. (2005).** *Towards a longer worklife! Ageing and the quality of worklife in the European Union*. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- Imk automotive (2013).** *ema V5 – Benutzerhandbuch*. Chemnitz: imk automotive GmbH.
- International Labour Organisation. (2001).** *Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems - ILO OSH 2001*. Zugriff am 21.01.2016 unter http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safe-work/documents/normativeinstrument/wcms_107727.pdf
- Kaminski, M. (2013).** *Betriebliches Gesundheitsmanagement für die Praxis: Ein Leitfaden zur Systematischen Umsetzung der DIN SPEC 91020*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Kamiske, G. F. & Brauer J.-P. (2003).** *Qualitätsmanagement von A bis Z. Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements*. München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Korge, A. & Lentjes, H.-P. (2009).** Ganzheitliche Produktionssysteme. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 569-599). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Koubek, A. & Pölz, W. (2014).** *Integrierte Managementsysteme- Von komplexen Anforderungen zu zielgerichteten Lösungen*. München: Carl Hanser Verlag.
- Krüger, W., Müller, P. & Stegemann, K. (1998).** *Kosten-Nutzen-Analyse von Gesundheitsförderungsmaßnahmen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Kugler, M., Bierwirth, M., Schaub, K., Sinn-Behrendt, A., Feith, A., Ghezal-Ahmadi, K. & Bruder, R. (2010).** *Ergonomie in der Industrie – aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements*. Darmstadt: Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt
- Landau, K. (2002).** Ergonomie und Wirtschaftlichkeit – „rechnet“ sich die Arbeitsgestaltung? *Angewandte Arbeitswissenschaft*, (172), 49-67.

- Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI). (2001).** *Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten LV 9.* 4. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI). (2006).** *Arbeitsschutzmanagementsysteme: Spezifikation zur freiwilligen Einführung, Anwendung und Weiterentwicklung von Arbeitsschutzmanagementsystemen (AMS) LV 21.* 3. Auflage. München: Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.
- Laurig, W. (1982).** *Grundzüge der Ergonomie: Einführung.* Berlin: Beuth.
- Liersch, A. (2014).** *Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme.* Wiesbaden: Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- Lin, L., Drury, C. G. & Kim, S.-W. (2001).** Ergonomics and Quality in Paced Assembly Lines. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, (11), 4, 377-382.
- List, R. (2015).** *Catia V5 – Grundkurs für Maschinenbauer. Bauteil- und Baugruppenkonstruktion, Zeichnungsableitung.* 7. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Mathiassen, S. E. & Winkel, J. (2000).** *Ergonomics in the continuous development of production systems. A COPE-workshop on methods for collecting and analyzing mechanical exposure data.* arbete och hälsa | vetenskaplig skriftserie: Bd. 2000 (6. Auflage). Stockholm: Arbetslivsinstitut.
- Matzke, U. & Weißert-Horn, M. (2007).** Kosten-Nutzen-Analyse der Arbeitsgestaltung. In K. Landau (Hrsg.), *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess.* 1. Auflage. (S. 747-750). Stuttgart: Gentner.
- Meyer, C. A. (2007).** *Working Capital und Unternehmenswert - Eine Analyse zum Management der Forderungen und Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen.* Göttingen: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Müller, R. (2013).** Montagegerecht. In J. Feldhusen & K.H. Grote (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung.* 8. Aufl. (S. 702-725). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mussnug, J. (2007).** Nutzwertanalyse. In K. Landau (Hrsg.), *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess.* 1. Auflage. (S. 945-949). Stuttgart: Gentner.
- Neubert, N., Bruder, R. & Toledo, B. (2012).** The charge of ergonomics – A model according to the influence of ergonomic workplace design for economical and efficient indicators of the automotive industry. *Work*, (41), 4389-4395.

- Neubert, N. (2013).** *Return-on-Investment in der Arbeitswissenschaft: Qualitäts- und Produktivitätsverbesserungen durch ergonomische Arbeitsplatzgestaltung.* Dissertation. Eingereicht an der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt.
- Neuner, R. (2016).** *Psychische Gesundheit bei der Arbeit – Betriebliches Gesundheitsmanagement und Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung.* 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Niederauer, C. (2009).** *Messung von Zahlungsbereitschaften bei industriellen Dienstleistungen.* Wiesbaden: Gabler.
- O’Donnel, M. (2012).** Closing Thoughts. In Meta-Evaluation of Worksite Health Promotion Economic Return Studies: 2012 Update. *American Journal of Health Promotion*, (26), 4, TAHP-1-TAHP-12.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2007).** *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendungen erfolgreicher Produktentwicklung.* 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Pieper, C. & Schröer, S. (2015).** Wirksamkeit und Nutzen betrieblicher Gesundheitsförderung und Prävention – Zusammenstellung der wissenschaftlichen Evidenz 2006 – 2012. In *iga.Report 28 – Wirksamkeit und Nutzen betrieblicher Prävention.* Berlin: Initiative Gesundheit & Arbeit.
- Popper, K. R. (2005).** *Logik der Forschung.* 11. Auflage. Thübingen: Mohr Siebeck.
- Project Management Institute (PMI). (2000).** *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide).* Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc..
- Rast, S. & Finsterbusch, T. (2010).** Ergonomie im Industrial Engineering. *Angewandte Arbeitswissenschaft*, (204), 133-152.
- Rebmann, E. & Wittig, T. (1997).** Betriebliches Gesundheitsmanagement. *Personal*, (2), 60-67.
- Repenning, N. & Serman, J. (2001).** Nobody Ever Gets Credit for Fixing Problems that Never Happened: Creating and Sustaining Process Improvement. *California Management Review*, (43), 4, 64-88.
- Richter, M. (2009).** Gestaltung von Produkten und Arbeitssystemen. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung.* 3. Auflage. (S. 431-447). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rupp, C. (2013).** *Systemanalyse kompakt.* 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

- Schaub, K., Caragnano, G., Britzke, B. & Bruder, R. (2012).** The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-23.
- Schaub, Kh. & Landau, K. (2004).** Ergonomie und Prävention in der betrieblichen Praxis. *Angeordnete Arbeitswissenschaft*, (180), 52-70.
- Scheer, A.-W. & Thomas, O. (2009).** Verfahren und Werkzeuge der Informationsmodellierung. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 544-567). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2010).** *Arbeitswissenschaft*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schloske, A. & Thieme, P. (2009).** Qualitätsmanagementsysteme. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 665-675). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Scholz, C. & Stein, V. (2006).** Humankapital messen. *Personal*, (1), 8-11.
- Schönherr, R. (2014).** *Simulationsbasierte Absicherung der Ergonomie mit Hilfe digital beschriebener menschlicher Bewegung*. Dissertation. Eingereicht an der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz.
- Schwegmann, A. & Laske, M. (2005).** Istmodellierung und Istanalyse. In Becker, J., Kugeler, M. & Rosemann, M. (Hrsg.), *Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung*. 5. Auflage. (S. 155-182). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sesma Vitrián, E. (2004).** *Beitrag zur Ermittlung von Kosten und Nutzen der präventiven Qualitätsmethoden QFD und FMEA*. Dissertation. Eingereicht an der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensystemen der Technischen Universität Berlin.
- Spath, D., Scharer, M., Landwehr, R., Förster, H. & Schneider, W. (2001).** Tore öffnen: Quality-Gate-Konzepte für den Produktentstehungsprozess. *QZ – Qualität und Zuverlässigkeit*, (46), 12, 1544-1549.
- Spath, D. (2009).** Grundlagen der Organisationsgestaltung. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 544-567). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Speck, M. & Schnetgöke, N. (2005).** Sollmodellierung und Prozessoptimierung. In Becker, J., Kugeler, M. & Rosemann, M. (Hrsg.), *Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung*. 5. Auflage. (S. 185-219). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Spur, G. & Krause, F.-L. (1997).** *Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik.* München Wien: Carl Hanser Verlag.
- Staud, J. (2006).** *Geschäftsprozessanalyse – Ereignisgesteuerte Prozessketten und objektorientierte Geschäftsprozess-modellierung für Betriebswirtschaftliche Standardsoftware.* 3. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Steinberg, U., Behrendt, S., Caffier, G., Schultz, K. & Jakob, M. (2007).** *Leitmerkalmethode – Manuelle Arbeitsprozesse.* Dortmund, Berlin, Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Stolz, M. (2009).** Neue Produktnutzungskonzepte und Tele-Technologien. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung.* 3. Auflage. (S. 260-273). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Strauß, B. (1996).** Quantitative Einzelfallanalysen – Grundlagen und Möglichkeiten. In E. Brähler, C. Adler (Hrsg.), *Quantitative Einzelfallanalysen und qualitative Verfahren.* (S. 15-46). Gießen: Psychosozial Verlag.
- Syska, A. (2006).** *Produktionsmanagement. Das A – Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute.* Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Takala, E. P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G. A., Mathiassen, S. E., Neumann, W. P., Sjogaard, G., Veiersted, K. B., Westgaard, R. H. & Winkel, J. (2010).** Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, (36), 1, 3-24.
- Theberge, N. & Neumann, W. P. (2010).** Doing ‘organizational work’: Expanding the conception of professional practice in ergonomics. *Applied Ergonomics*, (42), 1, 76-84.
- Ulich, E. (2005).** *Arbeitspsychologie.* 6. Auflage. Zürich: vdf Hochschulverlag AG
- Ulich, E. & Wülser, M. (2015).** *uniscope - Gesundheitsmanagement in Unternehmen.* 6. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Ulrich, H. (1984).** Management. In Dyllick, T. & Probst, G. (Hrsg.), *Unternehmung und Unternehmensführung.* Bd. 13. (S. 192-209) Bern: Haupt.
- Ulrich, P. & Hill, H. (1976).** Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I). *WiSt*, Heft 7, 304-309.
- VDI-Richtlinie 2221. (1993).** *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.* Berlin: Beuth Verlag.

- VDA (1.) (2003).** *Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft Bd. 4, Entwicklungsabläufe.* Oberursel: VDA
- VDA (2.) (2012).** *Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft Bd. 4, Produkt- und Prozess-FMEA.* Berlin: VDA.
- Verbeck, A. (1998).** *TQM versus QM: Wie Unternehmen sich richtig entscheiden.* Hochschulverlag an der ETH Zürich.
- Volkswagen AG (2009a).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2010).** *Präsentation Volkswagen PKW.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2011a).** *Projektarbeit.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2012a).** *Diplomarbeit.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2012b).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2013a).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2013b).** *Präsentation Volkswagen PKW.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2013c).** *Diplomarbeit.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2013d).** *Bachelorarbeit.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2014a).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2014b).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2014c).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2014d).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2015a).** *Organisationsanweisung.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2015b).** *Produktionshandbuch.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2015c).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2015d).** *Konzernpräsentation.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2015e).** *Dokument.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2016a).** *Präsentation Volkswagen PKW.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2016b).** *Abbildung.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2016c).** *Masterarbeit.* Verfasser: interne Quelle.
- Volkswagen AG (2016d).** *Mustervorlage.* Verfasser: interne Quelle.

- Wakula, J., Berg, K., Schaub, K., Bruder, R., Glitsch, U. & Ellegast, R. (2009).** *Der montagespezifische Kraftatlas*. BGIA-Report 3/2009, DGUV.
- Walther, M. (2015).** *Entwicklung und Evaluierung eines systematischen Vorgehens zur Erfassung von Aktionskräften in der Automobilproduktion*. Dissertation. Eingereicht an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme.
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V. & Garg, A. (1994).** *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*. Cincinnati, Ohio: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Biomedical and Behavioral Science.
- Weichel, J., Buch, M., Urban, D. & Frieling, E. (2009).** Sustainability and the ageing workforce: Considerations with regard to the German car manufacturing industry. In P. Docherty, M. Kira & A. B. Shani (Hrsg.), *Creating sustainable work systems* (S. 70-83). New York, NY: Routledge
- Wengler, M. (2009).** Visualisierung und Controlling bei der Einführung und Optimierung eines ganzheitlichen Produktionssystems. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 574-580). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wesoly, M., Ohlhausen, P. & Bucher, M. (2014).** Wissensmanagement. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 699-717). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Westkämper, E. (2006).** *Einführung in die Organisation der Produktion*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Westkämper, E. (2009).** Wandlungsfähige Organisation und Fertigung in dynamischen Umfeldern. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*. 3. Auflage. (S. 574-580). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Witter, A. (1995).** *Entwicklung eines Modells zur optimierten Nutzung des Wissenspotenzials einer Prozess-FMEA*. VDI-Verlag.
- Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (1990).** *The Machine that Changed the World*. New York: Rawson Associates.

Zangemeister, C. (1994). Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA): Verfahrenstypologie und Drei-Stufen-Ansatz zur Arbeitssystembewertung. *Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial engineering*, (43), 2, 63-71.

Normen

BS OHSAS 18001:2007 (2007). Arbeits- und Gesundheitsschutz-Managementsysteme – Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN 614-1 (2009). *Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN 1005-1 (2009). *Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 1: Begriffe.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN 1005-2 (2009). *Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN 1005-3 (2009). *Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbestätigung.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN 1005-5 (2009). *Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 5: Risikobeurteilung für kurzzyklische Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 6385 (2004). *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN CEN ISO/TR 7250-2 (2013). *Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung - Teil 2: Anthropometrische Datenbanken einzelner nationaler Bevölkerungen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 9000 (2014). *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 9001 (2014). *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 10075-3 (2004). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 3: Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 12100 (2011). *Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN 13861 (2012). *Sicherheit von Maschinen – Leitfaden für die Anwendung von Ergonomie-Normen bei der Gestaltung von Maschinen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 14001 (2014). *Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Norm-DIN EN ISO 14738 (2002). *Sicherheit von Maschinen - Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Sonstige

DMTM-V (Deutsche MTM-Vereinigung e.V.) (1996). *PROKON 2 – Produktionsgerechte Konstruktion – Anwendungsbereich Montage.* Version F/JA, Hamburg: Deutsche MTM-Vereinigung e.V.

DMTM-V (Deutsche MTM-Vereinigung e.V.) (2014). *EAWS-Praktiker Lehrgangsunterlage.* Version C/AD, Hamburg: Deutsche MTM-Vereinigung e.V..

IAD & AMI (Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt & Associazione MTM Italia) (2012). *Ergonomic Assessment Worksheet – Version 1.3.3.* Institut für Arbeitswissenschaft Darmstadt & Associazione MTM Italia (Hrsg.).

Kaschytza, O. (2016). *Abbildung elektrische Schellenzange.* URL: <http://www.kaschytza-montagetechnik.de/produkte/zangen/>, aufgerufen am 28.06.2016.

10 Anhang

Anhang A.1 – Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3 (Sektion 0)

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

Gesamtergebnis der Analyse:

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

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

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

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

Anhang A.2 – Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3 (Sektion 1)

Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3																									
Körperstellung / Rumpf- und Armhaltungen (pro Schicht)										Körperhaltung															
(inkl. Lasten <3 kg und Aktionskräfte von 30-40 N) Statische Körperhaltungen >4 sec Hochfrequente Bewegungen: 2 Rumpfbeugungen oder 10 mal Arme heben >60° pro Minute										Bewertung statischer Körperhaltungen und/oder hochfrequenter Bewegungen des Rumpfes/der Arme										Zeilensumme	Asymmetrie				
										$Dauer [sec/min] = \frac{Dauer\ Körperhaltung(en) \times 60}{Taktzeit}$															
[%] [sec/min] [min/8h]										5	7,5	10	15	20	27	33	50	67	83	Höhe	Dauer	Höhe	Dauer	Höhe	Dauer
										3	4,5	6	9	12	16	20	30	40	50	0-5	0-3	0-5	0-3	0-5	0-2
										24	36	48	72	96	130	160	240	320	400	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer	Höhe x Dauer			
Stehen (und Gehen)																									
1		Stehen & Gehen im Wechsel, Stehen mit Abstützung	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1,5	2													
2		Stehen, keine Abstützung (für andere Einschränkungen s. Extrapunkte)	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13													
3		Nach vorn gebeugt (20-60°) Mit geeigneter Abstützung	2	3	5	7	9,5	12	18	23	32	40													
4		Stark gebeugt >60° Mit geeigneter Abstützung	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63													
5		Aufrecht, Ellenbogen auf / über Schulterhöhe	3,3	5	8,5	12	17	21	30	38	51	63													
6		Aufrecht, Hände über Kopfhöhe	5,3	8	14	19	26	33	47	60	80	100													
Sitzen																									
7		Aufrecht mit Rückenstütze, ggf. leicht nach vorne/hinten geneigt	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1,5	2													
8		Aufrecht ohne Rückenstütze (für Einschränkungen s. Extrapunkte)	0	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5,5	7													
9		Nach vorn gebeugt	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8	11	13													
10		Ellenbogen auf / über Schulterhöhe	2,7	4	7	10	13	16	23	30	40	50													
11		Hände über Kopfhöhe	4	6	10	14	20	25	35	45	60	75													
Knien oder Hocken																									
12		Aufrecht	3,3	5	7	9	12	15	21	27	36	45													
13		Nach vorn gebeugt	4	6	10	14	20	25	35	45	60	75													
14		Ellenbogen auf / über Schulterhöhe	6	9	16	23	33	43	62	80	108	135													
Liegen & Klettern																									
15		(Liegen auf Rücken, Brust oder Seite) Arme über Kopf	6	9	15	21	29	37	53	68	91	113													
16		Klettern	6,7	10	22	33	50	66																	
1)	Rumpfhöhe leicht <10° mittel 15° stark 25° extrem >30°				Reichweite (RW) Höhe köpfernah 60% 30% Arm gestreckt				Σ			Σ (max.=15)	Σ (max.=15)	Σ (max.=10)											
	Dauer 0 1,5 2,5 3				Dauer nie 4 sec 10 sec 13 sec				Σ			Σ (max. = 40)													
	0% 6% 15% 20%				0% 6% 15% 20%				(a)			(b)													
Achtung: Max. Einstufungsdauer = Taktzeit bzw. Dauer der Tätigkeit oder 100%!											Achtung: Werte korrigieren, wenn Takt-/Zykluszeit ≠ 60s														
Haltung = Σ Zeilen 1 - 16											(a)	+	(b)	=											

Anhang A.3 – Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3 (Sektion 2 & 3)

Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3										Kräfte					
Aktionskräfte (pro Minute / Schicht)										Kräfte					
17		Fingerkräfte (z. B. Clipse, Stecker)	0	7	15	25	50	Kraftniveau x Dauer oder Häufigkeit	Σ						
			~1,6 F _{max}	~1/3 F _{max}	~1/2 F _{max}	~2/3 F _{max}	F _{max}								
			0	1	1	1,5	2					3,5	7		
			[sec]	3	6	9	12					20	30		
			5	10	15	20	33	50							
			0	1,5	2	2,5	3								
			[n]	4	10	15	20								
			0	6	15	25	50	Kraftniveau x Dauer oder Häufigkeit	Σ						
18		Arm-, Ganzkörperkräfte	~1,6 F _{max}	~1/3 F _{max}	~1/2 F _{max}	~2/3 F _{max}	F _{max}								
			0	1	1	1,5	2					4	8,5		
			[sec]	3	6	9	12					20	30		
			0	1,5	2	3	4,5	6,5	10						
			[n]	1-2	3	6	8	10	12						
F _{max} Arm-, Ganzkörperkräfte (geschlechtstneutral) P15 für P15; P40 für P40			ST aufrecht	P15	P40	ST gebeugt	P15	P40	ST über Kopf	P15	P40	Fingerkräfte (geschlechtstneutral)			
<p>median plane</p> <p>Daten aus: "Montage spezifischer Kräfte" (Wakita, Beig, Sobue, G. Fisch, Ellgast 2009), so angepasst, dass geschlechtstneutral</p> <p>Die Punkte b können sich nach Abschluss des Kraftanalyse ändern</p>				*A	245	315		*A	210	285		*A	230	280	
			*B	280	325	*B	200	240	*B	265	320	A1 (Umfasst Griff, Zaubergriff, DIN 706)		F _{max}	
			*C	170	210	*C	205	260	*C	180	200	A2 (Kontaktgriff)		P15	P40
			*A	245	315	*A	235	300	*A	255	310	B1 (Zwischen Griff, Daumenkontaktgriff)		F _{max}	
			*B	130	155	*B	145	200	*B	105	140	B2 (Zwischen Griff, Daumen, Zw. Gefüge)		P15	P40
			*C	110	155	*C	90	135	*C	100	140	C (Daumen auf 2. Finger)		F _{max}	
			KN aufrecht	P15	P40	KN gebeugt	P15	P40	KN über Kopf	P15	P40	F _{max}		P15	P40
			*A	210	270	*A	180	245	*A	225	275	F _{max}		115	155
			*B	225	280	*B	190	225	*B	265	320	F _{max}			
			*C	215	290	*C	220	320	*C	210	270	F _{max}			
			Sl aufrecht	P15	P40	Sl gebeugt	P15	P40	Sl über Kopf	P15	P40	F _{max}		P15	P40
			*A	205	265	*A	190	250	*A	215	255	F _{max}		40	50
*B	245	285	*B	195	245	*B	260	295	F _{max}						
*C	215	260	*C	245	295	*C	195	240	F _{max}						
*A	205	250	*A	215	275	*A	210	240	F _{max}						
*B	120	155	*B	130	175	*B	100	130	F _{max}		P15	P40			
*C	110	155	*C	100	135	*C	100	135	F _{max}		45	55			
Kräfte = Σ Zeilen 17 – 18			Achtung: Max. Punkte: 350 Zeile 17 / 500 Zeile 18			Achtung: Werte korrigieren, wenn Taktkategorie ≠ 60s			=						

Manuelles Handhaben von Lasten (pro Schicht)										Lasten		
Lastgewichte [kg] für Umsetzen (Heben / Absetzen), Tragen und Halten sowie Ziehen und Schieben												
Umsetzen, Tragen & Halten	Männer	3	10	15	20	25	30	35	40	>40		
	Frauen	2	5	7	10	12	15	20	25	>25		
Lastpunkte		1	1,5	2	3	4	5,5	7	8,5	25		
+ Ziehen und Schieben	Männer	Karren, Seil-Balancer		<50	75	100	150	200	250			
	Frauen			<40	60	80	115	155	195			
	Männer	Transportwagen ohne Bockrollen		<50	75	100	150	250	350	550		
	Frauen			<40	60	80	115	195	270	425		
Männer	Transportwagen mit Bockrollen		<50	75	150	250	350	500	600	800	1250	
Frauen			<40	60	115	195	270	385	460	615	960	
Lastpunkte		Transportmittel		0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	8
Körperhaltung, Position der Last (charakteristische Körperhaltung wählen)												
+ Oberkörper aufrecht und nicht verdreht, Last am Körper												
	geringes Rumpfeigen oder -drehen; Last am Körper oder Körpernah			tiefes Beugen oderweites Vorneigen; geringe Vorneigung mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers; Last körperfern o. über Schulterhöhe				weites Vorneigen und Verdrehen; Last körperfern; eingeschränkte Haltungsverstabilität beim Stehen, Hocken oder Knien				
Haltungspunkte		1		2		4		8				
Ausführungsbedingungen (nur bei Ziehen und Schieben von Wagen)												
(+)	sehr geringer Rollwiderstand	Wagen ziehen/schieben auf glattem Boden	auf rauem Boden, über kleine Fugen/Kanten	auf Riffelblech, unebenem Boden oder in/aus LKW	Wagen müssen b. Anfahren losgerissen werden, stark beschädigter Fahweg	sehr hoher Rollwiderstand						
	Ausführungspunkte	0-2		3	5	6	8					
Häufigkeit der Lastenhandhabung (#/Schicht, Haltedauer [min] oder Wegstrecke [Meter/Schicht])												
x	Häufigkeit Umsetzvorgänge / Ziehen & Schieben kurz	5	25	120	350	750	1000	1500	2000	2500	3000	
	Haltedauer [min]	2,5	10	37	90	180	>240					
	Strecke (Tragen, Ziehen & Schieben) [m]	300	650	2500	6500	12000	16000					
Häufigkeits-, Dauer- bzw. Wegpunkte		1	2	4	6	8	10	11	13	14	15	
Manuelles Handhaben von Lasten (Ergebnis)												
19	(Last + Haltung + (Ausführung)) x (#, Dauer o. Distanz)	Umsetzen ()	() + ()	Halten ()	() + ()	Tragen ()	() + ()	Ziehen & Schieben ()	() + () + ()			
	Lasten = Σ Zeile 19	1) Summe der Häufigkeits-, Zeit- und Wegpunkte für alle Tätigkeiten von Umsetzen, Halten, Tragen, Ziehen und Schieben maximal = 15						=				

Anhang A.4 – Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3 (Sektion 4)

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

Anhang A.5 – Vollständige Bewertung der Teilbelastungen

Tabelle 21: Übersicht Berechnung Ergonomie-Potential-Index Verkleidung B-Säule

EPI-Bewertung Verkleid. B-Säule		Belastungspunkte					
Prozessbeschreibung	Dauer (in s)	Körperhaltung		Aktionskräfte		Lasten	Extra- punkte
		SKH	AKH	FK	GK		
• Verkleidung B-Säule aufnehmen und Gurtbeschlag durch Säule fädeln	4,9	0	4,95	-	-	-	-
• Verkleidung B-Säule an Karosse positionieren und verasten (beidhändig)	2,2	0	2,48	-	9	-	-
• Akkuschauber aufnehmen	2,2	0	1,65	-	-	-	-
• Schraube aufnehmen und auf Akkuschauber platzieren	2	0	0	-	-	-	-
• Verschrauben	1,6	1,76	1,8	-	-	-	-
Gewichtete Summe (Punktwerte auf 0,5 nach dem Komma gerundet)	12,9	2	11	-	9	-	-
Ergonomie-Potential-Index (Punktwert auf keine Nachkommastelle aufgerundet)	$EPI = EP + \sum_{i=1}^n \text{Punkte } KH_i + \text{Punkte } FK_i + \text{Punkte } GK_i + \text{Punkte } L_i$ $EPI = 0 + \sum 13 + 9$ <p><i>EPI = 22 Punkte</i></p>						

Tabelle 22: Übersicht Berechnung Ergonomie-Potential-Index Stirwanddämpfung

EPI-Bewertung Stirwanddämpfung		Belastungspunkte					
Prozessbeschreibung	Dauer (in s)	Körperhaltung		Aktionskräfte		Lasten	Expunkte
		SKH	AKH	FK	GK		
• Stirwanddämpfung aufnehmen und platzieren	10	7,83	7,5	-	-	-	-
• Stirwanddämpfung links mit 1 Druckknopf befest.	10	7,83	7,5	11,25	-	-	-
• Leitungsstrang durch Ausschnitt fädeln & Perforation links ausreißen	5	3,67	5	-	-	-	-
• Stirwanddämpfung rechts mit 2 Druckknöpfen befest.	10	7,83	7,5	22,25	-	-	-
• Stirwanddämpfung im Fußraum verteilen & Perforation rechts ausreißen	5	3,67	5	-	-	21	-
Gewichtete Summe (Punktwerte auf 0,5 nach dem Komma gerundet)	40	32	9	22,5	-	21	-
Ergonomie-Potential-Index (Punktwert auf ganze Zahlen aufgerundet)	$EPI = EP + \sum_{i=1}^n \text{Punkte } KH_i + \text{Punkte } FK_i + \text{Punkte } GK_i + \text{Punkte } L_i$ $EPI = 0 + \sum 32 + 9 + 22,5 + 21$ $EPI = 85 \text{ Punkte}$						

Anhang A.6 - Normative Anwendungs- und Bewertungsregeln einer EPI-Bewertung

Nr.	Anwendungsregel	Bezug
	Generelle Annahmen des normierten Mitarbeiters:	
I	<ul style="list-style-type: none"> • Geschlecht: männlich • Alter: 35 - 45 Jahre • Größe: 1,76 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Übungsgrad: geübt • Trainingsgrad: eingearbeitet
II	Grundsätzlich ist die Unterteilung der Arbeitsplätze in Arbeitsvorgänge im Linienplan eine Orientierung zur Erstellung von Verrichtungen.	
III	Die Punktwerte der EAWS-Datenblätter gelten unter der Annahme einer 8 Stundenschicht mit Taktzeiten von einer bis vier Minuten.	
IV	In jeder Verrichtung darf nur jeweils eine Ganzkörper- oder Fingerkraft, Last auftreten. Treten mehr Aktionskräfte in einem Arbeitsvorgang auf, muss dieser in mehrere Verrichtungen unterteilt werden.	
V	Treten innerhalb des Arbeitsvorganges unterschiedliche Körperhaltungen auf, muss dieser in mehrere Verrichtungen unterteilt werden.	
	Bewertungsregel	
I	Wenn der EHPV-Rest größer als 0 ist, wird die zusätzliche Zeit als „Körperhaltung 1 (Stehen und Gehen im Wechsel)“ verrechnet und dem ‚Ergonomie Potential Index‘ hinzugefügt.	
II	Für die Gesamtpunktberechnung der Körperhaltung werden maximal 9 Punkte für „Verdreht“ und 6 Punkte für „Arm gestreckt“ über alle Verrichtungen berücksichtigt. Die Punkte der einzelnen Verrichtungen sind davon nicht betroffen.	
III	Zwischenwerte innerhalb der Module werden auf eine Dezimalstelle nach dem Komma gerundet. Der Gesamtpunktwert eines Moduls wird auf eine halbe Nachkommastelle aufgerundet.	M.A-6(E)
IV	Körperhaltungen werden ab 0 s Dauer bewertet.	VW.1-1(B)
V	Überschulterarbeit liegt vor, wenn der Oberarm einer oder beider Arme sich mindestens 10° unter Schulterniveau befindet.	VW.1-3(E)
VI	Wenn sich das Gesäß auf dem Boden/Untergrund befindet, wird mit „Sitzen“ bewertet. Wenn sich das Gesäß in der Luft befindet, wird mit „Hocken“ bewertet.	VW.1-5(E)
VII	Überkopfarbeit liegt vor, wenn sich die Handfläche einer oder beider Hände über dem höchsten Punkt des Kopfes befindet.	VW.1-4(E)
VIII	Die Bewegungsanteile <20°, Taktausgleichszeiten sowie Bewegungen vor und nach einer statischen Haltung werden in der Körperhaltung „Stehen und Gehen im Wechsel“ berücksichtigt.	M.1-7A(E)
IX	Einstufung ab 30N für Finger-Hand-Kräfte, einhändig (max. = 350 Punkte)	
X	Einstufung ab 40N für Arm-Schulter-Ganzkörperkräfte, beidhändig (max.=500 Punkte) -> Aktionskräfte bis zu 30 bzw. 40N sind in Modul „Körperhaltung“ enthalten.	M.2-1(E)
XI	Kombinationen von Finger-Hand-Kräften und Arm-Schulter-Ganzkörper-Kräften sind möglich. Doppelbewertungen sind nicht zulässig, dafür im Zweifelsfall den schlechteren Fall einstufen.	M.2-5(E)
XII	Die wirksame Last bei beidhändigem Handhaben von Lasten entspricht dem tatsächlichen Lastgewicht.	
XIII	Die wirksame Last bei einhändigem Handhaben von Lasten entspricht dem tatsächlichen Lastgewicht x Faktor 1,7- Dennoch wird eine Last erst ab einem tatsächlichen Gewicht von 3kg beachtet. Gewichte unter 3kg werden als nicht mit dem Faktor 1,7 multipliziert.	M.3-1(E)
XIV	Beim Ziehen und Schieben eines Transportmittels muss das Bruttogewicht berücksichtigt werden (Gewicht Transportmittel & Gewicht Fracht). Falls das Bruttogewicht nicht bekannt ist, können Messungen durchgeführt werden.	M.3-3(E)
XV	Werden Gewichte nicht komplett angehoben, sondern nur angekippt, so wird mit 50% des Lastgewichtes gerechnet.	VW.3-1(E)
XVI	Die wirksame Last bei der Handhabung durch zwei Mitarbeiter entspricht für jeden Mitarbeiter dem tatsächlichen Lastgewicht x Faktor 0,85	VW.3-2(E/B)

Quellen: Schaub et al. (2012), S. 3 ff.; DMTM (2014), S. 45 ff.; Volkswagen AG (2012b), S. 12 ff.

Anhang B.1 – Ergebnisdokumentation der EPI-Evaluierungsstudie

Tabelle 23: Teil 1 der Ergebnisdokumentation aus der Studie I im Passat der 8. Generation

Bauteilname	ERI [EPI/s]	Bt.-Risiko*	ApB. [Pkt.]	Ap.-Risiko**
2. Batterie	0,98	3	40	2
Abdeckkappe Hecklappenschloss	1,90	3	51,92	3
Abdeckklappe Ölwanne	0,57	2	51	3
Abdeckung Fußraum	1,15	3	45	2
Abdeckung Türfeststeller	2,26	3	43,98	2
Airbagsteuergerät	1,53	3	51	3
Anhängerkupplung	1,19	3	35	2
Anhängervorrichtung	1,27	3	66,42	3
Ansaugrohr	0,72	2	51	3
Ausströmer	0,53	2	55	3
BCM	3,12	3	41	2
Beschleunigungssensor	0,44	1	38	2
Boardwerkzeug	5,70	3	37	2
Bodenbelag	1,07	3	69	3
Bremsdruckleitung LOL 740	1,25	3	62	3
Bremskraftverstärker	3,66	3	62	3
Bremsleuchte	5,56	3	70,19	3
CW-Bodenverkleidung re.	2,02	3	68	3
CW-Verkleidung hinten re.	1,70	3	68	3
Dachhaltegriffe	1,30	3	49,7	2
Dachreling	1,14	3	17,26	1
Dämpfung Steigteil re.	1,82	3	59,8	3
Deformationselemente	7,37	3	70,31	3
Defrost-Ausströmer	0,60	2	47,33	2
Dekorblende Beifahrerseite	2,09	3	46,95	2
Dekorblende Kombiinstrument	3,12	3	43,96	2
Entriegelung Frontklappe	2,86	3	37	2
Entriegelung Lagerblock	1,45	3	37	2
EPB	2,48	3	60	3
Fahrgestellnummer	0,59	2	24,4	1
Fensterführung hinten re.	3,22	3	82,22	3
Fensterführung vorn re.	2,96	3	110,7	3
Fensterschachtabdeckung	1,47	3	55,88	3
Formhimmel	4,06	3	80	3
Frequenzstrebe	0,82	2	74	3
Frontscheibe	1,69	3	60,6	3
Fußhebelwerk	0,84	3	51	3
Fussraumverkleidung Mittelkonsole	1,67	3	79	3
Gelenkwelle Radlager	1,34	3	14,6	1
Gelenkwelle Tripode	0,49	1	11	1
Getriebelager	0,38	1	14	1
Halteleiste Wasserleiste	0,36	1	28,65	1
Halter Heckklappensteuergerät	6,44	3	45	2
Halter NOX-Steuergerät	1,57	3	56	3
Halter Soundverstärker	0,76	2	29,65	1
Halter Standheizungsteuergerät	6,75	3	44	2
Handschuhkasten	1,19	3	46,98	2
Hauptscheinwerfer re.	1,25	3	45,21	2
Heckdeckel Steuergerät	5,64	3	45	2
Heckkapsel 1/3 Variante	1,70	3	68	3
Heckkapsel 2/3 Variante	1,66	3	68	3
Heckkapsel 3/3 Variante	0,96	3	68	3
Hecklappenverkleidung	3,41	3	69,77	3
Heckscheibe (Limo)	1,68	3	50,06	3
Heckscheibe (Variant)	2,31	3	50,06	3
Heckschloss Heckklappe	1,67	3	51,72	3
Heckwischermotor	2,18	3	36,62	2
Hintersitzlehne li.	3,34	3	66,45	3
Hintersitzlehne re.	1,73	3	43,53	3

*Bauteil-Risikoeinstufung: 1 – unkritisch 2 – hohes Risiko 3 – kritisch

**Arbeitsplatz-Risikoeinstufung: 1 – grün 2 – gelb 3 – rot

Tabelle 24: Teil 2 der Ergebnisdokumentation aus der Studie I im Passat der 8. Generation

Bauteilname	ERI [EPI/s]	Bt.-Risiko	ApB. [Pkt.]	Ap.-Risiko
Kabelsack	6,56	3	34,55	2
Kältemittelleitungen	1,34	3	51	3
Keilrippenriemen	1,27	3	51	3
Kennzeichenleuchten	5,04	3	69	3
Klimagerät	3,37	3	51	3
Klimakompressor	1,40	3	52	3
Kofferraumseitenverkleidung	1,67	3	43,04	2
Kondenswasserschlauch	4,45	3	122,4	3
Konverter	2,78	3	41	2
Kopfairbag	3,73	3	122,4	3
Kraftstoffleitungen Tank	4,80	3	84,3	3
Kreuzgelenk	1,67	3	48	2
Kühlerhutze	3,03	3	51	3
Kühlerhutze Kühlwasserschlauch	1,26	3	42,12	2
Kühlwasserschlauch Getriebeölkühler	0,65	2	51	3
Kühlwasserschlauch Schelle Motor	0,50	1	51	3
Kunststoffreserveradmulde	1,44	3	37	2
Ladeluftrohr	0,70	2	51	3
Lenkgetriebe Spurstangenkopf	0,81	2	14	1
Ltgs. LWR	4,95	3	100,98	3
Modulquerträger	1,69	3	57	3
Motorabschirmung	1,29	3	68	3
Motorlager Abstützung Haltebock	0,50	1	21,2	1
Motorlager Abstützung Längsträger	0,55	2	21,2	1
Motorsteuergerät	1,74	3	32	2
Ölwanne	1,21	3	13	1
Querträger vorn	1,21	3	107	3
Radhausschale hinten re.	1,07	3	58	3
Radhausschale Hinterteil vorn re.	1,25	3	83	3
Radhausschale Vorderteil vorn re.	1,41	3	83	3
Riemenspanner	0,34	1	51	3
SBBR-Leuchte	1,14	3	74	3
Schaltgestänge	0,52	1	49	2
Schaltknaufabdeckung	1,77	3	42	2
Schelle Mittellager	1,41	3	66,45	3
SCR Dosierleitung Funktionsmodul	5,49	3	91,74	3
SCR Elektrische Steckungen	4,56	3	74,08	3
SCR Ltgs. Radhaus	3,50	3	60	3
SCR-Dosierleitungen	4,69	3	92	3
Soundverstärker	1,95	3	29,65	1
Spreizmutter Radhausschale	1,97	3	83	3
Starter	1,33	3	11	1
Stirnwanddämpfung innen	3,60	3	65,29	3
Stirnwanddämpfung Motorraum	1,04	3	40	2
Stopfen 15,5 x 42,5 mm	5,67	3	100,96	3
Tank-Steuergerät	3,17	3	65,0865	3
Tieftonlautsprecher	0,63	2	49,9	2
Tunnelbrücke	1,62	3	45,21	2
Tunnelstütze	1,52	3	68,57	3
Türdichtung B-Säule	1,10	3	11	1
Türdichtung C-Säule	2,08	3	11	1
Türfeststeller vorn	0,42	1	43,98	2
Türscheibe vorn	4,03	3	57	3
Türverkleidung vorn	1,45	3	70	3
Unterfahrerschutz	1,07	3	68	3
Verkleidung A-Säule	1,31	3	44,33	2
Verkleidung B-Säule	2,97	3	43,6	2
Verkleidung C-Säule	1,94	3	44,33	2
Verkleidung D-Säule	2,47	3	37,93	2
Verkleidung Fensterrahmen	6,23	3	69,77	3
Verzurröse hinten	1,56	3	43,04	2
Verzurröse vorn	1,28	3	43,04	2
Vorrohr	1,39	3	116	3
Wischwasserkasten	1,47	3	88,04	3
Zentrierhülsen Klimakompressor	3,59	3	51	3
Zugfeder Heckklappe	0,48	1	37,99	2

Tabelle 25: Teil 1 der Ergebnisdokumentation aus der Studie II im Touran der 2. Generation

Bauteilname	ERI [EPI/s]	Bt.-Risiko	ApB. [Pkt.]	Ap.-Risiko
2. Sitzreihe 2/3	1,00	3	71	3
2. Sitzreihe1/3	0,93	3	71	3
Abdeckteil Ölwanne	0,41	1	24	1
Abdeckung Montageloch	2,99	3	48	2
Abdeckung Schlossträger	0,88	3	82	3
Abgasanlage	1,70	3	25	1
Abschlussleiste Heck	4,27	3	184	3
Airbagsteuergerät	0,65	2	38	2
Anhängervorrichtung	1,68	3	46	2
Ansaugrohr	0,61	2	71	3
Auskleidung Kofferraumboden	1,44	3	36	2
Batterie	0,19	1	17	1
BCM Cockpit	2,59	3	86	3
Beschleunigungssensor	1,61	3	20	1
Bodenbelag	2,04	3	49	2
Bordwerkzeug	1,43	3	82	3
Bremsdruckleitung	1,84	3	42	2
Bremskraftverstärker	1,47	3	56	3
CW-Bodenverkleidung	0,45	1	18	1
Dachantenne	3,33	3	60	3
Dachreling	1,53	3	72	3
Dämpfung Bodenbelag	1,48	3	59	2
Dämpfung Frontklappe	0,74	2	54	3
Dämpfung Radhaus	0,40	1	21	1
Dichtung Frontklappe	8,72	3	111	3
Entriegelungshebel	2,67	3	40	2
EPB	6,00	3	33	2
Fahrerairbag	5,11	3	93	3
Federbeinlager	0,80	2	40	2
Fensterführung	0,68	2	37	2
Fensterrahmenverkleidung	4,19	3	117	3
Formhimmel PSD	2,67	3	97	3
Formhimmel Voldach	2,64	3	97	3
Frontklappenbügel	1,88	3	39	2
Frontscheibe	2,43	3	147	3
Führungsprofil Stoßfänger	0,50	1	55	3
Fußhebelwerk Gas-Bremse	1,56	3	52	3
Fußhebelwerk Kupplung	1,56	3	52	3
Fußraumverkleidung Mittelkonsole	0,89	3	52	3
Gelenkwelle	0,17	1	15	1
Getriebe	0,95	3	29	1
Getriebelager	0,05	1	15	1
Glanzeiste Tür	2,74	3	16	1
Gurthöhenversteller	0,70	2	135	3
Gurtumlenkung	2,08	3	98	3
Halteleiste Wasserfangleiste	0,97	3	32	2
Halter Dachhaltegriffe	1,10	3	48	2
Halter Taschenhacken	1,21	3	22	1
Handschuhkasten	0,52	2	27	1
Hauptscheinwerfer	3,11	3	55	3
Heckklappenverkleidung	3,98	3	102	3
Heckscheibe	0,92	3	26	1
Heckschloss	2,67	3	61	3
Heckwischermotor	1,48	3	47	2
Innenleuchte	4,24	3	111	3
Innenraumleitungssatz li.	0,65	2	81	3
Innenraumleitungssatz Masse	0,54	2	86	3
Innenraumleitungssatz re.	0,59	2	88	3
Innenraumleitungssatz Stopfen	0,49	1	28	1
Kabelsack	2,49	3	34	2
Kältemittel-Leitungen	0,29	1	64	3
Klimakompressor	0,66	2	24	1
Knieairbag	0,39	1	42	2
Kofferraumboden 7-Sitzer	0,71	2	22	1
Kofferraumboden Variablerladeboden	0,67	2	22	1
Kofferraumseitenverkleidung	3,58	3	68	3
Kondenswasserschlauch	3,57	3	77	3

Tabelle 26: Teil 2 der Ergebnisdokumentation aus der Studie II im Touran der 2. Generation

Bauteilname	ERI [EPI/s]	Bt.-Risiko	ApB. [Pkt.]	Ap.-Risiko
Kopfairbag	0,69	2	37	2
Kraftstoffleitung Unterboden	3,64	3	124	3
Kraftstoffleitungen Motorraum	0,97	3	37	2
Kreuzgelenk	2,45	3	83	3
Kugelhals Anhängervorrichtung	1,69	3	62	3
Kühlerhutze	3,25	3	96	3
Ladeluftrohr Frontend	0,60	2	27	1
Lagerbock	1,99	3	39	2
Leitung LWR	4,70	3	83	3
Leitungsumfang Motorraum li.	0,40	1	65	3
Leitungsumfang Motorraum Masse	0,54	2	28	1
Leitungsumfang Motorraum re.	0,55	2	52	3
Leitungsumfang Motorraum SWD	1,31	3	36	2
Leitungsumfang Motorraum Waka	1,33	3	56	3
Ltgs Heckklappe	1,19	3	84	3
Mittelkonsole	0,81	2	56	3
Motorabschirmung kurz	1,26	3	36	2
Motorabschirmung lang	1,02	3	39	2
Motorlager	0,64	2	39	2
Motornahe Kühlwasserschle. Schelle	1,80	3	29	1
Motorsteuergerät	0,48	1	25	1
Pendelstuetzennest	1,21	3	21	1
PSD Wasserablaufschlauch	1,72	3	46	2
Quertäger 3. Sitzreihe	1,82	3	83	3
Querträger Stoßfänger	0,81	2	40	2
Radhausschale hinten	1,42	3	41	2
Radhausschale vorne	0,52	2	42	2
Rückblickspiegel Basis	7,71	3	110	3
Rückblickspiegel m. Kamera	1,20	3	110	3
SBBR Leuchten	2,46	3	51	3
Schaltabdeckung	3,16	3	134	3
Schließsystem Tür	0,47	1	11	1
SCR-Elektrische Steckkontakte	3,45	3	49	2
SCR-Füll- und Entlüftungsleitung	2,86	3	45	2
SCR-Harnstoff-Dosierleitung	1,45	3	43	2
SCR-Harnstofftank an Unterboden	0,50	1	43	2
SCR-Leitungen	8,67	3	49	2
SCR-Tankabdeckung	0,53	2	45	2
SCR-Tanksteuergerät	5,73	3	91	3
Seitenscheibe C-Säule	0,85	3	60	3
Sicherheitsgurte 1.Sitzreihe	0,70	2	73	3
Sicherheitsgurte 2.Sitzreihe	0,38	1	73	3
Sicherheitsgurte 3.Sitzreihe	0,62	2	49	2
Sitze 3. Reihe	0,60	2	36	2
Sitze vorn	0,87	3	62	3
Soundverstärker	1,16	3	46	2
Spoiler Heckklappe	0,51	2	16	1
Spreizniete für Stoßfänger	1,20	3	24	1
Standheizung	0,65	2	5	1
Stellelement Tankklappenmodul	1,55	3	46	2
Steuergerät Heckdeckel	3,63	3	91	3
Stirnwanddämpfung innen	1,60	3	57	3
Stirnwanddämpfung Motor	1,87	3	51	3
Stoßfänger vorn	0,65	2	80	3
Stoßfängerabdeckung hinten	2,53	3	64	3
Tiefton-Lautsprecher Tür hinten	0,31	1	23	1
Tiefton-Lautsprecher Tür vorn	0,31	1	23	1
Tunnelstütze	0,36	1	79	3
Türdichtung links	0,97	3	31	2
Türen links	0,36	1	43	2
Türfeststeller	0,44	1	25	1
Türscheibe links	3,42	3	45	2
Türverkleidung hinten	1,12	3	50	3
Türverkleidung vorn	1,05	3	50	3
Unterfahrschutz	1,03	3	39	2

Tabelle 27: Teil 3 der Ergebnisdokumentation aus der Studie II im Touran der 2. Generation

Bauteilname	ERI [EPI/s]	Bt.-Risiko	ApB. [Pkt.]	Ap.-Risiko
Verkleidung A-Säule oben	1,60	3	67	3
Verkleidung B-Säule oben	2,96	3	126	3
Verkleidung C-Säule oben	7,26	3	126	3
Verkleidung D-Säule oben	2,13	3	54	3
Wasserfangleiste	1,37	3	41	2
Wasserkastenvorderwand	0,65	2	43	2
Zuziehhilfe Heckklappe	10,16	3	185	3

Tabelle 28: Risikovorhersagen und Prognosevalidität der Studie I

Risikoeinstufung	Arbeitsplatz			Prognosegüte			
	rot	gelb	grün	R_i^{gesamt}	$R_i^{korrekt}$	P_{Ri}	P_{Ri}^*
kritisch	63	34	7	104	63	0,606	0,933
hohes Risiko	6	2	4	12	2	0,167	0,667
unkritisch	2	4	4	10	4	0,400	-

Anmerkung: n = 265 bewertete Bauteile
* angepasste Prognosevalidität zur Darstellung der Trefferrate kritischer & hoher Risiko Bauteilbewertung für rote + gelbe Arbeitsplätze
Chi-Quadrat $\chi^2 = 17,462$; $p < 0,05$; Cramers $V = 0,263$

Tabelle 29: Risikovorhersagen und Prognosevalidität der Studie II

Risikoeinstufung	Arbeitsplatz			Prognosegüte			
	rot	gelb	grün	R_i^{gesamt}	$R_i^{korrekt}$	P_{Ri}	P_{Ri}^*
kritisch	51	30	9	90	51	0,567	0,900
hohes Risiko	10	11	8	29	11	0,379	0,724
unkritisch	5	3	12	20	12	0,600	-

Anmerkung: n = 265 bewertete Bauteile
* angepasste Prognosevalidität zur Darstellung der Trefferrate kritischer & hoher Risiko Bauteilbewertung für rote + gelbe Arbeitsplätze
Chi-Quadrat $\chi^2 = 27,356$; $p < 0,05$; Cramers $V = 0,314$

Tabelle 30: Variante 2 - Ergebnisse der Belastungspunkteunterschiede zwischen Bauteilbewertungen und Arbeitsplätzen

Bauteil	Variante 2					
	EPI [Pkt.]	Σ EPI [Pkt.]	ApB [Pkt.]	dA	rA	\bar{dA}
Verkleidung B-Säule oben	34	112	126	14	0,11	5,8
Verkleidung C-Säule oben	61					
Keder Verkleidung B- & C-Säule	17					
Dachreling	51	70	72	2	0,03	
Wasserablaufschlauch PSD	19					
Tiefton-Lautsprecher Tür vorn	7	21	23	2	0,09	
Tiefton-Lautsprecher Tür hinten	6					
Abdeckung Montageloch	8					
Kofferraumboden 7-Sitzer	14	29	22	-7	-0,32	
Halter Taschenhacken	15					
Halteleiste Wasserfangleiste	23	28	32	4	0,13	
Gummipuffer Frontklappe	5					

Tabelle 31: Variante 3 - Ergebnisse der Belastungspunkteunterschiede zwischen Bauteilbewertungen und Arbeitsplätzen

Variante 3							
Bauteil	EPI [Pkt.]	ApB [Pkt.]		Σ ApB [Pkt.]	dA	rA	\overline{dA}
Handschukasten	30	28	25	53	23	0,43	21
Bodenbelag	88	60	38	98	10	0,10	
Querträger Stoßfänger	42	62	18	80	38	0,48	
Türverkleidung hinten	75	40	49	99	24	0,24	
Unterfahrerschutz	69	43	36	79	10	0,13	

Anhang C.1 – Fragebogen zur Bestimmung der arbeitsbedingten Fehltag

Fragebogen zum Thema

„Zusammenhang von Ergonomie zu arbeitsplatzbedingten Belastungen“

Hintergrund

Sehr geehrte Kolleginnen, sehr geehrte Kollegen,

ergonomische Arbeitsplatzgestaltung stellt die Grundlage für den Gesundheitsschutz der Mitarbeiter und reibungsfreie Produktionsabläufe dar. Zu diesem Thema soll eine Belastungsbewertung von Arbeitsumfängen durchgeführt und der Einfluss auf einen möglichen Ausfall von Mitarbeitern untersucht werden. Mit Hilfe dieser Befragung zu Ihren persönlichen Belastungserfahrungen und eventuellen Ausfalltagen sollen weitere Verbesserungen in der Arbeitsgestaltung ermöglicht werden. Die Teilnahme an diesem Fragebogen ist auf freiwilliger Basis und Ihre Daten bleiben anonym. Über Ihr Interesse und Unterstützung wäre ich sehr dankbar!

David Becker (PMP-M/Q, Tel. 05361-9-969396)

1	Seit wann arbeiten Sie in Ihrem aktuellen Team?	Kürzer als 6 Monate <input type="checkbox"/>	Kürzer als 3 Jahre <input type="checkbox"/>	Länger als 3 Jahre <input type="checkbox"/>
---	---	---	--	--

2	An wie vielen Tagen im Jahr 2014 fehlten Sie aus <u>arbeitsplatzbedingten</u> Gründen? (körperliche Überlastung)	Nie <input type="checkbox"/>	Ca. 5 Tage <input type="checkbox"/>	Ca. 2 Wochen <input type="checkbox"/>	Ca. 4 Wochen <input type="checkbox"/>
---	---	---------------------------------	--	--	--

Anhang C.2 – Ergebnisse der empirischen Studie zu arbeitsbedingten Au-Tagen

Tabelle 32: Ergebnisse der Befragung zum Zusammenhang von arbeitsbedingten Au-Tagen und physischen Belastungsbewertungen

Team	Anzahl befragte Ma [n]	Σ Arbeitsbedingte Au-Wochen [n]	Σ Arbeitsbedingte Au-Tage [n]	\emptyset -Anzahl arbeitsbedingte Au-Tage /Ma [n]	\emptyset -Belastungsbewertung /Team [EAWS-Pkt.]
1	41	59	295	7,20	23,08
2	36	31	155	4,31	43,27
3	43	32	160	3,72	40,87
4	15	18	90	6,00	47,50
5	11	6	30	2,73	24,70
6	44	54	270	6,14	56,93
7	33	19	95	2,88	20,39
8	29	19	95	3,28	26,56
9	40	24	120	3,00	14,59
10	27	27	135	5,00	21,59
11	19	23	115	6,05	12,63
12	26	14	70	2,69	13,65
13	35	48	240	6,86	25,97
14	11	11	55	5,00	31,00
15	15	13	65	4,33	23,19
16	20	43	215	10,75	45,45
17	38	38	190	5,00	27,95
18	26	29	145	5,58	31,19
19	28	33	165	5,89	31,14
20	22	22	110	5,00	40,56
min	11	6	30	2,69	12,63
max	44	59	295	10,75	56,93
\bar{x}	27,95	28,15	140,75	5,07	30,11
σ^2	10,61	14,41	72,06	1,92	12,15

Tabelle 33: Vergleichende Übersicht der Arbeitsunfähigkeitstage im gesamten produzierenden Gewerbe

Vergleich zur Fläche	Anzahl Au-Tage /Mitarbeiter [n]	\emptyset -Anzahl arbeitsbedingte Au-Tage /Mitarbeiter [n]
Untersuchte Fertigungslinie	16,9	5
Produzierendes Gewerbe*	17,3*	4,6**

Quellen:

*BMAS (2014, S. 161)

**ermittelt als Mittelwert zwischen 30 % von Großmann und Laun (2002, S. 997) und 23 % von BMAS (2014, S. 263) Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	David Becker
Geburtsdatum	05.12.1986
Geburtsort	Bernburg
Anschrift	Abendstraße 16b, 39124 Magdeburg
Telefon	01622988423
E-Mail	david.becker@ovgu.de

Beruflicher Werdegang

Seit 03/2017	Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (Lehrstuhl Arbeitswissenschaft und Arbeitsgestaltung)
03/2013 – 03/2017	Volkswagen AG, Wolfsburg Fertigungsplaner mit Industriepromotion in der Markenplanung
04/2012 – 02/2013	Volkswagen AG, Wolfsburg Diplomarbeit zum Thema „Vergleich von Motion Capture Technologien zur Ergonomiebewertung in der Automobilbranche“

Ausbildung

Seit 03/2013	Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg Externe Promotion am Institut für Sportwissenschaft (Lehrstuhl Sport und Technik / Bewegungswissenschaft)
09/2007 – 01/2013	Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg Studium der Ingenieurs- und Sportwissenschaften (Dipl.-Sporting.)
08/1999 – 06/2006	Gymnasium Carolinum, Bernburg Abitur