

Christoph Mühlemeyer

Weiterentwicklung und Evaluierung
eines arbeitswissenschaftlichen
Instruments zur ganzheitlichen
Analyse, Beurteilung und Gestaltung
arbeitsbedingter Belastungen und
Gefährdungen von Arbeitssystemen

**Schriftenreihe des Instituts für Arbeitsmedizin,
Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V.
(ASER)**

Forschungsbericht - Nr. 43

Forschungsbericht – Nr. 43

Christoph Mühlemeyer

**Weiterentwicklung und Evaluierung eines
arbeitswissenschaftlichen Instruments zur
ganzheitlichen Analyse, Beurteilung und
Gestaltung arbeitsbedingter Belastungen und
Gefährdungen von Arbeitssystemen**

Der hier vorliegende Forschungsbericht – Nr. 43 mit dem Titel „Weiterentwicklung und Evaluierung eines arbeitswissenschaftlichen Instruments zur ganzheitlichen Analyse, Beurteilung und Gestaltung arbeitsbedingter Belastungen und Gefährdungen von Arbeitssystemen“ ist die von der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Wuppertal zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation von Dipl.-Ing. Christoph Mühlemeyer, M.Sc. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Autor: Dipl.-Ing. Christoph Mühlemeyer, M.Sc.
Am Vogelherd 5
45239 Essen

Herausgeber: Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)
Corneliusstraße 31
42329 Wuppertal
Telefon: 0202 – 73 10 00
Telefax: 0202 – 73 11 84
E-Mail: info@institut-aser.de
Internet: www.institut-aser.de

© by Institut ASER e.V., Wuppertal, 2024
Printed in Germany 2024

ISBN 978-3-936841-39-8

**Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe
und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.**

In die Schriftenreihe Forschungsberichte des Instituts ASER e.V. werden seit dem Jahr 2001 u. a. auch solche Forschungsergebnisse eingestellt, die in Bezug auf die auftraggebende(n) Organisation(en) oder auf die beteiligten Kooperationspartner aus Gründen des Datenschutzes vorerst nicht in einer zusammenhängenden Darstellungsform frei veröffentlicht werden können und eine Anonymisierung dieser alleinstehenden Forschungsergebnisse nicht möglich ist oder noch nicht vorgenommen werden konnte. Die Aufarbeitung der Forschungsergebnisse in die Form der formalisierten Forschungsberichte des Instituts ASER e.V. dient dazu, diese Forschungsergebnisse in spätere Veröffentlichungen dann mit geringerem Aufwand einfließen zu lassen. Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

**Weiterentwicklung und Evaluierung
eines arbeitswissenschaftlichen Instruments
zur ganzheitlichen Analyse, Beurteilung und Gestaltung
arbeitsbedingter Belastungen und Gefährdungen
von Arbeitssystemen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

in der

Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

der

Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Christoph Mühlemeyer, M.Sc.

Wuppertal, Januar 2024

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. André Klußmann

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Gust

Tag der mündlichen Prüfung: 26. September 2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Danksagung.....	V
Zusammenfassung	VII
Abstract.....	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung (Ziele / Überblick).....	1
1.1 Hintergrund der Dissertation	1
1.1.1 Nachhaltiges Wachstum – Ein langer Weg.....	1
1.1.2 Unternehmerprinzipien für Gesundheit und Nachhaltigkeit.....	2
1.1.3 Coronavirus, Unruhen und Proteste.....	2
1.1.4 Interdisziplinäre Optimierung – Eine besondere Herausforderung.....	4
1.2 Zielstellung der Dissertation.....	5
1.3 Überblick über die Dissertation	7
1.3.1 Fragestellungen	7
1.3.2 Struktur	8
2 Ausgangslage (Instrument / Fragen / Hypothesen)	11
2.1 Wissenschaftliche Grundlagen des Instruments	12
2.1.1 Labor- und Feldstudien zur Humanisierung des Arbeitslebens.....	13
2.1.2 Weiterentwicklung des BAB-Verfahrens zum BDS-Instrument	20
2.1.3 Ausbau zum Managementwerkzeug für den demografischen Wandel	24
2.1.4 Erweiterungen für die internationale Anwendung.....	29
2.2 Dynamik der Arbeitswelt	35
2.2.1 Transformation in der Industrialisierung.....	35
2.2.2 Wandel im frühen 21. Jahrhundert.....	36
2.2.3 Arbeitswelt der Zukunft	37
2.3 Beeinträchtigung des Unternehmenserfolgs	43
2.3.1 Qualitäts- und Effizienzeinbußen	45
2.3.2 Unfall- und Krankheitsgeschehen	46
2.3.3 Muskel-Skelett-Erkrankungen bei alternden Belegschaften.....	47
2.3.4 Rechtsverstöße.....	48
2.3.5 Feststellung von Abweichungen bei Audits.....	50
2.4 Nachhaltiges Wachstum auf wissenschaftlicher Grundlage.....	51
2.4.1 Optimierung von Belastung und Beanspruchung.....	51
2.4.2 Bewertungskonzepte zur menschengerechten Arbeitsgestaltung.....	54
2.4.3 Optimierung von Produkten und Arbeitsbedingungen.....	55
2.4.4 Interdisziplinäre Optimierung der Arbeitsbedingungen	60
2.5 Zusammenfassung bisheriger Entwicklungen und Erkenntnisse	65
2.5.1 Terminologie	65
2.5.2 Dynamik der Arbeitswelt	70
2.5.3 Demografie und Fachkräftemangel.....	70
2.5.4 Neue Herausforderungen.....	71
2.5.5 Komplexes Belastungsgeschehen	71
2.5.6 Potenziale optimierter Arbeitsgestaltung.....	72

2.5.7	Weiterentwicklungsbedarf und Evaluierung des Instruments	73
2.6	Konkretisierung der Fragestellungen für diese Arbeit	74
2.6.1	Weiterentwicklung, Erprobung, Implementierung	74
2.6.2	Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien	76
2.6.3	Abgeleitetes Vorgehen	79
2.7	Überblick der abgeleiteten Arbeitshypothesen	82
3	Methoden	83
3.1	Weiterentwicklung und Erprobung des Instruments	83
3.1.1	Weiterentwicklungs- und Erprobungsziele	84
3.1.2	Eingesetzte Methoden	84
3.1.3	Durchführung der ausgewählten Methoden	84
3.1.4	Auswertungsmethoden (Entwicklungstransparenz, Dokumentation)	90
3.2	Evaluierung der Hauptgütekriterien des Instruments	91
3.2.1	Evaluierung der Validität	91
3.2.2	Evaluierung der Reliabilität	105
3.2.3	Evaluierung der Objektivität	108
3.3	FINER-Prüfung der Forschungsfragen und Methodik	112
4	Ergebnisse	113
4.1	Weiterentwicklung des Instruments	114
4.1.2	Belastungsart Beleuchtung - Bewertungsmodell und Demografiefilter	121
4.1.3	Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung	126
4.1.4	Prozessverfahren Optimierungsprozesse (Gestaltungsmaßnahmen)	131
4.1.5	Prozessverfahren Arbeitsmedizinische Vorsorge	140
4.1.6	Prozessverfahren Inklusion	145
4.1.7	Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen	153
4.1.8	Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen	160
4.1.9	Fachverfahren Mutterschutzgefährdungen	168
4.1.10	Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen	174
4.1.11	Dashboard (Business Intelligence)	181
4.1.12	Zusammenführung der Weiterentwicklungen zum BDS 10.0	198
4.1.13	Praxisanwendung des Instruments im Smart-Factory-Kontext	202
4.1.14	Erweitertes Implementierungskonzept des Instruments	207
4.2	Evaluierung des Instruments	213
4.2.1	Evaluierung der Validität	214
4.2.2	Inhaltsvalidität	215
4.2.3	Diskriminanzvalidität	222
4.2.4	Nomologische Validität	224
4.2.5	Methodenverzerrung	225
4.2.6	Schlussfolgerungen zur Konstruktvalidität	227
4.2.7	Kriteriumsvalidität	228
4.2.8	Evaluierung der Reliabilität	257
4.2.9	Evaluierung der Objektivität	268

5	Diskussion	277
5.1	Weiterentwicklung des Instruments	278
5.1.1	Arbeitshypothese 1 (Praxiserprobung).....	280
5.2	Evaluierung des Instruments.....	282
5.2.1	Arbeitshypothese 2 (Logische Validität)	283
5.2.2	Arbeitshypothese 3 (Augenscheinvalidität)	284
5.2.3	Arbeitshypothese 4 (Diskriminanzvalidität)	285
5.2.4	Arbeitshypothese 5 (Nomologische Validität).....	286
5.2.5	Arbeitshypothese 6 (Methodenverzerrung)	287
5.2.6	Arbeitshypothese 7 (Kriteriumsvalidität).....	288
5.2.7	Arbeitshypothese 8 (Intra-Rater-Reliabilität)	290
5.2.8	Arbeitshypothese 9 (Paralleltest)	291
5.2.9	Arbeitshypothese 10 (Inter-Rater-Reliabilität - Durchführung)	292
5.2.10	Arbeitshypothese 11 (Inter-Rater-Reliabilität - Interpretation)	294
6	Ausblick	295
6.1	Empfehlungen	295
6.2	Weiterer Forschungsbedarf.....	297
6.3	Ausblick.....	299
	Abbildungsverzeichnis	XIX
	Tabellenverzeichnis	XXVII
	Literaturverzeichnis.....	XXXI
	Schrifttum	XXXI
	Technische Normen.....	LIV
	Regelwerke.....	LV
	Abbildungen und Tabellen	LVI
Anhang	.....	LIX

Danksagung

Mein herzlichster Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lang, der die Dissertation überhaupt erst ermöglichte und mit seiner jahrzehntelangen Praxiserfahrung stets neue interessante Blickwinkel eröffnete; Herrn Prof. André Klußmann, dessen wiss. Evaluierungskonzepte die Grundlage für den epidemiologischen Untersuchungsteil dieser Dissertation bildeten; Herrn Prof. Ralf Pieper für die Inspiration durch seine sis-Editorials; Herrn Univ.-Prof. Peter Gust und Herrn Univ.-Prof. Manuel Löwer für die fachlich bereichernde Diskussion, Herrn Dr. med. Falk Liebers für die Schaffung der Voraussetzungen für eine empirisch-analytische Untersuchung mit vergleichender Untersuchungsperspektive sowie Herrn Prof. Daniel Bruns für die wertvolle Unterstützung während der Vorbereitungen zum Disputationsvortrag.

Die vorliegende Dissertation ist im Rahmen meiner Forschung beim Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie (ASER) e.V. an der Bergischen Universität Wuppertal entstanden. Die fachspezifische ASER-Bibliothek ermöglichte einen schnellen Zugang zu Fachliteratur, bedeutenden arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Labor-/Feldstudien und Gesetzeskommentaren. Die Dissertation baut auch auf der Grundlagenforschung und Normungsarbeit zur kombinierten Arbeitsbelastung durch Klima und Arbeitsschwere von Herrn Prof. Hansjürgen Gebhardt und den Entwicklungen von M.Sc. Ann Kathrin Wissemann zum Mutterschutz und zur arbeitsmedizinischen Vorsorge auf. In Phasen sehr hoher Arbeitsdichte aufgrund internationaler Qualifizierungstätigkeiten war immer eine flexible Abstimmung mit Herrn M.Sc. Patrick Serafin möglich, sodass ich empirische Untersuchungen und Auswertungen konzentriert blockweise durchführen konnte. Bei der Verfahrensentwicklung zur psychischen Belastung war eine Abstimmung mit Dipl.-Psych. Andreas Saßmannshausen zu den diesbezüglichen Kontroversen der Sozialpartner jederzeit möglich. Teils Jahrzehnte zurückliegende Datensicherungen von Herrn Dipl.-Ing. Andreas Schäfer ermöglichten die Nachvollziehbarkeit grundlegender wissenschaftlicher Modelle. Herr Bernd Neumann und Herr Dipl.-Ing. Martin Keuchel realisierten die Digitalisierung der entwickelten Fachverfahren nach dem neuen standardisierten Vorgehen. Generell bedanken möchte ich mich auch bei allen Arbeitswissenschaftler*innen, die auf wiss. Kongressen meine Veröffentlichungen mit mir diskutierten und mich zu Anschlussforschung inspirierten. Das sicherheitswissenschaftliche Kolloquium und das Forum Arbeitsphysiologie sind hierbei zwei Formate, die einen intensiven Austausch über Forschung und anwendungsorientierte Problemstellungen ermöglichen.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Freundin Stephanie für ihr Verständnis, während ich tage- und nächtelang an Berechnungen, Auswertungen und Plots in R-Studio sowie an der Formulierung und Formatierung der Dissertation arbeitete sowie auch für die umfangreiche Unterstützung bei der Disputationsvorbereitung; meinen Eltern Marina und Michael, die mich während meines gesamten Lebens immer ausnahmslos unterstützt haben und bei meinem Bruder Fabian, unter anderem für sein allumfassendes Kfz-Knowhow, sodass beim zwischenzeitlich notwendigen Autotausch sehr wenig Zeit verloren ging. Euch widme ich dieses Buch!

***Fortschritt in der Forschung ist vor allem
eine Folge von Korrektur und Selbstkorrektur***

Maximilian Carl Emil „Max“ Weber

Zusammenfassung

Einleitung: Der Mangel an Arbeits- und Fachkräften führt zu einem Wertschöpfungsverlust von jährlich 90 Milliarden Euro. Die deutsche Industrie- und Handelskammer prognostiziert eine zukünftig größere Herausforderung als durch die steigenden Energiekosten (DIHK, 2023). Jährlich mehr als 125.000 anerkannte Berufskrankheitsfälle, 865.000 meldepflichtige Arbeitsunfälle und 700 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage erhöhen die Lohnnebenkosten immer weiter (BMAS, 2022). Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit ist daher auf deren präzise Vorhersage und Prävention sowie die frühzeitige Unterbrechung der Chronifizierung von Beschwerden und Erkrankungen angewiesen.

Methoden: Die Forschungsfragen wurden anhand von elf Arbeitshypothesen in einem Mixed-Method-Forschungsansatz untersucht. Die Weiterentwicklung erfolgte standardisiert durch Entwicklung neuer, autark einsetzbarer Verfahren. Die Struktur zur Evaluierung von Validität, Reliabilität und Objektivität wurde aus der wissenschaftlichen Testliteratur abgeleitet. Umfangreiche Untersuchungen der Validität umfassten Bewertungsalgorithmen ($n = 2.053$), Belastungspaarabgrenzung ($n = 3.897$) und die Vorhersage arbeitsspezifischer Erkrankungen mit dem BDS-Instrument (Funktion als Frühindikator) anhand einer betriebsepidemiologischen Querschnittsstudie mittels Regressionsanalysen ($n = 368$). Die Inter-Rater-Reliabilität wurde über 600 zu treffende Einzelentscheidungen anhand der Übereinstimmung mit ungewichtetem Fleiss' Kappa (κ) und Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC 3,1) untersucht. Der Test der Intra-Rater-Reliabilität erfolgte durch wiederholende Anwendung des Instruments nach anderthalb Jahren. Konvergenz wurde mittels Paralleltest mit dem BRIEF survey getestet. Abschließend erfolgte eine Praxisanwendung des Instruments im Smart-Factory-Kontext in der Intralogistik (Kosmetik) mit 19 kg Leichtbau-Cobot-Implementierung (Sawyer).

Ergebnisse: Das BDS-Instrument ist mit vier neuen Fachverfahren nun modular aufgebaut. Neue Schnittstellen zur arbeitsmedizinischen Vorsorge und Vereinfachungen für die Analyse wurden implementiert. Organisationen sind beim Fehlen von Messequipment jetzt flexibler bei der Analyse der Belastung durch Wärmestrahlung. Bei der Evaluierung zeigten sich statistisch sehr signifikant erhöhte relative Gesundheitsrisiken (Odds-Ratio mit 95 %-KI und p-value) der Beschäftigten, die längerfristig Arbeitssysteme ausführten, in denen Belastungsarten im Gefahrenbereich nach dem harmonisierten Risikokonzept des Instruments vorherrschen. Zur Wirkungsstärke von Belastungen auf die Wirbelsäulen- und Halsstruktur sowie auf die oberen und unteren Extremitäten zeigten sich im Paralleltest vergleichbare Aggregationsergebnisse bei den Avataren. Der Test der Intra-Rater-Reliabilität verdeutlichte die Wichtigkeit einer exakten Analyse zeitanteiliger Belastungsaspekte.

Diskussion: Das jetzt verfahrensmodulare BDS-Instrument^{v10.0} ermöglicht eine schnelle und flexible Optimierung je nach Status quo der Arbeitsbedingungen und hilft bei der Durchführung rechtskonformer Gefährdungsbeurteilungen. Das integrierte Knowhow zur Identifizierung von Unfall- und Gesundheitsgefahren sowie zur Optimierung moderner Arbeitssysteme wurde erweitert. Die einbezogene betriebsepidemiologische Querschnittsstudie ist limitiert durch den Studientyp. Beim Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Lastenhandhabung und der Sammeldiagnose Lumbalgie/Lumbago wird in der Erwerbsbevölkerung von stärkeren Effekten ausgegangen, da die anwesenden und damit tendenziell gesunden Beschäftigten untersucht wurden. Anschlussforschung sollte sich fokussieren auf die Nebengütekriterien und den Besorgnisbereich des Instruments (BDS-Level 4). Die hier aufgeführte Literatur, das R-Skript und die neue Rohdatenschnittstelle können diese Untersuchungen unterstützen.

Abstract

Introduction: The shortage of blue-collar and skilled employees leads to a loss of added value of 90 billion euros annually. German chamber of industry and commerce predicts a greater challenge than rising energy costs. Every year, more than 125,000 recognized cases of occupational diseases, 865,000 reportable occupational accidents and 700 million days of incapacity continue to increase indirect labour costs (BMAS, 2022). Future market competitiveness is therefore dependent on precise prediction and prevention as well as the early prevention of chronic illnesses.

Methods: The research questions were examined using eleven working hypotheses in a mixed-method research approach. The evolution of the instrument was carried out by standardized development of new autarkic method-modules based on occupational science findings condensed in an international literature review. The evaluation structure for evaluating validity, reliability and objectivity was derived from scientific testing literature. Extensive validity studies included assessment algorithms ($n = 2,053$), differentiation of exposure-pairs ($n = 3,897$) and prediction accuracy of work-related diseases (BDS as leading indicator) based on a cross-sectional industrial epidemiological study using regression analysis ($n = 368$). The Inter-rater-reliability was tested based on 600 individual decisions statistically evaluated by quantified agreement rate with unweighted Fleiss' kappa (κ) and intra-class correlation coefficients (ICC 3,1). The Intra-rater-reliability was tested by repeated use of the instrument after 1.5 years. Convergence was tested using a parallel test with the BRIEF survey. Finally, the instrument was used in smart factory context in intralogistics (cosmetics) with a 19 kg lightweight cobot implementation (Sawyer).

Results: The BDS-Instrument is now modular with four new autarkic method-modules. The process integration from risk analysis to occupational health care and simplifications for the analysis of exposures are now available. For example, organizations now have more options to analyze the specific thermal radiation exposure without own measuring equipment. Statistically significantly increased relative health risks (OR with 95%-CI) of employees working on dangerous workplaces identified by instrument's algorithms according to the harmonized risk concept were found. The parallel test showed comparable aggregation results for the avatars on the impact of the spinal column and neck structure as well as on the upper and lower limbs. The test of intra-rater reliability showed the importance of an exact analysis of sub time exposure aspects.

Discussion: BDS-Instrument's new modular structure (v10.0) enables faster and more flexible application depending on the initial working conditions and helps to carry out legally compliant risk assessments. The integrated knowledge for identifying accident and health risks and for optimizing modern workplaces was expanded. The company epidemiological cross-sectional study is limited by the type of study. In the cause-effect relationship between load handling and the collective diagnosis of lumbalgia/lumbago, stronger effects are assumed in the working population, as the employees who were present and thus tended to be healthy were examined. Therefore, follow-up research should also focus on the secondary quality criteria and on outcomes at medium doses workplaces (BDS-Instruments' level 4). The literature listed here, the R script and the new developed raw data interface can support these investigations.

Abkürzungsverzeichnis

95%-CI (KI)	95% confidence interval (95% Konfidenzintervall)
a	Jahre
AA	Aerobe Ausdauer
ABAMed	Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse Atteste zu Leistungseinschränkungen von Mitarbeitern
ABATech	Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse Ergonomische Bewertung von Produktionsarbeitsplätzen
Abb	Abbildung
AdG	Arthrose distaler Gelenke
adj.outcome.model	adjusted outcome model (adjustiertes Outcomes-Modell klinischer Diagnosen)
AET	Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse
AG	Aktiengesellschaft
ageadj	age adjusted (alters-adjustiertes Modell)
AIC	Akaike information criterion (Akaike-Informationskriterium als Schätzer für die relative Qualität statistischer Modelle)
AMR	Arbeitsmedizinische Regel
AnA	Anaerobe Ausdauer
ArbMedVV	Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ARBST	Arbeitsstoffe
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ArbZG	Arbeitszeitgesetz
ArGon	Arbeit und Gonarthrose (Kniegelenksarthrose)
ASER	Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie
ASiG	Arbeitssicherheitsgesetz
AÜG	Arbeitnehmerüberlassungsgesetz
AU	Arbeitsunfähigkeit
B	Beweglichkeit
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BAB	Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen
BAPPU _{evo}	Multimessgerät für die Arbeitsplatzanalyse gesundheitsrelevanter Umgebungsmerkmale an Arbeitsplätzen
Bassow	Bassow-Methode nach Alexei Dmitrijewitsch Bassow zur Vermeidung von Unfällen. Sächsischer Volksmund: „Zwee arbeiten und vier bassen off“, „Bass' off, dass du 'n Feierabend nicht verpassen tust.“
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.
BDS-Instrument	Instrument des Belastungs-Dokumentations-Systems

Abkürzungsverzeichnis

BEL	Beleuchtung
BEM	Betriebliches Eingliederungsmanagement
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BetrVG	Betriebsverfassungsgesetz
BG	Berufsgenossenschaft
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGI	Berufsgenossenschaftliche Informationen
BINDG	Bindung an den technischen Prozess
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BioStoffV	Biostoffverordnung
BK	Berufskrankheit
BKV	Berufskrankheitenverordnung
BLEND	Blendung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMI	Body-Mas-Index (kg/m ²)
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft
BPersVG	Bundespersönlichkeitsvertretungsgesetz
BRIEF	Baseline Risk Identification of Ergonomic Factors
BUV	Bundesunternehmen-Unfallverhütungsverordnung
BW	Baden-Württemberg
CAEP	Computer Aided Ergonomic Planning
caret	classification and regression training
CC	Coxarthrose/Coxalgie
CEN	Comité Européen de Normalisation
CIA	Central Intelligence Agency
clm	cumulative link model (Modell zur kumulativen Verknüpfung)
Cobot	collaborative robot (Kollaborativer Roboter)
COPSOQ	Copenhagen Psychosocial Questionnaire
cor	correlation (Korrelation)
CR-Scale	Category Ratio Scale (Borg) (Kategorialskala zur Beurteilung von Erschöpfung, Dyspnoe oder Schmerzen)
DAX	Deutscher Aktienindex
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DRV	Deutsche Rentenversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DM	Dynamische Muskelarbeit
EG	Europäische Gemeinschaft
EHS	Environment, health and safety
El	Epicondylitis lateralis (Unterarm-Handstrecker-Ansatzreizung)
Em	Epicondylitis medialis (Unterarm-Handbeuger-Ansatzreizung)
EN	Europäische Norm

EU	Europäische Union
EU-OSHA	European Agency for Safety and Health at Work Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz
ERA	Entgelt-Rahmenabkommen
ESD	electrostatic discharge (Elektrostatische Entladung)
E-STOP	Eliminierung, Substitution, Technische Maßnahmen, Organisatorische Maßnahmen, Personenbezogene Maßnahmen
et al	et alia
etc	et cetera
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
Exp	Expertenvotum
e.V.	eingetragener Verein
FEINM	Feinmotorik
FFP	filtering face piece (Filternder Gesichts-Aufsatz)
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GDA	Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie
GON	Gonarthrose
GKV	Ganzkörpervibration (Schwingung)
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
glm	generalized linear models (Verallgemeinerte lineare Modelle)
GMBI	Gemeinsames Ministerialblatt
GUV-I	Information der gesetzlichen Unfallversicherung
h	Stunden
HAL-TLVs	Hand Activity Level Threshold Limit Values
HARM	Hand-Arm-Risk-Assessment Method
HAV	Hand-Arm-Vibration (Schwingung)
HBV	Haltungsbewegungsverteilung
HdA	Humanisierung des Arbeitslebens
HF	Herzschlagfrequenz (min^{-1})
HMD	Head Mounted Displays
HTEMP	Hohe Temperaturen
ICC	intraclass correlation coefficient (Intraklassen-Korrelationskoeffizient)
ICD	International Statistical Classification of Diseases (Internationale Klassifikation von Krankheiten)
IE	Industrial Engineering
IfaA	Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
IGM	Industriegewerkschaft Metall
IIC	Industrial Internet Consortium
IIoT	Industrial Internet of Things

Abkürzungsverzeichnis

ILO	International Labour Organization (Internationale Arbeitsorganisation)
IMBA	Profilvergleichs- und Dokumentationsverfahren für die Prävention und Rehabilitation
IT	Informationstechnologie
ISO	International Organization for Standardization
IQR	interquartile range (Interquartilsabstand)
JArbSchG	Jugendarbeitsschutzgesetz)
KA	Kraftausdauer
Kaizen	KAI: Veränderung; ZEN: zum Besseren
KB	Körperbewegung
KH	Körperhaltung
KI	Künstliche Intelligenz
KindArbSchV	Kinderarbeitsschutzverordnung
Klin	Klinische
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen (EU-Definition)
KONZ	Konzentrationsanforderungen
KOTKT	Kontakte zu Mitarbeitern
KP	Koordination (Präzision)
KPI	Key Performance Indicator
KZ	Koordination (Zeitdruck)
Kraft-Frequenz li	(Wichtung für die) Kraftausübungsanzahl bezogen auf den analysierten Zeitraum und die linke Hand
Kraft-Frequenz re	(Wichtung für die) Kraftausübungsanzahl bezogen auf den analysierten Zeitraum und die rechte Hand
Kraftübertr./Greifb	(Wichtung für die) Kraftübertragung und Greifbedingungen
KTS	Karpaltunnelsyndrom
kurt	kurtosis [Wölbung (ω)]
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LärmVibrationsArbSchV	Lärm- und Vibrationsarbeitsschutzverordnung
LASI	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
LasthandhabV	Lastenhandhabungsverordnung
LBR	Leichtbauroboter
Lean	Lean Management (Schlankes Management)
LEX _{8h}	Lärm (Schall)
LFP	Lumbales Facettensyndrom – pseudoradikuläres Syndrom
LH	Lastenhandhabung
LL	Lumbalgie/Lumbago
LMM-HHT	Leitmerkalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten ≥ 3 kg
LMM-ZS	Leitmerkalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Ziehen und Schieben von Lasten

LMM-MA	Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen
LMM-GK	Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei der Ausübung von Ganzkörperkräften
LMM-KH	Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Körperzwangshaltungen
LMM-KB	Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Körperfortbewegung
LocalAdmin	Lokaler Administrator
LR	Lumbales Radikulärsyndrom
lx	Lux (lm/m ²)
M-DRM	Multidirektional Delta-Radiometer
MA	Manuelle Arbeitsprozesse
MaschRL	Maschinenrichtlinie
max	Maximalwert
mean	Arithmetischer Mittelwert (\bar{x})
MEGAPHYS	Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz
Min	Minimalwert
Mio	Millionen
miss	missing variables [(Anzahl) fehlender Variablen]
MK	Maximalkraft
MNB	Mund-Nase-Bedeckungen
MNS	Mund-Nase-Schutz
MPG	Medizinproduktegesetz
Mrd	Milliarden
MTM	Methods-Time Measurement
MuSchArbV	Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz
MuSchG	Gesetz zum Schutze der erwerbstätigen Mutter (Mutterschutzgesetz)
MRK	Mensch-Roboter-Kooperation
ms	median split [Künstliche Dichotomisierung von Variablen am Median (\tilde{x}) zur Aufteilung in zwei möglichst gleichgroße Gruppen]
MSE	Muskel-Skelett-Erkrankung
MW	Arithmetischer Mittelwert (\bar{x})
n	Stichprobengröße
NAK	Nationale Arbeitsschutzkonferenz
NASS	Nassarbeit
NET	Normal-Effektiv-Temperatur (°C)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
Nr	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
NTEMP	Niedrige Temperaturen

Abkürzungsverzeichnis

num_cols	.....	number of columns (Spaltenanzahl)
OCRA	.....	Occupational Risk Assessment
OE	.....	Obere Extremitäten
OHSAS	.....	Occupational Health- and Safety Assessment Series
OR	.....	odds ratio (Relative Chance; hier relatives Risiko)
OStrV	.....	Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung
OWAS	.....	Ovako Working Posture Analysing System
p25	.....	25. percentile (25. Perzentil)
p75	.....	75. percentile (75. Perzentil)
p.miss	.....	percentage of missing variables (Anteil fehlender Variablen)
Ph	.....	Periarthritis humeroscapularis
PrävG	.....	Präventionsgesetz
Prio	.....	Priorität
ProdSG	.....	Produktsicherheitsgesetz
PSA	.....	Persönliche Schutzausrüstung
PSA-BV	.....	PSA-Benutzungsverordnung
Q	.....	Quartil
Q&A	.....	Question and Answer (Frage und Antwort)
RAM	.....	Random Access Memory
REACH	.....	Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals (Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien)
REFA	.....	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.
REHA	.....	Rehabilitation
RL	.....	Richtlinie
ROI	.....	Return on Invest
RPE-Scale	.....	Ratio of Perceived Exertion [Borg; RPE*10 \approx HF (min ⁻¹)] (Maß für subjektive Erschöpfung/physische Stärke)
RS	.....	Reaktionsschnelligkeit
RULA	.....	Rapid Upper Limb Assessment
SALTSA	.....	collaboration programme for occupational research in Europe
SARS-CoV-2	.....	Severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2
SCHMZ	.....	Schmutz
sd	.....	standard deviation [Standardabweichung (σ)]
SDG	.....	Sustainable Development Goal
SFI	.....	Statische Fußinsuffizienz
SEHSCH	.....	Sehschärfe
SEHRM	.....	Sehraum
SGB	.....	Sozialgesetzbuch
SGB VII	.....	Sozialgesetzbuch VII Gesetzliche Unfallversicherung
SGB IX	.....	Sozialgesetzbuch IX Rehabilitation und Partizipation behinderter Menschen
SI	.....	Strain Index
Sig	.....	Signifikanz-(niveau)

SK	Schnellkraft
skew	skewness [Schiefe (γ)]
SLESINA	Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Belastung am Arbeitsplatz
SPSS	Superior Performing Software System
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
SWM	Südwestmetall
S&P 500	Standard & Poor's 500
t, t ₀ , t ₁	Zeit, Zeitpunkt der ersten Messung, Zeitpunkt der Messung nach Intervention
Tab	Tabelle
TAKT	Wiederholung der Tätigkeitsabläufe (Zykluszeiten)
TRBS	Technische Regel für Betriebssicherheit
TRLV	Technischen Regel für Lärm und Vibrationen
U-Linie	Produktionslinie in U-förmiger Anordnung
U-RDM	Unidirektional Delta-Radiometer
UE	Untere Extremitäten
Untersuchgs.dokumentation.	Untersuchungsdokumentation
UNTRF	Unterforderung
Unterstützg	Unterstützung
UR	Unterer Rücken
US / USA	United States of America
uvam	und vieles anderes mehr
UVT	Unfallversicherungsträger
VA	Virtuelle Anzahl
VAR	Varicosis der Beinvenen
var	Variable
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VO	Verordnung
VPERS	Verantwortung für andere Personen
VPROZ	Verantwortung für den Prozess
WAI	Work Ability Index
WIDAAN	Winkel-Daten-Analyse
WRULMSD	Work-related upper limb musculoskeletal disorder
WSTRL	Wärmestrahlung
ZbS	Zervikobrachiales Schmerzsyndrom (Muskuläre Schulterüberlastung „Schulter-Arm-Syndrom“)
zT	zum Teil
ZUGL	Zugluft
ZBS	Zervikobrachiales Schmerzsyndrom
ZZS	Zervikales, zervikozephales Schmerzsyndrom

1 Einleitung (Ziele / Überblick)

1.1 Hintergrund der Dissertation

1.1.1 Nachhaltiges Wachstum – Ein langer Weg

Der Status quo der Arbeitswelt liefert ein geteiltes Bild. Bis zur Corona-Pandemie gab es von den weltweiten Arbeitsmärkten überwiegend positive Nachrichten. Teilweise konnten Allzeit-Spitzenwerte erreicht werden. In Deutschland waren es im Jahr 2018 insgesamt 41,9 Millionen Erwerbstätige (BMAS, 2019) bei einer Erwerbstätigenquote von 79,9 Prozent und 32,9 Millionen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (Statistisches Bundesamt, 2019). In der Europäischen Union waren es im Jahr 2018 insgesamt 223,8 Millionen Erwerbstätige bei einer Arbeitslosenquote von 8,2 Prozent (Eurostat, 2019). Die letzten Schätzungen der globalen Erwerbstätigkeit stammen aus dem Jahr 2017 mit 3,3 Milliarden Beschäftigten bei einer historisch niedrigen globalen Arbeitslosenquote im Bereich um 7,7 Prozent (CIA, 2017).

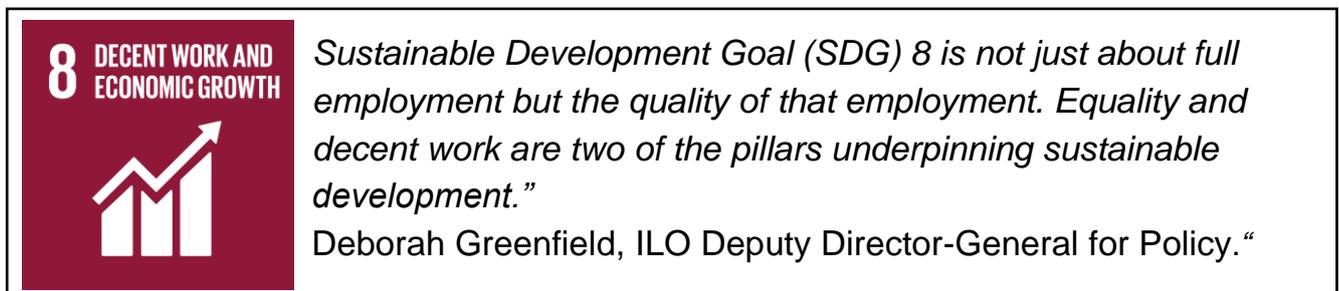


Abb. 1.1 Nachhaltiges Wachstum auf der Grundlage guter Arbeitsbedingungen
Quelle: International Labour Organization (ILO; www.ilo.org)

Vergleichbare Erfolge konnten beim nachhaltigen Wachstum bisher noch nicht erzielt werden. Das wird ein immer größerer Ansporn für Politik, Wissenschaft und Wirtschaft und motivierte zu dieser Dissertation. Denn **rücksichtsloses Wachstum**, das beispielsweise auf der Grundlage schlechter Arbeitsbedingungen erzielt wird, führt nicht nur zu verringerter Leistungsfähigkeit, akuten und chronischen Beschwerden, Erkrankungen und Unfällen.

Beeinträchtigt werden häufig auch die Qualität der Produkte und Dienstleistungen, die Effizienz von Fertigungs- und Produktionsprozessen sowie die Kosten und Aufwendungen aufgrund von Ausfallzeiten und Verschwendungen. Insgesamt führt dies alles zu Produktivitätseinbußen und steigenden direkten und indirekten Produktions- und Dienstleistungskosten und verminderter Wettbewerbsfähigkeit (Unterkapitel 2.3). Im Zusammenspiel mit Arbeitsplatzunsicherheit, großen Einkommensunterschieden und fehlendem Rückhalt durch Arbeitnehmervertretungen kann es schließlich zu sozialen Unruhen und erhöhter Migrationsbereitschaft kommen.

Schlechte Arbeitsbedingungen sind daher auch nach dem aktuellen Flaggschiff-Report der International Labour Organization (ILO) die große Herausforderung für die Beschäftigung weltweit. Der Flaggschiff-Report zum 100-jährigen ILO-Jubiläum zeigt eindrucksvoll, wie weit wir auch in den 2020er Jahren noch entfernt sind von menschenwürdiger Arbeit für Alle (ILO, 2019; Abb. 1.1).

1.1.2 Unternehmerprinzipien für Gesundheit und Nachhaltigkeit

Der im Jahr 1972 gegründete **Business Roundtable** ist ein Zusammenschluss von rund 200 Wirtschaftsführern großer US-amerikanischer multinationaler Unternehmen wie Amazon, Apple, Microsoft und Wal-Mart, die für insgesamt mehr als 15 Millionen Beschäftigte verantwortlich sind (Business Roundtable, 2020; www.brt.org). Im August 2019 aktualisierte der Business Roundtable seine Prinzipien zur Rolle von Unternehmen. Die Absichtserklärung umfasst ein Corporate-Governance-System zum Wohlwollen aller relevanten Anspruchsgruppen, das über den enger gefassten Shareholder-Ansatz der Anspruchsgruppe Anteilseigner hinausgeht. Die Vorstandsvorsitzenden der größten US-Unternehmen verpflichten sich darin zu **Schaffung guter Arbeitsplätze in einer gesunden Umgebung** sowie zur Investition (Weiterbildung etc.) in die Beschäftigten. Herausgehoben wird die Förderung von Vielfalt, Inklusion, Würde und Respekt sowie ein fairer und ethischer Umgang mit den Lieferanten. Insgesamt soll damit ein **langfristiger Wert** für die Aktionäre geschaffen werden.

Der im Jahr 2000 gegründete **Global Compact** der Vereinten Nationen ist mit über 8.000 Unterzeichnungen aus mehr als 135 Ländern die weltweit größte, freiwillige Initiative für unternehmerische Verantwortung zu einer **nachhaltigen und verantwortungsvollen Geschäftspraxis**. Deren Veröffentlichungen machen darauf aufmerksam, dass *„(...) die Arbeitsbedingungen in Büros und Fabriken, auf Farmen sowie in Bergwerken und anderen Einrichtungen, in denen Rohstoffe abgebaut werden, vor allem in Entwicklungsländern deutlich unter den internationalen Standards und nationalen gesetzlichen Anforderungen liegen (...) und das dies zu erheblichen Menschenrechtsverletzungen führen kann.“*

Beim Global Compact verpflichten sich Unternehmen auf die Einhaltung internationaler Arbeitsnormen innerhalb ihrer **Lieferketten** zu achten. Zu den Themenfeldern, die von den Prinzipien des Global Compact abgedeckt werden, zählen beispielsweise das Recht der freien Arbeitsplatzwahl, das Verbot von Kinderarbeit und Diskriminierung, die Vereinigungs- und Tariffreiheit, Arbeitszeiten, Arbeitsschutz, Arbeitsbedingte Unfälle und Krankheiten, Brandschutz, Arbeitshygiene, Körperlich anspruchsvolle Arbeiten und Schutzvorrichtungen an Maschinen (Global Compact Office, 2010; www.unglobalcompact.org).

1.1.3 Coronavirus, Unruhen und Proteste

Mit dem vom Erreger SARS-CoV-2 ausgehenden hohen Infektionsrisiko hat der Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten weiter an Bedeutung gewonnen. Infektionsschutz ist in vielen Organisationen zur Grundvoraussetzung für die Herstellung von Produkten und Erbringung von Dienstleistungen und damit für das „Wieder-Hochfahren“ und Aufrechterhalten der Wirtschaft geworden. **Imageschäden** bis hin zum Boykottaufruf haben sich im Pandemieverlauf insbesondere für die Organisationen und Wirtschaftssektoren ergeben, in denen Sicherheits- und Gesundheitsschutz und deren Schnittstellen bereits im Vorfeld systematisch vernachlässigt worden sind (Lang et al., 2021).

Positiv betrachtet ergeben sich für die betrieblichen Akteure mit der Pandemie neue schlagkräftige Argumente, die grundlegenden Zielstellungen ihrer Fachabteilungen zum gemeinsamen Vorteil der Organisationen und Beschäftigten konsequenter umzusetzen und Position und Stellenwert ihrer Arbeit zu stärken. Unterstützung erhalten sie dabei von ergänzenden Grundsätzen und Maßnahmenkonzepten (SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandard des Bundesministeriums; Abb. 1.2).

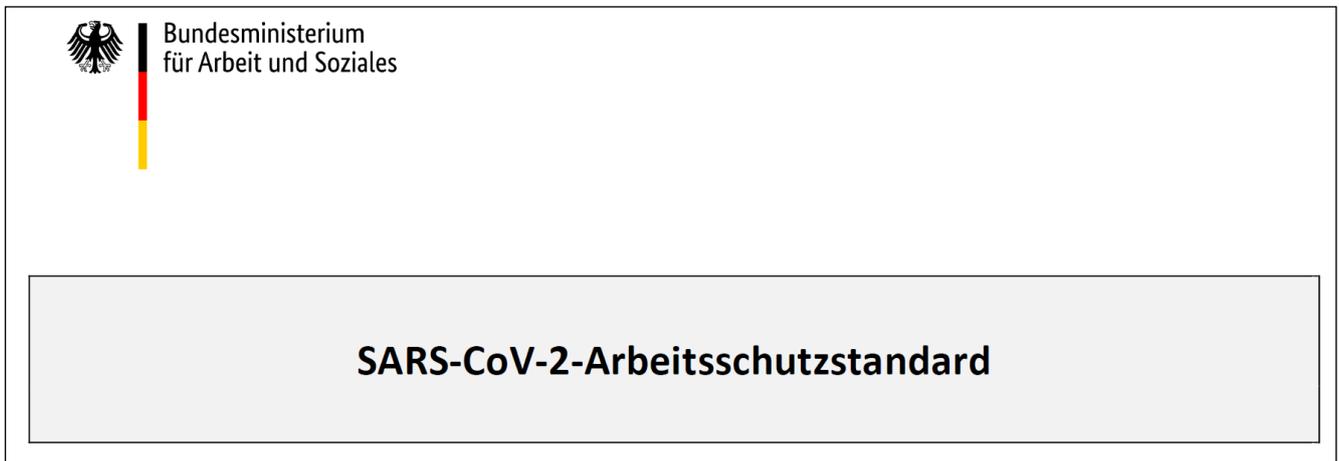


Abb. 1.2 SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandard des Bundesministeriums
Quelle: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)

Die Corona-Pandemie betrifft die ganze Arbeitswelt und alle Bereiche des weltweiten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens mit Auswirkungen bis hin zur öffentlichen Sicherheit und Ordnung. In den USA sind allein im März 2020 mehrere Millionen Arbeitsplätze innerhalb weniger Wochen weggefallen. Lange bekannt war, dass die Beschäftigungserfolge der USA auch mit steigenden Lohn disparitäten, sozialer Ungleichheit und hoher Armut „erkauft“ wurden (Werner, 1997) und nicht nur die gesundheitlichen Ungleichheiten teils besorgniserregend sind (Vasan, 2020). Die Corona-Pandemie verstärkte das Ungerechtigkeitsgefühl und Gratifikationskrisen noch einmal und es zeigte sich, dass mit einem Auslöser die vom ILO-Flaggschiff-Report geschilderte Problemlage selbst in modernen Volkswirtschaften eintreten kann. Wochenlange Unruhen und Proteste waren die Folge.

Insgesamt war der **Stellenwert guter Arbeitsbedingungen** für nachhaltiges Wachstum, das heißt für kontinuierlichen wirtschaftlichen Erfolg auf der Basis von gesellschaftlichem Zusammenhalt, nie so groß wie heute.

In diesem Zusammenhang werden mit der vorliegenden Arbeit **praktische Lösungen** für die systematische, interdisziplinäre und präventive Gestaltung der Arbeitsbedingungen in der Arbeitswelt entwickelt. Die Bereitstellung arbeits- und sicherheitswissenschaftlicher Verfahren bezieht auch die Fachthematik der Persönlichen Schutzausrüstung (Atemschutz) mit ein. Dabei wird auch auf Forschungsbedarf zur Belastung durch das Tragen von Atemschutz (Lösungen für Akzeptanz, Tragekomfort etc.) hingewiesen.

1.1.4 Interdisziplinäre Optimierung – Eine besondere Herausforderung

Viele Organisationen bauen ihre **internationale Wettbewerbsfähigkeit** aus, um von der Globalisierung profitieren zu können (Porter, 1990). Von starken Organisationen profitieren auch die Regionen und Menschen vor Ort, wenn Arbeitsplätze geschaffen und die sozialen Sicherungssysteme aufrechterhalten und ausgebaut werden. Für Organisationen mit Standorten in Hochlohnländern wird es im internationalen Wettbewerb aber auch immer wichtiger, hohe Produktqualitäten bei möglichst geringen Kosten und Produktionszeiten zu erreichen (Schreiber & Kuhn, 1995; Abb. 1.3).

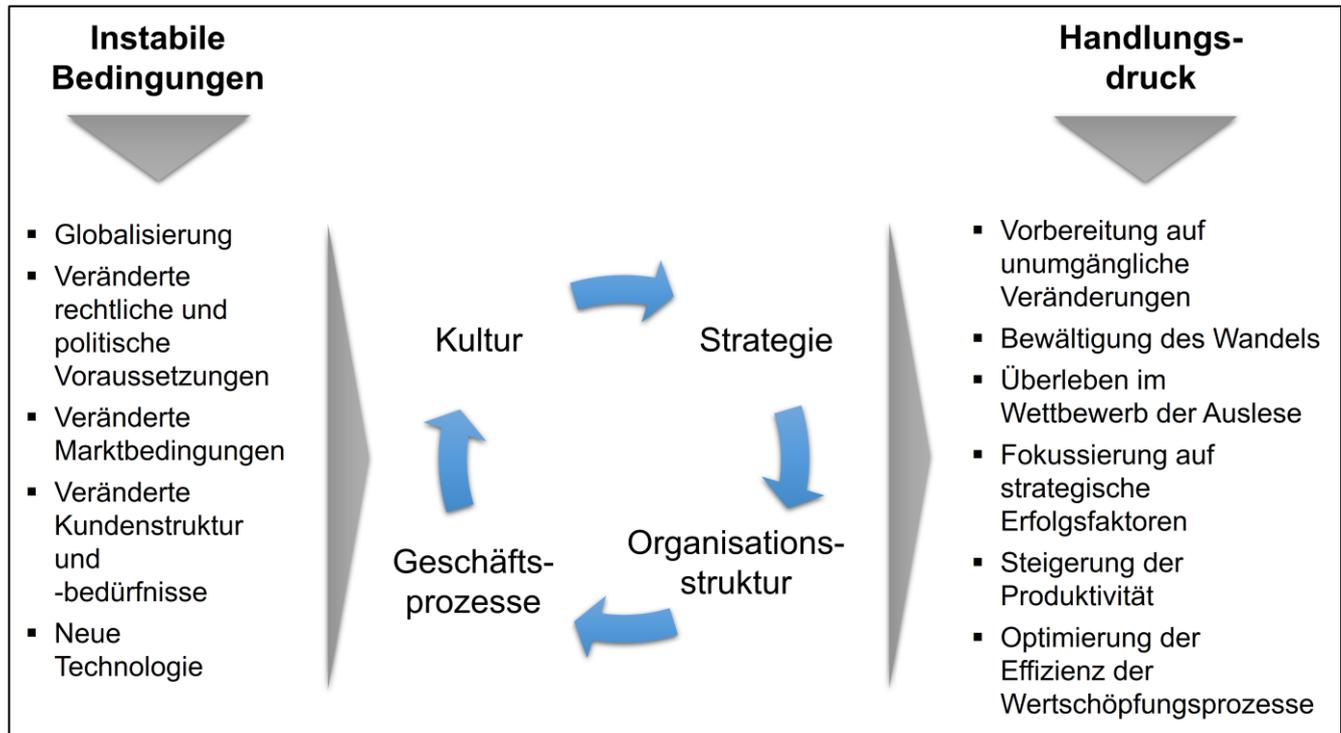


Abb. 1.3 Instabile Bedingungen und Handlungsdruck als Treiber von Lean Management

Quelle: Eigene Darstellung nach TCW (www.tcw.de)

Das Beseitigen von **Verschwendungen** wird oft nach dem Optimierungskonzept der Lean-Produktion für eine schlankere Produktion mit kürzeren Rüstzeiten und geringeren Fehlerraten realisiert (Schreiber & Kuhn, 1995). Schlechte Arbeitsbedingungen sind dabei eine Hauptverschwendungsart, da sie mit immer weiter ansteigenden laufenden Kosten und Folgeproblemen verbunden sind (Unterkapitel 2.3). Ein Teil der positiven Effekte optimierter Arbeitsbedingungen (Unterkapitel 2.4) entfalten sich aber erst zeitverzögert und können daher in der Praxis nur selten quantifiziert werden. Das erschwert die Berechnung des **Return on Invest** (ROI) und führt zur Vernachlässigung der Arbeitsbedingungen bei der Durchführung von Optimierungsprojekten in den Unternehmen. Dieses wiederkehrende Dilemma konnte der Autor in Organisationen weltweit beobachten. Es fehlt die notwendige Fach-, Methoden- und Managementkompetenz, um die gesicherten arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse in die Geschäftsprozesse der Organisationen zu integrieren und eine gemeinsame Optimierung der Arbeitsbedingungen zu realisieren (Teilkapitel 2.4.4).

Verfolgen die Fachabteilungen ihre Ziele aber getrennt voneinander, lassen sich Werte, Kultur und Strategie der Organisation nicht seriös umsetzen. Vielmehr bietet sich als Schlüssel für nachhaltiges Wachstum eine Organisationsentwicklung auf der Basis interdisziplinärer Teams an, die das jeweils erforderliche Fachwissen einbringen.

1.2 Zielstellung der Dissertation

Nachhaltiges Wachstum mit nachhaltigen Produktionsweisen und Lieferketten rückt immer weiter in den Fokus von Politik, Organisationen und Verbraucher*innen (Teilkapitel 1.1.1.). In Krisen- und Pandemiephasen steigt deren Bedeutung für den gesellschaftlichen Zusammenhalt nochmals (Teilkapitel 1.1.3). Für nachhaltiges Wachstum ist neben Fach- und Methodenkompetenz auch Managementkompetenz erforderlich, da verschiedene Fachdisziplinen zusammengebracht und mit einem Investitionsbudget ausgestattet werden müssen (Teilkapitel 1.1.4). Es verwundert nicht, dass bereits kurz nach der Veröffentlichung von Selbstverpflichtungen (Beispiel Business Roundtable) angemahnt wurde, dass dies zwar eine „*Zeitenwende in der US-Wirtschaft sein könnte*“, doch dass es letztlich abzuwarten gilt, „*ob den Worten auch Taten folgen werden.*“ (Rottwilm, 2019).

In diesem Zusammenhang ist das übergeordnete Ziel der Dissertation die Entwicklung und Bereitstellung von Lösungen, die Organisationen befähigen, derartigen Worten konkrete Taten folgen zu lassen. Es sollen praktikable Lösungen entwickelt werden, mit denen eine **wirtschaftliche und gesunde Arbeitsumgebung durch interdisziplinäre Optimierung** geschaffen werden kann. Konkret geht es vor allem darum, wie Organisationen durch Verbesserung von Produktivität, Qualität, Rechtssicherheit, Unfallgeschehen, Krankenstand, Fluktuation und Motivation der Beschäftigten profitieren und so ihre Attraktivität als Arbeitgeber für erfahrene Fachkräfte und junge Talente ausbauen können (Tab. 1.1).

Tab. 1.1 Beziehung zwischen Ausgangslage, Hauptteil und Zielen der Dissertation

Ausgangslage	→	Hauptteil	→	Ziele
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rahmenbedingungen Dynamik, Transformation, Regulierung, Demografie ▪ Betriebsökonomie Chancen: Produktivität, Megatrends, ... Risiken: Kosten, Verschwendungen, ... 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verfahrensgrundlagen im Instrument Weiterentwicklung Feldmessung Erprobung Implementierung ▪ Evaluierung der wiss. Gütekriterien 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Feld-/Laborforschung Neue Verfahren Konvergenzmethoden Mehrwert für Gutachten ▪ Unternehmenserfolg Nachhaltiges Wachstum Modernisierung Optimierungsprozesse

Um erweiterte **Lösungen für die Praxis** zu entwickeln und bereitzustellen, erfolgt im Rahmen der Dissertation die Weiterentwicklung und Evaluierung des Instruments. Dabei handelt es sich um ein arbeitswissenschaftliches und arbeitswirtschaftliches Instrument zur ganzheitlichen Analyse, Beurteilung und Gestaltung arbeitsbedingter Belastungen und Gefährdungen von Arbeitssystemen. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, das Leistungsspektrum des Instruments auszubauen und die Wirksamkeit anhand der wissenschaftlichen Gütekriterien zu überprüfen, um den Mehrwert für die Anwendenden zu erweitern, Aussagen zur Güte der Operationalisierung zu treffen und den Bedarf an Anschlussforschung zu erschließen.

Insgesamt sollen Organisationen mit der Implementierung des Instruments ihre Qualifikationen und Handlungskompetenzen zukünftig noch weiter ausbauen können, damit sie die Chancen der Dynamik der Arbeitswelt besser wahrnehmen und wichtige Handlungsfelder für nachhaltiges Wachstum und langfristigen Erfolg umsetzen können.

Zur Realisierung der übergeordneten Ziele sollen neue Fach- und Prozessverfahren entwickelt, für das Instrument adaptiert und integriert werden. Mit den Fach- und Prozessverfahren soll die Wettbewerbsfähigkeit (Produktivität etc.) auf der Grundlage einer menschengerechten Gestaltung von schädigungslosen, ausführbaren, erträglichen und beeinträchtigungsfreien Arbeitssystemen systematisch ausgebaut werden können. Damit soll Fach-, Methoden und Managementkompetenz bereitgestellt werden, die es Organisationen ermöglicht, ihre Schwachstellenanalyse dort durchzuführen, wo es für die Eliminierung wichtig ist. Das heißt die neuen Verfahren sollen darauf abzielen, das Leistungsspektrum des Instruments zur Optimierung **direkt an den Wertschöpfungsprozessen** auszubauen und damit dort wo die Produkte hergestellt und die Dienstleistungen ausgeführt werden. Übersichten, Auswertungen und Kennzahlen sollen dort erhoben werden können, wo Ineffizienzen erkannt werden, Unfälle auftreten, Beschwerden ausgelöst und chronische Krankheitsverläufe begünstigt werden. Im Fokus der Dissertation steht ein Instrument, das Organisationen hierfür die erforderliche Fach-, Methoden und Managementkompetenz bereitstellt um die betrieblichen Akteure zu Spezialisten zu qualifizieren.

Zur Gewährleistung der Praxistauglichkeit sollen Wege zur betrieblichen Implementierung des Instruments aufgezeigt und die verfahrensökonomische Anwendung weiter ausgebaut werden. Das Instrument soll weiterhin einerseits für **Feld- und Laborforschung** und andererseits für die selbstständige Anwendung in Organisationen (Unternehmen, Behörden, Forschungseinrichtungen etc.) nach entsprechenden, methodischen Qualifikationen eingesetzt werden können und für möglichst alle Typen von menschlicher Arbeit einsetzbar sein. Hierzu sollen die relevanten sich verändernden Rahmenbedingungen der Arbeitswelt aufgezeigt werden, um diese bei der Weiterentwicklung berücksichtigen zu können.

Der zweite Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die **Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien** des Instruments. Die wissenschaftlichen Grundlagen des Instruments haben eine lange Tradition, die sich bis auf die grundlegende Entwicklung und frühe Evaluierung des Kombinationsverfahrens Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB-Verfahren) in den 1970er Jahren zurück erstreckt. Das Konstrukt des hierauf aufbauenden Kernverfahrens Produktionsergonomie und Risikobeurteilung des Instruments ermöglicht die Prognose von adversen Gesundheitseffekten (kurz-, mittel und langfristige unbeabsichtigte gesundheitsschädliche Arbeitsbeanspruchungswirkungen) anhand der Bewertungs- und Beurteilungsergebnisse der Arbeitsbelastungen (Ursachen).

Diese **Operationalisierung** ermöglicht Wahrscheinlichkeitsaussagen unter anderem zu auftretenden Beschwerden und Erkrankungen bei Beschäftigten in bestimmten Arbeitssystemen auf der Basis der Bewertung der dort vorliegenden Arbeitsbedingungen. Bewertung und Beurteilung der Arbeitsbedingungen sind beim Instrument miteinander verknüpft (Risikokonzept) und beeinflussen die Notwendigkeit, Dringlichkeit und Umfang des Handlungsbedarfs (Maßnahmen, nachfolgend auch als Optimierung bezeichnet). Das veranschaulicht die Bedeutung des wissenschaftlichen Fundaments des Instruments und erklärt, weshalb mit dieser Dissertation eine weitere Überprüfung der Hauptgütekriterien **Validität, Reliabilität und Objektivität** vorgenommen wird.

1.3 Überblick über die Dissertation

Für einen schnellen Zugang ist nachfolgend ein Überblick über diese Arbeit (Fragestellungen, Struktur, Literaturverwaltung) aufgeführt.

1.3.1 Fragestellungen

Nachfolgend sind die in der Dissertation behandelten Fragestellungen aufgeführt. Die Fragestellungen 1 bis 11 werden mit korrespondierenden Arbeitshypothesen jeweils separat bearbeitet und im Diskussionskapitel kritisch diskutiert (Tab. 1.2).

Tab. 1.2 Überblick der Fragestellungen der Dissertation

Fragestellungen	Kapitel
0 Welche Weiterentwicklungen (Belastungsarten, Fachverfahren etc.) sind aufgrund der aktuellen Dynamik der Arbeitswelt (Unfall- und Krankheitsgeschehen, Rechtsvorschriften, Transformation etc.) sinnvoll?	2. / 4.1.
1 Ist das Instrument neben klassischen Arbeitssystemen auch für die Analyse, Beurteilung und Gestaltung von neuartigen Smart-Factory-Arbeitssystemen („4.0“) geeignet?	4.1.13
2 Gewährleistet das Instrument eine logisch valide ganzheitliche Analyse, Beurteilung und Gestaltung, das heißt bildet die Belastungsarten-Struktur eine große Bandbreite der menschlichen Beanspruchung ab?	4.2.2.1
3 Ist das Instrument augenscheinvalide, das heißt beeinflussen Belastungsaspekte hoher Wirkungsstärke die resultierende Bewertungsstufe?	4.2.2.2
4 Ist Diskriminanzvalidität gegeben, das heißt ermöglichen die integrierten Belastungsarten einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen?	4.2.3
5 Ist nomologische Validität gegeben, das heißt können Zusammenhänge über die Belastungsarten zu Beanspruchungswirkungen aggregiert werden?	4.2.4
6 Welche Quellen für Methodenverzerrung gibt es und welche Rahmenbedingungen sollten daher zur Gewährleistung hoher Rohdatenqualität sichergestellt werden?	4.2.5
7 Ist Kriteriumsvalidität gegeben, das heißt steigen Beschwerde-/ Erkrankungsprävalenzen und/oder Beanspruchungsempfinden über die Belastungsstufen an?	4.2.7
8 Liegt Intra-Rater-Reliabilität vor, das heißt sind die Bewertungsergebnisse eines unveränderten Arbeitssystems zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten vergleichbar?	4.2.8.1
9 Zu welchen Aspekten kann ein Paralleltest durchgeführt werden und sind die Ergebnisse vergleichbar (Konvergenz)?	4.2.8.2
10 Ist mit dem Instrument eine objektive Durchführung der Analyse und Beurteilung möglich (Durchführungsobjektivität via Inter-Rater-Reliabilität)?	4.2.9.1
11 Ist mit dem Instrument eine objektive Interpretation der Beurteilungsergebnisse möglich (Interpretationsobjektivität via Inter-Rater-Reliabilität)?	4.2.9.2

1.3.2 Struktur

Die Inhalte dieser Dissertation werden in sechs Hauptkapiteln beschrieben. **Hauptkapitel 1** bildet die Einleitung mit der Zielstellung und den wichtigsten Hintergründen (Tab. 1.3).

Hauptkapitel 2 beschreibt die aktuelle Ausgangslage in sechs Unterkapiteln. Thematisiert werden wichtige Aspekte zur wettbewerbsfähigen, sicheren und gesunden Arbeit. Ein kurzer Rückblick zur Entwicklung der Arbeitswelt seit der Industrialisierung leitet einen Überblick über die aktuellen Transformationsprozesse ein und schließt mit einem Ausblick zu den aktuellen Megatrends. Hieraus ergeben sich zukünftige gesellschaftliche Herausforderungen und Forschungsbedarf für die Arbeits- und Sicherheitswissenschaften. Die Entwicklungen der Arbeitswelt werden mit prognostizierten Problemstellungen verknüpft und hieraus Forschungsbedarf für die vorliegende Arbeit abgeleitet. Nachhaltiges Wachstum erfordert die Einbeziehung der Fähigkeiten und Grenzen der menschlichen Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Die Ausgangslage befasst sich daher auch mit essentiellen wissenschaftlichen Grundlagen für nachhaltiges Wachstum im Allgemeinen und deren Adaption im Rahmen der wissenschaftlichen Entwicklungsgeschichte des Instruments.

Tab. 1.3 Überblick zu Struktur und Inhalten der Dissertation (Kapitel 1 bis 3)

Struktur und Inhalt	Kapitel
Hintergrund (Kontext, Zielstellung, Übersicht über die Dissertation)	1
Ausgangslage	2
<ul style="list-style-type: none"> Forschungsstand zum Instrument <ul style="list-style-type: none"> Labor- und Feldstudien (Humanisierung des Arbeitslebens) BAB-Verfahren -> BDS-Instrument Instrument für Demografie und Fachkräftemangel Industrial Engineering und Internationaler Einsatz Aktuelle Arbeitswelt-Dynamik <ul style="list-style-type: none"> Belastungs-/Erkrankungs-/Unfallgeschehen Nachhaltiges Wachstum mit guten Arbeitsbedingungen Notwendigkeit interdisziplinäre Methodenkompetenz 	
Methoden	3
<ul style="list-style-type: none"> Weiterentwicklung (incl. Feldmessung und Robotik-Praxiserprobung) <ul style="list-style-type: none"> Standardisierung von Neuentwicklungen (autarke Fachverfahren) Technische Wärmestahlungsmessung (unidirektional) Evaluierung <ul style="list-style-type: none"> Ableitung der Evaluierungsstruktur aus der Testliteratur Entwicklung der Rohdatenschnittstelle (Parameter, ...) 	

Hauptkapitel 3 beschreibt die Ziele, Methodenauswahl, Durchführung und Auswertung im Rahmen der vorliegenden Dissertation. Ab Kapitel 3 erfolgt die Beschreibung der Weiterentwicklung des Instruments und der Evaluierung des Instruments in zwei getrennten Unterkapiteln. Es soll jeweils nachvollzogen werden können, welche Methoden ausgewählt wurden, auf welche Art und Weise bei der Weiterentwicklung des Instruments vorgegangen wird und auf welche Art und Weise die Gütekriterien getestet und statistisch ausgewertet wurden.

Hauptkapitel 4 beschreibt die Ergebnisse der Weiterentwicklung und Evaluierung des Instruments in zwei getrennten Unterkapiteln. Zunächst wird die Entwicklung der Belastungsarten, Fach- und Prozessverfahren beschrieben. Aufgrund der unterschiedlichen Weiterentwicklungsaspekte war es sinnvoll, hieran anschließend ein neues Dashboard zu konzipieren und schließlich auch alle Weiterentwicklungen zusammen zu führen. Danach wird die Praxiserprobung des Instruments an dem Smart-Factory-Arbeitssystem durchgeführt und das Konzept zur Implementierung des Instruments erweitert. Im zweiten Unterkapitel werden die Ergebnisse der Evaluierung des Instruments beschrieben.

Hauptkapitel 5 greift die wesentlichen Ergebnisse aus Kapitel 4 auf und diskutiert diese ebenfalls in zwei getrennten Unterkapiteln jeweils separat zur Weiterentwicklung und zur Evaluierung. Die Diskussion erfolgt jeweils eigenständig für die einzelnen Arbeitshypothesen. Dabei wird auch auf die jeweiligen Limitationen der durchgeführten Untersuchungen eingegangen (Tab. 1.4).

Tab. 1.4 Überblick zur Struktur und den Inhalten der Dissertation (Kapitel 4 bis 6)

Struktur und Inhalte	Kapitel
Ergebnisse	4
<ul style="list-style-type: none"> Weiterentwicklung <ul style="list-style-type: none"> Neue autarke Fachverfahren (Mutterschutz, ...) Neue Prozessverfahren für das Kernverfahren (Inklusion, ...) Neue Bewertungsmodelle/-filter (Atenschutz, Beleuchtung, ...) Wärmestrahlung: Erweiterte Situationsbeschreibungen Robotik-Praxiserprobung Konzepte (Dashboard, Zusammenführung, ...) Evaluierung (Validität -> Reliabilität -> Objektivität) <ul style="list-style-type: none"> Validität (Inhalt, Augenschein, Diskriminanz, Nomologisch, ...) Reliabilität (<u>Intra</u>-Rater-Reliabilität, Parallelttest) Objektivität (<u>Inter</u>-Rater-Reliabilität zu Durchführung und Interpretation) 	
Diskussion	5
<ul style="list-style-type: none"> Arbeitshypothesen <ul style="list-style-type: none"> Fazit, Praxiserprobung, Evaluierung Limitation, Ideen für Anschlussforschung Evaluierung <ul style="list-style-type: none"> Ableitung der Evaluierungsstruktur aus der Testliteratur Entwicklung der Rohdatenschnittstelle (Parameter, Clusterung, ...) 	
Empfehlungen (Anschlussforschung, Anwendung, ...)	6

Abschließend werden in **Hauptkapitel 6** die Empfehlungen für Anschlussforschung und künftige Weiterentwicklungen des Instruments abgeleitet. Hier finden sich einerseits auch generelle Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung des Instruments. Andererseits werden aus den Untersuchungen abgeleitete übergeordnete Schlussfolgerungen gezogen in Bezug auf generellen Forschungsbedarf in den Arbeits- und Sicherheitswissenschaften.

2 Ausgangslage (Instrument / Fragen / Hypothesen)

Mithilfe des Literaturreviews zur Beschreibung der Ausgangslage werden die Fragestellungen der Dissertation abgeleitet. Im ersten Unterkapitel werden die wichtigsten wissenschaftlichen Grundlagen des Instruments erläutert. Anschließend sollen die Ausführungen zur Dynamik der Arbeitswelt den starken Wandel der Arbeitswelt seit der Industrialisierung verdeutlichen und die anstehenden Umbrüche aufzeigen. Letzteres erfolgt anhand von Recherchen zu den **Megatrends** des frühen 21. Jahrhunderts.

Die Ergebnisse werden mit den **Arbeits- und Sicherheitswissenschaften** in Bezug gesetzt, um daraus interessante und zukunftsrelevante Fragestellungen für diese Arbeit und für Interessierte auch darüber hinaus abzuleiten. Anschließend werden die von schlechter Arbeitsgestaltung ausgehenden Problemstellungen und das Potenzial nachhaltigen Wachstums durch optimierte Arbeitsgestaltung aufgezeigt (Abb. 2.1).

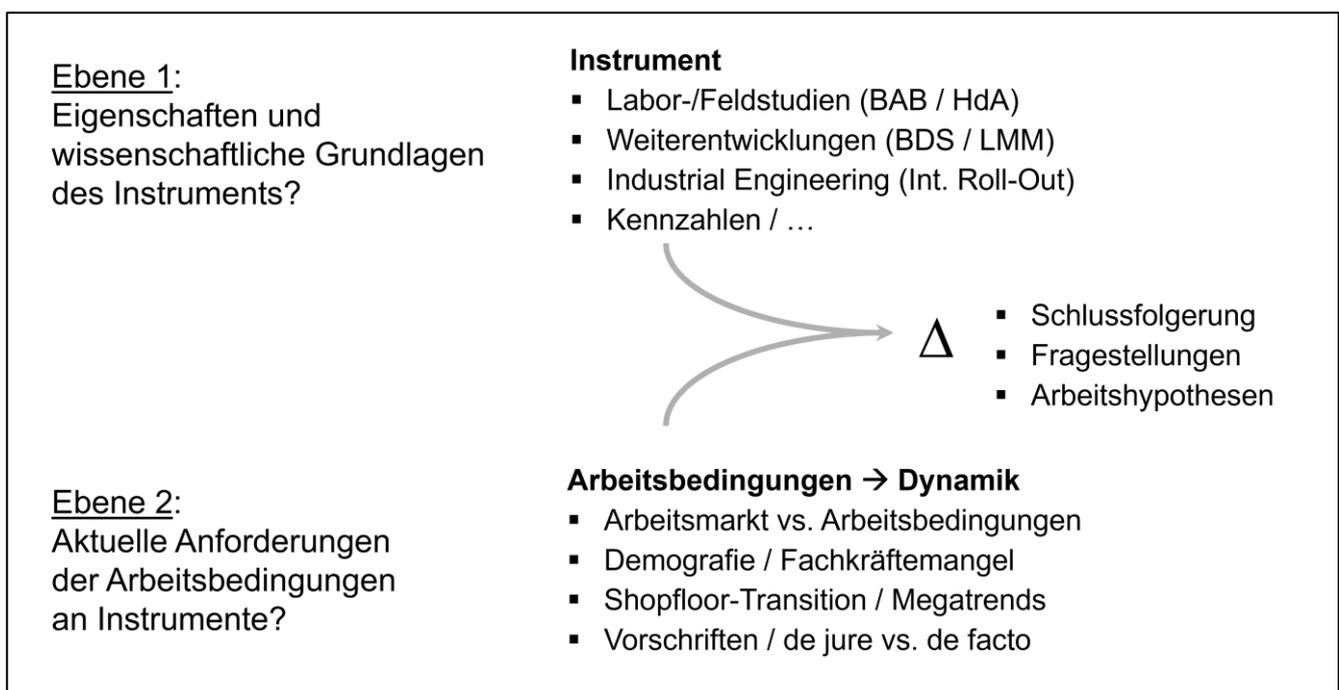


Abb. 2.1 Vorgehen zur Ableitung der Fragestellungen und Arbeitshypothesen

Vertieft wird der aktuelle Stand der arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse zu übergeordneten Modellen und Lösungsstrategien der Berücksichtigung der Ressource Mensch bei der Optimierung der Arbeitsbedingungen. Schließlich erfolgt die Verknüpfung der Ausführungen der Ausgangslage zur Ableitung der Schlussfolgerungen, Fragestellungen und Arbeitshypothesen der Dissertation.

2.1 Wissenschaftliche Grundlagen des Instruments

Das BDS-Instrument vereint die anwendungspraktischen Erkenntnisse aus mehreren Wissenschaftsdisziplinen und Fachgebieten wie der Anthropometrie, Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie, Arbeitswissenschaft, Biomechanik und Sicherheitswissenschaft. Damit ermöglicht das Instrument die **Optimierung** von Produkten (Bau und Beschaffung von Anlagen, Fertigungslinien, ...) und Arbeitsbedingungen (Neugestaltung, Umgestaltung, Wartung, ...) auf dem wissenschaftlichen Fundament der Bewertungskonzepte zur menschengerechten Arbeitsgestaltung. Durch die gezielte Auswahl praxiserprobter Methoden und Verfahren und deren Erweiterung um Zusatzfunktionalitäten wird interdisziplinäres Knowhow vernetzt.

Das Verfahrensportfolio des Instruments ist sowohl für Forschungsanwendungen als auch auf die Optimierung von Wertschöpfungsprozessen von Organisationen ausgerichtet. Dabei spielen die Prävention von Sicherheits- und Gesundheitsrisiken, die Reduktion von Abwesenheitszeiten sowie das Aufspüren und Vorbeugen von Rechtsverstößen und Audit-Abweichungen eine elementare Rolle. Auf dieser Basis wird die Modernisierung der Anlagen und Produktionsprozesse auf der Grundlage anthropometrisch und biomechanisch optimierter Bewegungsabläufe und die Steigerung der Qualität und Quantität der Arbeitsergebnisse durch arbeitsphysiologisch und arbeitspsychologisch optimierte Arbeitssysteme angestrebt (Abb. 2.2).

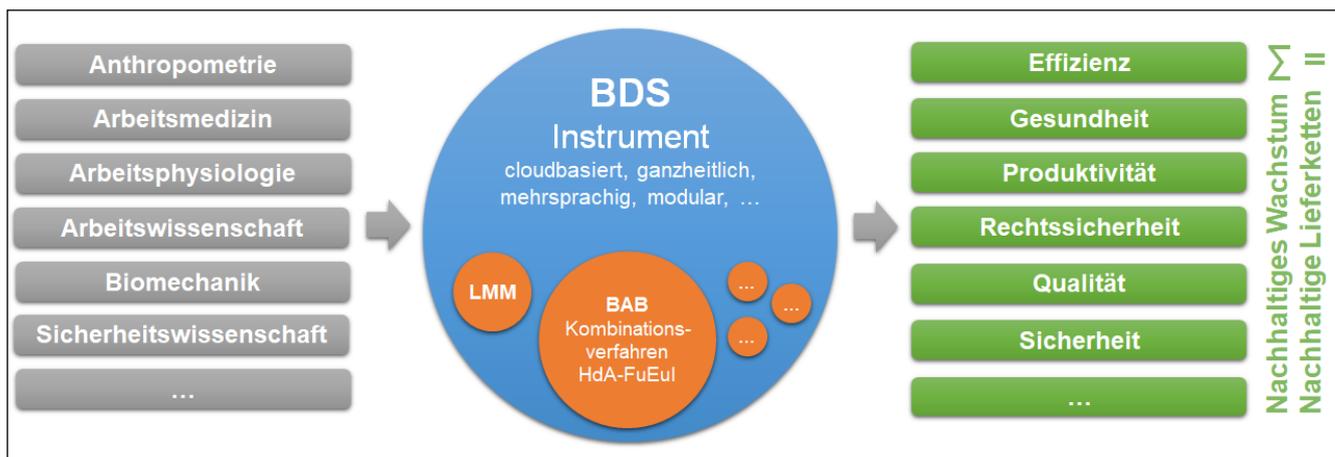


Abb. 2.2 Vernetzung von Wissenschaftsdisziplinen mit dem Instrument

Insgesamt verfolgt das Instrument damit einen **wissenschaftlich-interdisziplinären Gesamtansatz**, mit dem Organisationen ihren Weg hin zum nachhaltigen Wachstum beschreiten und sich dabei kontinuierlich weiter verbessern können. Um die Anwendungen des Instruments zur Verfügung zu stellen, werden wissenschaftliche Grundlagen seit den 1970er Jahren erforscht und die Ergebnisse für eine einfache Anwendung aufbereitet. Das Portfolio geht bis auf das BAB-Kombinationsverfahren zurück, das im Forschungsschwerpunkt der Humanisierung des Arbeitslebens entwickelt wurde. Entstanden ist mittlerweile ein mehrfach ausgezeichnetes, mehrsprachiges und auf allen Kontinenten eingesetztes ganzheitliches arbeitswirtschaftliches und arbeitswissenschaftliches Instrument, dessen wissenschaftliche Entwicklungshistorie zur Planung der Weiterentwicklung und Evaluierung im Rahmen der Dissertation nachfolgend aufgearbeitet wird.

2.1.1 Labor- und Feldstudien zur Humanisierung des Arbeitslebens

Das BDS-Instrument basiert auf dem arbeitswissenschaftlichen Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen und Gefährdungen (BAB-Kombinationsverfahren). Das BAB-Kombinationsverfahren ist als Experten-Screening-Verfahren von der im Frühjahr 1976 gegründeten **Forschungsgruppe „Arbeitssicherheitstechnik / Ergonomie (ASER)“** der Bergischen Universität – Gesamthochschule Wuppertal entwickelt worden. Die Entwicklung erfolgte im Rahmen des im Jahr 1974 gestarteten staatlichen „Forschungsprogramms zur Humanisierung des Arbeitslebens (HdA)“. Ziel des HdA-Programms war es, ganzheitliche, arbeitswissenschaftliche Verfahren von Forschungseinrichtungen zu entwickeln, in Labor- und Feldstudien zu erproben sowie die wissenschaftliche Güte zu bestimmen (Tab. 2.1).

Tab. 2.1 Wissenschaftliche Meilensteine der BAB-Verfahrensentwicklung

Veröffentlichung	Wissenschaftliche Meilensteine
Hettinger ,1980 Methoden zur Erfassung von Belastbarkeit sowie der Belastung und Beanspruchung des Menschen in der Arbeitswelt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Expertenbeurteilungsbasis mit Grenzstufenvorgaben für Einzelkriterien ▪ 7-stufige Skala, Beurteilungswertzahl kennzeichnet, ob Kriterium ggf. grenzwertig oder Grenzwert gar überschritten ist ▪ Grenzbereichsdaten nach wissenschaftlichen Erkenntnissen (gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse - BetrVG), davon ausgehende Stufen (nach oben und unten) nach Ergebnissen aus zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen ▪ Zusätzliche Berücksichtigung psychologischer und soziologischer Parameter ▪ Erleichterung der Entscheidungsfindung durch punktuelle Messungen und Richtbeispiele
Müller & Hettinger, 1981 Interpretations- und Bewertungsverfahren arbeitswissenschaftlich-ergonomischer Felddaten	<p>Verfahrensphilosophie und Entwicklungssystematik:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transfer der Ergebnisse arbeitswissenschaftlich-ergonomischer Felduntersuchungen in ein praxistaugliches Verfahren <p>Belastungs- und Beanspruchungsprofile:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 7-stufiges-Beurteilungsverfahren durch Normierung und wissenschaftliche Verdichtung (<u>keine</u> Verwendung einfacher Mittelwerte) ▪ Ausweisung von Belastungsschwerpunkten ▪ Berücksichtigung der Verteilung der Belastungsdauer

Im HdA-Forschungsprojekt „Hitzearbeit – Untersuchung an ausgewählten Arbeitsplätzen der Eisen- und Stahlindustrie“ wurde das BAB-Kombinationsverfahren beginnend in den Jahren 1976/1977 entwickelt, die Forschungsergebnisse aufbereitet und ab den Jahren 1980/1981 veröffentlicht (Hettinger ,1980; Müller & Hettinger, 1981), auf internationalen Fachkongressen präsentiert, diskutiert und kontinuierlich weiterentwickelt. Diese Serie an Grundlagenforschung wie beispielsweise die Feldstudien zur Belastung und Beanspruchung an verschiedenen **Hochöfen** (Peters, 1982) und die Ergebnisse zur Belastung und Beanspruchung durch Persönliche Schutzausrüstung (Hettinger & Eissing, 1983) waren wichtige wissenschaftliche Grundlagen für die Entwicklung und Weiterentwicklung der **Belastungs- und Gefährdungsprofile** (Müller, 1982).

Das BAB-Kombinationsverfahren ist zunächst für die Anwendung zur **Identifikation von Schwerpunkten**, Schwachstellen und Gestaltungsansätzen entwickelt worden. Es basiert auf der Philosophie der Standardisierung von Belastungs- und Gefährdungsarten. Hierdurch wurde eine neue Art der **Vergleichbarkeit** geschaffen, die den dafür einzugehenden Kompromissen überwiegt (Müller & Hettinger, 1981). In den ersten Jahren wurde das BAB-Kombinationsverfahren vor allem für den Feldforschungseinsatz eingesetzt, bei dem die Analysephase von mehreren unabhängigen Forschenden der Arbeitswissenschaften und angrenzender Fachdisziplinen ausgeführt wurde.

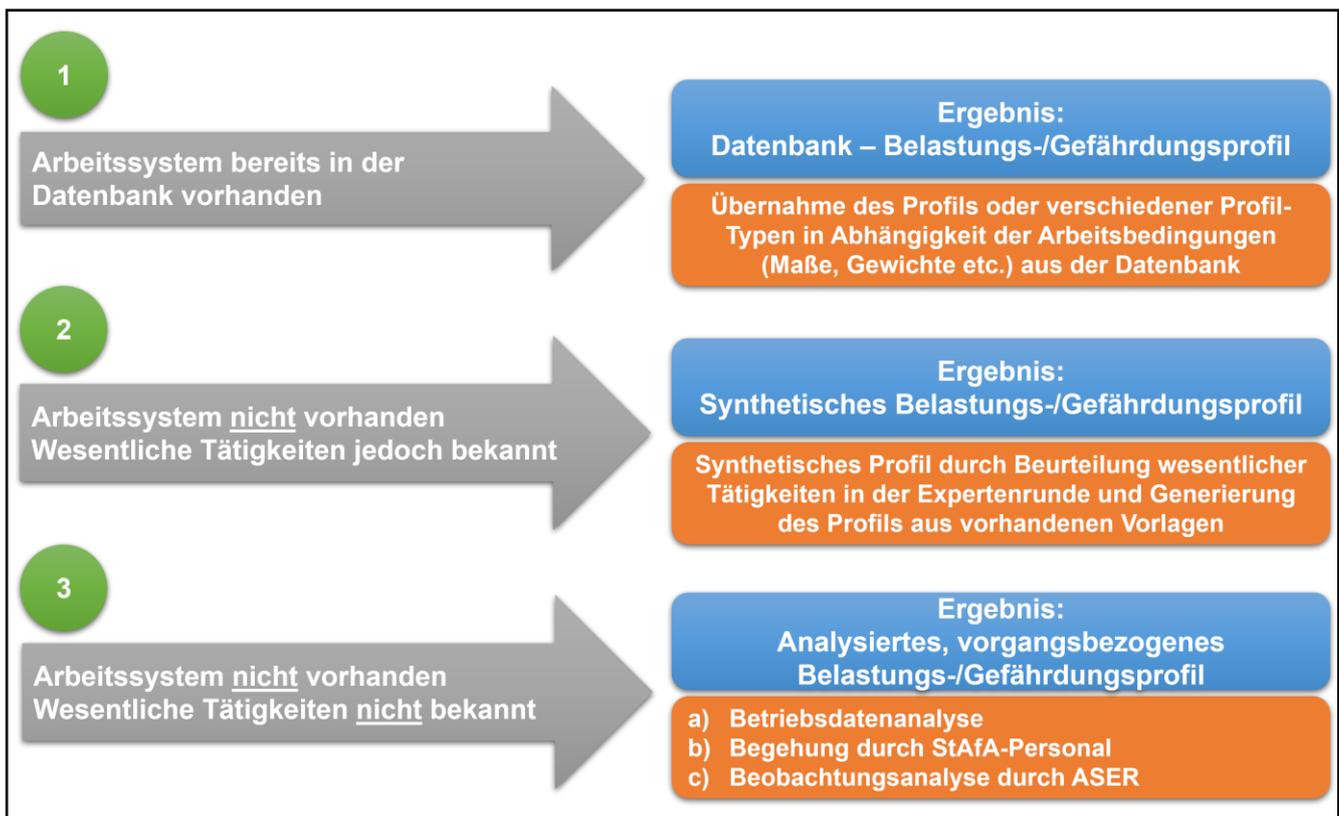


Abb. 2.3 BAB-Kombinationsverfahren: Philosophie der Verfahrensökonomie
Quelle: Eigene Darstellung nach Tielsch et al., 1997

Das Ziel der verfahrenswirtschaftlichen Anwendung wurde durch die gezielte Auswahl der wesentlichen Belastungs- und Gefährdungsfaktoren, durch Nutzungsmöglichkeit vorhandener Daten und Informationen sowie über das neue **Prinzip der nutzungsorientierten Vorwärtsergänzung** realisiert.

Seit den 1980er Jahren wurde auf Datenbankunterstützung gesetzt, sodass bei bereits vorhandenen Belastungs- und Gefährdungsprofilen von Arbeitssystemen (Fall 1) oder bei bereits vorhandenen Belastungs- und Gefährdungsprofilen von Tätigkeiten (alternativ auch bezeichnet als Teil-Tätigkeiten, Vorgänge oder Belastungsabschnitte; Fall 2) auf vorhandene Ergebnisse in der Datenbank zurückgegriffen werden konnte und eine neue Analyse (Fall 3) ab sofort nur noch dann erforderlich war, falls bisher keine Ergebnisse oder Teilergebnisse vorlagen (Abb. 2.3).

Mit dem BAB-Kombinationsverfahren wurde die Generierung von Belastungs- und Gefährdungsprofilen ermöglicht, die auf einer summarischen Beurteilung der auszuführenden Tätigkeiten unterschiedlicher Arbeitsbelastungsarten und Arbeitsbelastungshöhen (**Intensität, Dauer, Häufigkeit**) von Arbeitssystemen besteht (Abb. 2.4).

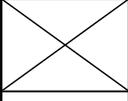
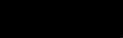
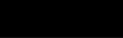
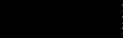
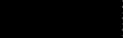
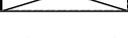
			am Arbeitsplatz	Gehen normal		Gehen erschwert		Gehen Treppe	Gehen Leiter
		1	2	2	3	4	5	6	7
selten (< 5 %)	0,1								
öfters (5 - 20 %)	0,5								
häufig (5 - 20 %)	0,5								
sehr oft (40 - 60 %)	1								
dauernd (> 60 %)	1								

Abb. 2.4 Analyse der Intensität und Expositionsdauer von Körperbewegungen (1970er)
Quelle: BAB-Methodenblätter der Forschungsgruppe "Arbeitssicherheitstechnik/
Ergonomie" (ASER) der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal

Die Bewertung der Belastungs- und Gefährdungsarten wurde auf einer einheitlichen Skala mit **sieben Belastungsstufen** (kurz Stufen, Level) normiert. Die **normierte Skala** bildet Belastungshöhen von Bewertungsstufe 1 „vernachlässigbar“ über Bewertungsstufe 4 „Grenzwert zumutbarer Dauerbelastung“ bis hin zu Bewertungsstufe 7 „äußerst stark belastend / Überbelastung sehr wahrscheinlich“ ab (Tab. 2.2).

Tab. 2.2 Entwicklung einer normierten 7-stufigen Bewertungsskala (ab 1976/1977)
Quelle: Eigene Darstellung n. BAB-Methodenblättern (Forschungsgruppe ASER)

Belastungshöhe		Bewertungsstufe
Überbelastung	sehr wahrscheinlich	7
Überbelastung	wahrscheinlich	6
Überbelastung	möglich	5
Grenzbereich (Besorgnisbereich)		4
belastend		3
gering belastend		2
vernachlässigbar oder sehr gering belastend		1

Damit war nun die Generierung untereinander vergleichbarer Ergebnisse möglich als Grundlage, um hiervon ausgehend systematisch Hinweise zur Dringlichkeit von Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Das entwickelte **standardisierte Risikokzept** legte ab sofort für alle physiologisch orientierten Kriterien wie beispielsweise dynamische Muskelarbeit die zumutbare Dauerbelastung an der Dauerleistungsgrenze fest. Mit dem evidenzbasierten Vorgehen war es auch möglich, unbedenkliche Expositionen unterhalb der Dauerleistungsgrenze auszuweisen, bei denen gesundheitliche Schädigungen unwahrscheinlich sind und sich dadurch entscheidend von den grenzwertigen und überbelastenden Belastungshöhen abgrenzen.

In den Anfängen der Verfahrensanwendung in der Feldforschung ermöglichte das BAB-Kombinationsverfahren die Typisierung und Intensitätseinstufung der Belastungen von Tätigkeiten als obligatorischen Vorbereitungsschritt für die anschließend durchzuführende, messtechnische Arbeitsablaufaufnahme und Belastungs-Beanspruchungs-Datenaufnahme von Arbeitssystemen in Ganzschicht- und/oder Halbschichtanalysen (Abb. 2.5).

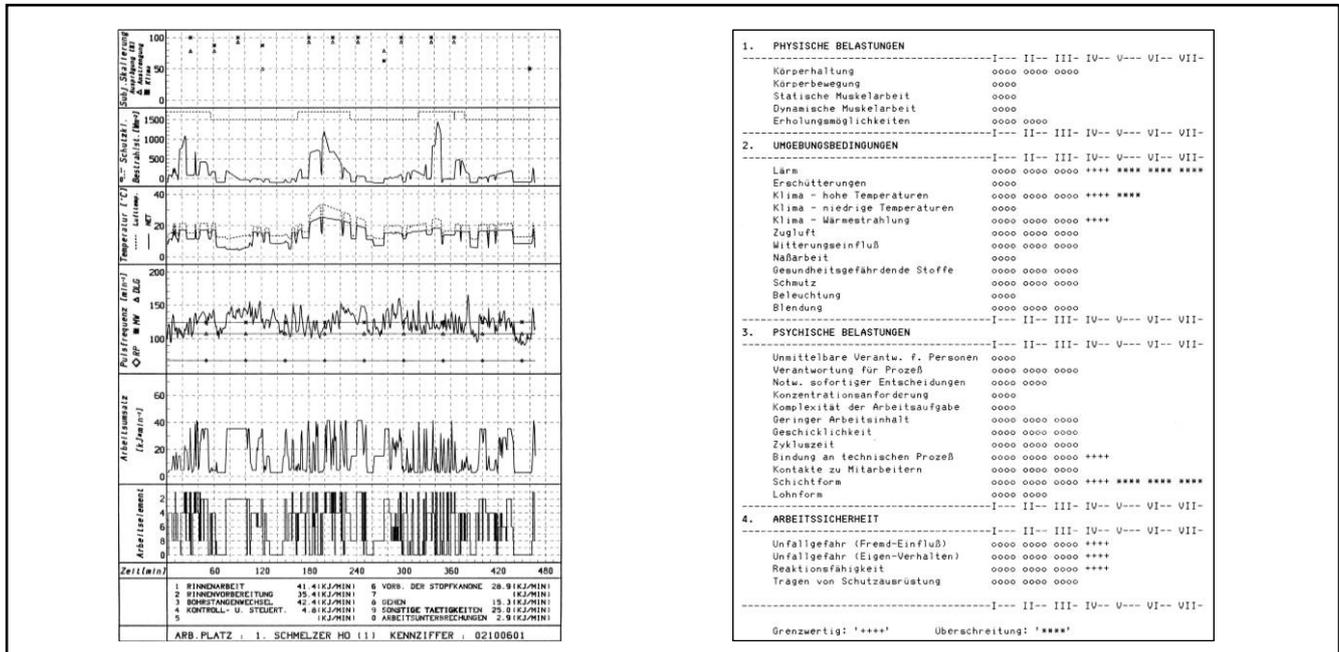


Abb. 2.5 BAB-Kombinationsverfahren: Ergebnisübersichtsdarstellung (1980er)
Quelle: Müller & Hettinger, 1981

Insgesamt konnte das Datenmaterial mit dem BAB-Kombinationsverfahren nun leichter interpretierbar ausgewiesen und **arbeitswissenschaftliche Empfehlungen** in Form der Dringlichkeit betrieblicher Maßnahmen auf der Basis der neu entwickelten Bewertungsstufen zur Verfügung gestellt werden (Müller, 1984; Peters, 1986; Tab. 2.3).

Tab. 2.3 Wissenschaftliche Meilensteine der BAB-Beurteilung und BAB-Visualisierung

Veröffentlichung	Wissenschaftliche Meilensteine
<p>Müller, 1984 Erfassung und arbeitswissenschaftliche Bewertung der Belastung und Beanspruchung</p>	<ul style="list-style-type: none"> Leichter interpretierbare Ausweisung umfangreichen Datenmaterials Deutlich ausweisende Auswertung von Schwerpunkten Transformation der Messdaten in eine 7-stufige Skala der Belastung bzw. Beanspruchung Arbeitswissenschaftliche Empfehlung (\cong Dringlichkeit betrieblicher Maßnahmen) auf der Basis von Bewertungsstufen Stufe 4 ist immer der Grenzwert zumutbarer Dauerbelastung
<p>Peters, 1986 Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> Arbeitsplatzanalyse bestehend aus Dokumentation (Arbeitsbereich, Arbeitsplatz), Arbeitsablaufstudie (Arbeitselemente, Aufenthaltsort, Schutzkleidung, Prozesszustand), Belastung, Beanspruchung Balance von Wissenschaftlichkeit und Praktikabilität Flussdiagramm zur Methodenauswahl (Ganz- / Teilschichtanalyse) Teilschichtanalyse reduziert 50% des Aufwandes BAB-Stufe 1: Prüfen, ob Maßnahmen gegen körperliche Inaktivität sinnvoll sind

Im weiteren Verlauf der 1980er Jahre wurde das BAB-Kombinationsverfahren in Forschungsprojekten insbesondere in den Wirtschaftszweigen der Eisen- und Stahlindustrie, in der Glas-, Keramik- und Metallindustrie sowie in Speditionen angewendet. In umfangreichen Studien wurden die Grundlagen zur arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Beurteilung (Analyse, Bewertung, Handlungsempfehlung) von Belastungs- und Beanspruchungsgrößen entwickelt, evaluiert und kontinuierlich weiterentwickelt. Dabei wurden neue Möglichkeiten zur wissenschaftlichen Beurteilung des Arbeitsenergieumsatzes, der Normal-Effektivtemperatur, der effektiven Bestrahlungsstärke und der Arbeitspulsfrequenz geschaffen, die in die Normung einfließen und die Grundlage für spätere Forschungsaktivitäten zu Kombinationsbelastungen bildeten (Abb. 2.6).

Belastungsintensität bzw. Beanspruchungsintensität	Bewertungsstufe	Arbeitsenergieumsatz	Normal-Effektivtemperatur							Effektive Bestrahlungsstärke	Lärm-Beurteilungspegel	Arbeitspulsfrequenz														
		AU [W]	NET [°C]							E _{eff} [W/m ²]	L _r [dB (A)]	AP [1/min]														
Überbelastung bzw. Überbeanspruchung	sehr wahrscheinlich VII	[w] > 280 [m] > 420	40	36	33	30	28	26	25	E _{eff} > 300	L _r > 95	AP > 52														
	wahrscheinlich VI	> 250 ≤ 280 > 380 ≤ 420	37	33	29	26	23	21	19	260 < E _{eff} ≤ 300	90 < L _r ≤ 95	48 < AP ≤ 52														
	möglich V	> 220 ≤ 250 > 330 ≤ 380	33	31	27	23	19	15	11	220 < E _{eff} ≤ 260	85 < L _r ≤ 90	42 < AP ≤ 48														
Toleranzschwelle																										
Grenzbereich (DLG)	IV	> 180 ≤ 220	31	29	25	21	17	13	9	160 < E _{eff} ≤ 220	80 < L _r ≤ 85	34 < AP ≤ 42														
		> 270 ≤ 330																								
Akzeptanzschwelle																										
belastend bzw. beanspruchend	III	> 130 ≤ 180	25	22	19	16	14	11	8	95 < E _{eff} ≤ 160	75 < L _r ≤ 80	26 < AP ≤ 34														
		> 200 ≤ 270																								
gering belastend bzw. gering beanspruchend	II	> 80 ≤ 130	19	17	15	13	11	9	7	35 < E _{eff} ≤ 95	65 < L _r ≤ 75	17 < AP ≤ 26														
		> 130 ≤ 200																								
sehr gering belastend bzw. sehr gering beanspruchend und auf Unterforderung prüfen	I	[w] ≤ 80								E _{eff} ≤ 35	L _r ≤ 65	AP ≤ 17														
		[m] ≤ 130																								
			<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td><td>VI</td><td>VII</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">Arbeitsenergieumsatz-Bewertungsstufe</td> </tr> </table>							I	II	III	IV	V	VI	VII	Arbeitsenergieumsatz-Bewertungsstufe									
I	II	III	IV	V	VI	VII																				
Arbeitsenergieumsatz-Bewertungsstufe																										

* Müller, B.H.; Th. Hettinger (1981): Interpretations- und Bewertungsverfahren arbeitswissenschaftlich-ergonomischer Felddaten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 35 (1981), Heft 1981/2, S. 82ff.

Hettinger, Th.; B.H. Müller, H. Peters (1981): Hitzearbeit – Untersuchung an ausgewählten Arbeitsplätzen der Eisen- und Stahlindustrie. Forschungsbericht, Teil 1, Wuppertal, 1981

Müller, B.H. (1982): Synthetische Arbeitsplätze – Verfahren zur Entwicklung von arbeitsplatz-typischen Belastungs-Beanspruchungs-Profilen. Diss., Wuppertal, 1982

* s.a. DIN 33403-3 (1988-06): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung; Beurteilung des Klimas im Erträglichkeitsbereich.

Müller, B.H. (1989): Ergonomie - Bestandteil der Sicherheitswissenschaft. REFA, Berlin, 1989

Müller, B.H.; H. Peters, Th. Hettinger (1990): Übersichtstabellen zur Belastungssituation am Arbeitsplatz. Fa 23 Bd. I Grundlagen und Methoden. Bd. II Eisen- und Stahlindustrie. BAU, Dortmund, 1990

Abb. 2.6 Wissenschaftliche Beurteilung von Belastungs- und Beanspruchungsgrößen
Quelle: Grundlagenübersicht zur 7-stufigen Normierung vom Institut ASER e.V.

Hierzu wurden unter anderem die kombinierte Wirkung aus dynamischer Muskelarbeit und Hitzeklima auf die Beanspruchungsreaktion (Peters, 1986) und die Ermittlung des Arbeitsenergieumsatzes bei dynamisch-muskulärer Arbeit (Hettinger et al., 1989) detailliert untersucht.

Im Feldforschungseinsatz des BAB-Kombinationsverfahrens war mithilfe der Adaption dieser neuen gesicherten arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse nun ein immer robusteres Ausweisen der Dringlichkeit betrieblicher Maßnahmen über immer mehr Belastungs- und Gefährdungsarten¹ hinweg in einem gemeinsamen **einheitlichen Ampelschema** möglich.

¹ Die Belastungs- und Gefährdungsarten wurden in der Folge dann auch als sog. „Items“ bezeichnet.

Im weiteren Entwicklungsverlauf wurden bis auf wenige Ausnahmen für das BAB-Kombinationsverfahren verschiedene Einzelbewertungsverfahren mit einer strikten Trennung der jeweiligen Bewertung entwickelt, da eine zusammenfassende Bewertung von Belastungsarten und Belastungsgruppen erst dann als sinnvoll erachtet wurde, wenn die Problematik der überlagerten Bewertung von Einzelbelastungen hinlänglich geklärt ist (Müller et al., 1990). Daher wurde der Forschungsschwerpunkt in der Folge zunächst auf spezifische Problemstellungen für (Einzel-)Belastungs- und Gefährdungsarten gelegt. Durch spezielle Abwerteregeln wurden Lösungen für Belastungs- und Gefährdungsarten entwickelt, die bereits bei singulärem Auftreten mit hohen Gesundheitsrisiken verbunden sind sowie Lösungen entwickelt für Gefährdungs- und Belastungsarten, die **komplexe Kausalzusammenhänge der Ursache-Wirkungsbeziehungen** aufweisen. Sofern gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse im Verlauf in Rechtsvorschriften überführt wurden und sich dadurch auch Anpassungen ergaben, wurden diese bei der Entwicklung und Weiterentwicklung der Bewertungsmodelle wieder mitberücksichtigt. Bei der Belastung durch Schall (Lärm) wurden beispielsweise die Lärmgrenzwerte in Abhängigkeit der Tätigkeitsart nach der damaligen Arbeitsstättenverordnung als Bewertungsgrundlage verwendet (Müller et al., 1990).

Bei den Feldforschungseinsätzen des BAB-Kombinationsverfahrens konnten umfangreiche Erkenntnisse zur praktischen Durchführung der Analysephase vor Ort gesammelt werden (Peters et al., 1981). Die Praxiserfahrungen flossen in den Ausbau der standardisierten Beschreibung der Arbeitssysteme, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmittel und organisatorischen Aspekte ein. Um die Qualität und Transparenz der Rohdaten zu verbessern, wurden Hinweise zur Betriebsdatenanalyse erarbeitet. Dies umfasste Hilfestellungen zur **investigativen Durchführung vor Ort** wie die Einbeziehung betrieblicher Unterlagen sowie die Befragung von Betriebsleitung, Betriebsrat und den Beschäftigten. Hierfür wurden im Laufe der Jahre die Funktionalitäten der Systemabgrenzung durch neue Beschreibungsmöglichkeiten erweitert, beispielsweise um zugrundeliegende Belastungsursachen und auch das Ergänzen von Fotografien der Arbeitsvorgänge (Belastungsabschnitte) zu ermöglichen (Müller et al., 1992).

Ebenfalls wurden weitere Hilfestellungen zur Durchführung des **standardisierten Beobachtungsinterviews** erarbeitet. Dieses enthielt immer auch Rückfragen, inwieweit die Ereignishäufigkeit und der beobachtete Prozessablauf „normal“ sind. In Abhängigkeit der Komplexität der Arbeitssysteme wurden weitere verfahrensökonomische Empfehlungen ausgearbeitet. Bei Prozesszyklen von einigen Stunden wurde eine wiederholte Begehung während unterschiedlicher Prozesszustände durchgeführt. Für einfach strukturierte, kurzzyklische Arbeitsabläufe konnten dagegen bereits 15 bis 30 Minuten Beobachtungszeit ausreichend sein. In allen Fällen hatten sich typische, ausgewählte Arbeitsvorgänge als Gliederungskriterium etabliert, um Arbeitssysteme zu strukturieren und die Expositionsdauer adäquat berücksichtigen zu können (Müller, 1991). Damit festigte sich eine bewährte Grundstruktur und nachfolgende Weiterentwicklungen konnten sich – immer unter Berücksichtigung der Begrenzung des analytischen Aufwands – gezielt auf die Ausweitung des Anwendungsnutzens konzentrieren. Anfang der 1990er Jahre wurden daher die Prognosemöglichkeiten alternativer Arbeitsgestaltung ausgebaut und leicht handhabbare Übersichtstabellen und Informationsblätter zur Verfügung gestellt (Müller, 1991).

Die umfangreiche Labor- und Feldforschung, der kontinuierliche Praxiseinsatz und die iterative Weiterentwicklung des BAB-Verfahrens führten zu einem verfahrensökonomischen und arbeitswissenschaftlichen Kombinationsverfahren. Es war nun möglich, die Belastungs- und Gefährdungssituation von Arbeitssystemen anhand der 30 wesentlichen Belastungs- und Gefährdungsarten standardisiert analysieren, beurteilen und gestalten zu können. Zur übersichtlichen Ausweisung der Arbeitsbedingungen an den Arbeitssystemen wurden die Belastungs- und Gefährdungsarten in vier Belastungs- und Gefährdungsgruppen nach inhaltlicher Zusammengehörigkeit gruppiert (Abb. 2.7).

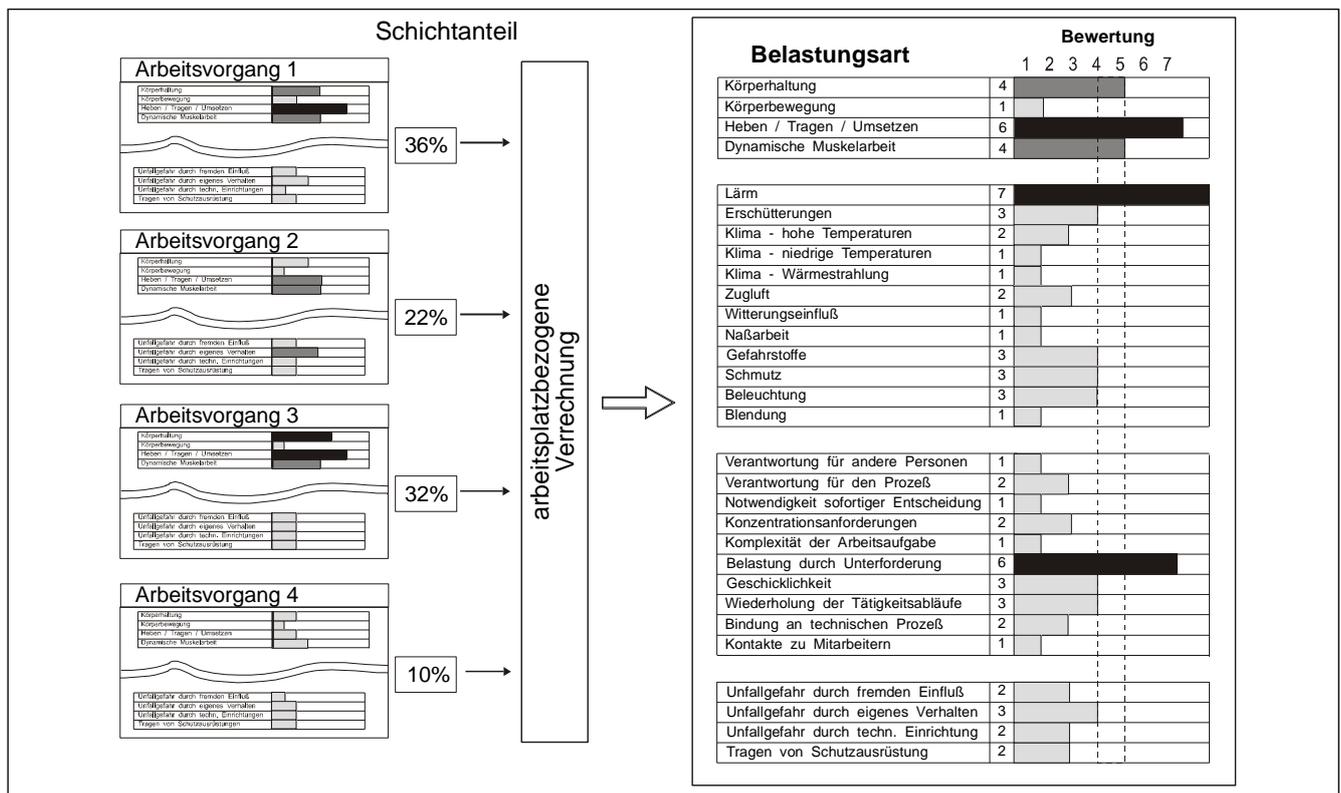


Abb. 2.7 Generierung arbeitsvorgangsbasierter Belastungs- und Gefährdungsprofile
Quelle: Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.

Die dabei entwickelte **Verfahrensstruktur** ermöglichte von nun an die Beschreibung der muskulären Belastungen anhand von vier physischen Belastungsarten², der Umgebungsbelastungen anhand von zwölf Belastungs- und Gefährdungsarten, der psychischen Belastungen³, anhand von zehn Belastungsarten und der Aspekte der Arbeitssicherheit anhand von drei übergeordneten Gefährdungsarten und der Belastung, die von Persönlicher Schutzausrüstung ausgeht. Die Bewertung und Beurteilung aller Belastungs- und Gefährdungsarten erfolgte dabei stets auf der Grundlage arbeitsvorgangsbasierter Analysen (Müller et al., 1990).

² Ergänzend konnten mit dem BAB-Verfahren in der Belastungsgruppe der muskulären Belastung (aktuelle Bezeichnung Physische Belastung) auch die Erholungsmöglichkeiten analysiert, beurteilt und gestaltet werden, sodass seitdem fünf Belastungsarten zur Verfügung standen.

³ In der Belastungsgruppe der psychischen Belastung (aktuelle Bezeichnung Arbeitsorganisation) standen seitdem auch die Lohnform und die Schichtform zur Verfügung, sodass zu diesem Zeitpunkt insgesamt 14 Belastungsarten analysiert, beurteilt und gestaltet werden konnten.

2.1.2 Weiterentwicklung des BAB-Verfahrens zum BDS-Instrument

Auch im weiteren Verlauf bis zum Beginn der 1990er Jahre wurden die Automatisierungsgrade in vielen Wirtschaftssektoren weiter ausgebaut. Die Grenzen wirtschaftlicher Mechanisierung sowie die Vorteile der Flexibilität und Kreativität des Menschen bestätigten in den 1990er Jahren aber auch die bisherigen Annahmen, dass die Beschäftigten auch in der Zukunft weiterhin viele wichtige Aufgaben übernehmen werden (Herper et al., 1993; Abb. 2.8).

In diesem Zeitraum erkannten immer mehr Organisationen die **Vorzüge der präventiven Arbeitsgestaltung**, bei der die Gestaltungsmaßnahmen bereits in der Planungsphase von Arbeitssystemen umgesetzt werden. Die auftretenden Problemstellungen sollten in immer kürzerer Zeit in Lösungen münden. Die Praxis bewertete den Erfolg wissenschaftlicher Disziplinen immer stärker an der praktischen Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Das BAB-Kombinationsverfahren mit seiner bewussten Reduzierung auf das Wesentliche (Teilkapitel 2.1.1) eignete sich daher besonders gut, um die damals fehlenden, aufeinander aufbauenden Softwaremodule für betriebliche Planungsinstrumente zu entwickeln (Herper et al., 1993).

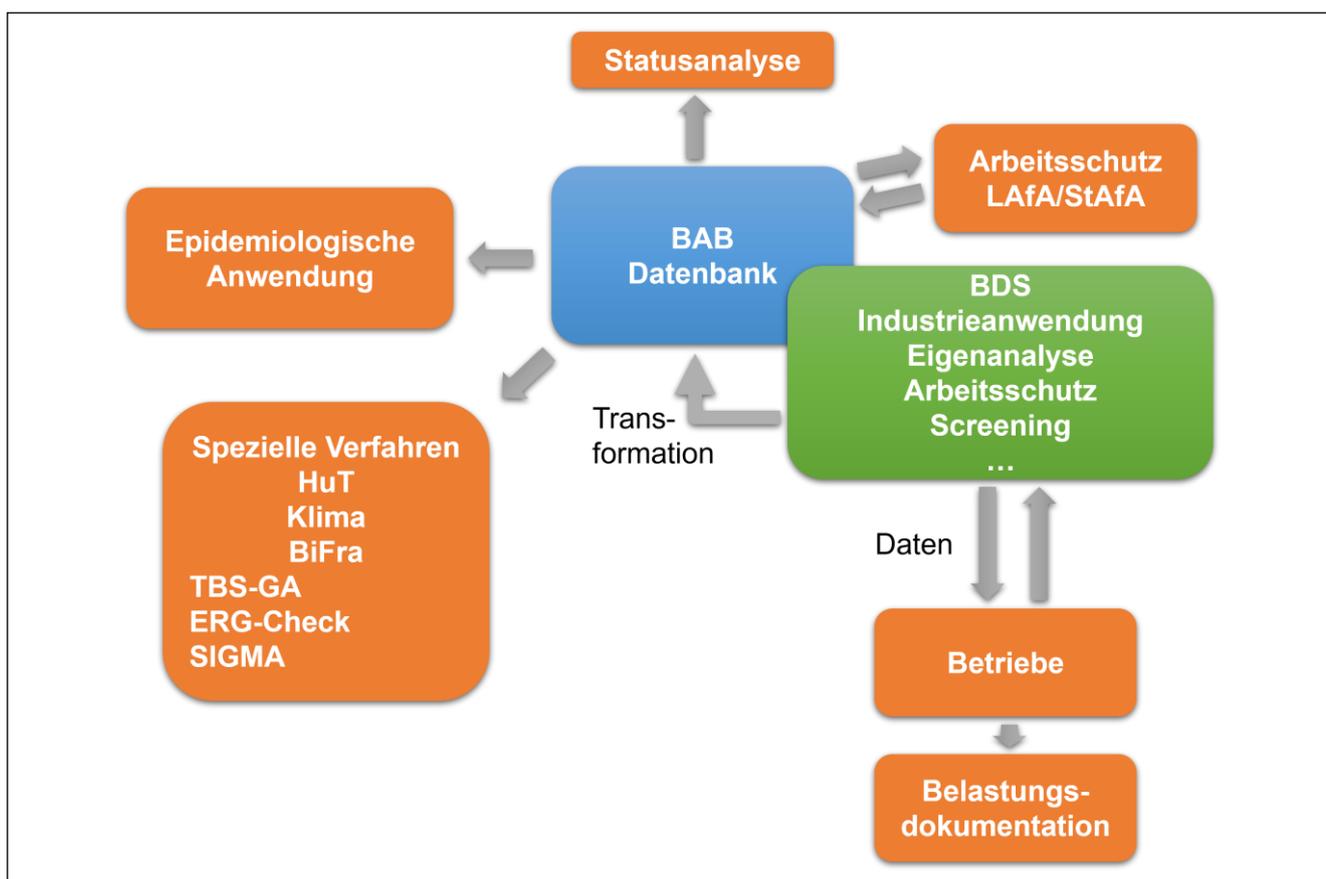


Abb. 2.8 Erschließung der Planungs- und Simulationstechnik mit dem BDS-Instrument
Quelle: Eigene Darstellung nach Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.

Um ein ganzheitliches **Planungsinstrument** realisieren zu können, wurden die Forschungsaktivitäten und Kooperationen zur Anwendung der Planungs- und Simulationstechnik ausgebaut, um hiermit die Kennzeichnung der Belastungs- und Beanspruchungssituation an konzipierten Arbeitssystemen als Entscheidungshilfe für oder gegen ein Konzept auf einer breiten Informationsbasis zu ermöglichen und damit betriebliche Prozesse wie die prospektive Ergonomie voranzubringen. Im Anwendungsfokus stand dabei auch die präventive Bewertung „manueller“ Belastungen in der Logistik (Herper et al., 1993).

Die bis hierhin zugrunde liegenden Forschungsergebnisse ermöglichten nun die Architektur, Adaptierung und Fertigstellung des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS), zunächst als **Microsoft Excel Applikation** im Jahr 1994. Damit stand ein leistungsfähiges Werkzeug zur Gestaltung komplexer Arbeitssysteme zur Verfügung, das eine präventive Arbeitsgestaltung durch ganzheitliche Planung von Fertigungssystemen ermöglichte (Abb. 2.9).

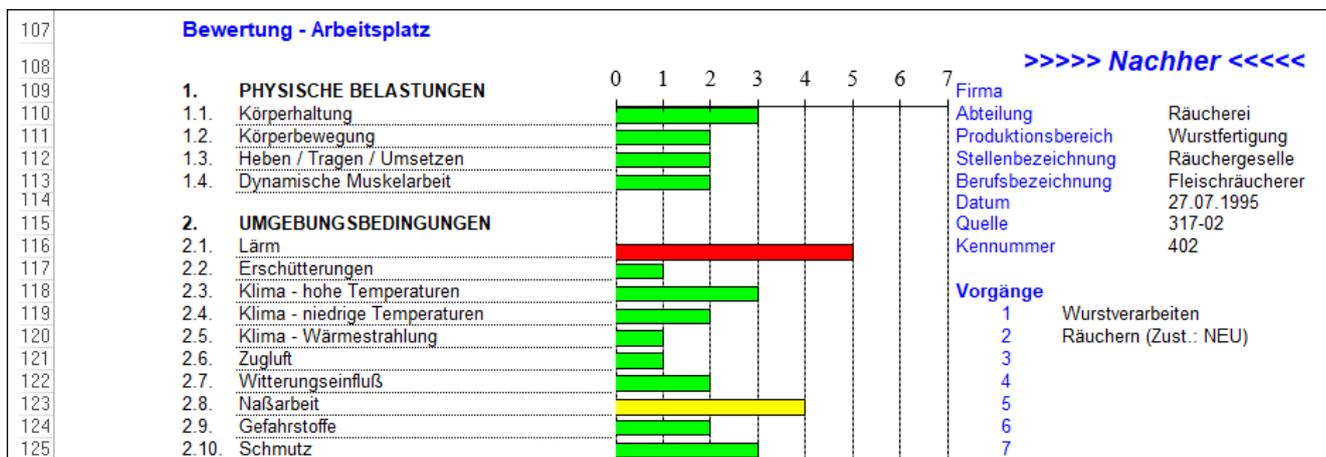


Abb. 2.9 BDS-Instrument: Applikation in Microsoft Excel 5.0 (1994)
Quelle: Excel 5.0-Tabellenblatt Arbeitsplatzprofil der GEWITEB (Ausschnitt)

Die Nutzung neuer Möglichkeiten der Informationstechnologie ermöglichten Simulationen von IST- und SOLL-Situationen mit deutlich reduziertem Aufwand. Gleichzeitig wurde die Adaption national wie international anerkannter Verfahren wie beispielsweise die NIOSH-Kontrollgrenze für Heben und Umsetzen (Waters et al., 1993) erleichtert. Insgesamt wurde es hiermit der Praxis ermöglicht, nun einen stärkeren Fokus auf das Einbringen der arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse in die Planungsphase von Arbeitsabläufen zu legen. Zusammen mit der tätigkeitsbasierten Vorgehensweise war es in der Folge möglich, die Auswirkungen von organisatorischen Änderungen im Schichtablauf von Arbeitssystemen (Job Rotation, Job Enlargement, Job Enrichment) zu analysieren, zu bewerten und damit die Auswirkungen potenzieller Änderungen des Schichtablaufs vor deren Implementierung im Vorfeld zu **simulieren** (Abb. 2.10).

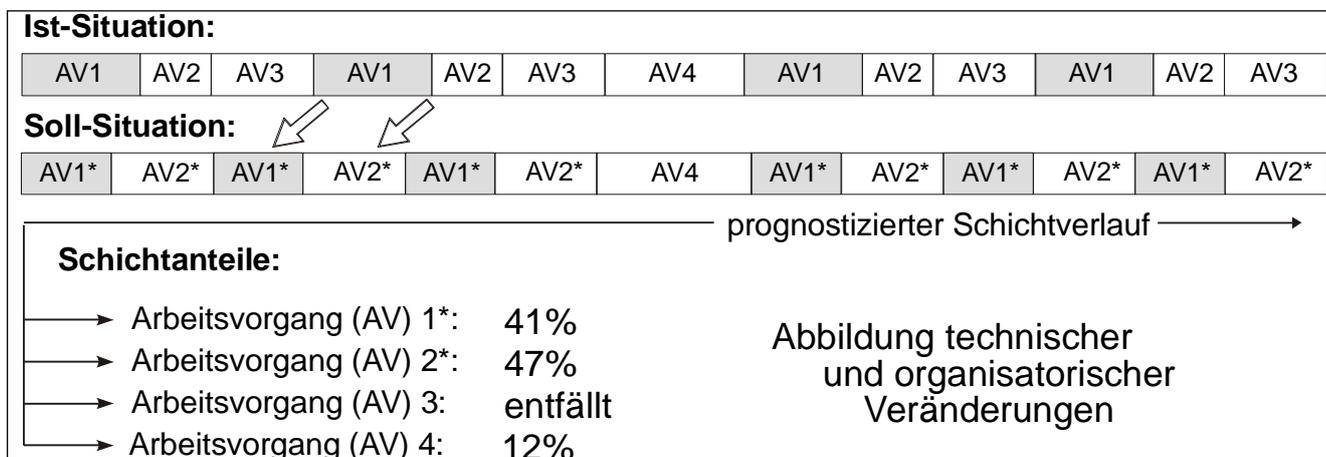


Abb. 2.10 BDS-Instrument: Abbildung technischer und organisatorischer Veränderungen
Quelle: Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.

Die in der Folge weiter voranschreitenden Möglichkeiten in der Informationstechnologie beschleunigten die daran anknüpfenden Weiterentwicklungen des BDS-Instruments. Ab Mitte der 1990er Jahre wurde zum **Computer Aided Ergonomic Planning** (CAEP) geforscht, um weitere Innovationen zu erschließen. Hieraus gingen die Grundlagen eines rechnergestützten arbeitswissenschaftlichen Prognose-Information-Systems hervor (Gebhardt, 1994). Es bestand nun die Möglichkeit, einen Zugriff auf Referenzsituationen zu geben in Bezug auf die sich kontinuierlich erweiternde arbeitswissenschaftliche Forschungsdatenbank und damit Vorlagen zur Verfügung zu stellen. Der Umstieg auf eine neue Plattform ermöglichte die Entwicklung eines Planungsinstruments, bei dem nun auch Schnittstellen der Informationstechnologie zur Verfügung standen, die erstmals auch die Nutzung anwenderbezogener Visualisierungselemente ermöglichten. Damit waren die Grundlagen für die Erprobung erster Formen virtueller Realität im Anwendungsbereich der wirklichkeitsnahen Darstellung von Arbeitssystemen geschaffen (Gebhardt, 1994).

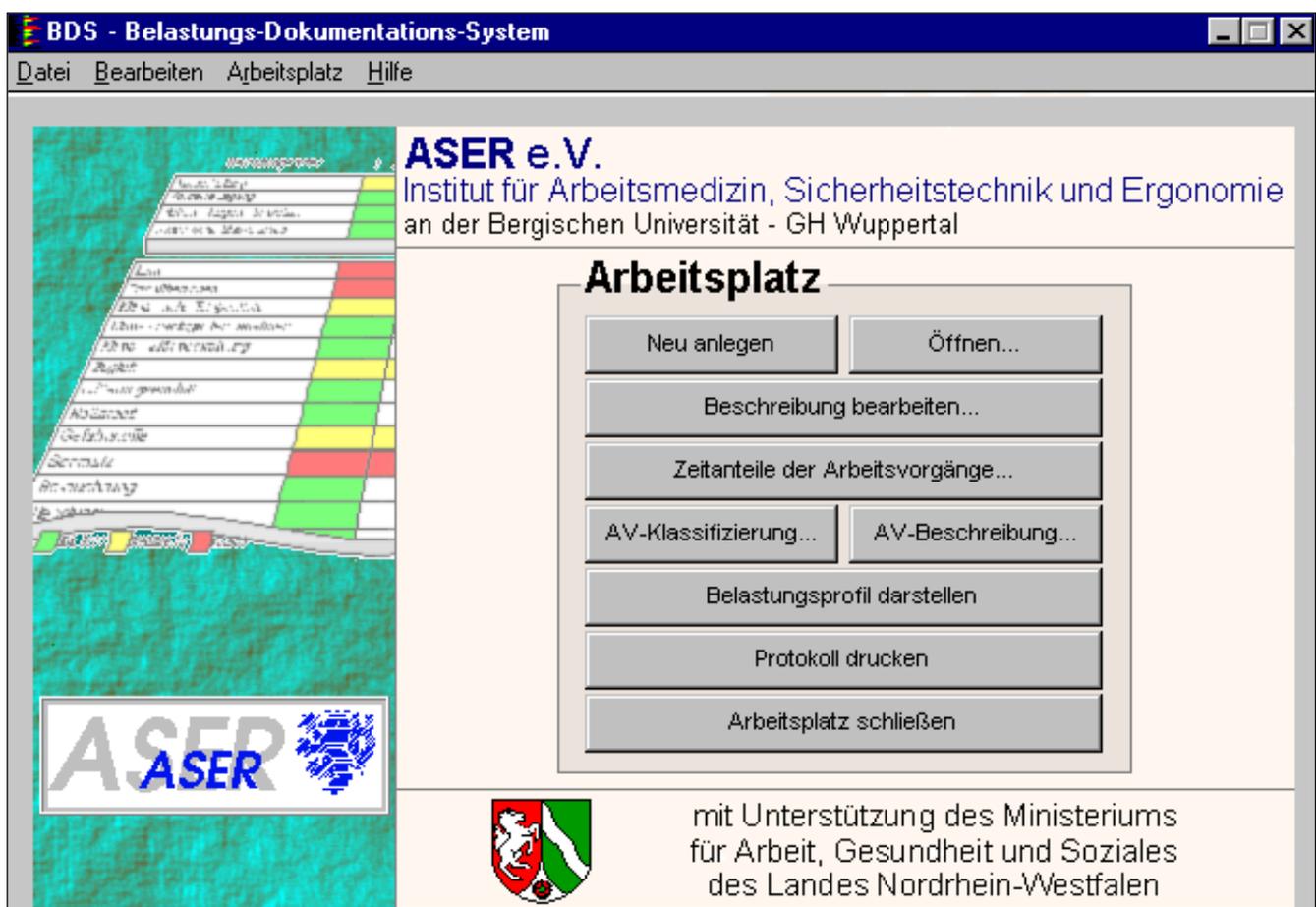


Abb. 2.11 Digitale Ergonomie mit dem BDS-Instrument (Standalone) im Jahr 1996
Quelle: BDS-Instrument 1.0 (GEWITEB)

Mit Hilfe der neuen rechnergestützten Vorgehensweise ergaben sich jetzt auch die erforderlichen Ressourcen zur Simulation von Beanspruchungsreaktionen bei kombinierten physischen Belastungen. Nach zwei Jahren Entwicklungszeit wurde im Jahr 1996 das BDS-Instrument auf der neuen Plattform fertiggestellt und damit für Feldforschung und gewerbliche Anwendungen ein gleichermaßen arbeits- und sicherheitswissenschaftlich sowie arbeitswirtschaftlich einsetzbares Instrument als Software-**Standalone**-Version für die Praxisanwendung bereitgestellt (Abb. 2.11).

Über Organisationseinheiten hinweg konnten nun arbeitswissenschaftliche und arbeitswirtschaftliche Anwendungen mit dem Instrument ausgeführt werden. So konnten auch das betriebliche **Industrial Engineering**, die Arbeitsvorbereitung wie beispielsweise REFA-, MTM- und Work-Factor-Methodenanwender*innen sowie qualifizierte Fachakteure wie Sicherheitsfachkräfte und Betriebsärzte das weiterentwickelte Instrument eigenständig für Ihre Aufgaben und Prozesse anwenden (Gebhardt, 1997). Zur Verfügung gestellt wurde die etablierte Vorgehensweise zur Betrachtung von Arbeitsvorgängen als charakteristische, organisatorisch abgrenzbare und zeitlich aufeinanderfolgende Tätigkeitssequenzen. Das ermöglichte neben einer exakten Systemabgrenzung auch eine effiziente Aktualisierung bei Änderungen der Arbeitssysteme sowie vor allem auch die adäquate Berücksichtigung der Expositionsdauer bei der Bewertung von Risiken. Diese konnten nun auf einer digitalen Plattform anhand der auszuführenden Arbeitsvorgänge gleicher Arbeitsbelastungsart und Arbeitsbelastungshöhe (Intensität, Dauer, Häufigkeit) analysiert und beurteilt werden. Neben der Bereitstellung von Einzelverfahren mit flexiblem Detaillierungsgrad wurden damit auch ganz neue Auswertungsmöglichkeiten für den arbeitswissenschaftlichen Labor- und Feldforschungseinsatz durch Arbeitswissenschaftler*innen sowie für den selbständigen, arbeitswirtschaftlichen Betriebseinsatz erschlossen (Abb. 2.12).

Abb. 2.12 Das BAB-Kombinationsverfahren im BDS-Instrument im Jahr 1996
Quelle: BDS-Instrument 1.0 (GEWITEB)

Mit den erweiterten Lösungen konnte der Anwendungsumfang des Instruments ausgebaut werden. Anwendungsgebiete waren nun immer verstärkter das Einbringen von arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnissen in die Planungsphase von Arbeitsabläufen durch präventive Nutzung der neuen Simulations- und Prognosetechniken sowie die Optimierung der Produktivität durch Verbesserung von Arbeitsabläufen im Einklang mit den Erkenntnissen der Arbeitswissenschaft unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Vorgaben des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (Herper & Gebhardt, 1997).

Um das breite Anwendungsspektrum zu unterstützen, wurden neue Hilfestellungen für die Praxisanwendung erarbeitet. Im Fokus standen dabei die Analysephase vor Ort und die Interpretation der Ergebnisse der Belastungs- und Gefährdungsprofile. Beschrieben wurde, wie eine hohe Rohdatenqualität durch messtechnische Erfassung der Klimagrundgrößen (Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Wärmestrahlung), des Schallpegels (logarithmische Mittelwertbildung) und der Beleuchtungsstärke erzielt werden kann. Für Organisationseinheiten der Arbeitsvorbereitung und des Industrial Engineerings wurden dabei auch die Gestaltungspotenziale bei den Arbeitsumgebungsbedingungen Klima, Lärm, Vibrationen und Beleuchtung betont (Ehrhardt et al., 1997).

Im Jahr 1996 erfolgte dann die Umsetzung der europäischen Richtlinie zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit (89/391/EWG) in Deutschland mit dem **Arbeitsschutzgesetz**. Damit wurde die gesetzliche Verpflichtung zur betrieblichen Umsetzung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes gestärkt. Organisationen (Adressat Arbeitgeber) müssen seitdem geeignete Präventivmaßnahmen ergreifen, um die Arbeit sicherer und gesünder zu gestalten. Hierzu wurden Methoden und Prinzipien wie die Beurteilung der Arbeitsbedingungen, die Beteiligung der Beschäftigten, die vorrangige Minimierung von Risiken an der Quelle, die Dokumentationspflicht und die regelmäßige Neubewertung von Gefahren am Arbeitsplatz eingeführt (Teilkapitel 2.1.3). Mit dem Inkrafttreten des Arbeitsschutzgesetzes startete in der Folgezeit eine neue Phase der gewerblichen Nutzung. Die selbständige Anwendung der Standalone-Versionen des Instruments erfolgte daraufhin zunächst vor allem in den Wirtschaftssektoren des Einzel- und Großhandels, in der Logistik, im Hafenumschlag sowie unabhängig vom Wirtschaftssektor auch in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU).

2.1.3 Ausbau zum Managementwerkzeug für den demografischen Wandel

Auf der Basis der im Arbeitsschutzgesetz enthaltenen Ermächtigungsgrundlage zum Erlass von Rechtsverordnungen wurde im Dezember 1996 in der Bundesrepublik Deutschland die Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV, 2020) erlassen. Damit wurde explizit auch die gesetzliche Verpflichtung zur Minimierung der Gesundheitsgefahren bei manueller Lastenhandhabung gestärkt. Hiervon ging ein Forschungsschwerpunkt aus, der sich mit den notwendigen methodischen Aspekten zur praktikablen Umsetzung der Lastenhandhabungsverordnung befasste (Steinberg & Caffier, 1998). In diesem Zeitraum wurde das Präventionspotential in der Gruppe der physischen Belastungen immer stärker erkannt, da die Prognosen zum demografischen Wandel weiter in den Fokus der öffentlichen Diskussion rückten. Die zu erwartenden gesellschaftlichen Problemstellungen aufgreifend, wurden die Forschungsaktivitäten nun darauf ausgerichtet, die **Simulationstechnik für geänderte Arbeitsstrukturen** weiterzuentwickeln (Lorenz et al., 2000). Als ein Ergebnis der Forschungsaktivitäten erschienen im Zeitraum um den Jahrtausendwechsel neue Einzelverfahren zur Beurteilung physischer Belastungen (siehe nächste Seite) sowie erweiterte Standalone-Versionen des Instruments. Im Jahr 1997 erfolgte zunächst die Vorstellung der BDS-Version 2.0, mit der gleichzeitig auch der Technologietransfer vom Institut ASER e.V. zur GEWITEB mbH vorgenommen wurde. Im Jahr 1999 folgten dann die erste BDS-Mehrsprachversion und im Jahr 2002 die erste BDS-Mandantenversion.

Zeitparallel wurden im Jahr 2001 die **erste Leitmerkmalmethode** zum Heben, Halten und Tragen von Lasten (LASI, 2001) und im Jahr 2002 die Leitmerkmalmethode zum Ziehen und Schieben von Lasten (LASI, 2002) fertiggestellt und von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) veröffentlicht (Abb. 2.13).

Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen

Zur praxisgerechten Analyse der objektiv vorhandenen Arbeitsbelastung wird die Leitmerkmalmethode empfohlen. Zuerst erfolgt die Erfassung und Dokumentation der vier Leitmerkmale

- Zeitdauer/Häufigkeit,
- Lastgewicht,
- Körperhaltung und
- Ausführungsbedingungen.

Anschließend wird aus den Einschätzungen dieser Leitmerkmale ein Risikowert errechnet, der Werte von 2 bis ca. 80 annehmen kann. Rein rechnerisch sind höhere Punktwerte möglich, praktisch jedoch nicht erreichbar. Dabei gelten Werte bis 25 als praktisch sicher, Werte oberhalb 50 als stark risikobehaftet. Im Bereich von 25 bis 50 ist die Risikoabschätzung unter Berücksichtigung der individuellen Belastbarkeit der Beschäftigten vorzunehmen.

Beurteilungsmodell:

Ansicht und Ausdruck des Formblattes

Unbedingte Voraussetzung für die Anwendung ist eine gute Kenntnis der zu beurteilenden Tätigkeit. Ergonomische oder sicherheitstechnische Zusatzkenntnisse sind nicht erforderlich. Bei Vorhandensein dieser Kenntnis dauert die Beurteilung wenige Minuten. Fehlt diese Kenntnis, muss eine Tätigkeitsanalyse durchgeführt werden.

Mögliche Ergebnisse – und was dann?

Grundsätzlich gilt:

- < 25 Punkte:** kein Handlungsbedarf
- > 50 Punkte:** Notwendigkeit einer technischen und/oder organisatorischen Umgestaltung
- 25 bis 50 Punkte:** Notwendigkeit der Ermittlung der individuellen Belastungswahrnehmung der Beschäftigten durch Fragen zur Arbeitsbeanspruchung und Fragen zu den gesundheitlichen Beschwerden.

Aufklärung von arbeitsbedingten Zusammenhängen und Ableitung von Gestaltungsnotwendigkeiten

Beurteilung von Heben, Tragen, Halten anhand von Leitmerkmalen

Version 2001
Die Gesamttätigkeit ist ggf. in Teiltätigkeiten zu gliedern. Jede Teiltätigkeit mit erheblichen körperlichen Belastungen ist getrennt zu beurteilen.

Arbeitsplatz/Teiltätigkeit: _____

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung (Nur eine zutreffende Spalte ist auszuwählen!)

Hebe- oder Umsetzvorgänge (< 5 s)		Halten (> 5 s)		Tragen (> 5 m)	
Anzahl am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtdauer am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtweg am Arbeitstag	Zeitwichtung
< 10	1	< 5 min	1	< 300 m	1
10 bis < 40	2	5 bis 15 min	2	300 m bis < 1 km	2
40 bis < 200	4	15 min bis < 1 Stunde	4	1 km bis < 4 km	4
200 bis < 500	6	1 Stunde bis < 2 Stunden	6	4 bis < 8 km	6
500 bis < 1000	8	2 Stunden bis < 4 Stunden	8	8 bis < 16 km	8
≥ 1000	10	≥ 4 Stunden	10	≥ 16 km	10

Beispiele: • Setzen von Mauersteinen, • Einlegen von Werkstücken in eine Maschine, • Pakete aus einem Container entnehmen und auf ein Band legen

Beispiele: • Halten und Führen eines Querschlags bei der Bearbeitung an einem Schleifbock, • Halten einer Handschleifmaschine, • Führen einer Motorsäge

Beispiele: • Möbeltransport, • Tragen von Gerüstteilen vom Lkw zum Aufstellort

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen von Last, Haltung und Ausführungsbedingungen

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

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

Charakteristische Körperhaltungen und Lastposition ²⁾	Körperhaltung, Position der Last	Haltungswichtung
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper aufrecht, nicht verdreht • Last am Körper 	1
	<ul style="list-style-type: none"> • geringes Vorneigen oder Verdrehen des Oberkörpers • Last am Körper oder körpfernah 	2
	<ul style="list-style-type: none"> • tiefes Beugen oder weites Vorneigen • geringe Vorneigung mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers • Last körpfernah oder über Schulterhöhe 	4
	<ul style="list-style-type: none"> • weites Vorneigen mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers • Last körpfernah • eingeschränkte Haltungsverstabilität beim Stehen • Hocken oder Knien 	8

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

Abb. 2.13 Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten aus dem Jahr 2001
Quelle: LASI, 2001

Zwar waren die deutsche Politik und Wirtschaft in dieser Zeit geprägt durch die Massenarbeitslosigkeit und darauf begründete Hartz-Reformen. Da das Thema des Demografischen Wandels aber zumindest gesellschaftlich und auch bei einigen, sehr fortschrittlichen Organisationen schon damals an Bedeutung gewann, wurde das Instrument auch in dieser Phase von Konzernen der chemischen Industrie, der Automobilzulieferindustrie und kleinen und mittelständischen Unternehmen verschiedener Wirtschaftssektoren weiter selbständig eingesetzt (Gebhardt et al., 2003). Immer mehr Organisationen erkannten die Potenziale der professionellen präventiven Herangehensweise an die Herausforderungen des demografischen Wandels. Beispielsweise errechnete ein deutscher DAX-Konzern im Jahr 2005, dass der Anteil der eigenen Beschäftigten in der Population der 55- bis 65-Jährigen von rund acht Prozent auf 25 Prozent für das Jahr 2015 eine Verdreifachung erfahren würde. Die Organisationen realisierten, dass für Tausende Beschäftigte in dieser Altersgruppe geeignete Arbeitssysteme fehlen (Klußmann et al., 2013).

Der strategische Fokus wurde daher wieder verstärkt auf die Ressource Mensch und den Ausbau der **Wettbewerbsvorteile** durch verringerte Krankenstände und höhere Motivation der Beschäftigten gelegt und die Instrumente des Arbeits- und Gesundheitsschutzes vom Institut ASER e.V. weiter ausgebaut. Die Kopplung von BAB (Kombinationsverfahren) und BDS (Arbeitsoberfläche) entfaltete vor diesem Hintergrund eine immer stärkere Wirkung. Da die Leitmerkmalmethoden in der Praxis sehr gut aufgenommen wurden, erfolgte die Prüfung auf Adaption (erweiterte Funktionen) im BDS-Instrument. Die Adaptierung wurde umgesetzt, denn die Leitmerkmalmethoden erfüllten die Anforderungen an ein **leicht handhabbares Verfahren** zur Identifikation von Gestaltungsdefiziten. Für diese Adaption wurde ein erweitertes ASER-Verfahren der Leitmerkmalmethoden entwickelt, um die Grenzen der einfachen Versionen der Leitmerkmalmethoden aufzubrechen und neue Lösungen für die Analyse, Beurteilung, Gestaltung von Arbeitssystemen und erweiterte Auswertung bereitzustellen.

Im Jahr 2006 wurde mit einer neuen IT-Architektur der **BDS-Client-Serverversion** die Flexibilität für die gewerblichen Partner geschaffen, vor allem in Abhängigkeit des gewünschten Anwendungsumfangs und der jeweiligen Organisationsgröße eine so genannte Einzelplatz- oder eine Serverversion des Instruments in der Organisation zu implementieren. Im Rahmen derartiger Implementierungsprozesse in den verschiedenen Wirtschaftssektoren und Organisationsgrößen wurden betriebsspezifische Anwendungen entwickelt, mit denen das Instrument an die individuellen Geschäftsprozesse angepasst und Lösungen zum Management des Demografischen Wandels ausgebaut wurden. In der Folge entstand eine Reihe an Funktionalitäten, die seitdem beispielsweise zum intelligenten Identifizieren von Gestaltungsdefiziten und zum flexiblen Customizing von Sonderauswertungen zur Verfügung stehen. Gestartet wurde in diesem Zeitraum auch mit der Entwicklung von **arbeitswissenschaftlichen Kennzahlen**, mit denen Organisationen ihre Kennzahlensysteme ausbauen können. Auf der Grundlage demografierelevanter Belastungsarten wurde beispielsweise die Kennzahl Altersstabilitätsrate zur Verteilung altersstabiler Arbeitssysteme in Organisationseinheiten entwickelt.

In der Folgezeit erweiterten sich Anzahl und Analysequalität der beurteilten Arbeitssysteme in den Organisationen. Es lag daher nahe, neue Anwendungen zu entwickeln, mit denen sich die Daten über Werksstandorte und deren Organisationsebenen hinweg auswerten lassen. Damit wurden neue Möglichkeiten zur Identifikation von Belastungsschwerpunkten und zum Aufspüren neuer Optimierungspotenziale erschlossen. Diese erlauben seitdem beispielsweise die Filterung von Hinweisen auf **Rechtsverstöße** und die Mustererkennung von Ursachen für kleinere Beschwerden bei den Beschäftigten bis hin zu gravierenden ergonomischen Problemstellungen (Überschreitung von Grenzlaster), die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem vorzeitigen Ausscheiden der Beschäftigten aus dem Berufsleben führen. Die Forschungs- und Entwicklungsergebnisse wurden in einer innovativen Auswertungsübersicht (Dashboard) zur Verfügung gestellt. Das Dashboard lieferte fortan eine Übersicht zu wichtigen zukunftsrelevanten Fragestellungen für die Personalabteilungen. Wie verteilt sich etwa die Ausprägung der Belastungs- und Gefährdungsarten in den einzelnen Standorten und Organisationseinheiten? Sind unsere Fertigungs- und Montagebereiche bereits auf höhere Altersdurchschnitte mit (vermutlich) geringeren körperlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten eingestellt und in welchen Organisationseinheiten sind Gestaltungsmaßnahmen erforderlich, um den Anteil altersstabiler Arbeitssysteme zu erhöhen?

Das **Dashboard** wurde in weiteren Entwicklungsstufen auf ein interaktives Level angehoben. Damit waren nun von den Anwender*innen eine flexible Datenauswahl und die Erstellung von Verlaufsdiagrammen mit individuellem Design möglich (Tab. 2.4).

Tab. 2.4 Komplexitätsreduktion mit dem BDS-Dashboard: Übersicht (2011)

Rubrik	Informationsgehalt (Ausschnitt)
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beleuchtungskataster / Betroffene Arbeitssysteme und Tätigkeiten ▪ Prüfung der Erfüllung der ASR-Kriterien / ...
Demografie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anzahl altersstabiler Arbeitsplätze / Altersstabilitätsrate ▪ Haupt- und Nebenkriterien für Nicht-Erfüllung / ...
Gefährdungsbeurteilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ergebnisse des Speziellen ASER-Screenings (Ursachenorientiert)
Grenzlastüberschreitung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betroffene Arbeitssysteme / Betroffene Tätigkeiten ▪ Ausweisen der Belastungsart / ...
Klima	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klima-Arbeitsenergieumsatz-Kombinationsbelastung / ...
...	...

Beispielsweise wurde das Dashboard im nachfolgenden Praxisbeispiel mit Daten zur Demografie, Gefährdungsbeurteilung, Physische Überbelastung, Leichtarbeitsplätzen, Lärm, Beleuchtung, Klima, Psychische Belastungen und Grenzlastüberschreitungen vom Team der Entwickler*innen zusammengestellt und mit einer zusätzlichen Übersicht über alle noch nicht vollständig analysierten Arbeitssysteme versehen (Abb. 2.14).

The screenshot displays the BDS-Dashboard 1.0 interface. At the top, there are tabs for various categories: Demografie, Gefährdungsbeurteilung, Physische Überlastungen, Leichtarbeitsplätze, Lärm, Beleuchtung, Klima, Psychische Belastungen, and Grenzlastüberschreitung. The main table shows data for workstations across five levels (Ebene 1 to Ebene 5). A red arrow points to the 'Altersstabil' column, which has a value of 'Nein (5)'. A blue box highlights the 'Altersstabil' column header. Below the table, there is a filter panel for 'Demografie' with a 'Filterung der Organisationsstruktur' section. This panel includes dropdown menus for 'Land' (Deutschland), 'Werk', 'Ebene 1', 'Ebene 2', and 'Ebene 3'. A 'Filter zurücksetzen' button is also present. To the right of the filter panel, there is a 'Daten / KPIs nach Filterung (Beispiel)' section with a table showing counts for 'Ja' and 'Nein' across different categories. At the bottom right, there are buttons for 'Exportieren...(TXT)' and 'Exportieren...(XLS)'. A blue arrow on the left side of the table points downwards, labeled 'Organisationsstruktur (inkl. Import)'. The table data is as follows:

Arbeitsplatz Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Arbeitsplatz Ebene 4	Zahl der Mitarbeiter	Geschlecht	Altersstabil	Physische Belastungskriterien	Leistungsbegrenzende Kriterien
				3,60	m/w	Nein (5)	Dynamische Muskelarbeit(5), Manuelle Arbeitsprozesse(7)	Beleuchtung(6), Blendung(6), Wiederholung der Tätigkeitsabläufe(6)
				3,60	m	Nein (5)	Körperhaltung incl. Kopfhaltung(6), Lastenhandhabung(7), Dynamische Muskelarbeit(5), Haltungs-/Bewegungsverteilung(5)	Sehschärfe(5)
				3,60	m	Nein (5)	Körperhaltung incl. Kopfhaltung(6), Lastenhandhabung(7), Dynamische Muskelarbeit(5), Haltungs-/Bewegungsverteilung(5)	Sehschärfe(5)
				54,00	m	Nein (5)	Lastenhandhabung(7), Dynamische Muskelarbeit(7), Haltungs-/Bewegungsverteilung(5)	Wiederholung der Tätigkeitsabläufe(6), Bindung an den technischen Prozess(7)
				45.60	m	Nein (5)	Körperhaltung incl. Kopfhaltung(6)	Beleuchtung(6)

Below the table, there is a summary section: 'Arbeitsplätze mit vollständiger Bewertung der relevanten' and 'zur Liste NICHT vollständiger Arbeitsplätze'. The filter panel shows the following data:

Demografie		von Altersstabil	
	Ja	Nein	
Anzahl Arbeitsplätze	142	333	
davon betroffene MA	733	1668	
Altersstabilitätsrate	0,28	0,63	
Insgesamt in der Auswahl vorhanden:			
	539	AP	2655 MA
davon OHNE vollständige Bewertung			
	64	AP	254 MA

Legend: AP: Anzahl der Arbeitsplätze - MA: Anzahl betroffener Mitarbeiter

Abb. 2.14 Dashboard 1.0 als Startpunkt zur Optimierung der Arbeitsbedingungen (2011)
Quelle: Kernverfahren des BDS-Instruments (GEWITEB)

Hiervon ausgehend war es nun möglich, den langfristigen Erfolg der Aktivitäten der betrieblichen Akteure übersichtlich darzustellen. Die Zusammenführung der Daten ermöglichte das Erkennen übergeordneter Zusammenhänge und eine neuartige Entwicklung von Optimierungsstrategien. Im Beispiel erfolgt das Verlaufsmonitoring der Pflichtvorsorge (grau; linke Ordinatenachse), Grenzlastüberschreitungen (blau; linke Ordinatenachse) und Altersstabilität (grün; rechte Ordinatenachse) über ein gesamtes Jahrzehnt. Bei Pflichtvorsorge und Grenzlastüberschreitung ist beispielsweise interessant, wie viele Arbeitssysteme in der Organisation jeweils zum Jahresende betroffen sind. Gut sichtbar wird damit der **inverse Zusammenhang** zur Kennzahl Altersstabilität, die sich hier im Zukunftsbeispiel vom Minimum von zwölf Prozent im Jahr 2023 auf 36 Prozent im Jahr 2031 verbessert. Derart kann kontrolliert werden, ob kontinuierlich veranlasste technischen Gestaltungsmaßnahmen mittel- und langfristig auch ihre Wirkung entfalten (Abb. 2.15).

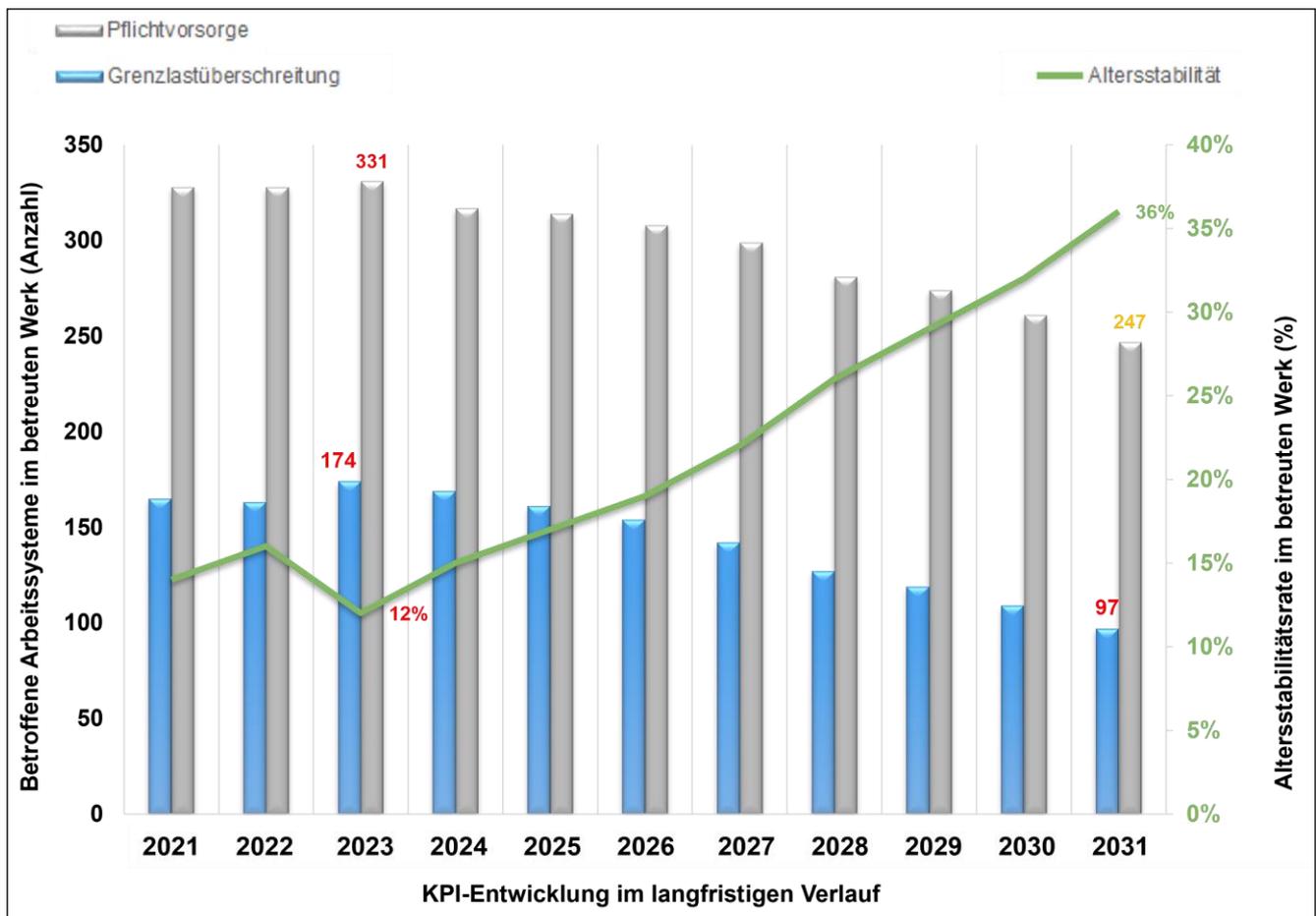


Abb. 2.15 Schaffung von Verlaufstransparenz mit arbeitswissenschaftlichen Kennzahlen
 Quelle: Eigene Prinzipdarstellung anhand von Beispieldaten

Insgesamt konnten derartige status- und verlaufsbezogenen Kennzahlen immer stärker für das Monitoring und die Steuerung verschiedener Fachthemen genutzt werden. Jederzeit abrufbare Kennzahlen (auch sog. Echtzeit-Transparenz) wurden daraufhin für betriebliche Kommunikationsforen (Arbeitsschutzausschuss etc.) genutzt. Mittel- und langfristige Ziele konnten fachspezifischer festgelegt und besser überwacht werden. Im Beispiel verringerte sich die Anzahl der betroffenen Arbeitssysteme in der Organisationseinheit zwar von 174 im Jahr 2023 auf 97 im Jahr 2031. Da aber langfristig alle Grenzlastüberschreitungen eliminiert werden sollen, erfolgt die Kennzeichnung des Zwischenerfolgs dennoch in roter Farbe.

2.1.4 Erweiterungen für die internationale Anwendung

Durch die im Jahr 2007 beginnende und sich dann verfestigende Wirtschafts- und Finanzkrise, die viele Länder stark getroffen hatte, war der Übergang in die 2010er Jahre zunächst geprägt von wirtschaftlich turbulenten Zeiten (Klußmann et al., 2013). Es sollten die Staaten einigermaßen glimpflich durch die Krise kommen, deren Volkswirtschaft anteilmäßig weiterhin stark im Industriesektor und nicht nur im Dienstleistungssektor tätig ist (Klußmann et al., 2013). Dass Deutschland als Hochlohnland im Vergleich zu den Staaten wie Spanien oder Großbritannien die Wirtschafts- und Finanzkrise relativ gut überstanden hatte, lag sicherlich auch daran, dass Deutschland zu einem ganz wesentlichen Teil nach wie vor ein hochinnovativer Produktionsstandort ist (Klußmann et al., 2013).

Auch diese wirtschaftlich turbulenten Zeiten waren eine dynamische Weiterentwicklungsphase des Instruments. Denn zwischenzeitlich lagen die wissenschaftlichen Begründungen zur Kniegelenksarthrose und zum Karpaltunnelsyndrom vom ärztlichen Sachverständigenbeirat Berufskrankheiten beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales vor und wurden diese in die Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung aufgenommen. Damit rückte auch der Einfluss individueller und beruflicher Faktoren auf die Entstehung der **Kniegelenksarthrose** stärker in den Fokus der Wissenschaft (Klußmann et al., 2009a). Diese ist zumeist gekennzeichnet durch Knorpelabbau, sub-chondralen Knochenumbau mit Sklerose, sub-chondralen Knochenzysten, Osteophytenbildung im Bereich der beteiligten Knochen und Bewegungseinschränkungen im Bereich der Beugung und Streckung des Kniegelenkes sowie Schmerzen im Kniegelenk (Wirth et al., 1986; Debrunner, 1994; Hackenbroch, 2002). Beim anschließenden Wissenstransfer in die Praxis ging es dabei insbesondere auch um effektive Ansatzpunkte der Prävention durch Ermittlung und Bewertung von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben (Klußmann et al., 2009b).

Beim **Karpaltunnelsyndrom** zeigte die internationale epidemiologische Datenlage konsistent die höchsten Erkrankungsrisiken bei Berufsgruppen und Tätigkeiten, die einer intensiven manuellen Belastung ausgesetzt sind – und das Wirtschaftssektor-übergreifend. Dazu zählen beispielsweise Fleischverpacker*innen, Fließbandarbeiter*innen in der Automobilindustrie, Forstarbeiter*innen beim Umgang mit handgehaltenen vibrierenden Werkzeugen (Motorsägen, Steinbohrer etc.), Geflügelverarbeiter*innen, Kassierer*innen im Supermarkt mit Umsetzen von Lasten, Masseur*innen und Polsterer*innen (Bernard et al., 1997; Palmer et al., 2007). Das Krankheitsbild eines Karpaltunnelsyndroms beginnt dabei meist mit örtlichen Schmerzen im Handgelenk (Moore, 1992; Szabo & Madison, 1992), vor allem bei Dorsalflexion der Hand, die gelegentlich auch bis in die Schulter ausstrahlen können. Die Gefahr bleibender Beschwerden ist in der Regel umso größer, je später im Krankheitsverlauf die Diagnose gestellt wird und eine Behandlung einsetzt (BMAS, 2009).

Die Druckschädigung des Mediannervs im Karpaltunnel durch repetitive manuelle Tätigkeiten mit Beugung und Streckung der Handgelenke, durch erhöhten Kraftaufwand der Hände oder durch Hand-Arm-Schwingungen (Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales vom 1. Mai 2009 – IVa4-45226-2 GMBI. 30.6.2009, 573-581) rückte daher ebenfalls in den wissenschaftlichen Fokus. Für die über einen langen Zeitraum unterschätzte Belastungsart der Manuellen Arbeitsprozesse benötigte es ein praktikables Verfahren für die praktische Anwendung. Ein umfangreicher Entwicklungs- und **Validierungsprozess** konnte mit dem Ergebnis der überarbeiteten Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (Steinberg et al., 2012) im Jahr 2012 erfolgreich abgeschlossen werden und basierend auf den arbeitswissenschaftlichen Grundlagen daran anschließend das Instrument um eine physische Belastungsart erweitert werden.

Von den in den Organisationen teils immer einseitiger werdenden Tätigkeiten mit immer kürzeren Zykluszeiten und immer längerer Verweildauer an einer Maschine gingen aber noch weitere Problemstellungen aus. Wie im späteren Verlauf bestätigt werden konnte, lösen diese kurzzyklischen Tätigkeiten eine stärkere Ermüdung der lumbalen Rückenmuskulatur bis hin zu erhöhten Risiken der **Ödembildung** in den unteren Extremitäten beim mehrstündigen Stehen und Gehen aus (Wall et al., 2017). Diese Forschungsergebnisse bestätigten auch noch einmal die Bedeutung der Einführung der Haltungs-Bewegungs-Verteilung als weitere neue physische Belastungsart mit der Version 5.0 des Instruments im Jahr 2012, in dem zum 1. Januar auch der Kauf der Immobilie des 1988 eingeweihten ASER-Forschungsstandortes in Wuppertal-Vohwinkel erfolgte. Nach erfolgreicher Erprobung, Diskussion und Feinjustierung wurde das neue Bewertungsmodell der Haltungs-Bewegungs-Verteilung veröffentlicht (Klußmann et al., 2015). Damit konnten die Analyse-, Beurteilungs- und Gestaltungslösungen des Instruments für stationäre und mobile Tätigkeiten und ergänzend auch die Entwicklung von organisatorischen Lösungen (Job Rotation etc.) ausgebaut werden.

Mit der Adaptierung der Forschungsergebnisse zur Beurteilung und Gestaltung alters- und alternsstabiler Arbeitssysteme wie dem **Bewertungsfilter für Demografie (Alter)**, der Neuentwicklung und Praxiserprobung der beiden physischen Belastungsarten der Manuellen Arbeitsprozesse und Haltungs-Bewegungs-Verteilung entwickelten sich auch die Belastungs- und Gefährdungsprofile der Arbeitssysteme im Instrument immer weiter. Zunächst gegründet auf dem arbeitswissenschaftlichen Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen ermöglichte das Instrument mit dem Kernverfahren nun eine noch umfassendere Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Produktionsergonomie und Arbeitssicherheit sowie die Durchführung und Unterstützung der Praxis bei der ergonomischen Risikobeurteilung. Die arbeitsschichtbezogene Aggregation von physischen, psychischen und umgebungsbedingten Arbeitsbelastungen sowie der Arbeitssicherheit wurde nun ausgehend von 33 Belastungs- und Gefährdungsfaktoren ermöglicht. Die energetische Arbeitsschwere, die Umgebungseinflüsse, die informatorische Arbeitsschwierigkeit wie Verantwortung, Sinne, Nerven und Denken sowie die Unfallgefahr und Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung konnten nun in der Praxis auf einfache Art und Weise ganzheitlich beurteilt werden (Abb. 2.16).

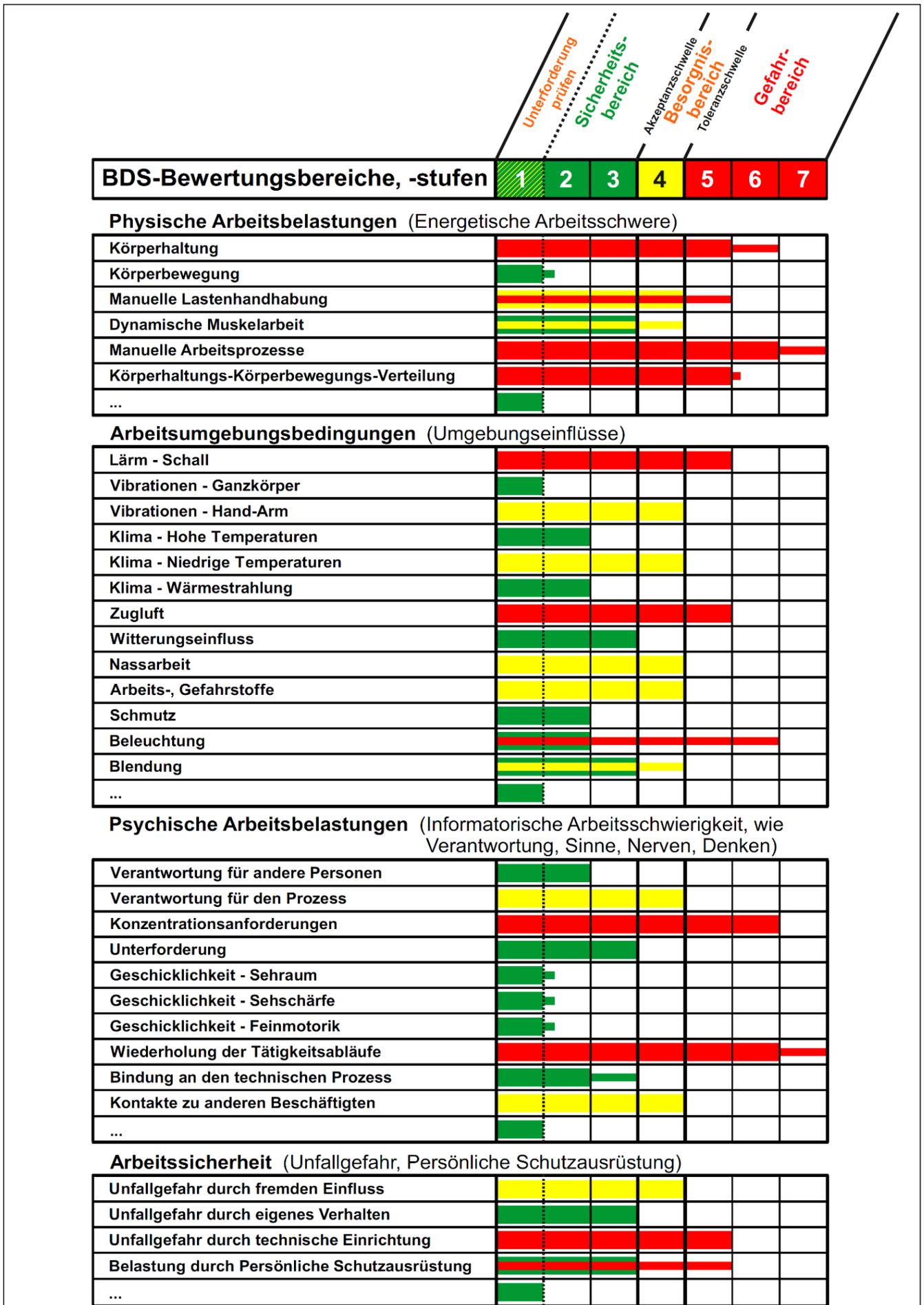


Abb. 2.16 Belastungs- und Gefährdungsprofil eines Arbeitssystems
 Quelle: Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.

In der Praxisanwendung des Instruments wurde zur Verhältnisprävention in der Folge überwiegend auf diese 33 Belastungs- und Gefährdungsfaktoren zurückgegriffen. Im individuellen Customizing der Organisationen waren dabei teils minimale Änderungen der Bezeichnungen erwünscht. So wurde die Belastungsgruppe der Psychischen Arbeitsbelastungen beispielsweise auch als Arbeitsorganisation bezeichnet. In die Belastungs- und Gefährdungsprofile der Arbeitssysteme wurden zur Unterstützung der Praxis zunächst häufig nachgefragte Zusammenhänge über die jeweiligen Beurteilungsgrundlagen (beispielsweise zu den Belastungs- und Gefährdungsprofilen jeweils zugrunde liegenden Geschlechterfiltern) und zur Gestaltung (Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse über optimale Haltungs-Bewegungs-Verteilungen) als sofort einsehbare Direktinformation integriert.

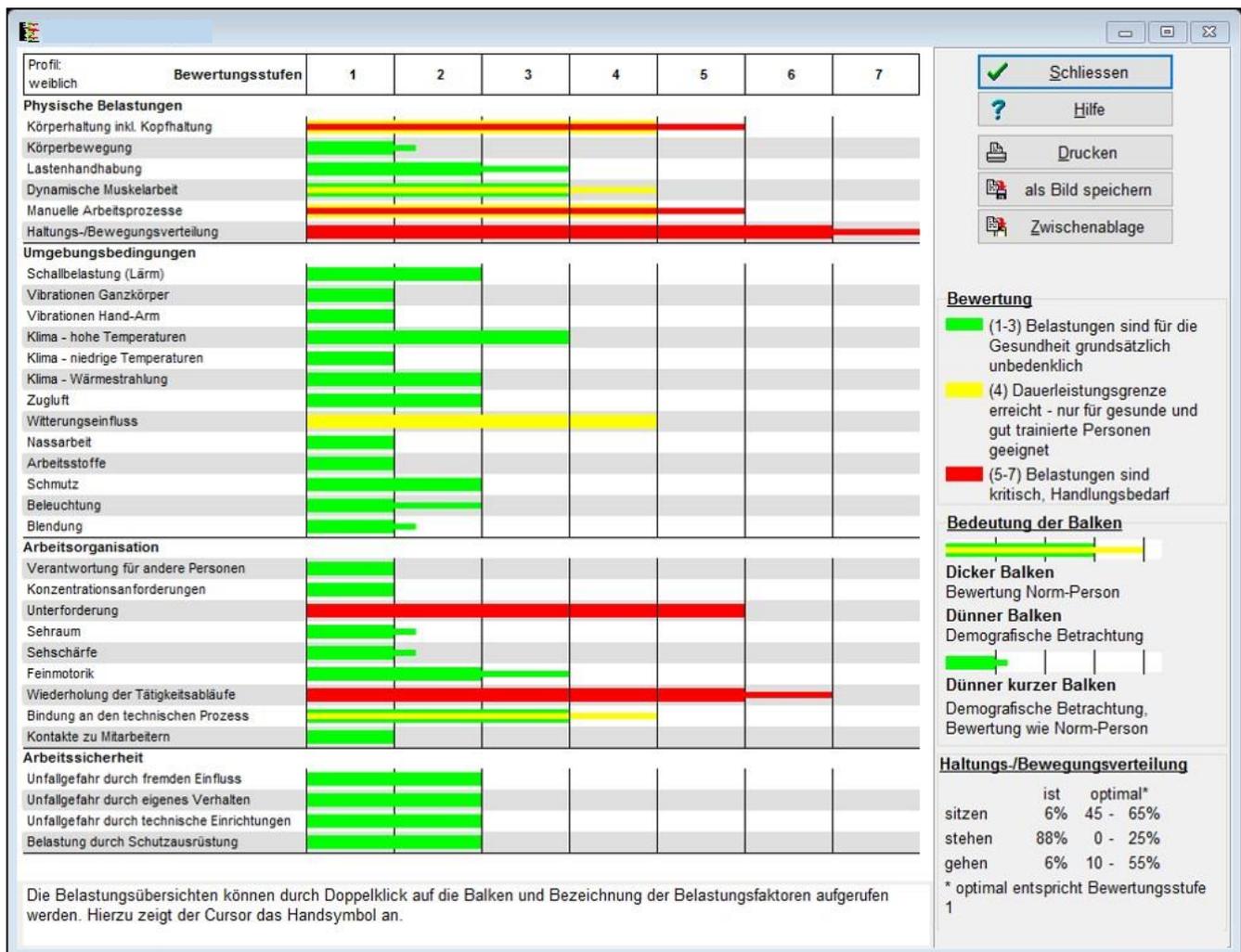


Abb. 2.17 Interaktives Belastungs-/Gefährdungsprofil mit Demografiefilter (2012)
Quelle: Kernverfahren des BDS-Instruments (GEWITEB)

Darauf aufbauend wurden die **interaktiven Belastungs- und Gefährdungsprofile** entwickelt. Damit können seitdem die gewünschten Informationen über die Bewertungsursachen (Übersichten über die Belastungen) individuell direkt aus dem jeweiligen Belastungs- und Gefährdungsprofil untersucht werden, eine Direktnavigation bis in die beteiligten Arbeitsvorgänge hinein erfolgen sowie neue Exportmöglichkeiten der Beurteilungsergebnisse genutzt werden (Abb. 2.17).

Im weiteren Verlauf der 2010er Jahre verstärkte sich der Trend bei global agierenden Organisationen weiteres Wachstum auch durch strategische Zukäufe und Übernahmen zu generieren. Als Folge entstanden dadurch aber auch immer mehr teils sehr heterogene Organisationen, auf die ganz neue Herausforderungen zur Anpassung und Neuordnung ihrer Geschäftsprozesse zukamen. Unter anderem wurde die Standardisierung in so genannten Corporate-Prozessen immer stärker nachgefragt, damit auch Konzerne mit mehreren 100.000 Beschäftigten und heterogenen Strukturen für ihre Fachthemen eine weltweit einheitliche Herangehensweise realisieren können. Das Instrument mit seiner seit dem Jahr 1996 verfügbaren **Mehrsprachenversion** und der seit dem Jahr 2006 im Einsatz befindlichen Client-Server-Version bot für diese Anforderungen bereits alle notwendigen Voraussetzungen. Die Ausweitung auf eine weltweite Anwendung (Roll-Out) konnte direkt beginnen, ohne dass riskante, zeitverzögernde Pilotprojekte vorgeschaltet werden mussten.



Abb. 2.18 Internationaler Roll-Out des BDS-Instruments (+ Europa-Zoom; Startphase 2013)
Quelle: Weltkartenübersicht im Eingangsbereich vom Institut ASER e.V.

Beginnend mit dem Jahr 2013 wurde das Instrument daher dann immer stärker im internationalen Praxiseinsatz implementiert. Beginnend mit Organisationen in Osteuropa (Tschechien, Rumänien) sowie in Nord- und Mittelamerika (USA, Mexiko), erfolgte die Implementierung in Organisationen in Asien (China, Malaysia, Russland), in Südamerika (Brasilien) und in Afrika (Südafrika). Die Benutzerverwaltung in Verbindung mit dem Rechte- und Rollenkonzept ermöglichte hierfür nun eine weltweite Koordination von einer zentralen Stelle aus (Abb. 2.18).

Mit der internationalen Implementierung wurde der Anwendungsbereich des Instruments weiter ausgebaut. Hierfür wurde das fachspezifische Qualifizierungsmaterial ins Englische übersetzt und um neue Spezialthemen erweitert. Durch Implementierung und Qualifizierung konnten nun globale Organisationsstrukturen für eine systematische Optimierung der Arbeitssysteme sowie für **standortübergreifende Netzwerke** professionell erweitert werden.

Ausgangslage

Die im Instrument vereinten Methoden und Verfahren dienen dabei als praktischer Leitfaden zur **international standardisierten Qualifizierung** der betrieblichen Akteure zu Spezialisten. Zum Austausch der bei der Optimierung der Arbeitsbedingungen gewonnenen Erfahrungen wurden weltweite Netzwerkaktivitäten aufgebaut. Das Instrument stellte hierfür eine einheitliche Sprache zur Verfügung, mit der auch die Sicherheits- und Gesundheitskultur in heterogenen Konzernen durch fachlichen Austausch, Würdigung und Wettbewerbe weiter vorangebracht werden konnte (Klußmann et al., 2014).

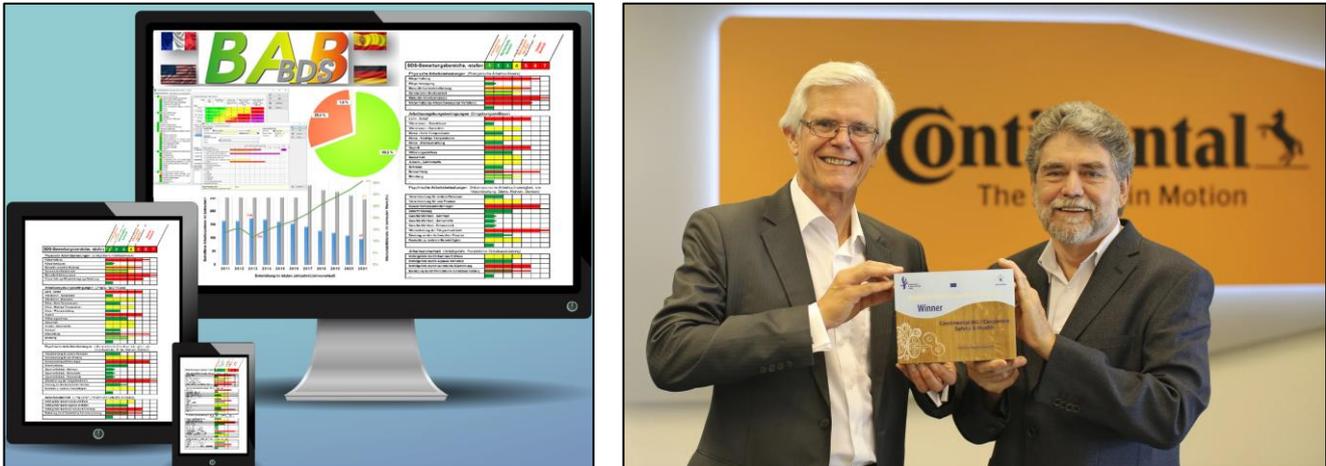


Abb. 2.19 Tablet-Front-End (Version 2018) des BDS-Instruments (links; Quelle: GEWITEB) sowie EU-OSHA-Auszeichnung mit dem Best Practice Award 2017 für ein Ergonomie- und Demografie-Programm auf der Grundlage der Praxisanwendung des BDS-Instruments (rechts; Quelle: Continental AG)

Unter anderem hatte das Technologieunternehmen Continental das Instrument nun mittlerweile seit mehr als einem Jahrzehnt implementiert und mit einem eigenständig aufgelegten **Ergonomie- und Demografie-Programm** die kontinuierliche Optimierung der Arbeitsbedingungen zum Schutz der jungen und älteren Beschäftigten vor Überbelastungen gestartet. Das mit dem BDS-Instrument im Zentrum eingeführte Ergonomie- und Demografie-Programm wurde hierfür bereits mehrfach ausgezeichnet und für den deutschen Arbeitsschutzpreis nominiert.

Neben der Auszeichnung als vorbildhafte technische, strategische, organisatorische und kulturelle Lösung rund um Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit erhielt die Continental AG im Jahr 2017 von der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz (EU-OSHA) den **Best Practice Award** (Abb. 2.19)

2.2 Dynamik der Arbeitswelt

Die Dynamik der Arbeitswelt, die resultierenden Arbeitsbedingungen und die Forschungsfelder der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften stehen in **ständiger Interaktion**. Die historische Entwicklung der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften ist ausführlich in Standardwerken (Kahl, 2019) zusammengefasst und ist in Forschungsberichten (Lang & Pieper, 2018) detailliert aufgearbeitet worden. Die nachfolgenden Ausführungen skizzieren daher nur kurz die historische Entwicklung seit der Industrialisierung. Der Fokus liegt auf den zukünftig zu erwartenden Impulsen (Abb. 2.20), ausgelöst durch die sich abzeichnenden Megatrends.

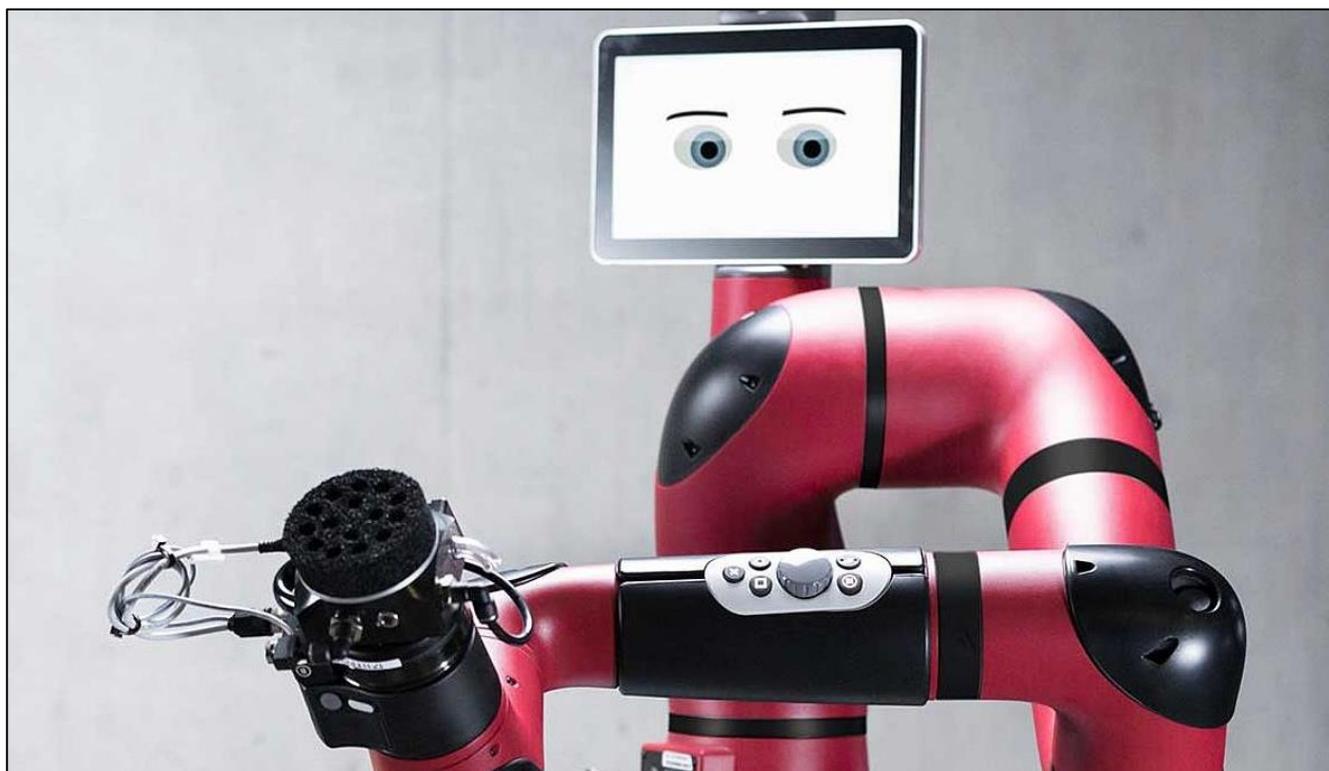


Abb. 2.20 Kollaborativer Roboter (Cobot) – Praxisbeispiel Sawyer mit stilisierten Augen
Quelle: Rethink Robotics GmbH

2.2.1 Transformation in der Industrialisierung

Die technologische Weiterentwicklung im 18. Jahrhundert hatte einen positiven Einfluss auf die damalige Arbeitswelt. Durch verbesserte Wirkungsgrade der im Jahr 1769 patentierten Watt'schen Dampfmaschine konnte erstmals ein wirtschaftlicher Einsatz von Dampfmaschinen zunächst im Bergbau und später auch für mechanische Produktionsanlagen gewährleistet werden (Deutsches Museum, 2020). Die neuen Möglichkeiten und Produktionsweisen markierten die beginnende Industriegesellschaft zum Ende des 18. Jahrhunderts (**Industrie 1.0**). Davon konnten in vielen Regionen auch die ärmeren Bevölkerungsschichten profitieren und ein erster Übergang aus dem Pauperismus erfolgen.

Die Einkommens- und Besitzverhältnisse und das Bildungsniveau waren aber in dieser Zeit nach wie vor noch sehr ungleich verteilt. Und es entstanden auch neue Unfall- und Krankheitsursachen. In Deutschland formten sich daher in diesem Zeitraum zeitparallel auch die ersten Arbeiterorganisationen (Engelhardt, 1977).

In der Folgezeit ermöglichte die Verfügbarkeit elektrischer Energie die beginnende Massenproduktion (**Industrie 2.0**). Das gab den Staaten erweiterte Möglichkeiten um Mittel für das Wohlergehen der Bürger bereitzustellen. Aber auch die weiter voranschreitende Industrialisierung konnte nicht alle sozialen Problemstellungen lösen. Im damaligen Deutschen Kaiserreich wurde darauf durch Gründung der ersten Sozialversicherung zum Ende des 19. Jahrhunderts reagiert (Stolleis, 2003). Von diesen Errungenschaften ausgehend, konnten viele Staaten ihre Sozialleistungen ausbauen, wurden die Rechte der Beschäftigten auf der Grundlage der Sozialen Marktwirtschaft gestärkt und die sozialpartnerschaftlichen Interessen zumindest in Deutschland immer häufiger auf Augenhöhe ausgehandelt (Kocka & Schmidt, 2015). Seit den 1970er Jahren verbreitete sich die automatisierte Informationstechnologie und Elektronik in den Produktionsbetrieben (**Industrie 3.0**) immer weiter und wurde auch die Dienstleistungsbranche immer wichtiger. Die zunehmende Öffnung regional und national begrenzter Märkte infolge von Europäisierung und Globalisierung machte den weltweiten Warenhandel immer leichter, wovon Exportländer wie Deutschland profitieren (Hahn, 2011).

Im frühen 21. Jahrhundert wird nun verstärkt und kontrovers über die vierte industrielle Revolution (**Industrie 4.0**) diskutiert und die vollständige Digitalisierung und Vernetzung als Beispiele für die markanten Evolutionsschritte angeführt (Hahn, 2011). Hieraus können sich interessante Zukunftsperspektiven für Organisationen ergeben, weshalb auf den aktuellen Wandel der Arbeitswelt im nächsten Abschnitt detaillierter eingegangen wird (Tab. 2.5).

Tab. 2.5 Evolution und Revolution im Verlauf der Industrialisierung
Quelle: Eigene Tabelle nach Hahn, 2011

Industrielle Revolution	1.	2.	3.	4.
Zeitraum	Ende 18. Jhdt.	Beginn 20. Jhdt.	Beginn 1970er	Aktuell
Evolution	Wasserkraft Dampfkraft	Elektrische Energie	Elektronik Informations- technologie	Digitalisierung, Vernetzung
Revolution	Produktions- anlagen Dampfkraft	Arbeitsteilige Massenproduktion Fließband	Automatisierung	Cyber-physische Systeme

2.2.2 Wandel im frühen 21. Jahrhundert

Die Weiterentwicklung der industriellen Produktionsweise wurde in den 2000er und 2010er Jahren insbesondere durch neue Möglichkeiten der Vernetzung und zunehmende Kooperation von Beschäftigten und Maschine (Roboter) weiter vorangetrieben. Auch diese technischen und technologischen Errungenschaften ermöglichen neue Produkte und Dienstleistungen (BMW, 2020). Moderne Maschinen und Anlagen bearbeiten Prozesse immer schneller und präziser und unterstützen so die Just-in-time-Produktion. Nicht nur die Branchenführer und die Vorreiterunternehmen können so einerseits ihre Produktionsgewinne teils deutlich steigern. Die Komplexität der Maschinen und Anlagen nimmt dabei aber andererseits häufig auch zu. Seit längerem ist bekannt, dass der Umgang mit diesen neuen Arbeitsmitteln dadurch komplexer und auch komplizierter werden kann (Neudörfer, 1997).

Die **klassischen Produktionsarten** sind aber nach wie vor weit verbreitet. Denn neben der hohen Flexibilität (Customizing) bieten sie Vorteile unter anderem für Kleinserien. Auch deshalb haben alle technischen Umbrüche und Weiterentwicklungen bisher nicht dazu geführt, dass menschliche Arbeit überflüssig geworden ist. Nicht nur in Deutschland erreichen die Beschäftigungsquoten Allzeit-Spitzenwerte (Teilkapitel 1.1.1). Viele Innovationen ersetzen nach wie vor nicht die Beschäftigten, sondern werden von ihnen bedient oder sollen ihre Arbeit unterstützen (BMWI, 2019). Immer häufiger kommen kollaborierende Roboter, Exoskelette und Datenbrillen zum Piloteinsatz und Praxisbetrieb. Die Anwendungsfelder für Roboter in Fertigung und Montage verbreiten sich. In Deutschland werden mit 338 Industrierobotern pro 10.000 Beschäftigte diese im internationalen Vergleich besonders häufig eingesetzt (Jahr 2019; IFR, 2020).

Im Falle der **Mensch-Roboter-Kollaboration** entstehen neuartige Arbeitssysteme, bei denen Beschäftigte und Roboter sich einen Arbeitsraum teilen. Hierfür sind Abschaltvorrichtungen entwickelt worden, die Roboter frühzeitig zum Stoppen bringen, um Unfälle zu vermeiden. Die zeitgleiche Arbeit durch Roboter und Beschäftigte am selben Produkt bildet aber bisher noch die Ausnahme. Häufiger ist die Mensch-Roboter-Koexistenz in einer vollautomatisierten Roboterzelle (Bauer et al., 2016). In dieser greifen Beschäftigte nach wie vor zur Wartung und bei Störungen innerhalb des Prozesses ein, um den automatisierten Vorgang fortzusetzen. Hinzu kommen das Einlegen der Rohlinge, Transporttätigkeiten sowie die manuelle Weiterverarbeitung vorgefertigter Komponenten. **Exoskelette** werden in aktiven und passiven Versionen angeboten und sind technisch unterstützende Hilfsmittel vom Kraft-Handschuh bis hin zu großen, auf den ganzen Körper gerichteten Ausführungen (Latniak, 2019). Viele der heutigen Anwendungen befinden sich weiterhin noch in der Entwicklungs- und Erprobungsphase in verschiedenen Branchen und für verschiedene Tätigkeiten (BGHM, 2017). Diesbezüglich haben sich **Datenbrillen** (Head Mounted Displays - HMD) im Praxiseinsatz bei Lager- und Kommissioniertätigkeiten sowie teilweise auch für Montage- und Instandhaltungstätigkeiten bewährt. In diesem Zusammenhang wird aktuell weiter getestet, inwieweit mit Hilfe von Datenbrillen die Arbeit zukünftig noch produktiver, qualitativ besser und sicherer gestaltet werden kann (Grüß & Rockhoff, 2018).

2.2.3 Arbeitswelt der Zukunft

2.2.3.1 Demografische Entwicklung und Fachkräftemangel

Der vom demografischen Wandel ausgelöste Handlungsbedarf wächst am stärksten in den Weltregionen mit immer längerer **Lebensarbeitsdauer** und einem großen Anteil **älterer Erwerbsbevölkerung**. In Deutschland ist in den nächsten 20 Jahren durch den aktuellen Altersaufbau ein Rückgang der Bevölkerung im Erwerbsalter und ein Anstieg der Seniorenzahl vorgezeichnet. Im Jahr 2018 waren 51,8 Millionen Menschen im erwerbsfähigen Alter zwischen 20 und 66 Jahren (Statistisches Bundesamt, 2019). Bis zum Jahr 2035 wird die erwerbsfähige Bevölkerung um rund 4 bis 6 Millionen auf 45,8 bis 47,4 Millionen schrumpfen. Im weiteren Verlauf bis zum Jahr 2060 wird unter den gleichen Voraussetzungen die Zahl der erwerbsfähigen Personen in den westdeutschen Flächenländern um 16 Prozent, in den ostdeutschen Flächenländern um 30 Prozent und in den Stadtstaaten um 4 Prozent sinken (Statistisches Bundesamt, 2019).

Die aufbereiteten Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, 2015) veranschaulichen diese Entwicklungen für Deutschland (Abb. 2.21).

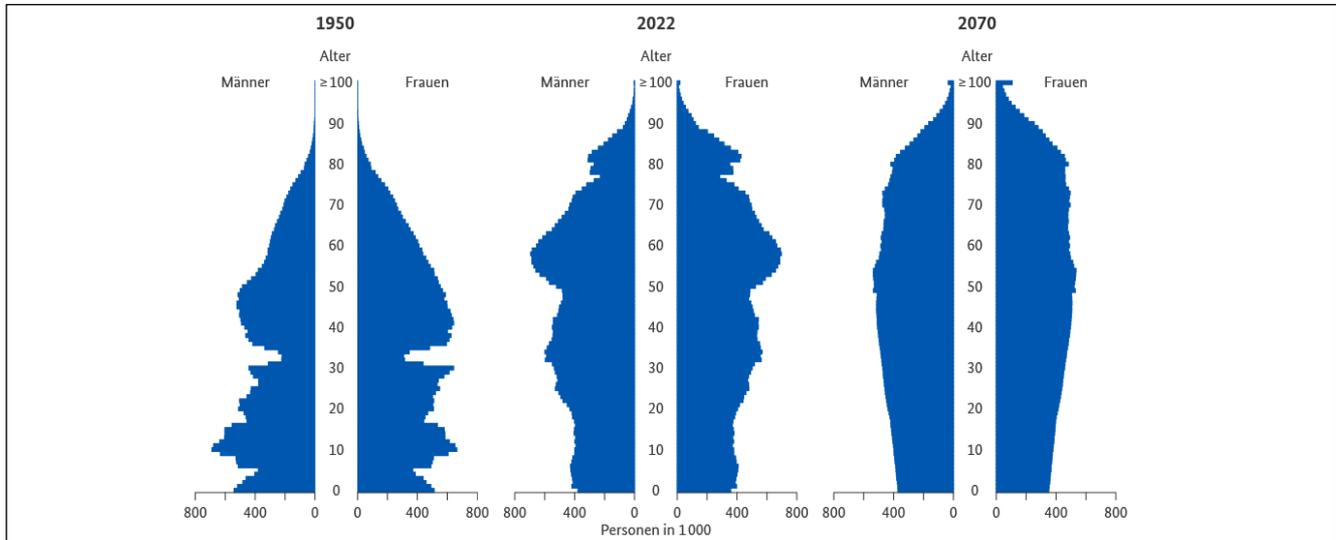


Abb. 2.21 Altersstrukturvergleich der Bevölkerung in Deutschland (1950 vs. 2022 vs. 2070)
 Datenquelle: Statistisches Bundesamt, 2015; BiB / www.demografie-portal.de

In Deutschland bestehen die aktuellen Herausforderungen zudem auch darin, dass neben den demografischen Entwicklungen parallel auch der sich ausweitende **Fachkräftemangel** in Zukunft immer stärkere Produktions- und Produktivitätsprobleme erwarten lässt. Dies erstreckt sich über viele Wirtschaftssektoren wie beispielsweise über den Produktionsbereich, das Handwerk, Verkehr und Logistik sowie über den Pflege- und Gesundheitsbereich. Nach den Prognosen können die relativ hohe Nettozuwanderung und die wieder ansteigenden Geburtenzahlen die Alterung der Bevölkerung bisher noch nicht abfedern. In den letzten und auch verstärkt in den kommenden Jahren werden die Schülerzahlen und somit auch die Zahlen der potenziellen, zukünftigen Auszubildenden zurückgehen (Langhoff, 2009). Dies stellt vor allem für kleine und mittlere Unternehmen eine Herausforderung für die **Fachkräftesicherung** dar (Schütt, 2010).

2.2.3.2 Zukunftsstrategien der Politik

Die Politik will den weiteren industriellen, kulturellen und gesellschaftlichen Wandel begleiten. Mit dem **Weißbuch Arbeiten 4.0** (BMAS, 2017) hat das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im November 2016 einen gesellschaftlichen Dialog vorläufig abgeschlossen, der sich mit den Chancen und Risiken des Wandels der Arbeitswelt beschäftigt.

Als zukünftige Treiber und Trends wurden die Digitalisierung, die Globalisierung sowie der demografische, kulturelle und gesellschaftliche Wandel identifiziert. Die technischen und naturwissenschaftlichen Entwicklungen werden demnach die Veränderungen in der Lebens- und Arbeitswelt entscheidend prägen. Das wird die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen, aber auch die Ansprüche der Beschäftigten an die Arbeit weiter verändern. Insgesamt wird die zukünftige Arbeitswelt noch vernetzter, digitaler und flexibler sein, was in Deutschland häufig unter den Stichworten Arbeiten 4.0 und Industrie 4.0 zusammengefasst wird (BMAS, 2017).

Der Begriff **Industrie 4.0** umfasst dabei den vermehrten „(...) *Einzug von Informations- und Kommunikationstechnologie in die Produktion mit der Folge ihrer Vernetzung zu einem Internet der Dinge, Dienste und Daten*“ (Franken, 2016). Wichtig ist, dass Industrie 4.0 ein in Deutschland geprägter Begriff ist und dem in den USA gebräuchlichen Industrial Internet gegenüber steht, das vom Industrial Internet Consortium (IIC) ähnlich verwendet wird als Bezeichnung für die Vernetzung von Menschen, Maschinen, Dingen und Computern.

Die beiden Begriffe unterscheiden sich grundlegend hinsichtlich der berücksichtigten Wirtschaftsbereiche. In den USA beschränkt sich die Verwendung des Begriffs Industrie 4.0 auf Fachkreise, sodass in der öffentlichen Debatte die beiden Begriffe Industrial Internet und Industrial Internet of Things (IIOT) häufiger Verwendung finden (Heilmann, 2016). Letzterer beschreibt dabei das industrielle Konzept des verbraucherorientierten Ansatzes des Internet of Things (Lickefett, 2014). Der Begriff Industrie 4.0 wird in den USA unter der Bezeichnung **Smart Factory** verwendet. Dort wurde der gesamtgesellschaftliche Aktionsradius der Digitalisierung aller industriellen Prozesse früher erkannt. Die US-Regierung hat bereits im Jahr 2011 das Programm Advanced Manufacturing gestartet. Das Ziel dieses Programms ist die Rückholung der industriellen Produktion in die USA. Während der amerikanische Ansatz die Digitalisierung der Bereiche Energie, Gesundheitswesen, Produktion, öffentlicher Sektor und Transport umfasst, konzentriert sich Industrie 4.0 in Deutschland zunächst auf die Digitalisierung der Produktion (Heilmann, 2016).

Tab. 2.6 Übergang von der dritten zur vierten industriellen Revolution
Quelle: Eigene Tabelle nach Kagermann et al., 2013

Bezeichnungen	Trends und Treiber	Evolution
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Smart Manufacturing ▪ Smart Factory ▪ Industrial Internet ▪ Industrial Internet of Things ▪ Arbeit 4.0 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Industrieller Wandel ▪ Kultureller Wandel ▪ Gesellschaftlicher Wandel ▪ Globalisierung ▪ Demografischer Wandel ▪ Neue Ansprüche der Beschäftigten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vernetzung ▪ Digitalisierung ▪ Flexibilisierung ▪ Internet der Dinge ▪ Informations- und Kommunikationstechnologie in der Produktion

Für den deutschen Kontext ist es daher wichtig, dass der Begriff in einem industriepolitischen Kontext geprägt wurde: Industrie 4.0 ist ein Zukunftsprojekt in der Hightech-Strategie der Bundesregierung, mit dem Ziel, die weltweite Wettbewerbsfähigkeit und das Wohlstandsniveau Deutschlands langfristig zu sichern (BMBF, 2017). Es geht um eine neuartige wirtschaftliche Produktion auf Basis einer allumfassenden technischen Vernetzung. Durch **multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen** soll der Mensch in Verbindung mit diesen Systemen stehen und sie beispielsweise über Sprache, Gesten oder Berührungen steuern können (Vogel-Heuser et al., 2017). Die so genannte Smart Factory ist ein Kernelement der Industrie 4.0, die es Menschen ermöglichen soll, die steigende Komplexität der Produktionsabläufe zu beherrschen und zu einer wirtschaftlichen und sicheren Produktion zu führen (Kagermann et al., 2013; Tab. 2.6).

2.2.3.3 Impulse der Megatrends

Die **zyklische Wirtschaftsentwicklung** kann über die Theorie der langen Wellen beschrieben werden. Führen Innovationen zu einem Paradigmenwechsel mit großflächigen Investitionen, bilden diese den Ausgangspunkt für einen neuen Zyklus. Bei massenhafter Investition in neue Technologie wird so der Aufschwung hervorgerufen, der andauert, bis sich die Innovationen allgemein durchgesetzt haben. Anschließend verringern sich die damit verbundenen Investitionen stark, sodass es zum Abschwung kommt. In diesen Phasen wird an neuen Paradigmen gearbeitet. Je nachdem, wie lange die Spanne bis zu deren Marktreife in Anspruch nimmt, dauert die Rezession bzw. Depression (Kondratjew, 1926). In der Vergangenheit konnte diese Entwicklung zeitparallel auch bei bedeutenden Aktienindizes (S&P 500) beobachtet werden. Nach dem von Nikolai Kondratjew (Kondratieff) entwickelten Modell befinden wir uns aktuell am Anfang des sechsten Kondratjew-Zyklus seit der ersten industriellen Revolution. Der Übergang könnte durch Innovationen aus den Sektoren Umwelt, Nano- und Biotechnologie sowie Gesundheitswesen ausgelöst werden (Abb. 2.22).

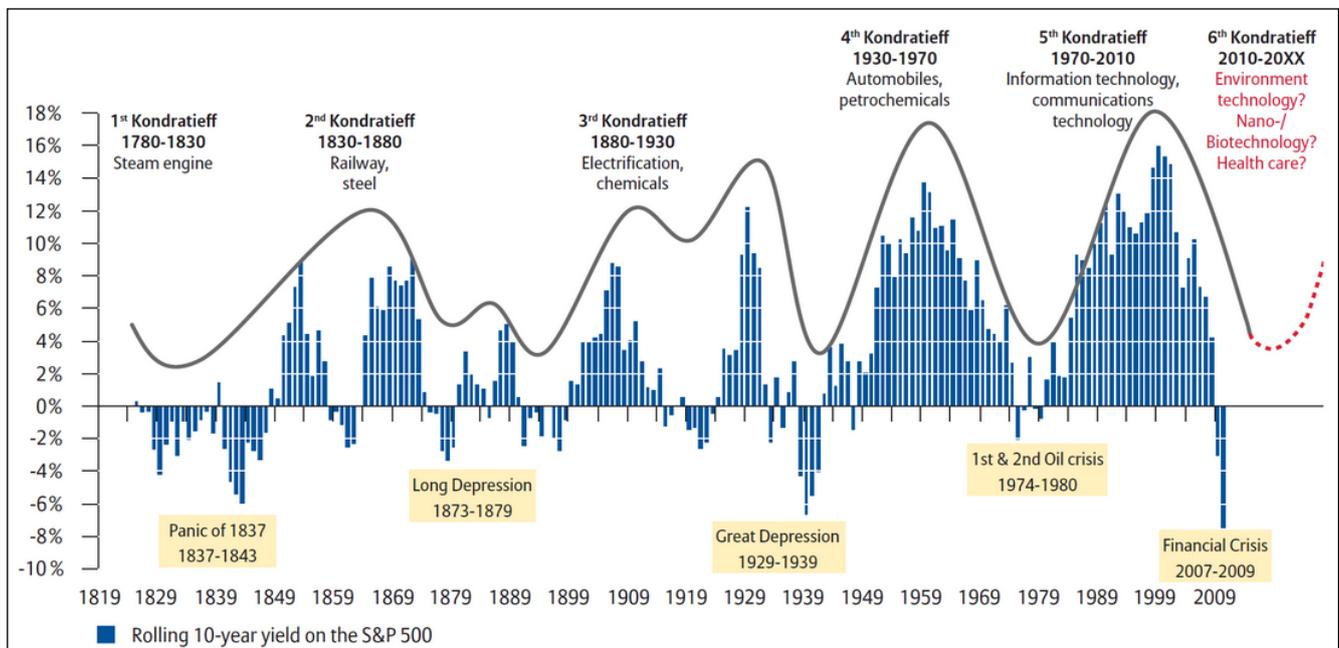


Abb. 2.22 Innovationen, zyklische Wirtschaftsentwicklung und Indexentwicklung (S&P 500)
Quelle: Darstellung der Allianz Global Investors Capital Market Analysis,
Datengrundlage: Datastream

Während Kondratjew's Modell die zyklische Wirtschaftsentwicklung beschreibt, versucht die **Zukunftsforschung** die Treiber für den nächsten großen Aufschwung zu ermitteln. Hierbei wird oft der erstmals im Jahr 1982 von Zukunftsforscher John Naisbitt eingeführte Begriff Megatrend genutzt. Er definiert als Kriterien für einen Megatrend eine Halbwertszeit von mindestens 25 bis 30 Jahren, gleichzeitige Auswirkungen auf diverse Lebensbereiche wie Konsum, Politik und Ökonomie sowie einen globalen Charakter (Naisbitt, 1982).

Als **Methoden** der Trendforschung haben sich die Delphi-Methode (Befragung herausragender Fachleute; Sackmann, 1974), diverse Prognoseverfahren, Verfahren der Marktforschung und Futurologie sowie Trendströmungen in den Weltmetropolen etabliert, um Beobachtungen, Eindrücke und Meinungen zu sammeln. Die Regionen-spezifische Zusammenfassung von Erkenntnissen und Entwicklungen erfolgt dabei unter anderem mit Hilfe der Ethnografie (Müller, 1980).

Die anschließende Analyse und Veröffentlichung der Megatrends erfolgt durch verschiedene Forschungs-, Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsunternehmen wie der US-amerikanischen Gartner Inc., Ernst & Young und Frost & Sullivan sowie der deutschen Zukunftsinstitut GmbH. Aufgrund der Vielzahl der involvierten Organisationen existieren teils voneinander abweichende Schwerpunktthemen, Rankings und Bezeichnungen der Megatrends. Auch deren Visualisierung ist vielfältig, zum Einsatz kommen unter anderem Hype-Zyklen, Magic Quadrants und Megatrend-Maps (Abb. 2.23).

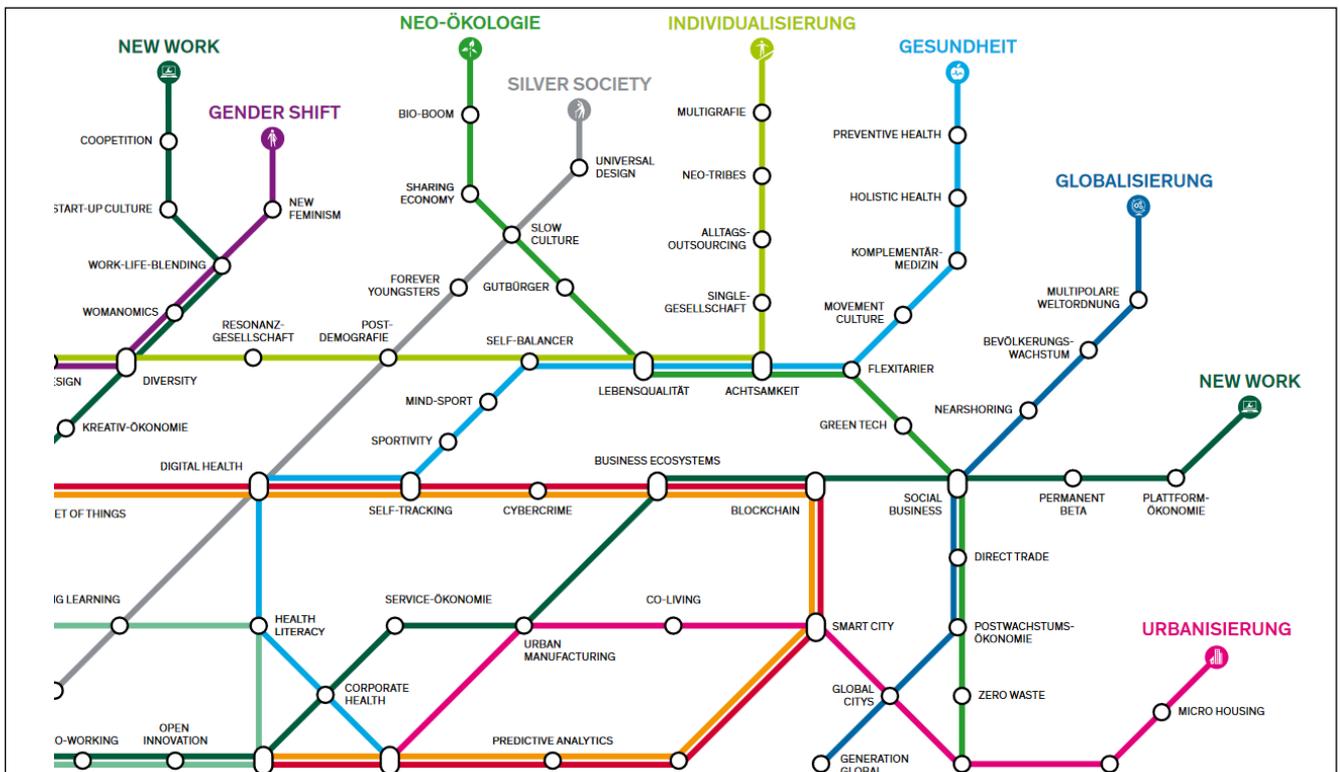


Abb. 2.23 Megatrend-Map zur Verknüpfung von Megatrends (Ausschnitt)
Quelle: Zukunftsinstitut GmbH

Bei der Auswertung der Forschungsergebnisse zeigt sich eine Vielzahl an Megatrends. Da sie sehr eng miteinander verbunden sind, erfolgt häufig eine Clusterung oder Verknüpfung. Wiederholt genannt werden die Megatrends Wissenskultur, Urbanisierung, Konnektivität, Ökologie, Globalisierung, Gender Shift, Gesundheit, New Work, Silver Society, Sicherheit, Nachhaltigkeit, Individualisierung, Digitalisierung, das Internet der Dinge, die Visualisierung sowie der 3D-Druck. Zwar wird erst die Zukunft zeigen, welche Trends die von John Naisbitt aufgestellten Megatrend-Kriterien tatsächlich erfüllen werden. Nichtsdestotrotz liegen in diesen Themengebieten bereits heute viele der aktuellen Forschungsschwerpunkte, ist ein Anstieg der Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen zu erwarten und könnte sich eine **Neuausrichtung des unternehmerischen Denkens und Handelns** vollziehen.

Am Beispiel der Konnektivität kann die Entwicklung wie folgt beschrieben werden: Das mobile Internet hat sich in den letzten 30 Jahren von 1G bis 5G weiterentwickelt. Mit den Neuerungen im Bereich der Konnektivität ist die Welt und mit ihr auch die Arbeitswelt immer digitaler und vernetzter geworden. Die erzeugten Daten gewinnen immer weiter an Wert. Nachdem der Großteil der Menschheit miteinander verbunden ist, werden nun sukzessive auch immer mehr Dinge mit dem Internet verbunden (Internet of Things). Hiervon kann ein großer Einfluss auf die Arbeitswelt ausgehen.

Werden die Kernelemente der Megatrends extrahiert und anschließend mit den Arbeits- und Sicherheitswissenschaften in Beziehung gesetzt, ergeben sich viele interessante Schnittstellen. So wird im Rahmen der Wissenskultur die Vermittlung von Methoden immer wichtiger. Die Konnektivität führt zu neuen menschlichen Verhaltensmustern. Der Gender-Shift provoziert Generationenkonflikte zwischen Führungskräften und Beschäftigten. Die Silver Society verlangt es, **vital altern** zu können. Insgesamt nimmt das Streben nach Sicherheit stark zu. Das zentrale Lebensziel Gesundheit schließt dabei immer stärker die **Forderung nach gesundheitsfördernden Arbeitswelten** ein. Die Ansprüche der Beschäftigten an die Organisationen steigen immer weiter an (Tab. 2.7 und Tab. 2.8; Zukunftsinstitut, 2018).

Tab. 2.7 Impulse der Megatrends für Arbeits-/Sicherheitswissenschaft (1/2)

Quelle: Eigene Komprimierung nach den Übersichten der Zukunftsinstitut GmbH

Megatrend	Impulse
AR und VR	Augmented Reality (Verbindung von Realität und Informationen), Virtual Reality (Trennung von der „realen“ Welt)
<u>Digitalisierung</u>	Digital Age, Connected Age, <u>Data Age</u>
Gender Shift	Geschlechterrolle verliert an Verbindlichkeit, Lust am Spiel mit der Geschlechtsidentität, beide Partner Vollzeit arbeiten, <u>Generationenkonflikte</u> zwischen <u>Führungsebene</u> und <u>Beschäftigten</u>
<u>Gesundheit</u>	<u>Zentrales Lebensziel</u> für ein gutes Leben, Voraussetzung für Zufriedenheit, selbstständig erworbenes Gesundheitswissen, Menschen treten dem Gesundheitssystem auf Augenhöhe gegenüber, <u>Neue Erwartungen an Unternehmen</u> und Infrastrukturen, mehr gesundheitsbewusste Menschen, <u>Forderung nach gesundheitsfördernden Lebenswelten als Normalzustand</u>
Globalisierung	Handelskriege, diplomatische Krisen, Cyber-Angriffe, internationale Konzernmächte, globale Dynamik, Postwachstumsökonomie, Direct Trade
Individualisierung	Freiheit der Wahl, zentrales Kulturprinzip der westlichen Welt mit Ausbreitung auf den Rest der Welt, Einfluss auf Wertesysteme, Konsummuster und Alltagskultur
Internet der Dinge	Verbindung von Produkten, Anlagen
KI	Deep Learning: Software, die Software schreibt, Datensouveränität
<u>Konnektivität</u>	<u>Vernetzung</u> , <u>Digitale Kommunikationstechnologien</u> , weiterentwickelte soziokulturelle Identitäten (Codes), <u>neue</u> Lebensstile und <u>Verhaltensmuster</u>
Mobilität	multimobiles Zeitalter, wachsender Mobilitätsbedarf, vernetzt, digital, postfossil
<u>New Work</u>	Kreativökonomie, <u>Potenzialentfaltung</u> , <u>gelungene Symbiose von Leben und Arbeiten</u>
...	...

Tab. 2.8 Impulse der Megatrends für Arbeits-/Sicherheitswissenschaft (2/2)

Quelle: Eigene Komprimierung nach den Übersichten der Zukunftsinstitut GmbH

Megatrend	Impulse
Ökologie	Bio-Märkte, EU-Plastikverordnung, Energiewende, persönliche Kaufentscheidungen, gesellschaftliche Werte, Unternehmensstrategie, <u>technologische Innovationen</u> , <u>Werte</u> der globalen Gesellschaft, der Kultur und der Politik
<u>Sicherheit</u>	Gesellschaft im Daueralarm, Roboter, die uns unsere Arbeit wegnehmen, EU-Flüchtlingskrise, <u>Streben nach Sicherheit wächst</u>
<u>Silver Society</u>	<u>Anzahl Älterer steigt</u> , Selbstentfaltung in neuen Lebensstilen im hohen Alter, <u>Vitales Altern</u>
Urbanisierung	Wandel von (Lebens-)Räumen, Größere Städte, Neue Formen der Vernetzung und Mobilität
Wissenskultur	Wachsender globaler Bildungsstand, Wissen als Gemeingut, Lebenslanges Lernen, <u>Vermittlung von Methoden</u>
...	...

2.3 Beeinträchtigung des Unternehmenserfolgs

Schlechte Arbeitsbedingungen führen zu Arbeitsunfähigkeit (Teilkapitel 2.3.2), beeinträchtigen als eine Hauptverschwendungsart den Unternehmenserfolg und belasten die sozialen Sicherungssysteme ganzer Weltregionen. Die Auswirkungen sind **volkswirtschaftlich relevant**. Für Deutschland liegen entsprechende Zahlen vor. Im Jahr 2018 betrug die durchschnittliche Arbeitsunfähigkeitsdauer in Deutschland 17,4 Tage pro Beschäftigten. Daraus ergeben sich insgesamt 708,3 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage. Hiervon ausgehend werden volkswirtschaftliche Produktionsausfälle von 85 Milliarden und ein Ausfall an Bruttowertschöpfung in Höhe von 145 Milliarden Euro geschätzt⁴. Die Aufwendungen der Unfallversicherungsträger für Arbeits- und Wegeunfälle sowie Berufskrankheiten lagen im Jahr 2018 in Deutschland bei 16,3 Milliarden Euro, wovon 12,1 Milliarden Euro auf zu zahlende Leistungen entfielen. Die umfangreichsten Aufwendungsarten waren dabei die Renten an Verletzte und Hinterbliebene mit 5,9 Milliarden Euro, ambulante Heilbehandlung mit 1,6 Milliarden Euro, Prävention und Erste Hilfe mit 1,3 Milliarden Euro sowie stationäre Behandlung und häusliche Krankenpflege mit 1,2 Milliarden Euro (BMAS, 2019).

Im produzierenden Gewerbe lag die durchschnittliche Arbeitsunfähigkeit pro Beschäftigten mit 21,3 Tagen im Jahr 2018 deutlich über dem Gesamtdurchschnitt⁵. Daraus ergaben sich im Vergleich zwischen den Wirtschaftszweigen die höchsten Produktionsausfallkosten in Höhe von circa 27,1 Milliarden Euro. Bei der Differenzierung der Diagnosegruppen⁶ dominieren die Krankheiten im Muskel-Skelett-System und Bindegewebe mit einer Höhe von insgesamt etwa 44,2 Millionen Arbeitsunfähigkeitstagen.

⁴ 119€ Produktionsausfall / 204€ Bruttowertschöpfungsausfall je Arbeitsunfähigkeitstag (BMAS, 2019)

⁵ Die rel. hohe Arbeitsunfähigkeitsdauer ergibt sich bereits ohne Berücksichtigung der Zahlen des Baugewerbes.

⁶ Die Diagnosegruppen dienen der Einteilung der Krankheiten.

Daraus ergaben sich **Produktionsausfallkosten** von insgesamt etwa 6,97 Milliarden Euro und Ausfälle an Bruttowertschöpfung in Höhe von insgesamt circa 11,25 Milliarden Euro; und das allein für das Jahr 2015 (BAuA, 2020). Hinzu kommen die Gesamtausgaben der Organisationen für die Entgeltfortzahlung, die in den letzten anderthalb Jahrzehnten wieder kontinuierlich ansteigen.

Bereits im Jahr 2018 zahlten die Unternehmen insgesamt fast 62 Milliarden an Bruttogehältern und Sozialversicherungsbeiträgen für erkrankte Beschäftigte (Abb. 2.24; Pimpertz, 2020).

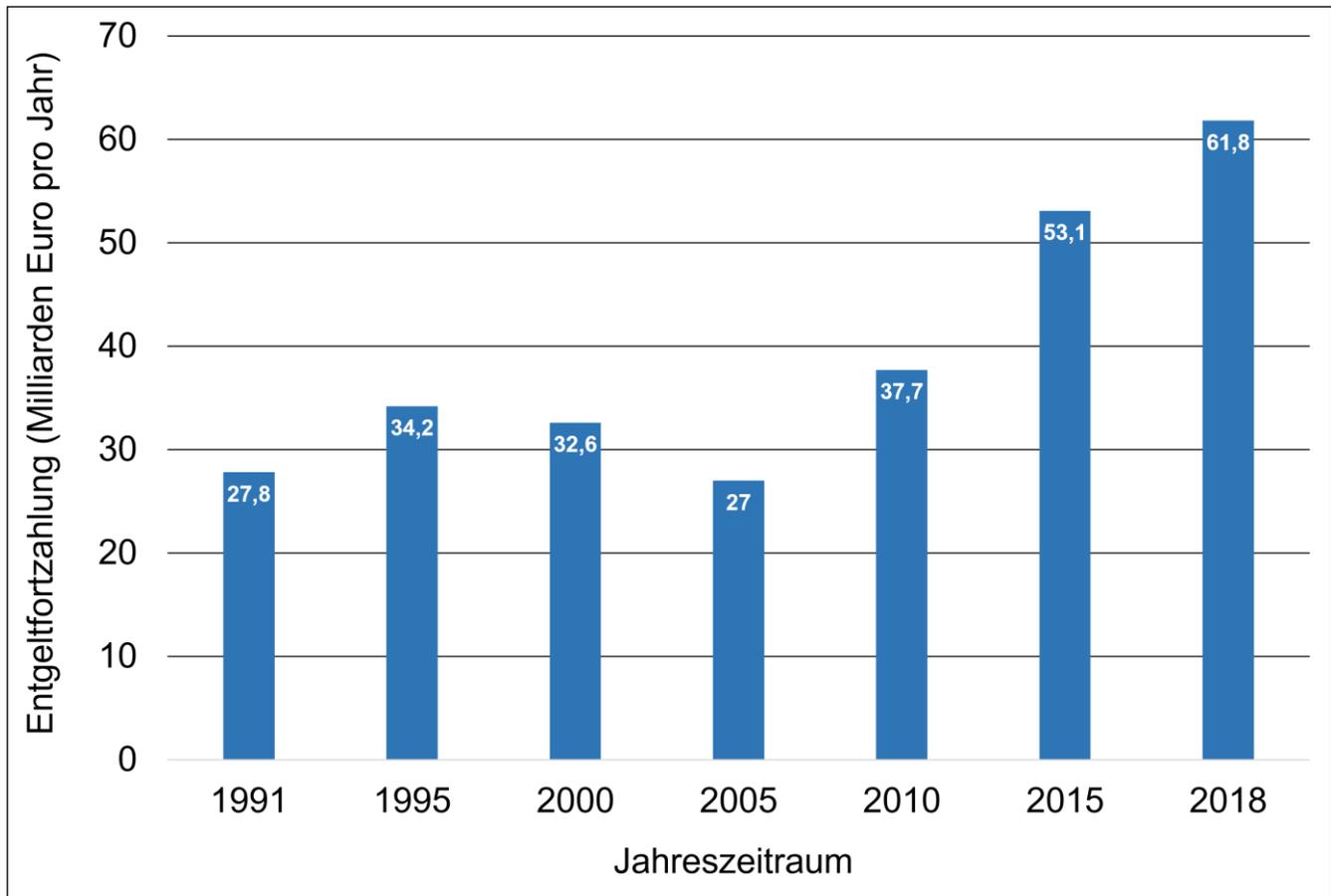


Abb. 2.24 Ausgaben der Unternehmen für die Entgeltfortzahlung im Krankheitsfall (Mrd. €)
Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Pimpertz, 2020

Die Vorgaben zur Entgeltfortzahlung im Krankheitsfall sind im Gesetz über die Zahlung des Arbeitsentgelts an Feiertagen und im Krankheitsfall (EntgFG) geregelt. Hiernach haben im Krankheitsfall alle Beschäftigten⁷ Anspruch auf Entgeltfortzahlung, die aufgrund von Arbeitsunfähigkeit infolge ihrer Krankheit an ihrer Arbeitsleistung verhindert sind, ohne dass sie ein Verschulden trifft. Dieser Anspruch besteht nach § 3 EntgFG für die Zeit der Arbeitsunfähigkeit bis zu einer Dauer von sechs Wochen⁸.

⁷ Hierzu zählen explizit auch die Auszubildenden.

⁸ Hinweis: Im Tarifvertrag kann nach § 4 (4) EntgFG eine vom Entgeltfortzahlungsgesetz abweichende Bemessungsgrundlage des fortzuzahlenden Arbeitsentgelts festgelegt werden.

2.3.1 Qualitäts- und Effizienzeinbußen

Schlechte Arbeitsbedingungen resultieren aus fehlerhafter Arbeitsgestaltung. Die Mängel können die Produktivität, die Produkt- und Dienstleistungsqualität, die Fehler- und Ausschusshäufigkeit, die Unfallquoten sowie Ermüdungsgeschwindigkeit, die Erholungsdauer und das Leistungsniveau der Beschäftigten negativ beeinflussen (REFA, 1984).

Dabei bestimmt der Organisationskontext die Folgen und Ausprägung. Das können wiederholte Störungen des Betriebsablaufs sein, konkret beispielsweise erhöhte Produktionszeiten infolge von mühsamen Suchprozessen, unterschiedlich gestalteten Interaktionssystemen und Menüs für eigentlich gleichartige Sachverhalte, erschwerte Übertragung von Erfahrungswissen von erfahrenen Bediener*innen auf Neueinsteiger*innen sowie Leistungsabfall aufgrund zu hoher Kraftaufwendung, unnötiger statischer Haltearbeit und vieles anderes mehr (Levchuk, 2017).

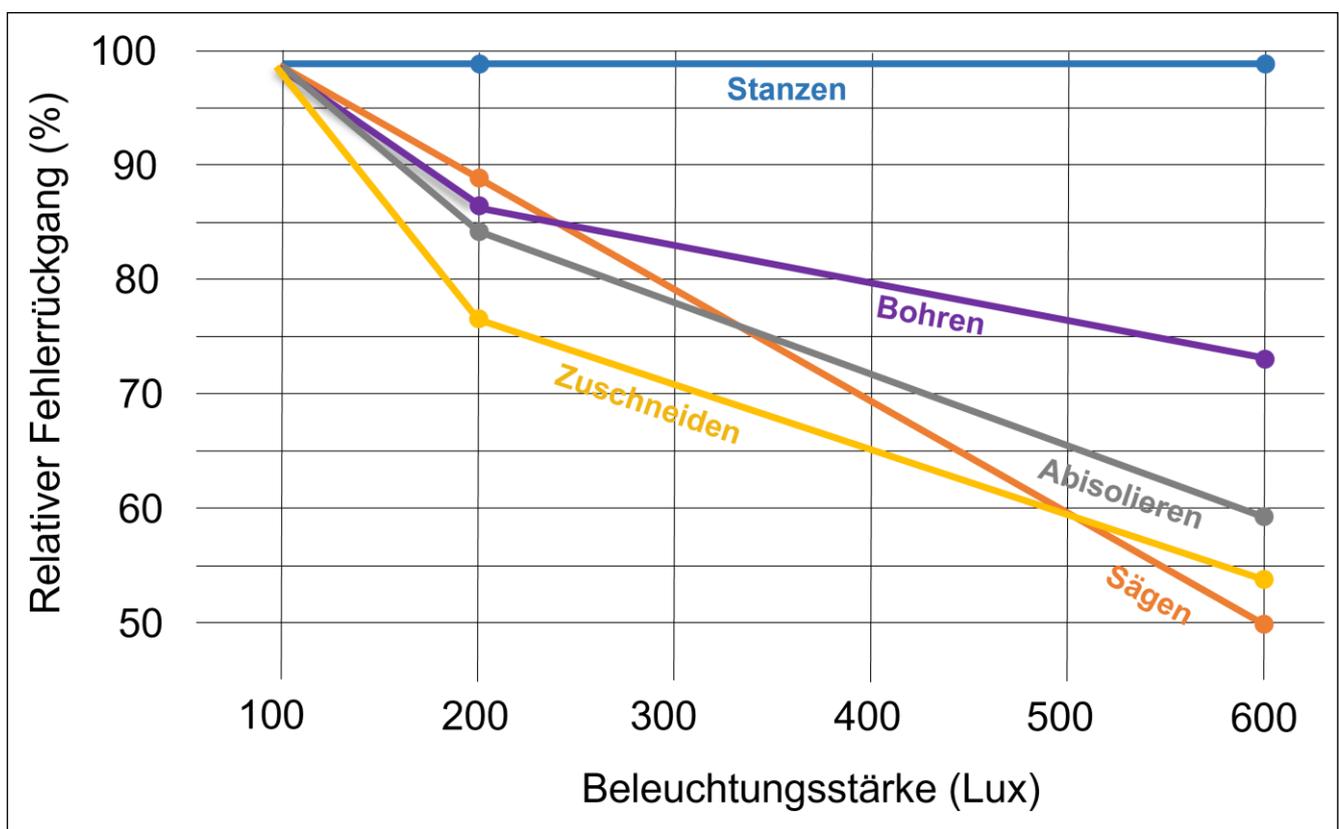


Abb. 2.25 Einfluss der Beleuchtungsstärke (Lux) auf den relativen Fehlerrückgang (%)
Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Bieske et al., 2011

Am Beispiel mangelhafter Beleuchtung lassen sich die Auswirkungen schlechter Arbeitsbedingungen gut veranschaulichen. Denn bei schwierigen Sehaufgaben kommt es zu einem deutlichen Leistungsabfall, erhöhten **Fehlerquoten** und vorzeitiger Ermüdung (Abb. 2.25). Das wirkt sich nicht nur negativ auf die Leistungsreserven der Beschäftigten aus, sondern erhöht auch die **Unfallhäufigkeit**. In einer umfangreichen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich fast zwei Drittel aller gemeldeten Unfälle an Arbeitssystemen mit einer Beleuchtungsstärke unter 500 Lux ereigneten. Unfallrisiken erhöhen sich durch verspätetes Erkennen von Stolperstellen, Direktblendung bei unmittelbarer Blickrichtung in Lichtquellen sowie durch Farbverfälschung, wenn dadurch Sicherheitshinweise nicht mehr erkennbar sind (Bieske et al., 2011).

2.3.2 Unfall- und Krankheitsgeschehen

In Deutschland sind die meldepflichtigen Arbeitsunfälle trotz der Wiedervereinigung im Vergleich zu den 1960er Jahren auf etwa ein Drittel zurückgegangen. Seit anderthalb Jahrzehnten liegen sie nahezu konstant bei etwa 1 Million meldepflichtigen Arbeitsunfällen pro Jahr. Im Jahr 2018 waren es insgesamt 949.309. In diesen 60 Jahren ist die jährliche Anzahl der tödlichen Arbeitsunfälle auf knapp ein Zehntel zurückgegangen. Auch bei den tödlichen Arbeitsunfällen zeigt sich seit Längerem keine wesentliche Verbesserung mehr. Im Jahr 2018 waren es 541 tödliche Arbeitsunfälle (BMAS, 2019). Gemessen an der Unfallquote von 22,5 meldepflichtigen Arbeitsunfällen je 1.000 Vollarbeiter liegt Deutschland nach wie vor auf einem der vorderen Plätze der sichersten Länder Europas. Weltweit ergibt sich aber ein ganz anderes Bild. 300 Millionen Unfälle und 2,3 Millionen tödliche Arbeitsunfälle waren es im Jahr 2015, die in offizielle Berichte einfließen. Das entspricht knapp einer Millionen Unfälle pro Tag, von denen täglich circa. **6.400 tödlich** enden (ILO, 2015).

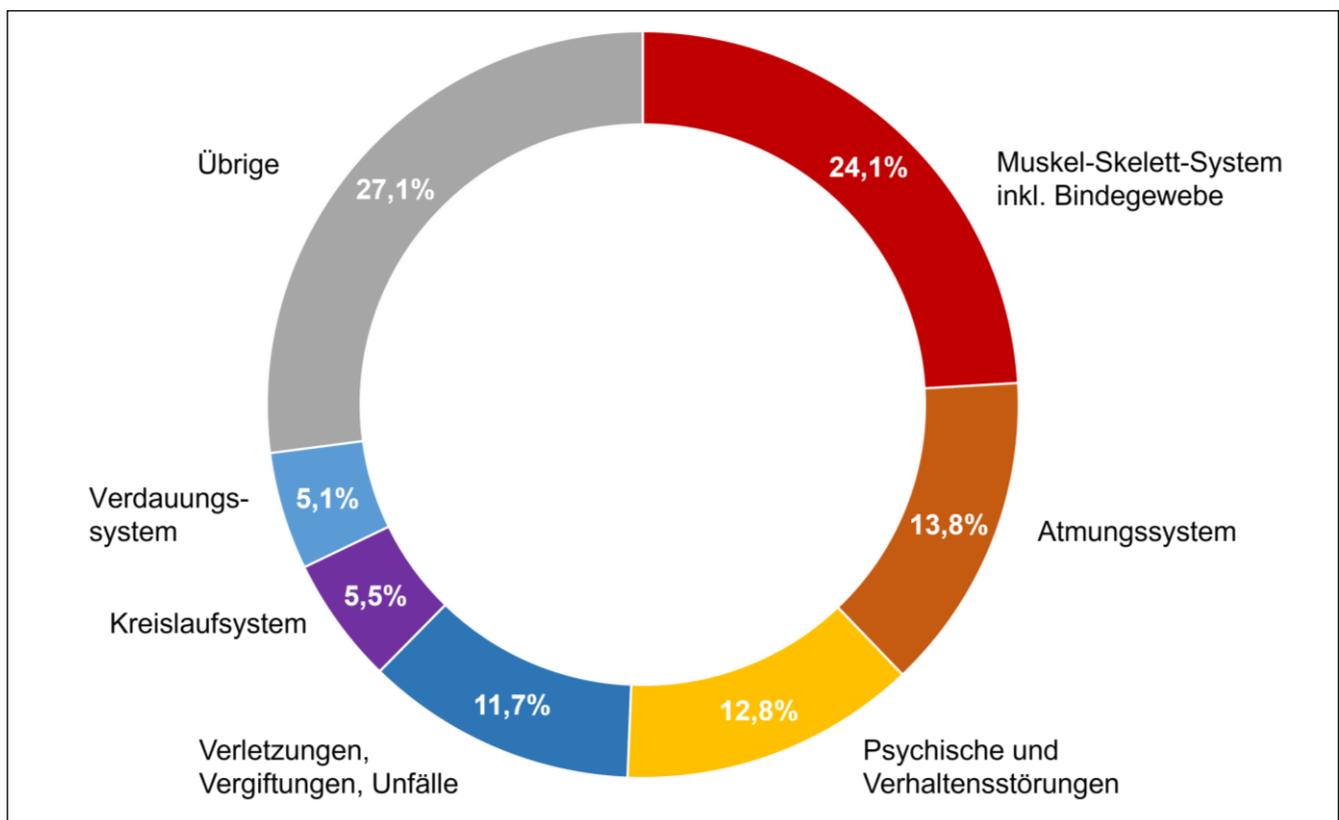


Abb. 2.26 Arbeitsunfähigkeitsdiagnosen in Deutschland - Verteilung im Jahr 2018
Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: BAuA, 2020

Demgegenüber ist das **Krankheitsgeschehen** gleichermaßen auch ein großes Problem in den weiter entwickelten Volkswirtschaften. In Deutschland steigen die Diagnosen seit knapp zwei Jahrzehnten wieder an. 2018 waren es 82.622 Anzeigen auf Verdacht einer Berufskrankheit, 21.794 anerkannte Berufskrankheiten und 4.921 neue Rentenfälle. Werden die Arbeitsunfähigkeitsdaten betrachtet, lag die durchschnittliche Fehlzeit pro Vollzeitversicherten im Jahr 2018 bei 19,8 Tagen je GKV-Mitgliedsjahr (BAuA, 2020). Geschätzt ergeben sich insgesamt 708,3 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland, die sich auf sechs Haupt-Diagnosegruppen verteilen (Abb. 2.26) und wovon etwa 124,8 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage auf Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) und 90,1 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage auf Psychische und Verhaltensstörungen entfallen (BMAS, 2019).

2.3.3 Muskel-Skelett-Erkrankungen bei alternden Belegschaften

Mit der steigenden Anzahl älterer Personen in der Gesellschaft steigt auch das Alter der Beschäftigten. Aufgrund der **Anhebung des Renteneintrittsalters** verbleiben immer mehr ältere Beschäftigte länger in den Organisationen. Nachteile ergeben sich dabei insbesondere für Beschäftigte in Wirtschaftssektoren mit hohen Belastungen. Die gesundheitspolitische und volkswirtschaftliche Relevanz der arbeitsbedingten Beschwerden und Erkrankungen, vor allem im **Muskel-Skelett-System**, wird sich daher nach allen bisherigen Erkenntnissen in vielen Regionen der Welt noch ausweiten.

Europaweit sind bereits mehrere Millionen Beschäftigte von den unerwünschten Beanspruchungsfolgen betroffen (Jan de Kok et al., 2019). Der starke Zusammenhang zwischen dem Alter der Beschäftigten und der Arbeitsunfähigkeits-Fallzahl und -Dauer begründet die negativen Prognosen, die von einer sich weiter zuspitzenden Situation ausgehen (Liebers & Caffier, 2009).

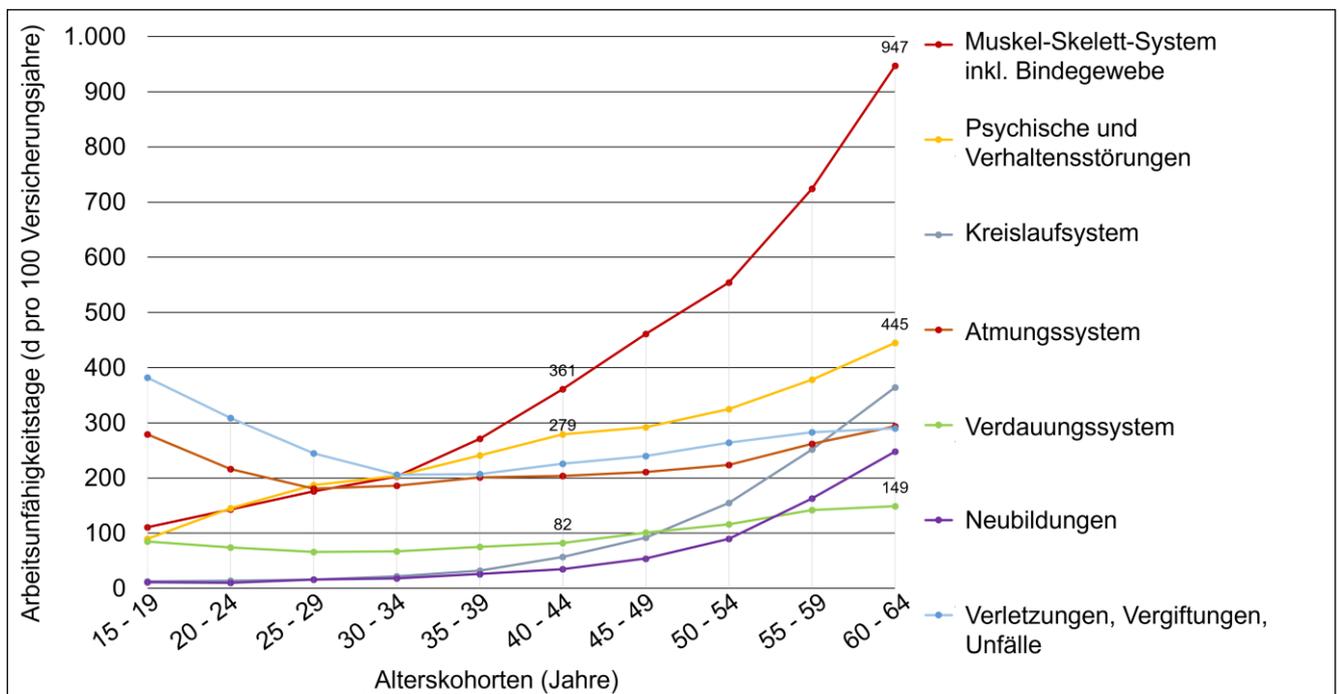


Abb. 2.27 Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsunfähigkeit

Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Grobe et al., 2018

Das heißt in allen Weltregionen, in denen der demografische Wandel sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten vollziehen wird, muss mit weiter stark ansteigenden Ausfall- und Folgekosten durch arbeitsbedingte Beschwerden und Erkrankungen gerechnet werden. Besonders deutlich ist der Zusammenhang zwischen **Alter und Arbeitsunfähigkeit** aufgrund von Muskel-Skelett-Erkrankungen bei männlichen Beschäftigten.

Der ohnehin schon steile Anstieg der Arbeitsunfähigkeitstage beginnend mit der Altersgruppe der 35- bis 39-Jährigen nimmt in der Altersgruppe der 50- bis 54-jährigen Beschäftigten dann noch einmal deutlich zu (Abb. 2.27; Grobe et al., 2018).

2.3.4 Rechtsverstöße

In vielen Regionen der Welt sind in den letzten Jahrzehnten Vorschriften zum Arbeits- und Gesundheitsschutz eingeführt worden. Zuletzt wird dabei immer verstärkter auch auf eine präventive Lösung der Problemstellungen abgezielt (Schliephacke, 2008; Teilkapitel 2.4.1 bis 2.4.4). Bedeutende Vorschriften sind in Deutschland im Arbeitssicherheitsgesetz, Arbeitsschutzgesetz, Chemikaliengesetz, Mutterschutzgesetz, Arbeitszeitgesetz sowie in der Betriebssicherheitsverordnung, Arbeitsstättenverordnung, Lastenhandhabungsverordnung und der Verordnung über arbeitsmedizinische Vorsorge geregelt.

Der in den Rechtsvorschriften umfassend geregelte Schutz der Beschäftigten kann bei schlechter Arbeitsgestaltung und schlechten Arbeitsbedingungen zu Rechtsverstößen (mangelhafte Compliance) führen. **Adressat der Rechtsvorschriften** im Arbeits- und Gesundheitsschutz ist der Arbeitgeber. Mangelhafte Rechtssicherheit kann daher in erster Linie für die Verantwortlichen selber, aber auch für ganze Organisationen zur Problemstellung werden (Schliephacke, 2008). Das Arbeitsschutzgesetz regelt im §1 Absatz 1, dass die Gefährdungen für Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu minimieren und die Arbeitsbedingungen dabei sicher und gesundheitsgerecht zu gestalten und bei Bedarf zu verbessern sind (ArbSchG). Laut Arbeitsschutzgesetz § 5 (3) kann sich eine Gefährdung insbesondere durch *„die Gestaltung und die Einrichtung (...) des Arbeitsplatzes; (...) die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von (...) Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit (...)“* ergeben.

Nach § 3 (2) der Betriebssicherheitsverordnung sind in die Beurteilung alle Gefährdungen einzubeziehen, die bei der Verwendung von Arbeitsmitteln ausgehen, und zwar von den Arbeitsmitteln selbst, der Arbeitsumgebung und den Arbeitsgegenständen, an denen Tätigkeiten mit Arbeitsmitteln durchgeführt werden. Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen ist Folgendes zu berücksichtigen: *„(...) die Gebrauchstauglichkeit von Arbeitsmitteln einschließlich der ergonomischen, alters- und alternsgerechten Gestaltung, die sicherheitsrelevanten einschließlich der ergonomischen Zusammenhänge zwischen Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsverfahren, Arbeitsorganisation, Arbeitsablauf, Arbeitszeit und Arbeitsaufgabe, die physischen und psychischen Belastungen der Beschäftigten, die bei der Verwendung von Arbeitsmitteln auftreten.“* Die arbeitsmedizinische Vorsorge ist nach ArbMedVV § 2 (1) ein Teil der arbeitsmedizinischen Präventionsmaßnahmen im Betrieb und *„(...) dient der Beurteilung der individuellen Wechselwirkungen von Arbeit und physischer und psychischer Gesundheit und der Früherkennung arbeitsbedingter Gesundheitsstörungen sowie der Feststellung, ob bei Ausübung einer bestimmten Tätigkeit eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung besteht“*.

Konkretisierend zu den Zielvorgaben werden der Schutz **besonders schutzbedürftiger Personengruppen** und die Prävention spezieller Gefahren geregelt. In Deutschland zählen hierzu Verordnungen zum Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutz, zum Chemikalien-Verbot, zu Gefahrstoffen, zu Biologischen Arbeitsstoffen, zum Strahlenschutz, zu künstlicher optischer Strahlung, zu elektromagnetischen Feldern, zur Unfallversicherungs-Anzeige, zu Baustellen, zum Kinderarbeitsschutz, zum Fahrpersonal und viele andere mehr.

Die Aufzählung lässt das gesamte Ausmaß im Regelungsbereich des Arbeits- und Gesundheitsschutzes erahnen. Neben den umfangreichen Schnittstellen, die sich damit zu angrenzenden Regelungsbereichen ergeben, resultiert hieraus auch eine hohe Dynamik. Wichtige Entwicklungen vollzogen sich beispielsweise im Jahr 2013 im Arbeitsschutzgesetz durch explizite Aufnahme psychischer Belastungen, beim Mutterschutzgesetz im Jahr 2017 mit der Einführung der Begrifflichkeit der **unverantwortbaren Gefährdung**, bei der Betriebssicherheitsverordnung im Jahr 2015 mit der alters- und altersgerechten Gestaltung der Arbeit sowie den ergonomischen und psychischen Belastungen sowie bei der Arbeitsstättenverordnung im Jahr 2015 mit der Forderung nach ausreichendem Tageslicht aus arbeitsphysiologischen Gründen (Tab. 2.9 und Tab. 2.10).

Tab. 2.9 Weiterentwicklung des Vorschriften- und Regelwerks (Auswahl, 1 von 2)

Erlass		Bezeichnung	Entwicklung (Auszug)
01/1952	G	Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium Mutterschutzgesetz (MuSchG)	05/2017: <u>unverantwortbare Gefährdung (§ 9)</u>
06/1968	G	Gerätesicherheitsgesetz (GSG)	12/2011: Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)
12/1973	G	Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit Arbeitssicherheitsgesetz (ASiG)	Arbeitsschutz- (Aufbau-)organisation Akteure
04/1976	G	Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG)	07/2015: Maßnahmen zur Verbesserung des Impfstatus
09/1980	G	Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen Chemikaliengesetz (ChemG)	2008: Anpassungen an REACH
06/1994	G	Arbeitszeitgesetz	2020: Einführung eines Zeiterfassungssystems (objektiv, verlässlich, zugänglich)
08/1994	G	Gesetz über Medizinprodukte Medizinproduktegesetz (MPG)	2020: Schutz der Bevölkerung bei einer epidemischen Lage von nationaler Tragweite
08/1996	G	Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)	Gefährdungsbeurteilung 2013: <u>Psychische Belastungen (§ 5)</u>

Tab. 2.10 Weiterentwicklung des Vorschriften- und Regelwerks (Auswahl, 2 von 2)

Erlass		Bezeichnung	Entwicklung (Auszug)
12/1996	VO	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV)	ungünstige ergonomische Bedingungen (§ 1) Unterweisung (§ 4)
09/2002	VO	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)	2015: Alters- und altersgerechte Gestaltung der Arbeit, Ergonomische und <u>psychische Belastungen</u>
08/2004	VO	Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV)	2015: Ausreichendes Tageslicht aus arbeitsphysiologischen Gründen
03/2007	VO	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - LärmVibrationsArbSchV)	Schutz der Beschäftigten vor tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen Untere und obere Auslösewerte
12/2008	VO	Verordnung über arbeitsmedizinische Vorsorge (<u>ArbMedVV</u>)	Frühzeitiges Erkennen und Verhüten arbeitsbedingter Erkrankungen
07/2015	G	Gesetz zur Stärkung der Gesundheitsförderung und der Prävention Präventionsgesetz (PrävG)	Primäre Prävention
06/2017	G	Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung Strahlenschutzgesetz (StrlSchG)	Langfristiger Schutz der menschlichen Gesundheit

2.3.5 Feststellung von Abweichungen bei Audits

Anlässe wie beispielsweise Zertifizierungen nach **DIN ISO 45001** (2018), Umzertifizierungen von **OHSAS 18001** (2007) und externe Prüfungen durch **Versicherungen** können interne und externe Audits auslösen. Mangelhafte Arbeitsgestaltung und schlechte Arbeitsbedingungen können dazu führen, dass Abweichungen bei Audits von „kleineren Findings“ bis hin zu gravierenden Mängeln wie Rechtsverstößen festgestellt werden. Das kann Nachauditierungen erforderlich machen, die Anerkennung oder Verlängerung von Zertifikaten verhindern und Versicherungstarife verteuern.

2.4 Nachhaltiges Wachstum auf wissenschaftlicher Grundlage

Nachhaltiges Wachstum setzt sich aus mehreren Handlungsfeldern zusammen (Unterkapitel 1.1). Der Weg dorthin unterliegt einer stetigen Anpassung und wird daher in Deutschland auf politischer Ebene von der Bundesregierung fortlaufend aktualisiert. Aktuell beschreibt die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 17 globale Nachhaltigkeitsziele, von denen die vier Ziele Gesundheit und Wohlergehen (Nr. 3), Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum (Nr. 8), Industrie, Innovation und Infrastruktur (Nr. 9) und Nachhaltiger Konsum und Produktion (Nr. 12) unmittelbar mit den Arbeitsbedingungen und damit mit der Arbeitsgestaltung in den Organisationen verknüpft sind (Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, 2020).

Nachfolgend wird der aktuelle Stand der arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse hierzu vorgestellt. Der Fokus liegt auf den anwendungsbezogenen Lösungsstrategien und Modellen zur Berücksichtigung der Ressource Mensch bei der Gestaltung der Arbeitsbedingungen. Die präventionsbasierten Erkenntnisse für nachhaltiges Wachstum mit optimierten Arbeitsbedingungen sind die **wissenschaftlichen Grundlagen** zur Entwicklung und Weiterentwicklung des Instruments.

2.4.1 Optimierung von Belastung und Beanspruchung

Auf alle Beschäftigten wirken unterschiedliche Einflüsse während der Arbeit⁹, genauer während der Ausübung ihrer auszuführenden Tätigkeiten ein, deren Ursprung in der Art der Arbeitsaufgaben, den Arbeitsmitteln und/oder in der Arbeitsumgebung liegen kann (Tab. 2.11).

Tab. 2.11 Systemabgrenzung mit dem Arbeitssystem-Modell (DIN EN ISO 6385)

Eingabe	→	Arbeitsauftrag	→	Ausgabe
Material		Interaktion (Einwirkung, Rückwirkung) von Beschäftigten mit Arbeitsmitteln, Arbeitsobjekten und Arbeitsstoffen in		Ergebnis
Information		Abhängigkeit des Arbeitsauftrags (Zielvorgabe, Zwecksetzung) unter bestimmten Umwelteinflüssen (Sozial, Emotional, Organisatorisch, Kommunikativ, Physikalisch,		Quantität
Energie		Organisch, Chemisch, Stofflich).		Qualität

Dieses Zusammenwirken veranschaulicht das unter anderem in DIN EN ISO 6385 (2016) definierte **Arbeitssystem** als „(...) ein System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb eines Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Aufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen“.

Zur Abgrenzung und Charakterisierung von Arbeitssystemen werden daher vor allem die sieben Elemente Mensch, Arbeitsmittel, Arbeitsaufgabe, Arbeitsablauf, Arbeitsumgebung sowie die Ein- und Ausgaben betrachtet.

⁹ Die Bandbreite reicht von enger gefassten Definitionen wie „Tätigsein des Menschen, bei dem dieser mit anderen Menschen und technischen Hilfsmitteln in Interaktion tritt (...)“ (Stirn, 1980) bis hin zu weiter gefassten Definitionen wie „was der Mensch zur Erhaltung seiner Existenz und/oder der Gesellschaft tut, soweit es von der Gesellschaft akzeptiert und honoriert wird“ (Rohmert, 1993).

Im Zusammenwirken umfasst das Arbeitssystem die Beschäftigten und ihre Arbeitsmittel einschließlich der Werkzeuge, Werkstücke sowie der Hardware-/Softwarebedienung (Mensch-Maschine-Interaktion) innerhalb einer bestimmten Arbeitsumgebung und in der jeweiligen Arbeitsorganisation. Optimale Arbeitsgestaltung wird daher in der Regel nicht ohne die Einbeziehung der **Erfahrungswerte der Beschäftigten** in den Gestaltungsprozess gelingen. Menschengerecht gestaltete Arbeitssysteme können zu signifikanten Arbeitserleichterungen und höherer Arbeitsleistung führen, da die menschlichen Fähigkeiten optimaler eingesetzt, Arbeitshandlungen effektiver ausgeführt und unnötiger Arbeitsermüdung vorgebeugt werden kann (Röbke, 1989).

Die aus der Interaktion im Arbeitssystem resultierenden Anforderungen führen zu objektiv auf die Beschäftigten einwirkenden **Belastungen**. Entsprechen die Eigenschaften und das Leistungsvermögen der Beschäftigten diesen Anforderungen, so ist die **Beanspruchung** optimal und wird auch subjektiv eher positiv empfunden. Ist die Belastung zu hoch oder das Leistungsvermögen zu gering (Unterqualifikation) oder zu hoch (Überqualifikation), so tritt Überbeanspruchung auf, die zu schlechter Arbeitsleistung führen und auf Dauer die Gesundheit beeinträchtigen kann. Beanspruchung ist die Auswirkung der Belastung (Lehmann, 1953; Rohmert, 1984; Laurig, 1990; Schönplflug, 1987; Koether et al., 2001).

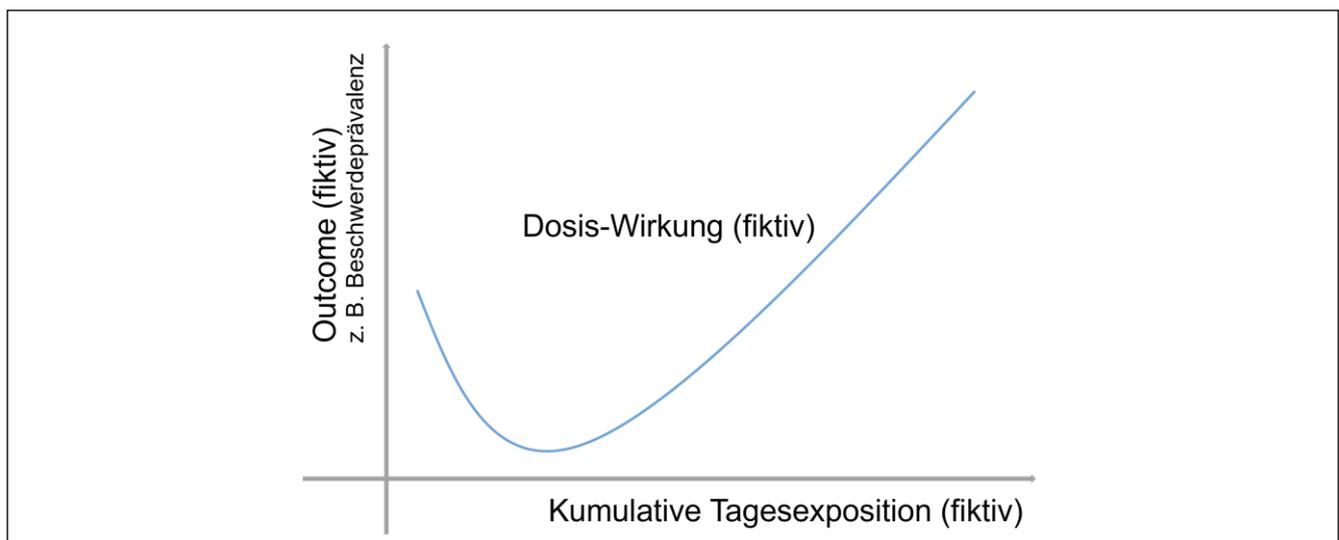


Abb. 2.28 Biologisches Prinzip dynamisch-physiologischer Gleichgewichte
Quelle: Dosis-Wirkungsmodell nach Hartmann et al., 2013

In der Belastungsgruppe der physischen Belastungen sind die Beschäftigten nicht nur passiv Opfer der Belastungsarten, sondern reagieren, um die Beanspruchung zu verringern. Das kann durch optimierte Ausführungsstrategien, durch verbesserte Koordination der Bewegungsabläufe und funktionelle Anpassungen an die Aufgaben erfolgen. Durch Training der beteiligten Muskeln und anderer Strukturen kann die Fähigkeit zur Bewältigung der Belastungen verbessert und damit die Beanspruchung gemindert werden. Da das Muskel-Skelett-System auf Beanspruchungen angewiesen ist, benötigen alle körperlichen Voraussetzungen für das Bewältigen von Anforderungen ein ständiges Training, um sie zumindest erhalten und fördern zu können. Das gilt nicht nur für Muskeln, sondern auch für die Knochen, die Sehnen und den Gelenkknorpel. Dieses **biologische Prinzip dynamisch-physiologischer Gleichgewichte** kann mit der U-Kurve des Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhanges beschrieben werden (Hartmann et al., 2013; Abb. 2.28).

Die **U-Kurve des Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhanges** beschreibt dabei Folgendes: in einem mittleren Bereich der Belastung ist die Beanspruchung optimal, weil sie ständige erhaltende Reize setzt, aber keine nachteiligen Effekte der Beeinträchtigung von Funktionen und Strukturen des Muskel-Skelett-Systems zur Folge hat. Eine Beanspruchung kann individuell zu hoch sein, weil die individuelle Anpassung des Muskel-Skelett-Systems an physische Belastungen unzureichend ist. Dieses Anpassungsdefizit bemisst sich an den alters- und geschlechtsspezifischen Normen der Erwerbsbevölkerung. Ursachen sind unter anderem dauerhafte körperliche Unterforderung durch einen physisch inaktiven Lebensstil und Arbeit mit Bewegungsmangel. Häufig treffen Belastungen auch auf ungenügend vorbereitete Strukturen und führen zu Überforderungen. Damit steigt auch das Gesundheitsrisiko (Hartmann et al., 2013).

Übersteigen die Arbeitsbelastungen ein Niveau, das man unter bestimmten soziokulturellen Rahmenbedingungen als **akzeptabel** oder nur noch als **tolerabel** einschätzt (Erforschung, Aktualisierung und Festlegung von Grenzwerten), so steigt für die meisten Menschen die Beanspruchung erheblich an (Hartmann et al., 2013; Abb. 2.29).

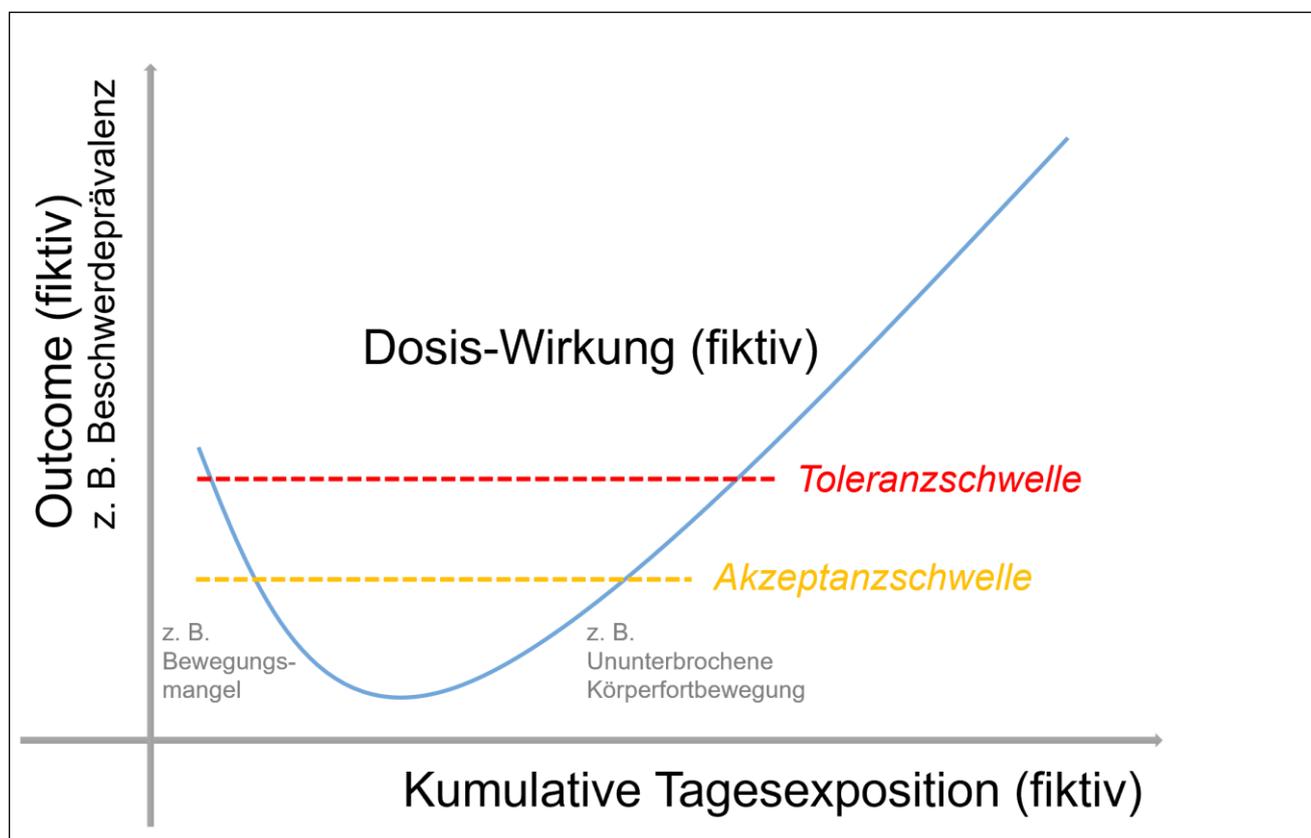


Abb. 2.29 Dynamisch-physiologische Gleichgewichte mit Akzeptanz- und Toleranzschwelle
Quelle: Eigene Erweiterung (Stufe 1) nach Hartmann et al., 2013

Bei der Überschreitung akzeptabler Belastungen ist eine Überbeanspruchung auch für normal belastbare Personen möglich. Mit zunehmender Überschreitung der Schwelle tolerabler Belastungen ist bei den meisten Beschäftigtengruppen bei längerfristiger Ausführung mit immer höherer Wahrscheinlichkeit auch von einer Chronifizierung bzw. Manifestierung (irreversible Gesundheitsschäden) auszugehen (Hartmann et al., 2013).

2.4.2 Bewertungskonzepte zur menschengerechten Arbeitsgestaltung

Im Kern der **Arbeitswissenschaft** steht die systematische Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen (Luczak & Volpert, 1987). Hieraus ergibt sich die große Schnittmenge zur Ergonomie, bei der es um die „*Lehre von der Arbeit*“ geht und die auch als „*menschengerechte Arbeit*“ beschrieben werden kann (Löhr, 1976). Das Technische Komitee Ergonomie der Internationalen Standard Organisation (ISO) definiert Ergonomie als „*(...) humanwissenschaftliches Wissen mit dem Ziel, eine Anpassung von Arbeit, Arbeitssystem und Umgebungen an die physischen und psychischen Fähigkeiten des Menschen herbeizuführen und damit sicherzustellen, indem gleichzeitig die Leistungsfähigkeit erhöht und das Arbeitsergebnis verbessert wird*“.

Die Arbeitswissenschaft legt den Fokus auf die Erforschung der Interaktion der Beschäftigten in „ihren“ Arbeitssystemen, konkret zum Beispiel auf die Art und Weise der Nutzung von technischen Hilfsmitteln. Hierzu hat sich seit den 1970er Jahren eine übergeordnete – das heißt unabhängig von Belastungsfaktoren und Zielregionen – Grobeinstufung von Arbeitstätigkeiten auf zumeist vier Ebenen etabliert, auf der sich die **Gestaltungsgüte von Arbeitssystemen** klassifizieren lässt (Tab. 2.12).

Tab. 2.12 Bewertungskonzepte zur menschengerechten Arbeitsgestaltung

Autor Ebene	Kirchner, 1972; Rohmert & Rutenfranz, 1975	Hacker, 1978	Luczak & Volpert, 1987
1	Ausführbarkeit	Ausführbarkeit	Schädigungslosigkeit und Erträglichkeit
2	Erträglichkeit	Schädigungslosigkeit	Ausführbarkeit
3	Zumutbarkeit	Beeinträchtigungsfreiheit	Zumutbarkeit, Beeinträchtigungsfreiheit und Handlungs- und Tätigkeitsspielraum
4	Zufriedenheit	Persönlichkeitsförderlichkeit	Zufriedenheit und Persönlichkeitsförderlichkeit
5			Sozialverträglichkeit und Gestaltungsbeteiligung

Im schlechtesten Fall sind neu konzipierte Arbeitssysteme gar nicht ausführbar, wenn beispielsweise die Körpermaße und Körperkräfte der (potenziellen) Beschäftigten nicht berücksichtigt werden und dadurch das Erreichen von Stellteilen und Anzeigegeräten sowie das Betätigen der Stellteile nicht möglich ist. Dann werden alle zu kleinen und zu großen sowie schwächeren Beschäftigten von Anfang an ausgeschlossen. Immer höhere Praxisrelevanz haben dabei die nachhaltig denkenden Betrachtungen, bei denen die Erträglichkeit (Unmittelbare Gefahren für die körperliche Gesundheit), die Zumutbarkeit (Beschwerden, Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress) sowie die Persönlichkeitsförderlichkeit (Persönliche Entwicklung, Arbeitsklima) im Fokus steht (Laurig, 1990).

2.4.3 Optimierung von Produkten und Arbeitsbedingungen

Produktsicherheit und **Arbeitssicherheit** sind zwei Fachgebiete, die zum Großteil getrennt voneinander geregelt sind, jedoch auf eine Vielzahl identischer Begriffe zurückgreifen.

Um **sichere Produkte** auf dem Markt bereitzustellen, ist vor dem Inverkehrbringen von Produkten eine Risikobeurteilung von den Konstrukteuren durchzuführen. Diese Risikobeurteilung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess setzt sich aus Risikoanalyse und Risikobewertung zusammen. Die Risikobeurteilung wird in einem iterativen Gesamtverfahren mehrfach durchlaufen, als Ergebnis die notwendigen Schutzmaßnahmen (Schutzeinrichtungen an Maschinen etc.) festgelegt, auf Risikominderung überprüft und bei Notwendigkeit angepasst, um so Produktsicherheit zu erzielen (DIN EN ISO 12100:2011).

Tab. 2.13 Kreisprozess zur Optimierung der Arbeitsbedingungen

Kreisprozess		Erläuterung / Ergebnis / Beispiel
Ermittlung Analyse der Gefährdungen	Beurteilung der Arbeitsbedingungen „Gefährdungsbeurteilung“	Ermittlung der Eingangsgrößen durch Befragung, Schätzung, Beobachtung, Zählung, technische Messung mit Messgeräten <i>Beschäftigte am Arbeitssystem X im Arbeitsbereich Y sind gegenüber der Belastungsart Z exponiert.</i>
Bewertung Risikobewertung der ermittelten Gefährdungen		Auswertung der Analyseergebnisse durch Untersuchung der Repräsentativität, Skalierung, Priorisierung, Normierung, Wertzuweisung <i>Belastungshöhe [f(Intensität, Dauer, Verteilung)] ist gering; mittel; hoch / beträgt 0; 15; 115 Punkte</i>
Beurteilung Abgleich der Bewertungen mit Risikokzepten (Grenzwerte)		Urteilsabgabe über die gegebene Sachkonstellation für die An- und Verwender (Gefahr?) zur Festlegung der Maßnahmen-Erforderlichkeit und der Maßnahmen-Dringlichkeit <i>Maßnahmen sind sofort; mittelfristig; bei Änderungsanlass erforderlich</i>
Maßnahmen Art Umsetzung Überprüfung auf Wirksamkeit		Art der Maßnahmen festlegen (STOP-Prinzip; oder besser E-STOP -> E = Eliminierung), umsetzen und nach Umsetzung auf Wirksamkeit überprüfen. <i>Einkaufsabteilung hat die Maßnahme für die Fachabteilung X zur Verfügung gestellt. Die Maßnahme reduziert das Risiko deutlich unterhalb des Grenzwerts, wird von den Beschäftigten angenommen und hat sich im Arbeitsalltag wirksam bewährt.</i>

Um die **Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten** (Arbeitssicherheit) zu gewährleisten, wird ebenfalls ein iterativer Prozess durchlaufen. Zur Optimierung der Arbeitsbedingungen werden zunächst die Gefährdungen ermittelt (erkannt, auch analysiert) und einzeln hinsichtlich ihrer Risiken bewertet. Mit dem Ergebnis der Risikobewertung der ermittelten Gefährdungen wird durch den Abgleich mit den Risikokzepten (Grenzwerten) ein Urteil (Beurteilung) über die Erforderlichkeit und Dringlichkeit von Maßnahmen möglich (zusammen auch **Gefährdungsbeurteilung**). Bei Erforderlichkeit von **Maßnahmen** sind diese nach der Rangfolge Substitution, Technische Maßnahmen, Organisatorische Maßnahmen und personenbezogene Maßnahmen nach dem so genannten (E)-STOP-Prinzip festzulegen, umzusetzen und anschließend in ihrer Wirksamkeit zu überprüfen (ArbSchG, 1996; BT-Drucksache 13/3540, 1996; Tab. 2.13).

Zur **anwendungsorientierten Durchführung** der Optimierung der Arbeitsbedingungen in Organisationen stehen arbeits- und sicherheitswissenschaftliche Methoden, Verfahren und Instrumente zur Verfügung, deren Einsatzgebiet und Lösungsumfang (Arbeitswissenschaft, Arbeitswirtschaft, Steuerungs- und Managementfunktionen, berücksichtigte Belastungsarten und Arbeitgeberverpflichtungen, Genauigkeit, ...) variiert (Tab. 2.14).

Tab. 2.14 Systematisches Vorgehen zur Optimierung der Arbeitsbedingungen

Art	Beschreibung / Beispiele
Methode	Systematisches Vorgehen zur Gewinnung von Erkenntnissen z. B. <i>Beobachtungsanalyse</i>
Verfahren <i>Einzel-</i> <i>Kombinations-</i>	Vorgehensweise zur planmäßigen Lösung von Problemen <i>Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse</i> z. B. <i>BAB-Verfahren</i>
Instrument	Gesamtheit (Bündelung) von Methoden und Verfahren, z. B. für langfristige Ziele wie nachhaltiges Wachstum [(Experten-)System] z. B. <i>BDS-Instrument</i>

Allgemein bedeutet **Methode** ein „nach Mittel und Zweck planmäßiges (methodisches) Verfahren, das zu technischer Fertigkeit bei der Lösung theoretischer und praktischer Aufgaben führt“ (Mittelstraß, 1984), was unter anderem technische Methoden, Arbeitsmethoden, Werbemethoden, Erziehungsmethoden und Methoden der Wissenschaft umfasst. Eine Methode als „Art und Weise eines Vorgehens“ (Duden) dient dem „Erkenntnisgewinn oder speziellen Anwendungserfolgen“ (Dorsch). Eine Methode stellt im Sinne der Erkenntnistheorie ein „planmäßiges (systematisches) Vorgehen zur Gewinnung von Erkenntnissen dar“. Eine Methode, die in der Arbeits- und Sicherheitswissenschaft angewendet wird, ist beispielsweise die Beobachtungsanalyse, die während der Ermittlung der Aspekte von Gefährdungen und Belastungen zum Einsatz kommen kann (und sollte).

Allgemein bedeutet **Verfahren** die „Art und Weise der Durch-, Ausführung von etwas“ (Duden). Ein Verfahren bildet eine „Vorgehensweise zur planmäßigen Lösung von Problemen“ ab. Es handelt sich dabei im Planungssinn um einen geregelten, in Verfahrensschritte zerlegbaren, nachvollziehbaren und wiederholbaren Ablauf. Ein Einzelverfahren der Arbeitswissenschaft ist beispielsweise die Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse. Damit können die Verfahrensschritte Ermittlung, Bewertung, Beurteilung und Maßnahmen (Entwicklung neuer Maßnahmenansätze, Festlegen von Maßnahmen) zur Optimierung der Arbeitsbedingungen für eine Belastungsart (hier insbesondere für die Erhaltung und Förderung der Gesundheit der oberen Extremitäten der Beschäftigten) durchgeführt werden. Kombinationsverfahren wie das mehrstufige Leitmerkalmethodeninventar (BAuA, 2019) und das BAB-Verfahren (Peters, 1986) decken ebenfalls die Verfahrensschritte Ermittlung, Bewertung, Beurteilung und Maßnahmen ab, erlauben dies aber je nach Umfang und Spezialisierung des Kombinationsverfahrens über mehrere physische Belastungsarten (mehrstufiges Leitmerkalmethodeninventar) bis hin zu mehreren Belastungsgruppen (Physische Arbeitsbelastungen, Psychische Arbeitsbelastungen, Arbeitsumgebungsbedingungen) und mehreren Gefährdungsarten (Ganzheitlichkeit; BAB-Verfahren). In diesem Zusammenhang wird in der deutschen Literatur teils auch eine Methodenebenendifferenzierung (Ellegast, 2010) vorgenommen, was nachfolgend näher erläutert wird.

Denn in der Praxis startet ein effizienter Optimierungsprozess zunächst mit einer überschlägigen Identifizierung der vorliegenden Belastungs- und Gefährdungsarten mit Hilfe des so genannten Grobscreenings, ggf. mit integriertem oder separat vorgeschaltetem Basis-Check zur Identifizierung, welche Belastungs- und Gefährdungsarten in einer Organisation, einer Organisationseinheit, einem Arbeitssystem und/oder bei einer Tätigkeit überhaupt vorkommen.

Grobscreening-Verfahren werden in der Regel als Checklisten ausgeführt, in denen Anhaltspunkte und Orientierungsfragen zusammengetragen sind, um erste Schwerpunkte zu verschiedenen Belastungsarten identifizieren zu können. Damit kann im Vorfeld orientierend geklärt werden, ob Grenzwerte überschritten sein könnten und eine erste grobe Abschätzung zum Ausmaß der späteren Optimierungspotenziale erfolgen (BAuA, 2019). Grobscreening-Verfahren sind beispielsweise das Einstiegsscreening bei körperlicher Belastung aus dem mehrstufigen Leitmerkalmethoden-Inventar (BAuA, 2020) und die DGUV Information 250-453 (DGUV, 2009). Sofern aufgrund der Ergebnisse des Grobscreenings für ein oder mehrere Belastungs- und Gefährdungsarten eine erhöhte Belastung nicht ausgeschlossen werden kann, liefern darauf aufbauend Spezielle Screening-Verfahren mehr Möglichkeiten der Risikoquantifizierung.

Spezielle Screening-Verfahren erlauben eine einfache, schnelle und praxisnahe Beurteilung der Arbeitsbedingungen (Gefährdungsbeurteilung) auf der wissenschaftlichen Basis von Wahrscheinlichkeiten zu Überbeanspruchungswirkungen und liefern damit die Grundlage zur Ableitung der Dringlichkeit und des Umfangs von Gestaltungsmaßnahmen (BAuA, 2019). Hierzu zählen beispielsweise die auf Arbeitssystemebene agierenden Methoden des mehrstufigen Leitmerkalmethodeninventars für sechs physische Belastungsarten (LMM-6; BAuA, 2019), das Rapid Upper Limb Assessment (RULA; McAtamney & Corlett, 1993) und das Occupational Risk Assessment of Repetitive Movements and Exertions of the Upper Limb (OCRA; Occhipinti, 1998), deren Anwendung sich in der Regel am besten für eher einfachere Arbeitssysteme mit gleichförmigen zyklischen Abläufen eignet (BAuA, 2019).

In der Arbeitswelt wechselt jedoch die Intensität, Verteilung und Dauer der Belastungen der Arbeitssysteme häufig und verschiedenste Belastungsarten wirken gleichzeitig und/oder nacheinander ein. Dann können die Verfahren des Speziellen Screenings aufgrund ihrer definierten Einschränkungen an ihre Anwendungsgrenzen kommen. Für den betrieblichen Berufsalltag, der immer wieder Situationen und Belastungsfälle aufweist, die eine intensivere Beurteilung der Arbeitssituation erforderlich machen, helfen daher in einem ersten Schritt **Expertenscreening-Verfahren** weiter. Bei diesen Verfahren wird einerseits eine detailliertere Analyse einzelner Belastungsarten, beispielsweise von Körperhaltungen (OWAS; Karhu et al., 1977) oder von kraftbetonten Tätigkeiten (Kraftatlas; Wakula et al., 2009) möglich. Teilweise können damit auch mehrere physische Belastungsarten (Körperhaltungen, Handhaben von Lasten, repetitive Tätigkeiten) analysiert und ein summarischer Wert für die Gesamtbelastung gebildet werden wie beim European Assessment Work Sheet (EAWS; Schaub et al., 2013) oder dem Vorgänger Automotive Assembly Worksheet (AAWS; Schaub, 2004). Interaktiver PDF-Formate bedienen sich die erweiterten Leitmerkalmethoden (LMM-E; BAuA, 2019) zu sechs physischen Belastungsarten (bei je vier Teiltätigkeiten). Eine unlimitierte tätigkeitsbasierte Analyse und einheitliche 7-stufige Bewertung über mehrere Belastungsgruppen hinweg ermöglicht das BAB-Kombinationsverfahren (Peters, 1986).

Die heutigen Praxisanforderungen an gleichzeitige Genauigkeit und Praktikabilität, die immer umfangreicheren gesetzlichen Anforderungen und das internationale Einsatzlevel (Mehrsprachigkeit) bringen aber auch Experten-Screening-Verfahren immer schneller an ihre Grenzen. Daher wurden arbeits- und sicherheitswissenschaftliche **Instrumente** entwickelt, die die Komplexität der physiologischen Funktionen des menschlichen Organismus digital abbilden können. Allgemein bedeutet Instrument „*Gerätschaft aller Art bzw. Werkzeug jeder Art*“ (Duden). Der Begriff ist eng verknüpft mit den Begriffen Instrumentarium als „*Gesamtheit der für eine Arbeit notwendigen Unterlagen, Hilfsmittel, Geräte*“ (Duden) und wissenschaftstheoretischen Methodik als Gesamtheit aller wissenschaftlichen Hinwege zu einem Ziel.

Ein arbeits- und sicherheitswissenschaftliches sowie arbeitswirtschaftliches Instrument ist beispielsweise das **BDS-Instrument** (Unterkapitel 2.1; u. a. Klußmann et al., 2013), das alle Schritte der Optimierung der Arbeitsbedingungen über die wirkungsstärksten Belastungs- und Gefährdungsgruppen ermöglicht und darüber hinaus interdisziplinäre Methoden sowie Einzel- und Kombinationsverfahren zu einem professionellen Expertensystem verknüpft. Mithilfe von moderner Informationstechnologie, Datenbanksystemen, Modularität, Management- und Workflowfunktionalitäten werden dabei Anwendungen realisiert, die je nach individueller Anforderung von kleinen und mittelständigen Unternehmen (KMU) bis hin zu global agierenden Konzernen auf dem Weg zum nachhaltigen Wachstum begleiten (Abb. 2.30).

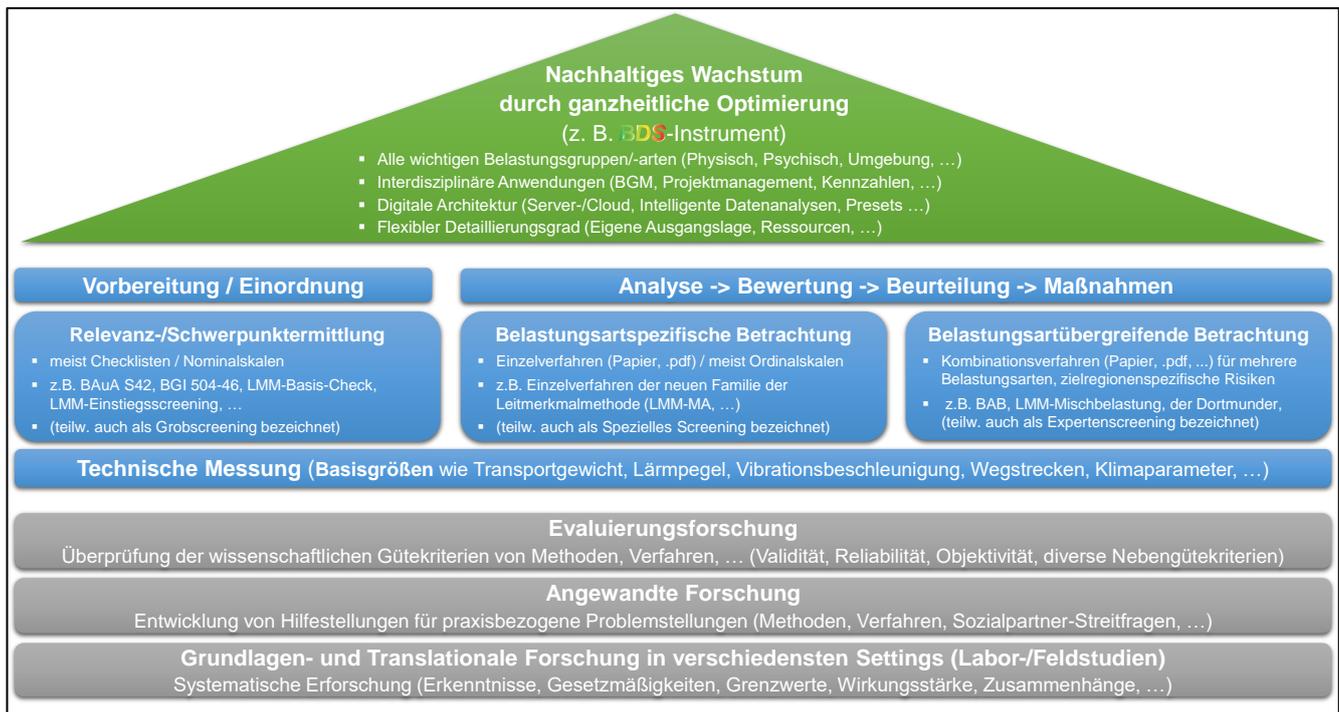


Abb. 2.30 Von der Grundlagenforschung zum Nachhaltigen Wachstum

Instrumente wie das BDS-Instrument erlauben dabei eine ganzheitliche und interdisziplinäre Optimierung der Arbeitsbedingungen mit variablem Detaillierungsgrad, einerseits indem Einzel- und Kombinationsverfahren mit unterschiedlicher Genauigkeit integriert werden, andererseits indem sie zusätzlich die Integration und Interpretation der Ergebnisse von Labor- und Feldmessungen ermöglichen, um damit gleichzeitig auch einen Mehrwert etwa für den wissenschaftlichen Einsatz (Studien) und auch für die Erstellung von Gutachten schaffen.

Feld- und Labormessungen spielen bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen in der Praxis eine eher untergeordnete Rolle, da Messequipment meist gar nicht vorhanden ist oder häufig nur die Analyse, nur Teilaspekte von Belastungsarten und nur einen kurzen, nicht repräsentativen Zeitanteil der Schichtdauer berücksichtigen und dies dann in der Regel zur Abdeckung der gesetzlichen Arbeitgeberverpflichtungen nicht ausreicht. Aufgrund der Komplexität des Muskel-Skelett-Systems führt eine Durchführung durch Praktiker*innen schnell zu einem nicht zu stemmenden Einarbeitungs- und Auswertungsaufwand und fehlerhafter Ergebnisinterpretation. Abzugrenzen hiervon sind etablierte technische Messungen für Belastungsarten wie Schall (Lärm), bei denen das Messgerät nicht nur verschiedene Analysestufen ermöglicht, sondern meist auch direkt die Bewertung übernimmt.

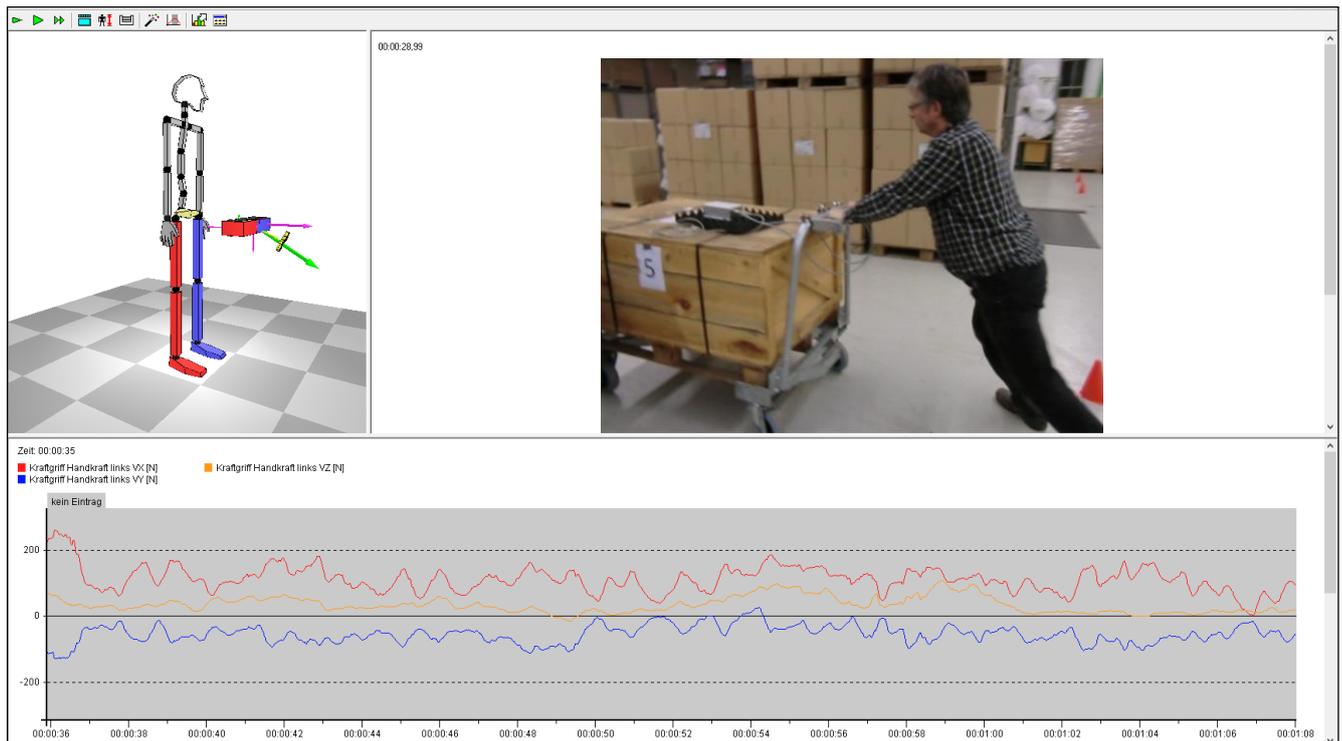


Abb. 2.31 3-axiale Kraftmessungen zur Effektprüfung optimierter Laufbelagsmaterialien
Quelle: Messauswertung im Institut ASER e.V. mit WIDAAN-Software

Die Stärken von Feld- und Labormessungen liegen einerseits darin, dass auch interne Belastungen und auch Beanspruchungsgrößen untersucht werden können. Damit können praktische Gestaltungsgrundsätze abgeleitet werden (Strasser, 1993) und die interne Belastung von Wirbelsäulensegmenten erforscht werden (u. a. Jäger, 1987; Jäger et al., 2007; Jäger et al., 2014). Andererseits können wichtige maßnahmenorientierte Aspekte verschiedener Belastungsarten auch im Hinblick auf die Dynamik der Arbeitswelt besser erforscht und damit auch nützliche Rückschlüsse für die Produkt- und Produktionsergonomie und die Beschaffungsprozesse von Organisationen gezogen werden (Abb. 2.31; Levchuk et al., 2011; Serafin et al., 2013; Mühlemeyer et al., 2014; Mühlemeyer et al., 2015; Klußmann et al., 2015; Wollesen et al., 2017). Feld- und Laborforschung sowie Evaluierungen liefern wichtige Erkenntnisse zur Entwicklung, Weiterentwicklung und Evaluierung von arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Methoden, Verfahren und Instrumenten (Unterkapitel 2.1; Beispiel: Müller & Hettinger, 1981). Die Anwendungsgebiete reichen bis hin zu den ersten Anwendungen künstlicher Intelligenz wie etwa bei der Forschung zur intelligenten Raumklimaregelung (Felsmann et al., 2020).

2.4.4 Interdisziplinäre Optimierung der Arbeitsbedingungen

Die gesicherten arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse bilden das Fundament für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten. Eine darauf aufbauende Optimierung der Arbeitsbedingungen ermöglichen **Anthropometrie und Biomechanik** durch Verbesserung der Bewegungsabläufe bei der Mensch-Maschine-Interaktion sowie die Arbeitsphysiologie durch Reduzierung der Ermüdung und Steigerung der Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Mit der interdisziplinären Zusammenführung der wissenschaftlichen Erkenntnisse können die Arbeitsbedingungen umfassend optimiert und damit wichtige Schritte zum nachhaltigen Wachstum von Organisationen realisiert werden.

2.4.4.1 Gemeinsame Strategie der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften

Im Kern der Arbeitswissenschaft steht die systematische Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen (Luczak & Volpert 1987; siehe Teilkapitel 2.4.2). Die Sicherheitswissenschaft entwickelt „(...) Lösungsansätze und Strategien für sicherheitsbezogene Herausforderungen und Problemstellungen“ (Kahl, 2019).

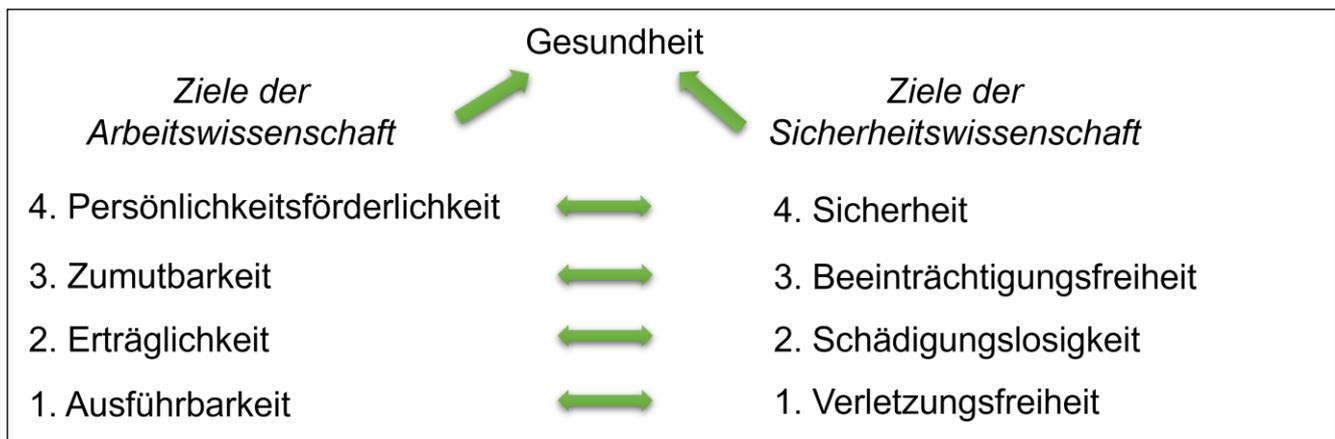


Abb. 2.32 Gemeinsame Strategie der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften
Quelle: Eigene Darstellung nach Müller, 1997

Beide Wissenschaftsdisziplinen vereinen viele verschiedene Fachdisziplinen wie Anthropometrie, Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Arbeitsstudium, Ergonomie, Toxikologie, Epidemiologie, Physiologie, Psychologie, Ergonomie und weitere Ingenieurwissenschaften und haben nicht nur das gemeinsame Ziel die Beschäftigten zu schützen, sondern „(...) gehen in vielen Fällen auch ähnliche Wege, um dieses Ziel zu erreichen“ (Müller, 1997).

Daher lassen sie sich bei der Optimierung von Arbeitssystemen kaum getrennt voneinander betrachten. Vielmehr greifen sie ineinander mit dem gemeinsamen Ziel der menschengerechten Arbeitsgestaltung. Werden die Erkenntnisse richtig umgesetzt, können die **Sicherheit** gewährleistet, die **Gesundheit** gefördert und die **Qualifikation** der Beschäftigten ausgebaut werden (Müller, 1997; Abb. 2.32).

2.4.4.2 Arbeitsphysiologische Optimierung der Leistungsfähigkeit

Die Arbeitsphysiologie erforscht die „*physiologischen Funktionen des menschlichen Organismus mit dem Fokus auf deren Leistungsfähigkeit und -grenzen bei unterschiedlichen Settings menschlicher Arbeit*“ (Bullinger, 1994). Enge Schnittstellen ergeben sich neben Arbeitswissenschaft und Anthropometrie auch zur **Arbeits- und Sportmedizin**. Die Erkenntnisse ermöglichen eine optimierte Arbeitsgestaltung durch Abstimmung der Mensch-Maschine-Schnittstelle auf die physiologischen Erfordernisse der Beschäftigten. Die grundlegenden Zusammenhänge sind in Standardwerken (u. a. Grandjean, 1991; Hollmann & Hettinger, 2000) beschrieben. Die Leistungsfähigkeit des Menschen im beruflichen Kontext wird kontinuierlich beforscht. Einer der Höhepunkte der Forschungsaktivitäten waren die 1970er Jahre. Neueste Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit von Beschäftigten werden unter anderem im Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie veröffentlicht (u. a. Hartmann & Seibt, 2020).

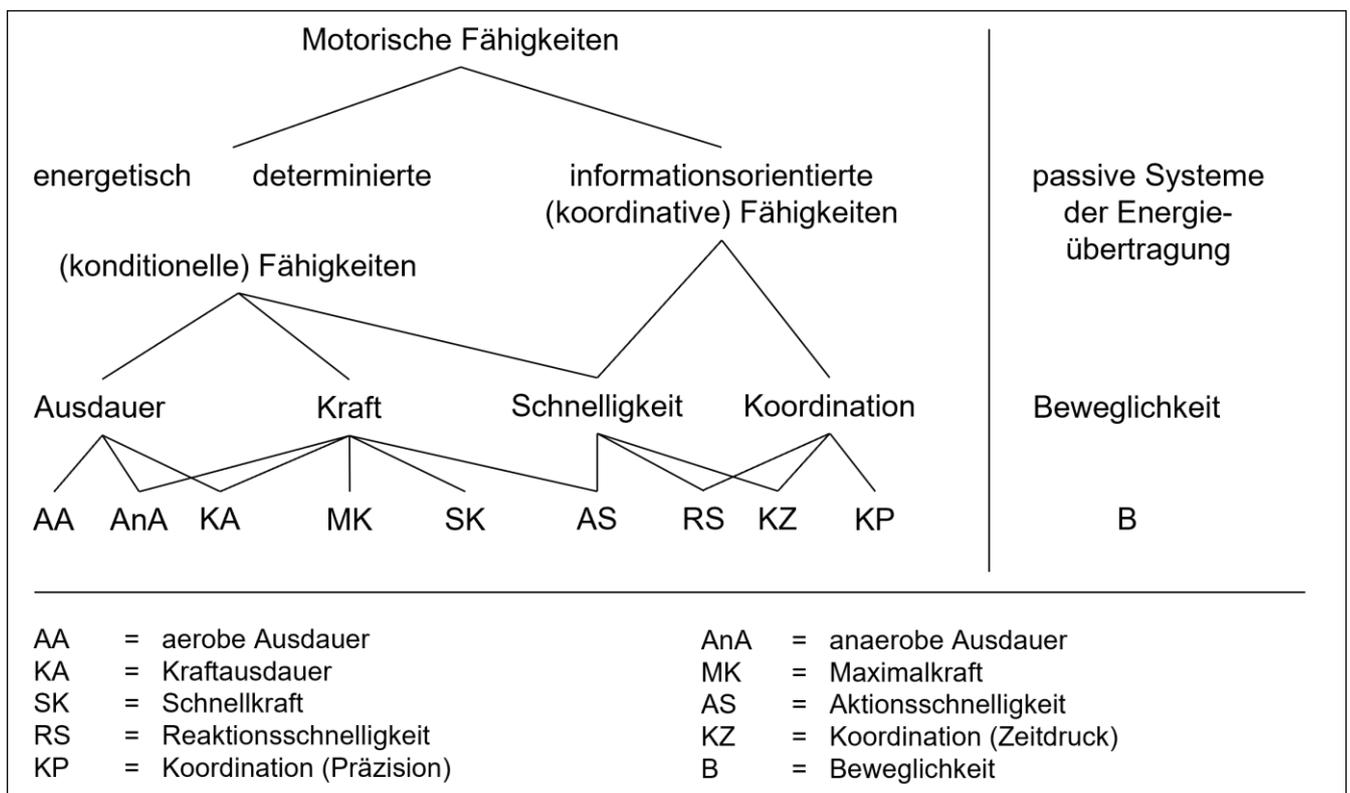


Abb. 2.33 Leistungsfähigkeit – Differenzierung motorischer Fähigkeiten
Quelle: Bös & Mechling, 1983

Die Darstellung der Leistungsfähigkeit der Beschäftigten bei der Arbeit erfolgt nach den **physiologischen Funktionen** des menschlichen Organismus (Krueger, 2007). Hierzu wird beispielsweise bei der physischen Leistungsfähigkeit eine Differenzierung in motorische Fähigkeiten, passive Systeme der Energieübertragung, Beweglichkeit und sensorische Fähigkeiten vorgenommen. Alle Systeme lassen sich weiter unterteilen. Die motorischen Fähigkeiten werden in verschiedensten Konstellationen zur Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit und Koordination untersucht. Die Ausdauer kann durch die Leistungsparameter anaerobe und aerobe Ausdauer beschrieben werden. Weitere Leistungsparameter sind die Aktionsschnelligkeit, Reaktionsschnelligkeit, die Koordinationsfähigkeit unter Zeitdruck sowie die Präzisionsfähigkeit (Bös & Mechling, 1983; Abb. 2.33).

Anhand dieser Einteilung kann die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten konkret bestimmt und beschrieben werden. Beispielsweise werden durch Ausführung verschiedener Kraftfälle die **Maximalkräfte** für verschiedene Beschäftigtengruppen ermittelt und Verteilungen ausgewertet und dargestellt (Serafin, 2013). Die Studienergebnisse können bei ausreichender Repräsentativität beispielsweise in die Normungsarbeit einfließen. Bisherige Ergebnisse zu isometrischen Maximalkräften zeigen, dass Frauen etwa 50 Prozent der Maximalkräfte von Männern erbringen können (Rühmann & Schmidtke, 1992; Abb. 2.34).

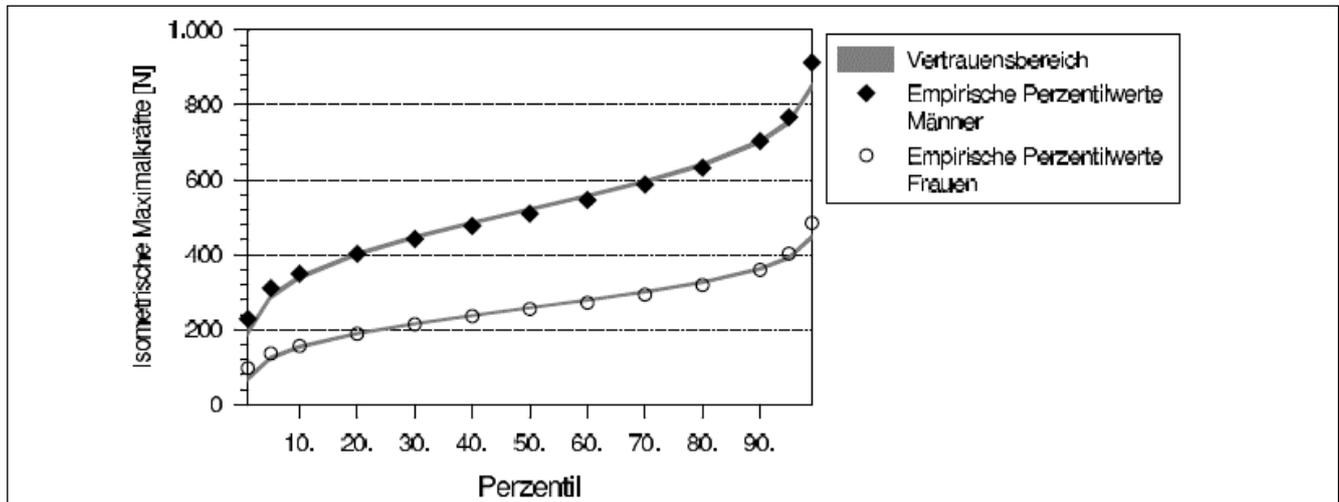


Abb. 2.34 Isometrische Maximalkräfte für Männer und Frauen im Vergleich
Quelle: Rühmann & Schmidtke, 1992

Weiter zeigen die Studienergebnisse zum **Ermüdungsgrad** in Abhängigkeit der Arbeitsdauer und der Erholungsdauer bei verschiedenen Belastungshöhen die positive Wirkung optimierter Arbeitsgestaltung auf die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten: je höher und länger Belastungen oberhalb der Dauerleistungsgrenze einwirken, umso überproportional länger ist die erforderliche Erholungsdauer, um die Ermüdung wieder auszugleichen (Rohmert, 1962). Werden diese Zusammenhänge bei der Arbeitsgestaltung in der Praxis richtig angewendet, lassen sich effektive und gesunde Arbeitsbedingungen realisieren (Abb. 2.35).

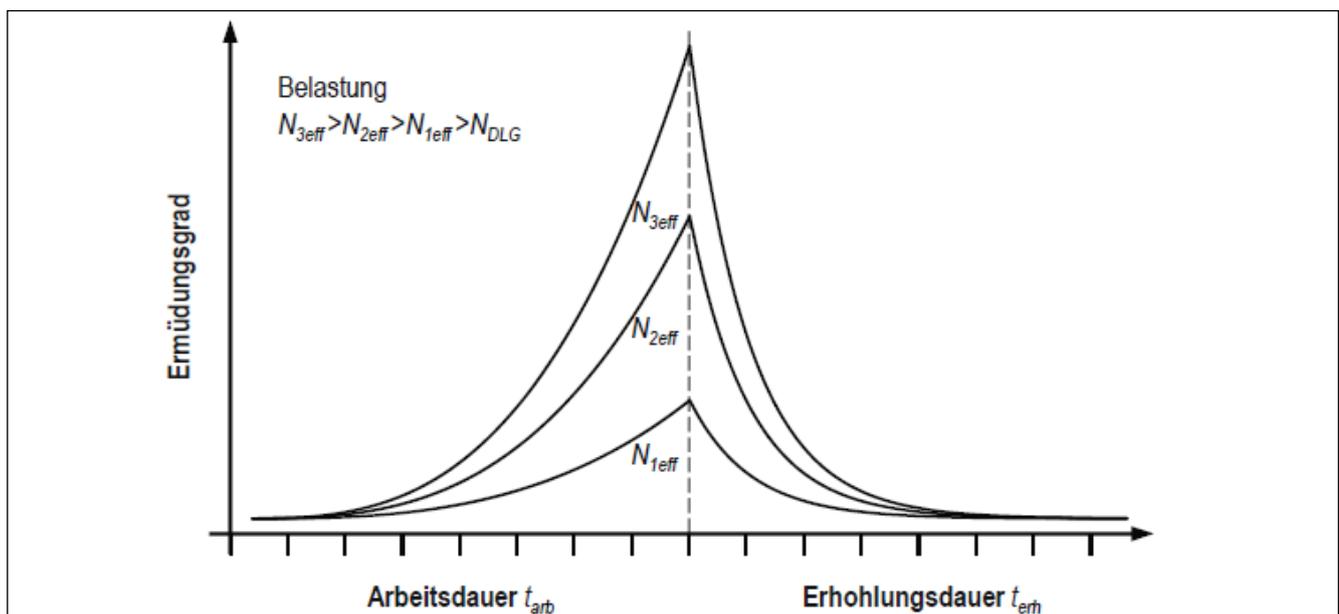


Abb. 2.35 Ermüdungsgrad in Abhängigkeit von Arbeitsdauer und Erholungsdauer bei verschiedenen Belastungshöhen. Quelle: Rohmert, 1962

2.4.4.3 Anthropometrisch-biomechanische Optimierung von Bewegungsabläufen

Die Anthropometrie¹⁰ ermittelt und trägt die Maße des menschlichen Körpers zur Nutzung für fachübergreifende Anwendungen zusammen. Die Biomechanik untersucht den menschlichen Bewegungsapparat und die mit ihm erzeugten Bewegungen. Mit den Erkenntnissen kann zum einen die Mensch-Maschine-Schnittstelle auf die Beschäftigten abgestimmt werden (Löhr, 1976). Zum anderen wird mit Hilfe der in der Normung zur Verfügung gestellten Verteilungen der Körpermaße ein wichtiger Beitrag zur Produkt- und Produktionsergonomie geleistet, da ganze Produkte (Maschinen, Anlagen) und Arbeitssysteme (Stellteile, Werkzeuge) sowie Schutzeinrichtungen (Gehäuse) und Schutzmaßnahmen (Abstandsregeln) auf die eigenen Beschäftigten abgestimmt werden können. Da sich die Weltbevölkerung und damit auch die Beschäftigten in ihren Körpermaßen und in ihrer Konstitution unterscheiden, werden die Körpermessdaten als so genannte **Perzentile** für Ethnien, Geschlechter und Altersgruppen aufbereitet, damit Konstruktionen exakt auf die gewünschte Nutzerpopulation abgestimmt werden können (Schlick et al., 2010; Abb. 2.36).

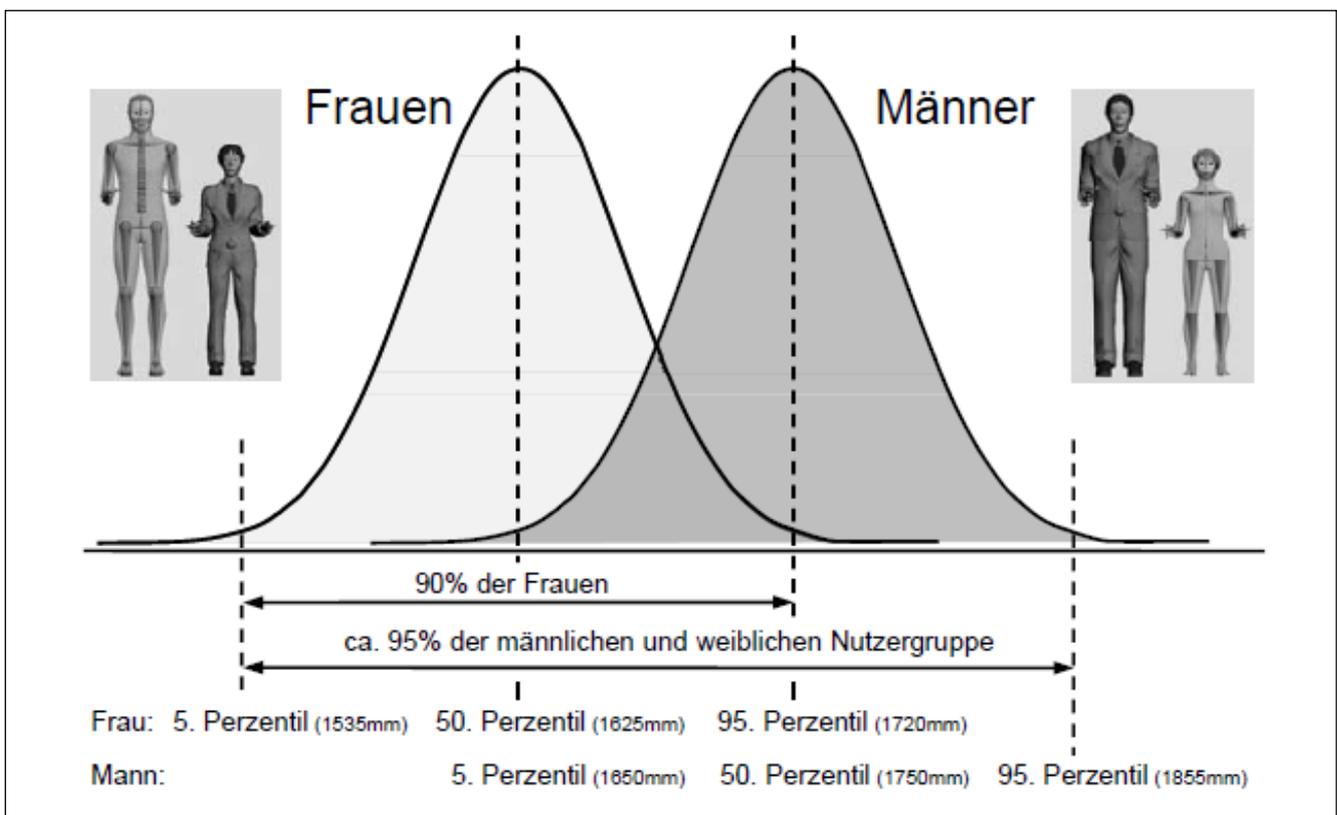


Abb. 2.36 Einteilung der Körperhöhen in Körpergrößenklassen
Quelle: Schlick et al., 2010

Dabei wachsen mit der **Globalisierung** auch die Anforderungen, eine größere Spannweite der menschlichen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Bedürfnisse bei der Gestaltung von Arbeitssystemen einzubeziehen. Immer häufiger werden in Organisationen Maschinen und Anlagen für den weltweiten Einsatz eigenständig geplant, gefertigt, verändert oder zusammengeführt.

¹⁰ griechisch ἄνθρωπος anthropos, deutsch ‚menschlich‘, und μέτρον metron, deutsch ‚Maß‘

Hierzu existiert international eine Vielzahl an Gebrauchstauglichkeitsprinzipien um Aufgabenangemessenheit, Selbsterklärungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlerrobustheit, Anpassbarkeit und Erlernbarkeit zu verbessern.

Mit derartigen Erkenntnissen (u. a. Normenreihe ISO 9241) können die Interaktionen (Handlungen) der Beschäftigten in der Mensch-Maschine-Interaktion effektiv optimiert werden. Denn es lassen sich nicht nur Fehlentscheidungen und fehlende oder falsche Verarbeitung vorhandener Informationen von Anfang an vermeiden (Johannsen, 1993). Sind Bedienelemente auf Bedienfeldern mit geeigneter Größe und Form von Tasten festgelegt (VDI/VDE 3850), erlaubt dies auch eine hohe Präzision während der Bedienung von Maschinen als Grundlage für intuitives Arbeiten (Rühmann & Schmidtke, 1978; Kirchner & Baum, 1990; DIN EN 894-3:2010).

Auch **Stellteile** können so auf genau diejenigen Bewegungsfunktionen des Körperteils abgestimmt werden, mit dem sie bedient werden sollen (DIN EN ISO 6385:2016). Für häufig benutzte Bedienelemente erfolgt eine Gestaltung innerhalb des 5. Perzentsils, um eine Bedienung in unmittelbarer Nähe der Bedienperson zu ermöglichen. So kann ein optimierter Greifbereich die Arbeitsausführung effizienter machen (DIN EN 614-1:2009) und körperliche Zwangshaltungen vermeiden (Schmidtke, 1989). Dabei zählt sich eine Anpassung an die menschliche Sehschärfe, das Farbsehvermögen und das Gesichts-, Blick- und Umblickfeld aus, wenn beispielsweise als Schlussfolgerung die wichtigen Informationen in den optimalen Bereich des Gesichts- bzw. Blickfeldes gelegt werden können (DIN EN ISO 6385:2016). Denn es liegt nahe: können die erforderlichen Informationen gut wahrgenommen werden, wird ein schnelles und fehlerfreies Ablesen von Informationen ermöglicht und eine erfolgreiche und sichere Ausführung der Arbeitsaufgaben gewährleistet.

Die Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ist nicht zuletzt auch deshalb so wertvoll, da die Zufriedenheit mit der durchzuführenden Arbeit und den Arbeitsaufgaben deutlich gesteigert werden kann und eine hohe Zufriedenheit der Beschäftigten wiederum einen elementaren Baustein für eine **langfristig gute Leistungserbringung** von den Beschäftigten in einer Organisation darstellen kann (Levchuk, 2017).

2.5 Zusammenfassung bisheriger Entwicklungen und Erkenntnisse

Als Grundlage für die Ableitung der Ziele und Fragestellungen der Arbeit werden in diesem Unterkapitel die wichtigsten Entwicklungen und Erkenntnisse zusammengefasst.

2.5.1 Terminologie

Die interdisziplinäre Thematik und Überschneidungen zum alltäglichen Sprachgebrauch führen oft zu Missverständnissen bei den verwendeten Begriffen. Nachfolgend werden daher Definitionen und Beispiele der zentralen Begriffe, Synonyme, Theorien und Modelle zusammengefasst (Tab. 2.15). Modifizierte Definitionen sind entsprechend gekennzeichnet; eigene Definitionen enthalten keine Quellangabe. Zusätzliche Begriffserklärungen zu den Methodenebenen und zum Instrument finden sich in den korrespondierenden Kapiteln.

Tab. 2.15 Zentrale Begriffe, Modelle und Theorien (1 von 5)

Begriff (<i>Synonym</i>)	Definition (Beispiele)
Ablauforganisation	Über formalisierte Regeln koordiniertes Zusammenspiel der arbeitsteilig getrennten Einheiten einer Organisation (Schuler & Moser, 2019).
Aufbauorganisation	Zeigt, welche Organisationseinheiten gebildet worden sind, wo Aufgaben und Kompetenzen verortet sind und in welchen Weisungs- und Informationsbeziehungen die Organisationseinheiten zueinander stehen (Schuler & Moser, 2019).
Akteur	Handelnder. An einem bestimmten Geschehen Beteiligter (Duden). Beispiele: Arbeitgeber, Aufsichtsperson, Betriebsarzt, Betriebsrat Führungskraft, Fachkraft für Arbeitssicherheit, Ergonomie-Prozessmanager, Gefahrstoffbeauftragter, Industrial Engineer, Inklusionsbeauftragter, Oberes Management, Meister, Personalvorstand, Sicherheitsbeauftragter, ...
Arbeitssystem <i>Arbeitsaufgabe</i> <i>Arbeitsplatz</i> <i>Arbeitstätigkeit</i> <i>Job</i>	System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems, innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen, zu erfüllen (DIN EN ISO 6385:2016). <u>Arbeitsplatz</u> : Ein Arbeitsplatz beschreibt aus rechtlicher Sicht die berufliche bezahlte Tätigkeit, wie sie z. B. im Arbeitsvertrag definiert ist. Üblicherweise setzt sich der Arbeitsplatz eines Beschäftigten aus mehreren unterschiedlichen Tätigkeiten und Teil-Tätigkeiten zusammen (BAuA, 2019). <u>Tätigkeit</u> : Zeitlich und organisatorisch voneinander abgrenzbarer Teil eines Arbeitsplatzes (BAuA, 2019). Gliederung (Formen): Haupttätigkeit, Nebentätigkeit, Zusatztätigkeit (REFA-Lexikon). <u>Teil-Tätigkeit / Vorgang / Belastungsabschnitt</u> : Zeitverlauf hinreichender Dauer innerhalb einer Tätigkeit mit erheblich unterschiedlicher Anforderungs- und Belastungssituation (BAuA, 2019).

Tab. 2.15 Zentrale Begriffe, Modelle und Theorien (2 von 5)

Begriff (<i>Synonym</i>)	Definition (Beispiele)
Beanspruchung	Veränderung des Organismus, die durch Belastung hervorgerufen wird (Valentin et al., 1971).
Arbeitsbeanspruchung	innere Reaktion eines Arbeitenden auf die Arbeitsbelastung, abhängig von deren individuellen Eigenschaften (z. B. Körpergröße, Alter, Fähigkeiten, Begabungen, Fertigkeiten usw.) (DIN EN ISO 6385:2016).
Beanspruchungswirkung <i>Indikator</i>	<p>Der Fokus im Rahmen der Dissertation liegt vor allem auf den negativen (adversen) Gesundheitseffekten.</p> <p>Gemeint sind insbesondere über Funktionsschwächungen hinausgehender Funktionsverlust; chronische Minderung der Funktionstüchtigkeit; Schädigungen der körperlichen Funktionsfähigkeit, pathologische Persönlichkeitsveränderungen (Schönpflug, 1987).</p> <p>Gliederung (nach Zeithorizont):</p> <p>Kurzfristig: Aggression, Pulsfrequenz, Unfähigkeit, Reize zu verarbeiten, Verzweiflung, Schweißabgabe etc.</p> <p>Langfristig: Bandscheibenvorfall, Karpaltunnelsyndrom, Lärmschwerhörigkeit, Posttraumatische Belastungsstörung, Schlafstörung, etc.</p>
Überbeanspruchung <i>Dysfunktionale B. Fehlbearbeitung</i>	Aufbringen aller Kräfte und Fähigkeiten ohne Gewähr für den erfolgreichen Abschluss einer Tätigkeit (Schönpflug, 1987).
Belästigung	Beeinträchtigung des subjektiven Wohlbefindens (Schönpflug, 1987).
Belastung	<p>Jede Einflussgröße, die am menschlichen Organismus eine Wirkung hervorrufen kann (Valentin et al., 1971).</p> <p>Zusammenfassung von aufgaben- und situationsspezifischen Teilbelastungen (REFA, 1993).</p>
Arbeitsbelastung	Gesamtheit der äußeren Bedingungen und Anforderungen im Arbeitssystem, die auf den physiologischen und / oder psychologischen Zustand einer Person einwirken (DIN EN ISO 6385:2004).
Belastungsart <i>Belastungen Item Tätigkeitsmerkmal Anforderungstyp</i>	<p>Bestimmte Einflussgröße, die am menschlichen Organismus eine Wirkung hervorrufen kann (modifiziert nach Valentin et al., 1971).</p> <p>Beispiele: Manuelles Ziehen und Schieben von Lasten, Beleuchtung, Zykluszeit.</p>
Belastungsaspekt <i>Belastungsfaktor Leitmerkmal Teilbelastung Kriterium</i>	<p>Expositionsdauer und Aspekte, die die Belastungsintensität und damit die Belastungshöhe bestimmen.</p> <p>Die Aspekte der Belastungsintensität können nach Wirkungsstärke gegliedert werden: Hauptbelastungen, generelle Bedingungen, belastungsartsspezifische Bedingungen (BAuA, 2019)</p> <p>Beispiele: Lastgewicht, Vertretungsmöglichkeiten, Luftfeuchte, Schallfrequenz, Einatemwiderstand.</p>

Tab. 2.15 Zentrale Begriffe, Modelle und Theorien (3 von 5)

Begriff (<i>Synonym</i>)	Definition (Beispiele)
Belastungs- schwerpunkt	<p>Je nach Betrachtungsebene ist eine Belastungsart oder eine Organisationseinheit mit hohem Risiko gemeint.</p> <p>Belastungsschwerpunkt eines Arbeitssystems: Belastungsart mit hohem Risiko.</p> <p>Belastungsschwerpunkt einer Organisation: Organisationseinheit mit mehreren Arbeitssystemen mit hohem Risiko.</p>
Belastungsgruppe	<p>Nach ähnlicher Art der Belastung und/oder ähnlicher Art der Beanspruchung gruppierte Belastungsarten.</p> <p>Beispiele: Physische Belastungen, Psychische Belastungen, Arbeitsumgebungsbedingungen.</p>
Belastungshöhe <i>Risiko / Risikoscore</i>	<p>Die Belastungshöhe ergibt sich aus der Belastungsintensität und Belastungsdauer.</p>
Beschäftigte <i>Arbeitnehmer*in</i> <i>Arbeitende</i> <i>Mitarbeiter*in</i> <i>Operator</i> <i>Versicherte</i> <i>Werker</i>	<p>Personen, deren Leben und Gesundheit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes geschützt werden sollen.</p> <p>Beispiele: Arbeitnehmer/in (Privatwirtschaft, öffentlicher Dienst), Auszubildende, arbeitnehmerähnliche Personen, Beamte, Richter, Soldaten, die in Werkstätten für behinderte Menschen Beschäftigten etc.</p> <p>Der Betrachtungsfokus im Rahmen der Dissertation bezieht sich auf alle Beschäftigten, die von Prävention profitieren können wie Beschäftigte in der Fertigung, Instandhaltung, Logistik und Produktion, Fachkräfte aller Branchen, Berufskraftfahrer, Meister, Monteure, Pflegepersonal, Springer u.v.a.m.</p>
Beschwerden	<p>Schmerzen unterschiedlicher Körperregionen, Störungen von Organfunktionen einschließlich vegetativer Beschwerden, Störungen der allgemeinen Befindlichkeit (AWMF, 2020)</p> <p>Schmerzen, reversible (gering ausgeprägte) Funktionsstörungen ohne morphologische Manifestation (Harmonisiertes Risikokonzept des mehrstufigen Leitmerkmalmethodeninventars).</p> <p>Beispiele: Erschöpfung, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Rückenschmerzen, Schwindel.</p>
Erkrankung <i>Krankheit</i> <i>Adverser</i> <i>Gesundheitseffekt</i>	<p>Fehlen von Gesundheit. Vorhandensein von subjektiv empfundenen und/oder objektiv feststellbaren körperlichen, geistigen und/oder seelischen Veränderungen/Störungen, die vorübergehend oder dauerhaft sein können und im Extremfall zum Tod führen (Brockhaus).</p> <p>Sozialversicherungsrecht: Vorhandensein von Störungen, die Behandlung erfordern und Arbeitsunfähigkeit zur Folge haben.</p> <p>Berufskrankheit: In der Berufskrankheitenverordnung festgelegte anzuzeigende und entschädigungspflichtige Krankheit.</p> <p>Hier: stärker ausgeprägte Funktionsstörungen, Strukturschäden mit Krankheitswert, chronischen Erkrankungen (Harmonisiertes Risikokonzept des mehrstufigen Leitmerkmalmethodeninventars).</p> <p>Gliederung: Gefäß-/Tumor-/Stoffwechselkrankheiten; Regionen: Schulter/Knie; Spezifische Diagnosen: Gonarthrose, Epicondylitis.</p>

Tab. 2.15 Zentrale Begriffe, Modelle und Theorien (4 von 5)

Begriff (<i>Synonym</i>)	Definition (Beispiele)
Ermüdung	<p>Zustand, in welchem eine vorher ohne Schwierigkeit geleistete Arbeit mit immer größerem Gefühl von Anstrengung und mit immer geringerem Erfolg durchgeführt wird (Durig, 1927).</p> <p>Organbezogenes Ermüdungsmodell: Eine als Folge von Tätigkeit auftretende reversible Herabsetzung der Funktionsfähigkeit eines Organs oder Organismus (Lehmann, 1954).</p> <p>Beanspruchungsbezogenes Ermüdungsmodell: Veränderung der Beanspruchung, die durch die vorübergehende Verschlechterung von Eigenschaften infolge von Belastung bedingt ist (Laurig, 1981).</p> <p>Arbeitsermüdung = Gesamtermüdung – Biologische Ermüdung</p>
Gefährdung	<p>Möglichkeit eines Gesundheitsschadens oder einer gesundheitlichen Beeinträchtigung ohne bestimmte Anforderungen an deren Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit (BT-Drucksache 13/3540).</p>
Gefahr	<p>Sachlage, die bei ungehindertem Ablauf des zu erwartenden Geschehens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Gesundheitsschaden oder einer gesundheitlichen Beeinträchtigung führt (BT-Drucksache 13/3540).</p>
Methodenebene	<p>Hier: Detaillierungsgrad der Analyse der Beurteilung der Arbeitsbedingungen / Optimierung.</p> <p>Beispiele: Basis-Check, Einstiegsscreening, Spezielles Screening, Expertenscreening, Feldmessung, Labormessung</p>
Organisation	<p>Person oder Personengruppe, die eigene Funktionen mit Verantwortlichkeiten, Befugnissen und Beziehungen hat, um ihre Ziele zu erreichen (DIN EN ISO 45001:2018).</p> <p>Beispiele: Einzelunternehmer, Gesellschaft, Konzern, Firma, Unternehmen, Behörde, Handelsgesellschaft, Wohltätigkeitsorganisation, Institution (DIN EN ISO 45001:2018).</p>
Organisationseinheit	<p>Teil einer Organisation, zusammengefasst durch artverwandte (Teil-)Aufgaben und Tätigkeiten. Die betrieblichen Geschäftseinheiten können unterschiedlichste Größe und Kompetenz in Bezug auf Direktionsbereich aufweisen (vgl. REFA).</p> <p>Anmerkung: Die Gliederung ist in mehreren Ebenen und nach verschiedenen Kriterien möglich.</p> <p>Beispiele: Werkhalle, Abteilung, Kostenstelle</p>
Optimierung <i>Modernisierung</i>	<p>Prozess zur Verbesserung von Arbeitsbedingungen, Compliance, Effizienz, Fehlerhäufigkeit, Gesundheit, Qualität, Sicherheit, Störungsfreiheit etc.</p> <p><u>Systematisches Vorgehen</u> durch Ermittlung (Analyse), Bewertung Beurteilung, Maßnahmen (Definitionen siehe Teilkapitel 2.4.3.)</p> <p><u>Vorgehen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad</u> (Methodenebenen ebenfalls siehe 2.4.3).</p> <p><u>Für nachhaltiges Wachstum interdisziplinär gebündelt und flexibilisiert im Instrument</u> (Definitionen siehe Unterkapitel 4.1).</p>

Tab. 2.15 Zentrale Begriffe, Modelle und Theorien (5 von 5)

Begriff (<i>Synonym</i>)	Definition (Beispiele)
Risiko	<p>Produkt bzw. Funktion von Ausmaß des möglichen Schadens und Eintrittswahrscheinlichkeit (BT-Drucksache 13/3540).</p> <p>Erwartete Art, erwarteter Schweregrad und erwartete Häufigkeit eines Gesundheitsschadens bei einer gegebenen Belastungssituation (AGS, 1998).</p> <p>Zusammensetzung aus dem Schadensausmaß und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts dieses Schadens (SUVA, 2001).</p>
Akzeptanzbereich <i>Akzeptanzrisiko</i> <i>Akzeptiertes Restrisiko</i> <i>Gesundheitsbereich</i> <i>Grünbereich</i> <i>Sicherheit</i> <i>Sicherheitsbereich</i> <i>Vorsorgebereich</i>	<p>Geringfügiges Risiko als Teil des allgemeinen Lebens- und Arbeitsrisikos (Renn, 2010).</p> <p><u>Akzeptanzschwelle (Besorgnisschwelle)</u>: Schwelle zwischen Akzeptanzbereich und Besorgnisbereich (Kalberlah et al., 2005).</p> <p>Teilweise schwer festzulegen und unter bestimmten Nebenbedingungen unterschiedlich. Sofern kein Konsens der Akteure im Arbeitsschutz, kommt es auf die gesellschaftliche Akzeptanz bezüglich der betrachteten Risiken (Gefährdungsarten) an (Kalberlah et al., 2005).</p> <p><u>Akzeptanzrisiko</u>: Beispiel bei krebserzeugenden Gefahrstoffen: 4:10.000/100.000; d. h. 4 zusätzliche Erkrankungsfälle pro 10.000/100.000 Beschäftigte in 40 Berufsjahren.</p>
Toleranzbereich <i>Besorgnisbereich</i> <i>Dauerleistungsgrenze</i> <i>Gefahrenschwelle</i> <i>Gelbbereich</i> <i>Grenzbereich</i> <i>Grenzkategorie</i> <i>Toleranzrisiko</i>	<p>Umfasst Risiken, die nicht akzeptabel sind und durch geeignete Maßnahmen weiter minimiert werden müssen. In Verbindung mit risikomindernden Maßnahmen, deren Ziel letztlich das Erreichen des Akzeptanzbereichs ist, werden die Belastungen aber noch toleriert (Pieper, 2018).</p> <p><u>Toleranzschwelle (Gefahrenschwelle)</u>: Übergang zu einem nicht mehr hinnehmbaren Risiko (Gefahrenbereich) für schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit (Kalberlah et al., 2005).</p> <p>Teilweise schwer festzulegen und unter bestimmten Nebenbedingungen unterschiedlich. Sofern kein Konsens der Akteure im Arbeitsschutz, kommt es auf die gesellschaftliche Akzeptanz bezüglich der betrachteten Risiken (Gefährdungsarten) an (Kalberlah et al., 2005).</p> <p><u>Toleranzrisiko</u> Beispiel bei krebserzeugenden Gefahrstoffen: 4:1.000; d. h. 4 zusätzliche Erkrankungsfälle pro 1.000 Beschäftigte über eine Expositionszeit von 40 Berufsjahren.</p>
Gefahrenbereich <i>Gefahrbereich</i> <i>Rotbereich</i>	<p>Nicht mehr hinnehmbares Risiko für schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit (Kalberlah et al., 2005).</p>

2.5.2 Dynamik der Arbeitswelt

Auch die aktuelle Lage in der Arbeitswelt ist von einer Reihe positiver, aber von auch vielen herausfordernden Entwicklungen geprägt (Klußmann et al., 2013). Von der Globalisierung, Flexibilisierung und Digitalisierung werden Organisationen und Beschäftigte profitieren können. Eine immer stärkere globale Konkurrenzsituation, die davon ausgehenden Anforderungen an die Wettbewerbsfähigkeit bei weiter steigender Produktkomplexität stellen Organisationen aber auch vor neue Herausforderungen (Klußmann et al., 2013). Digitalisierung und Vernetzung dringen immer tiefer in die Arbeitswelt vor und beschleunigen die Transformation. Kollaborierende Arbeitsmittel, Assistenzsysteme und automatisierte Produkte verändern die industriellen Fertigungsprozesse. Weltweit wird unter den Stichworten wie Smart Factory, Smart Manufacturing und Arbeit 4.0 viel über die davon ausgehenden Vor- und Nachteile diskutiert. Die Arbeitsmarktdaten zeigen, dass Automatisierung und Digitalisierung bisher keinen großflächigen Arbeitsplatzverlust zur Folge haben. Dem Wegfallen traditioneller Bereiche stehen neu geschaffene Arbeitsplätze an anderer Stelle gegenüber. Dabei bleibt (glücklicherweise) selbst in Deutschland die Anzahl der industriellen Arbeitsplätze weiter auf einem hohen Niveau (Klußmann et al., 2013).

Und natürlich macht auch weltweit manuelle Arbeit über alle typischen Wirtschaftszweige von der Automobilindustrie über Logistik, Maschinenbau und Pflege bis hin zur Arbeit auf Baustellen und in der Instandhaltung weiterhin einen bedeutenden Anteil der auszuführenden Tätigkeiten aus. Die unzähligen nicht oder noch weit von einer wirtschaftlichen Vollautomatisierung entfernten industriellen Anwendungsszenarien wie beispielsweise auch Kleinserien und Produkte mit hohem Flexibilitätsbedarf sprechen gegen eine kurzfristige Trendumkehr, wie sie die vielen Transformationsbeiträge suggerieren. Auch wartungsintensive Technologien und komplexe ortsveränderliche Tätigkeiten führen dazu, dass auch zukünftig ein **hoher Anteil** der Beschäftigten **manuelle Arbeit** im klassischen Sinn ausführen wird. Es ist davon auszugehen, dass auch in den Fabriken der Zukunft die Beschäftigten die Kontrolle über den Gesamtprozess behalten werden (Vogel-Heuser et al., 2017; Unterkapitel 2.2).

2.5.3 Demografie und Fachkräftemangel

Zeitparallel mit der Arbeitswelt verändert sich auch der Arbeitsmarkt (Statistisches Bundesamt, 2019). Bereits heute weitet sich der Fachkräftemangel aus. Demografische Problemstellungen zeigen sich in vielen hoch entwickelten Industrieländern immer deutlicher. Hier werden die Gesamtbevölkerung und mit ihr die Erwerbsbevölkerung kleiner und älter (Statistisches Bundesamt, 2019). Damit sinkt das Arbeitskräfteangebot und der Anteil der älteren Beschäftigten in den Organisationen steigt. Japan und Deutschland belegen hierbei die letzten Plätze. Die Risiken einer nachlassenden Wettbewerbsfähigkeit von Organisationen und der gesamten Volkswirtschaft werden die zukünftige Arbeitswelt in vielen Regionen der Welt vor große Herausforderungen stellen. Regional muss von einem größeren Wettbewerb der Organisationen um die noch verbleibenden Fachkräfte ausgegangen werden (Schütt, 2010). Eine immer älter werdende Belegschaft stellt deutlich erhöhte Anforderungen an die Prävention der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten. Allein die Ausfallzeiten und laufende Kosten durch Lohnfortzahlung aufgrund von **Muskel-Skelett-Erkrankungen** steigen bereits jetzt teils drastisch an (BMAS, 2019; vgl. auch Teilkapitel 2.3.2. und 2.3.3.).

2.5.4 Neue Herausforderungen

Organisationen werden mit den Megatrends wie Diversität, Globalisierung und Migration konfrontiert und sollten sich auf den voranschreitenden gesamtgesellschaftlichen Wertewandel und vor allem auch auf ein **steigendes Gesundheitsbewusstsein** der Beschäftigten einstellen (Zukunftsinstitut, 2018). Ihnen stehen neue Kommunikationswege und Plattformen zur Verfügung, um ihre Erfahrungen mit der Organisation mit der gesamten Welt zu teilen. Meinungen und Bewertungen werden im Internet ausgetauscht und sind „24/7“ abrufbar. Bereits bei der Anfahrt zu einem Bewerbungsgespräch kann in den Rezensionen von Google Maps eingesehen werden, wie Beschäftigte über ihre Organisation urteilen. Marketingaktionen mit vermeintlich optimalen Arbeitsbedingungen an gestellten Arbeitsplätzen können immer einfacher entlarvt werden. Steigende Transparenz macht einen **fairen Umgang** immer wichtiger – auch um Imageverlust vorzubeugen.

Aber selbst Organisationen mit effektiver Sicherheits- und Gesundheitskultur stehen vor neuen Herausforderungen. Interne Prozesse müssen auf neue Formen der Wissensaneignung und lebenslanges Lernen, den **Ausbau der Methodenkompetenz** und die Nutzung von Schwarmintelligenz umgestellt werden. Auch durch strategische Zukäufe agieren immer mehr Organisationen global und heterogen. Die Anzahl der Stakeholder und einzuhaltenden Vorgaben nehmen weiter zu (Schliephacke, 2008). Insgesamt werden die Einhaltung aller Vorgaben und auch die Kommunikation, das einheitliche Leben und die Kontrolle der eigenen Führungsgrundsätze und Leitlinien immer schwieriger. Zudem ist die Beurteilung der Arbeitsbedingungen in Deutschland auch nach über zwanzig Jahren gesetzlicher Verankerung im Arbeitsschutzgesetz in Durchführung und Qualität bisher teils nicht oder nur mit großen Abstrichen umgesetzt. Es ergibt sich oft eine immer größere Diskrepanz zum wachsenden Stellenwert von Compliance (Schliephacke, 2008) und dem tatsächlichen Umsetzungsstand der Arbeitsbedingungen in den sich neuformierenden Organisationen, die zum Schließen großer Lücken in der Arbeitsgestaltung auf praxismethoden und Verfahren – am besten effektiv gebündelt in einem Instrument - angewiesen sind (vgl. auch Teilkapitel 2.1.3.f.).

2.5.5 Komplexes Belastungsgeschehen

Die Dynamik in der Arbeitswelt beeinflusst die Anforderungs-, Gefährdungs- und Arbeitsbelastungssituationen sowie die betrieblichen Aufbau- und Ablaufstrukturen im Arbeits- und Gesundheitsschutz (Lang & Pieper, 2018). Neben den Chancen, die der Wandel im Hinblick auf die Flexibilisierung, Vereinfachung und Effizienzsteigerung der Arbeits- und Produktionsprozesse bietet, entstehen auch neue Risiken für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten. Neben der physischen Belastung nimmt die **psychische Belastung** zu (BMAS, 2019). Nützlichen Innovationen steht eine immer kürzere Zeitspanne gegenüber, in der die Beschäftigten sich auf die Veränderungen einstellen können und reagieren müssen. In vielen Lebens- und Arbeitsbereichen ist mittlerweile eine schnellere Technikänderung möglich, als Anpassungszeit zur Verfügung steht. Als neue Problemstellungen ergeben sich Veränderungen der Arbeitsverhältnisse (Erosion von Normalarbeit, diskontinuierliche Beschäftigung) sowie der Arbeitszeiten durch Ablösung bisheriger betrieblicher und gesellschaftlicher Zeitmuster durch individuelle Zeitsouveränität. Veränderungen betreffen auch Arbeitsorte und Arbeitsprozesse durch stark individualisierte örtliche Arbeit und deren Organisation in Form von Home Office, Desk Sharing und fluiden Teams.

Verringerte Motivation, erhöhte Fehlerraten, schlechtere Arbeitsleistung und ansteigender Arbeitsausfall können die Folge sein und erfordern ebenfalls eine **professionelle Optimierung** der Arbeitsbedingungen. All diese neuen Herausforderungen treffen auf immer wiederkehrende und teils ganz banale Problemstellungen der Prävention, die schon seit den Anfängen der Massenproduktion existieren (Klußmann et al., 2013). Wichtig wird es daher sein, die Kernprobleme nicht aus den Augen zu verlieren und zeitparallel Lösungen für die neuen Herausforderungen zu entwickeln.

Die längerfristigen Verlaufsauswertungen der meldepflichtigen und tödlichen Unfälle in Deutschland zeigen, dass ein relativ hohes Schutzniveau zwar gehalten werden kann, aber weitere Erfolge sich schwer realisieren lassen (BMAS, 2019). In Staaten mit hohem Schutzniveau wird es darauf ankommen, an Innovationen für weitere Erfolge zu forschen. Der globale Vergleich der (bekannten) Zahlen der schweren und tödlichen Arbeitsunfälle zeigt, wie wichtig eine weltweite Intensivierung der Strategie Vision Zero in Zukunft sein wird. Die Implementierung arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Fachwissens steht in vielen Weltregionen erst noch ganz am Anfang. Der Mangel an menschenwürdiger Arbeit ist in vielen Regionen der Welt noch immer ein Faktor für sozialen Unfrieden und Migrationsbereitschaft. Die Ursachen für schwere und tödliche Unfälle sind häufig Stolpern, Rutschen und Stürzen, der unterlassene, unsachgemäße und unbefugte Gebrauch von Arbeitsmitteln, falsches Lagern, Heben und Tragen sowie eine falsche Bedienung von Werkzeugen und Maschinen. Demgegenüber stehen die mittel- und langfristig wirkenden Gesundheitsprobleme in den weiterentwickelten Industriestaaten. Viele industrielle Fertigungs- und Montagebereiche haben bereits heute 2-stellige Arbeitsunfähigkeitsquoten. Das heißt, hier fehlt mittlerweile mehr als einer von zehn Beschäftigten permanent. Das zeigt auch die **vielschichtige Problemlage für global agierende Organisationen und heterogene Konzerne**.

2.5.6 Potenziale optimierter Arbeitsgestaltung

Schlechte Arbeitsbedingungen beeinträchtigen Sicherheit und Gesundheit (Kahl, 2019). Unnötige Bewegungen (Suchen von Bauteilen, Material, Stellteilen und Informationen) häufen sich (Laurig, 1990). Fertigungsabläufe werden beeinträchtigt, verzögert und längerfristig unterbrochen. Abwesenheit aufgrund von Beschwerden, Erkrankungen und Unfällen nimmt zu. Verschwendungen und Zeitverlust, Personalengpässe und Zusatzaufwände für die Einstellung und Einarbeitung von Ersatzpersonal sind die Folge. Die Optimierung der Arbeitsgestaltung wirkt sich daher positiv auf die Produkt- und Prozessqualität aus. Mit schädigungslosen, ausführbaren, erträglichen und beeinträchtigungsfreien sowie sozialverträglichen und persönlichkeitsförderlichen Arbeitsbedingungen lassen sich nachhaltig wettbewerbsfähige Waren und Dienstleistungen erbringen. Etwa 15 Millionen Beschäftigte sind allein in Deutschland direkt oder indirekt in der produzierenden Wirtschaft tätig (Latniak, 2019). Das Optimierungspotenzial ist groß. Eines von vielen Beispielen ist die Optimierung der Informationsdarstellung. Die visuelle Leistungsfähigkeit lässt mit dem Alter nach (Saup, 1993). Erfolgt eine Auslegung nach den Fähigkeiten älterer Beschäftigtengruppen, reagieren Organisationen aktiv auf den demografischen Wandel und kommt dies auch den jüngeren Beschäftigten, die noch mehrere Berufsjahrzehnte vor sich haben, zu Gute. Neben einer systematischen Vorgehensweise werden **Bewertungsmodelle für verschiedene Beschäftigtengruppen** für eine optimale Arbeitsgestaltung immer wichtiger (Feller, 2019).

2.5.7 Weiterentwicklungsbedarf und Evaluierung des Instruments

Nur ganz wenige der im Programm zur Humanisierung des Arbeitslebens oder in ähnlichen Förderprogrammen entwickelten ganzheitlichen, arbeitswissenschaftlichen Verfahren fanden selbständige Anwendung in der Arbeitswelt oder gar globale Verbreitung (Klußmann et al., 2013), wie es beispielsweise in unterschiedlicher Ausprägung beim arbeitswissenschaftlichen Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET; Landau, 1979), bei den Anforderungs- und Belastbarkeitsanalysen ABATech und ABAMed (Mohrlong, 2012) und beim Verfahren zur Integration von Menschen mit Behinderungen in die Arbeitswelt (IMBA; IMBA-Team, 2020) zumindest der Fall schien. Einerseits waren viele Verfahren wohl in keiner Entwicklungsstufe praktikabel und von Organisationen international und flexibel anwendbar, andererseits war die Nachfrage der Organisationen beginnend mit dem deutschen Vereinigungsprozess und ansteigenden Arbeitslosigkeitszahlen über einen Zeitraum von mindestens zwei Dekaden nur äußerst gering ausgeprägt. Dies hatte zur Folge, dass die Verbreitung, Aktualisierung und Weiterentwicklung praxisrelevanter Verfahren zwischenzeitlich bis auf ganz wenige Ausnahmen eingestellt worden sind. Ein über diesen langen Zeitraum äußerst geringer, gesellschaftlicher und betrieblicher Nachfrage gleichwohl aktuell gehaltenes und weiterentwickeltes, arbeitswissenschaftliches Verfahren ist das Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB), das im Laufe der Jahre umfangreich zum ganzheitlichen und gleichermaßen **arbeitswissenschaftlich und arbeitswirtschaftlich** einsetzbaren BDS-Instrument weiterentwickelt worden ist.

Mit dem Review zur wissenschaftlichen Entwicklungshistorie des Instruments ließ sich die Arbeitsweise des Instruments gut darstellen. Im Kern wird das Fachwissen mehrerer Wissenschaftsdisziplinen (von Anthropometrie bis Sicherheitswissenschaft) zur Optimierung von Produkten und Arbeitsbedingungen auf dem wissenschaftlichen Fundament der Bewertungskonzepte zur menschengerechten Arbeitsgestaltung vernetzt. Um die Anwendungen des Instruments zur Verfügung zu stellen, wurden wissenschaftliche Grundlagen seit den 1970er Jahren erforscht und die Ergebnisse anschließend für eine einfache Anwendung in der betrieblichen Praxis aufbereitet. Das Portfolio des Instruments geht bis auf das BAB-Kombinationsverfahren zurück, das im Forschungsschwerpunkt der Humanisierung des Arbeitslebens entwickelt und evaluiert wurde. Es steht ein bereits mehrfach ausgezeichnetes, mehrsprachiges und auf vier Kontinenten eingesetztes ganzheitliches arbeitswirtschaftliches und arbeitswissenschaftliches Instrument zur Verfügung. Aber es lassen sich aus dem Review zur Dynamik der Arbeitswelt weitere nützliche Aspekte zur Weiterentwicklung, Erprobung und Evaluierung des Instruments im Rahmen der Dissertation und auch darüber hinaus ableiten. **Weiterentwicklungsbedarf** resultiert aus einer stärkeren Nachfrage nach systematischer und international aufgestellter Optimierung, den immer vielfältigeren Praxiseinsatz (Kleinstunternehmen bis Konzern; alle Wirtschaftssektoren, regional-begrenzter bis inter-kontinentaler Einsatz), einer immer schnelleren Dynamik der Arbeitswelt, neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen und immer schneller wechselnden Fokusthemen der Fachszene. Evaluierungen sind bereits mehrfach erfolgt. **Evaluierungen** bieten sich jedoch generell an, da in der Regel aus jeder Überprüfung nützliche Erkenntnisse gezogen werden können. Mit immer größeren Datensätzen und neuen Auswertungsmöglichkeiten kann das Gesamtbild weiter vervollständigt werden.

2.6 Konkretisierung der Fragestellungen für diese Arbeit

Aus der Zusammenfassung der bisherigen Entwicklungen und Erkenntnisse (Dynamik der Arbeitswelt; Wissenschaftliche Entwicklungshistorie des Instruments) werden nun die Ziele und Fragestellungen für diese Arbeit abgeleitet. Die Ableitung erfolgt separat für die Weiterentwicklung (Teilkapitel 2.6.1) und die Evaluierung (Teilkapitel 2.6.2) des Instruments. Hieraus wird dann das Vorgehen für diese Arbeit abgeleitet (Teilkapitel 2.6.3.).

2.6.1 Weiterentwicklung, Erprobung, Implementierung

Übergeordnetes Weiterentwicklungsziel ist es, die bewährten Grundsätze des Instruments wie Ganzheitlichkeit, verfahrensökonomische Anwendung und Einsatzfähigkeit für alle Typen menschlicher Arbeit beizubehalten. Auch die Weiterentwicklungen sollen eine hohe Praxistauglichkeit aufweisen und nach methodischer Qualifikation auch eigenständig in den Organisationen von Akteuren verschiedener Fachabteilungen einfach angewendet werden können.

Aus der Dynamik der Arbeitswelt, den Prognosen der sich abzeichnenden Megatrends, dem Unfall- und Krankheitsgeschehen sowie den Entwicklung der rechtlichen Vorgaben lässt sich eine Reihe an interessanten **Fachthemen** für die Weiterentwicklung ableiten. Hierzu zählen unter anderem die arbeitsmedizinische Vorsorge, Arbeitsunfallgefährdungen, Belastungs- und Erschwerniszulagen, Inklusion, Mutterschutzgefährdungen, Unterstützung der betrieblichen Prozesse der Gestaltung und Optimierung und Psychische Arbeitsbelastungen.

Ein Mehrwert für die Praxisanwendung ergibt sich, wenn die Fachthemen nicht „nur“ in Form von theoretischen Konzepten, sondern auch in Form von anwendbaren Bewertungsmodellen, Praxishilfen, Methoden und Verfahren konzipiert und realisiert werden. Ziel ist es, die anzugehenden Weiterentwicklungen zu einem **erweiterten Gesamtansatz** der Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsbedingungen aufeinander abzustimmen. Damit soll der verfahrensmodulare Aufbau des Instruments ausgebaut und die Nutzung flexibler Methoden- und Verfahrensebenen mit flexiblem Detaillierungsgrad ermöglicht werden.

Organisationen, Werkstandorte und Abteilungen mit hohem Standard an interdisziplinärer Arbeitsgestaltung, das heißt mit hoher Anlagenverfügbarkeit, keinen schweren Unfällen, kaum krankheitsbedingten Ausfall, keinen auffälligen Muskel-Skelett-Beschwerden, sehr geringen Fehlerraten etc. sollen von den Weiterentwicklungen genauso profitieren können wie Organisationen, die bisher noch am Anfang der Optimierung ihrer Arbeitsbedingungen stehen. Aus den neuen Methoden, Verfahren und Reporting soll in der Praxis ein unmittelbarer Sofortnutzen gezogen werden können. Das heißt die Maßnahmenorientierung (Wo fangen wir aufgrund unseres individuellen Status quo am besten an? Wo können wir die größten Effekte erzielen? Etc.) steht neben der langfristigen Verfolgung individueller Organisationsstrategien im Fokus. Schließlich müssen alle Aspekte der Weiterentwicklung in das Rechte- und Rollenkonzept des Instruments eingebunden werden können.

Neue Produktionstechnologien wie kollaborierende Roboter entwickeln sich immer weiter. Klassische und neuartige Arbeitssysteme sind in immer mehr Organisationen parallel „im Einsatz“. Die **praktische Erprobung** des Instruments bietet sich daher an neuartigen („4.0“; „smarten“) Arbeitssystemen an, die auch bereits in der Serienfertigung integriert sind.

So soll geprüft werden, inwieweit beide Arbeitssystemvarianten mit dem Instrument analysiert, beurteilt und optimiert werden können. Diese Form der Erprobung ist auch für den Forschungseinsatz des BDS-Instruments von Bedeutung. Eine **erweiterte Implementierungsstrategie** soll Organisationen Strategien und praktische Beispiele aufzeigen, mit denen sie das Instrument in ihre Prozesse einbinden und die Themen fachübergreifend leben können (Tab. 2.16).

Tab. 2.16 Kernaspekte der Ausgangslage und Schlussfolgerungen für diese Arbeit

Kernaspekte der Ausgangslage	Schlussfolgerung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erkrankungsgeschehen, Fachkräftemangel, Altersentwicklung erhöhen Stellenwert schädigungsloser, ausführbarer, erträglicher, beeinträchtigungsfreier, sozialverträglicher und persönlichkeitsförderlicher Arbeitsbedingungen. ▪ Schlechte Arbeitsbedingungen steigern Ausfallkosten, Arbeitsunfähigkeitszeiten, Fluktuation, Fehlerraten, Demotivation, ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bereitstellung neuer Verfahren für Praxis (Anwendungen zur Organisationsoptimierung). ▪ Neue Auswertungen, Kennzahlen, Interpretationsmöglichkeiten ▪ Stärkere Prozessverknüpfung mit arbeitsmedizinischer Vorsorge ▪ Wie können Organisationen auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten das volle Potenzial des Instruments ausschöpfen?
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Globalisierung steigert Wettbewerbsdruck ▪ Weitere Verbesserung der Produktqualität wird noch wichtiger. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausbau der Lösungen zur Verringerung von Produktfehlerhäufigkeiten ▪ Neue Möglichkeiten zur Identifizierung unergonomischer Fertigungsprozesse
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausgangsniveau in den Organisationen und Regionen (Werkstandorten) variieren immer stärker ▪ Fokusthemen variieren immer stärker ▪ Projektlaufzeiten verringern sich und Anwender*innen müssen daher immer schneller Beurteilungsergebnisse liefern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwicklung aufeinander abgestimmter Verfahren zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsbedingungen ▪ Ausbau des modularen Aufbaus ▪ Ausbau der flexiblen Verfahrenstiefe ▪ Neue Hilfestellungen für die Integration in die betrieblichen Prozesse
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neuartige Technologien (Cobots etc.) werden immer schneller eingeführt; klassische und neue Arbeitssysteme fertigen zeitparallel ▪ Arbeitsbelastungen und / oder Lebensarbeitsdosis steigen in vielen Regionen der Welt. Beanspruchung steigt altersbedingt teils überproportional. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufzeigen, wie das Instrument für klassische und neue („4.0“, „smarte“) Arbeitssysteme angewendet werden kann ▪ Aufzeigen der Simulationsmöglichkeiten zur prospektiven Arbeitsgestaltung ▪ Ausbau der Möglichkeiten zur Prävention von Arbeitsbelastungen (physisch, psychisch, ...)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voranschreitende Regulierungsaktivitäten (EU, Deutschland, gesetzlich, untergesetzlich) ▪ Unterschiedliches Schutzniveau (Grenzwerte, ...) ▪ Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung (PSA) gewinnt an Bedeutung (Pandemie) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bereitstellung von zugeschnittenen Lösungen für neue Entwicklung (Mutterschutz: Unverantwortbare Gefährdung, ...) ▪ Erweiterung länderspezifischer Auswertungen ▪ Ausbau der Lösungen zur Beurteilung der Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

2.6.2 Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien

Die Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien des Instruments verfolgt das Ziel, deren aktuellen Stand zu ermitteln und mit den gewonnenen Erkenntnissen Weiterentwicklungen und weitere Ansätze für zukünftige Überprüfungen ableiten zu können. Das Kernverfahren des Instruments ermöglicht eine ganzheitliche Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen von Arbeitssystemen. Die Belastungs- und Gefährdungsprofile der Arbeitssysteme weisen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Outcomes bei den längerfristig in diesen Arbeitssystemen arbeitenden Beschäftigten aus (**Operationalisierung**).

Die wissenschaftlichen Gütekriterien haben daher seit dem Entwicklungsstart des Instruments und des zugrunde liegenden BAB-Kombinationsverfahrens große Bedeutung. Die Weiterentwicklungshistorie des Instruments erstreckt sich über mehrere Jahrzehnte (Unterkapitel 2.1). Der Datenbestand der Anwendungsergebnisse in Forschung und Praxis ist dabei stetig angewachsen. Möglich ist daher mittlerweile eine Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien unter Einbeziehung neuer Anwendungen und auf der Grundlage immer größerer Datensätze. Die Strukturierung wissenschaftlicher Gütekriterien wird detaillierter in der Fachliteratur der Psychologie, der klinischen Medizin und im Marketing vorgenommen (Tab. 2.17).

Tab. 2.17 Definition und Anwendung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien

Kriterium und Definition (Psychologie) (Amelang & Schmidt-Atzert, 2006)	Übertrag und <i>Überprüfungsbeispiele</i> (Diese Arbeit)
Validität (Gültigkeit): Genauigkeit, mit dem dasjenige Persönlichkeits- oder Verhaltensmerkmal gemessen wird, das gemessen werden soll.	Genauigkeit , mit der erfasst wird, was erfasst werden soll. <i>Logische Validität, Diskriminanzvalidität, Konstruktvalidität, ...</i>
Reliabilität (Zuverlässigkeit): Genauigkeit, mit der eine Merkmalsdimension erfasst wird.	Zuverlässigkeit bei wiederholender Messung bei identischen Bedingungen. <i>Intra-Rater-Reliabilität, Paralleltest, ...</i>
Objektivität (Unabhängigkeit): Unabhängigkeit der Ergebnisse von der Person des Untersuchungsleiters.	Unabhängigkeit der Ergebnisse von Anwendern. <i>Inter-Rater-Reliabilität bezüglich der Durchführung, Interpretation, ...</i>

Da sie elementaren Charakter haben, soll die Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien anhand der so genannten Hauptgütekriterien **Validität**, **Reliabilität** und **Objektivität** erfolgen (Lienert & Raatz, 1998). Das BDS-Instrument ist kein Test, bei dem ein(e) Untersuchungsleiter*in Persönlichkeitsmerkmale von Personen abfragt. Die Literatur bezieht sich jedoch häufig auf diese Konstellation. Die Art und Weise der Evaluierung der einzelnen wissenschaftlichen Gütekriterien muss daher im Vorfeld geprüft und logisch für die Anwendung im Rahmen der Dissertation übertragen werden. Mit der Evaluierung der Validität soll die Gültigkeit des Instruments überprüft werden, das heißt inwieweit erfasst wird, was erfasst werden soll. Mit der Reliabilität soll die Zuverlässigkeit des Instruments überprüft werden, das heißt inwieweit ein wiederholender Einsatz bei identischen Bedingungen zu identischen Ergebnissen führt. Mit der Objektivität soll die Unabhängigkeit des Instruments bei der Anwendung durch verschiedene Anwender*innen überprüft werden.

Hieraus kann eine Struktur zur möglichst umfangreichen Evaluierung des Instruments entwickelt werden. Es wurden jeweils mehrere Aspekte der Hauptgütekriterien identifiziert, die dazugehörigen Fragestellungen formuliert und anschließend die assoziierten **Arbeitshypothesen** aufgestellt. Zur **Evaluierung der Validität** des Instruments bietet sich nach der Literatur eine Differenzierung in Inhaltsvalidität, Diskriminanzvalidität, Nomologische Validität, Prüfung auf Freiheit von Methodenverzerrung und Kriteriumsvalidität an. Beispielsweise ist bezüglich der Kriteriumsvalidität die Fragestellung von Bedeutung, ob eine Assoziation besteht zwischen der mit dem Instrument erhobenen Höhe der jeweiligen Belastung und einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit für die Präsenz bestimmter Outcomes bei Beschäftigten, die unter den jeweiligen Arbeitsbedingungen arbeiten. Daraus wurde die Arbeitshypothese abgeleitet, dass bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche eingestuft werden, sich über die Risikokategorien hinweg ansteigend höhere Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen und ein höheres subjektives Beanspruchungsempfinden findet als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht ausgesetzt sind (Tab. 2.18).

Tab. 2.18 Fragestellungen und Arbeitshypothesen zur Evaluierung der Validität

Fragestellungen	Arbeitshypothesen
Inhaltsvalidität (Erfasst das Konstrukt den Inhalt vollständig?)	
Logische Validität Werden die richtigen Belastungs- und Gefährdungsfaktoren in der richtigen Art und Weise verwendet?	Die ganzheitliche Struktur der Belastungsarten des Instruments bildet belastungsrelevante Merkmale von Arbeitssystemen und damit eine große Bandbreite der Beanspruchung ab.
Augenscheinvalidität Lässt sich eine unmittelbare Evidenz der Passung der Inhalte des Instruments zum erfassten Konstrukt erkennen?	Bei der Belastungsart Heben, Halten und Tragen von Lasten beeinflussen jeweils das Lastgewicht, die Expositionsdauer sowie eine Kombination aus beidem die resultierende Bewertungsstufe.
Diskriminanzvalidität Ist die Messung verschiedener Konstrukte möglich?	Die nach evidenzbasierten Kriterien gezielt ausgewählten Belastungsarten ermöglichen einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen.
Nomologische Validität Können die Belastungs- und Gefährdungsfaktoren zu einem gemeinsamen Theoriegebilde zusammengefügt werden?	Nomologische Validität ist gegeben, da Zusammenhänge über die Belastungsarten und deren Beanspruchungswirkungen bekannt sind.
Freiheit von Methodenverzerrung Inwieweit erfolgt eine Verzerrung der Ergebnisse?	Methodenverzerrung wird ausgeschlossen, da hierzu Hilfestellungen und Praxiserfahrungen vorliegen.
Kriteriumsvalidität Besteht ein Zusammenhang (Assoziation) zwischen der mit dem Instrument erhobenen Höhe der jeweiligen Belastung und einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit für die Präsenz bestimmter Outcomes bei Beschäftigten, die unter den jeweiligen Arbeitsbedingungen arbeiten?	Bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche eingestuft werden, finden sich über die Risikokategorien hinweg ansteigend höhere Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen bzw. ein höheres subjektives Beanspruchungsempfinden als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht ausgesetzt sind (Referenzgruppe).

Zur **Evaluierung der Reliabilität** des Instruments bieten sich nach der Literatur die Überprüfung der Intra-Rater-Reliabilität und ein Paralleltest an. Beispielsweise kann die Zuverlässigkeit des Instruments überprüft werden, indem überprüft wird, inwieweit bei einem identischen Rater die Beurteilungsergebnisse bei Untersuchungswiederholung zu zwei verschiedenen Zeitpunkten übereinstimmen. Hieraus lässt sich die Arbeitshypothese ableiten, dass ein Forschender der Arbeitswissenschaften eine vorgegebene Tätigkeit zu zwei Zeitpunkten vergleichbar bewertet (Tab. 2.19).

Tab. 2.19 Fragestellungen und Arbeitshypothesen zur Evaluierung der Reliabilität

Fragestellungen	Arbeitshypothesen
<p>Intra-Rater-Reliabilität Inwieweit stimmen die Beurteilungsergebnisse (bei identischem Rater) bei Untersuchungswiederholung zu zwei verschiedenen Zeitpunkten überein?</p>	<p>Ein Arbeitswissenschaftler bewertet eine vorgegebene Tätigkeit zu zwei Zeitpunkten. Bei der später wiederholten Anwendung des Instruments bei der Bewertung derselben Tätigkeit sind die Bewertungsergebnisse mit den Ergebnissen der ersten Bewertung vergleichbar.</p>
<p>Paralleltest Inwieweit stimmen die Ergebnisse des Instruments mit den Ergebnissen von Humantech überein?</p>	<p>Bei der Anwendung vergleichbarer Aspekte des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens werden vergleichbare Ergebnisse erzielt.</p>

Zur **Evaluierung der Objektivität** des Instruments sieht die Literatur Untersuchungen zur Inter-Rater-Reliabilität bezüglich der Inter-Rater-Reliabilität zur Anwendung (Durchführung) des Instruments und zur Inter-Rater-Reliabilität bezüglich der Interpretation der Ergebnisse des Instruments vor. Beispielsweise kann die Unabhängigkeit des Instruments vom individuellen Urteil der Anwender*innen überprüft werden, indem getestet wird, inwieweit verschiedene betriebliche Akteure bei der Anwendung des Instruments für eine identische Tätigkeit zu vergleichbaren Ergebnissen kommen. Hieraus wird die Arbeitshypothese abgeleitet, dass wenn verschiedene betriebliche Akteure das Instrument auf eine identische Tätigkeit anwenden, sie zu vergleichbaren Ergebnissen kommen (Tab. 2.20).

Tab. 2.20 Fragestellungen und Arbeitshypothesen zur Evaluierung der Objektivität

Fragestellungen	Arbeitshypothesen
<p>Inter-Rater-Reliabilität - Durchführung Inwieweit stimmen die Beurteilungsergebnisse unterschiedlicher Anwender*innen des Instruments („Rater“) überein?</p>	<p>Wenden verschiedene betriebliche Akteure das Instrument auf eine bestimmte Tätigkeit an, so kommen sie zu vergleichbaren Ergebnissen.</p>
<p>Inter-Rater-Reliabilität Interpretation Inwieweit werden die Ergebnisse einheitlich interpretiert?</p>	<p>Das Risikokzept des Instruments ist eindeutig formuliert sowie mit Hilfe der Signalfarben des Ampelsystems erwartungskonform ausgewiesen. Damit lässt sich das Erfordernis und die Dringlichkeit von Maßnahmen nachvollziehbar ableiten.</p>

2.6.3 Abgeleitetes Vorgehen

Mit den Schlussfolgerungen in der Ausgangslage konnte der fachspezifische Bedarf der Weiterentwicklung des Instruments abgeleitet werden. Als **Schwerpunkte** wurden dabei auch die Gewährleistung eines stärker modularen Aufbaus und neue aufeinander abgestimmte Fachverfahren mit flexibler Verfahrenstiefe identifiziert. Insbesondere für die Realisierung der neuen Fach- und Prozessverfahren Arbeitsunfallgefährdungen, Belastungs- und Erschwerniszulagen, Mutterschutzgefährdungen und Psychische Arbeitsbelastungen, arbeitsmedizinische Vorsorge, Inklusion und Gestaltung/Optimierung bietet sich die Entwicklung eines standardisierten und iterativen Vorgehens an. Nach der Realisierung der Weiterentwicklungen bietet sich die Zusammenführung aller Weiterentwicklungen an, um mit einer neuen Gesamtübersicht alle bisherigen und neuen Lösungen als neues Leistungsspektrum für Praxis und Forschung darzustellen.

Daran anschließend kann an einem aktuellen Arbeitssystem geprüft werden, ob das Instrument für klassische als auch für neue („4.0“) Arbeitssysteme angewendet werden kann. Schließlich sind Ausführungen sinnvoll, wie Organisationen das volle Optimierungspotenzial bei der praktischen Anwendung ausschöpfen können (Tab. 2.21).

Tab. 2.21 Abgeleitetes Vorgehen zur Weiterentwicklung des Instruments

Weiterentwicklungsaspekt	Fachthemengebiet
Bewertungsmodelle, Bewertungsfilter, Situationsbeschreibungen	1. Belastungsart Wärmestrahlung 2. Belastungsart Beleuchtung 3. Belastungsart Persönliche Schutzausrüstung
Prozessverfahren	1. Optimierungsprozesse (Gestaltungsmaßnahmen) 2. Arbeitsmedizinische Vorsorge 3. Inklusion
Fachverfahren	1. Arbeitsunfallgefährdungen 2. Psychische Arbeitsbelastungen 3. Mutterschutzgefährdungen 4. Belastungs- und Erschwerniszulagen
Rohdatenverarbeitung Übersicht, Modularität Praxiserprobung Implementierung	1. Dashboard (Business Intelligence) 2. Zusammenführung zum BDS 10.0 3. Cobot-Arbeitssystem inkl. Rücksimulation 4. Erweitertes Implementierungskonzept

Das heißt die **Entwicklungsreihenfolge** von Fach- und Prozessverfahren und in der Regel auch der Bewertungsmodelle und Bewertungsfilter weiterer Funktionalitäten wie Reporting und Situationsbeschreibungen ist nachrangig, sofern es sich dabei jeweils um in sich geschlossene Weiterentwicklungen ohne gegenseitige Abhängigkeiten handelt. Für die Realisierung der Weiterentwicklungen im Instrument mit Verfahrensentwicklung, Adaptierung und IT-Integration wurde ein standardisiertes, iteratives Vorgehen entwickelt, das sich untergliedert in die sechs Entwicklungsschritte: 1. Systematisches Literaturreview, 2. Methoden-/Verfahrenskonzeption, 3. IT-Lastenheft-Entwicklung, 4. IT-Umsetzung-Begleitung, 5. Prototyp - Testlauf - Redesign sowie final 6. Fertigstellung zur Praxisanwendung.

Abgeleitetes Vorgehen

Zur Unterstützung der Implementierungsprozesse und Anwendung des Instruments in Organisationen wird anschließend erläutert, wie mit dem Instrument die Sicherheits- und Gesundheitskultur von Organisationen ausgebaut werden kann und wird ein neues Dashboard konzipiert. Die praktische Erprobung des Instruments erfolgt zur **Robotik** an einem Cobot-Arbeitssystem unter Einbeziehung und erweiterter Testung der Simulationsfunktionalitäten des Instruments, hier im Speziellen unter Anwendung einer Rücksimulation, das heißt mit der Aufnahme eines Zustandes in der Vergangenheit. Das sollte für die Praxis von besonderem Interesse sein, da die betrieblichen Akteure immer wieder davon berichten, erst zu spät („nachträglich“) in Umbauprozesse einbezogen zu werden.

Tab. 2.22 Übersicht zum abgeleiteten Vorgehen in dieser Dissertation

Ausgangslage	-> Weiterentwicklung	-> Evaluierung
1. Wissenschaftliche Entwicklungsgrundlagen des Instruments	1. Review	Wiss. Hauptgütekriterien:
2. Dynamik der Arbeitswelt	2. Methoden- /Verfahrenskonzeption	1. Validität
3. Beeinträchtigung des Unternehmenserfolgs	3. IT-Lastenheft – Entwicklung	Inhalt (Logisch + Augenschein), Konvergenz
4. Wissenschaftliche Grundlagen für Nachhaltiges Wachstum	4. IT-Umsetzung – Begleitung	Diskriminanz Nomologisch Methodenverzerrung (<i>Konstrukt</i>) Kriterium
5. Zusammenfassung	5. Prototyp – Testlauf – Redesign	2. Reliabilität
	6. Finalisierung für Praxis	Intra-Rater-Reliabilität Paralleltest
-> Forschungsbedarf	-> Dashboard	3. Objektivität
-> Offene Fragestellungen	-> Integration in BDS 10.0	Inter-Rater-Reliabilität zu Durchführung und Interpretation
-> Arbeitshypothesen	-> „4.0“-Praxiserprobung	
	-> Implementierung	
	-> Schlussfolgerungen	-> Schlussfolgerungen
		-> Limitation

Im Anschluss an die Weiterentwicklung des Instruments erfolgt die Evaluierung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien des Instruments. Um hypothesengeleitet vorgehen zu können, erfolgt dies anhand der wissenschaftlichen Gütekriterien von Verfahren („Tests“), die vor allem aufgrund der vielfältigen Anwendung in der Fachliteratur von Psychologie, klinischer Medizin und Marketing umfangreich beschrieben sind, teils aber auch kontrovers diskutiert werden.

Die Gütekriterien werden schrittweise getrennt voneinander untersucht. Bei einem geeigneten Validierungskonzept muss die Reihenfolge der Testung der Gütekriterien beachtet werden. Eine logische Vorgehensweise testet zuerst die Hauptgütekriterien und diese in der **Reihenfolge** ihrer Aussagekraft. Insgesamt ergibt sich damit eine aufeinander aufbauende Vorgehensweise, angefangen von der Ausgangslage über die Weiterentwicklung bis hin zur Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien, die auch in der Abbildung visualisiert worden ist (Tab. 2.22).

Die Validität ist das wichtigste Testgütekriterium, denn die „(...) *Validität eines Testes gibt an, wie gut der Test in der Lage ist, genau zu messen, was er zu messen vorgibt.*“ (Bortz & Döring, 2002). Daher wird in der Reihenfolge **1. Validität, 2. Reliabilität und 3. Objektivität** getestet. Die drei Hauptgütekriterien lassen sich wiederum mehrfach unterteilen¹¹.

Um eine möglichst umfassende Überprüfung durchzuführen, erfolgt eine Überprüfung der **Validität** auf Inhaltsvalidität, Logische Validität, Augenscheinvalidität, Diskriminanzvalidität, Nomologische Validität, Methodenverzerrung, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität.

Die **Reliabilität** wird durch Untersuchungen zur Intra-Rater-Reliabilität und mit Hilfe eines Paralleltests¹² überprüft.

Schließlich wird die **Objektivität** anhand von Versuchsreihen mit Anwender*innen anhand der Inter-Rater-Reliabilität bezüglich Durchführung und Interpretation überprüft.

¹¹ Zu den wissenschaftlichen Gütekriterien und deren Subtypen existieren in der Literatur unterschiedlichste Auffassungen. Bezeichnungen sind teils unglücklich gewählt, was zu Verwechslungen führen kann. Dies erstreckt sich bis hin zu wissenschaftlichen Kontroversen („Gelehrtenstreit“). Beispielsweise wird die „*Verwendung der nomologischen Validität von John R. Rossiter kritisiert, der einzig die Inhaltsvalidität als wesentlichen Kern der Konstruktvalidität betont, ja Inhalts- und Konstruktvalidität sogar gleichsetzt. Diese Auffassung wird wiederum von Adamantios Diamantopoulos kritisiert, der auf die Bedeutung u.a. der nomologischen Validität hinweist*“ (Rossiter, 2002). All dies erschwert entsprechende Untersuchungen und deren Interpretation, weshalb der Autor in dieser Dissertation eine umfangreiche Evaluierung konzipiert.

¹² Der Paralleltest wird in der Fachliteratur auch als Überprüfung der Konvergenzvalidität bezeichnet.

2.7 Überblick der abgeleiteten Arbeitshypothesen

Nachfolgend werden alle abgeleiteten Arbeitshypothesen zusammengeführt (Tab. 2.23).

Tab. 2.23 Überblick der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen

Arbeitshypothesen	Kapitel
Arbeitshypothese 1 (Praxiserprobung): Die Struktur der Belastungsarten des Instruments ist neben der Analyse, Beurteilung und Gestaltung klassischer Arbeitssysteme gleichermaßen auch für die Analyse, Beurteilung und Gestaltung von neuartigen („4.0“) Smart-Factory-Arbeitssystemen geeignet.	4.1.13
Arbeitshypothese 2 (Logische Validität): Die ganzheitliche Struktur der Belastungsarten des Instruments bildet belastungsrelevante Merkmale von Arbeitssystemen und damit eine große Bandbreite der Beanspruchung ab.	4.2.2.1
Arbeitshypothese 3 (Augenscheinvalidität): Bei der Belastungsart Heben, Halten und Tragen von Lasten beeinflussen jeweils das Lastgewicht, die Expositionsdauer sowie eine Kombination aus beidem die resultierende Bewertungsstufe.	4.2.2.2
Arbeitshypothese 4 (Diskriminanzvalidität): Die nach evidenzbasierten Kriterien gezielt ausgewählten Belastungsarten ermöglichen einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen.	4.2.3
Arbeitshypothese 5 (Nomologische Validität): Nomologische Validität ist gegeben, da Zusammenhänge über die Belastungsarten und deren Beanspruchungswirkungen bekannt sind.	4.2.4
Arbeitshypothese 6 (Methodenverzerrung): Methodenverzerrung wird ausgeschlossen, da hierzu Hilfestellungen und Praxiserfahrungen vorliegen.	4.2.5
Arbeitshypothese 7 (Kriteriumsvalidität): Bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche eingestuft werden, finden sich über die Risikokategorien hinweg ansteigend höhere Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen bzw. ein höheres subjektives Beanspruchungsempfinden als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht ausgesetzt sind (Referenzgruppe).	4.2.7
Arbeitshypothese 8 (Intra-Rater-Reliabilität): Ein Arbeitswissenschaftler bewertet eine vorgegebene Tätigkeit zu zwei Zeitpunkten. Bei der später wiederholten Anwendung des Instruments bei der Bewertung derselben Tätigkeit sind die Bewertungsergebnisse mit den Ergebnissen der ersten Bewertung vergleichbar.	4.2.8.1
Arbeitshypothese 9 (Paralleltest): Bei der Anwendung vergleichbarer Aspekte des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens werden vergleichbare Ergebnisse erzielt.	4.2.8.2
Arbeitshypothese 10 (Objektivität: Inter-Rater-Reliabilität-Durchführung): Wenden verschiedene betriebliche Akteure das Instrument auf eine bestimmte Tätigkeit an, so kommen sie zu vergleichbaren Ergebnissen.	4.2.9.1
Arbeitshypothese 11 (Objektivität: Inter-Rater-Reliabilität-Interpretation): Das Risikokzept des Instruments ist eindeutig formuliert sowie mit Hilfe der Signalfarben des Ampelsystems erwartungskonform ausgewiesen. Damit lässt sich das Erfordernis und die Dringlichkeit von Maßnahmen nachvollziehbar ableiten.	4.2.9.2

3 Methoden

Das dritte Hauptkapitel führt die Methoden und die damit verbundenen Ziele, Durchführung und Auswertungen im Rahmen der Dissertation zusammen. Die Vorgehensweise wird separat für die Weiterentwicklung und Erprobung sowie für die Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien des Instruments dargelegt. Der Fokus liegt auf den eingesetzten Methoden sowie deren Anwendung und Auswertung. Zum Abschluss des Methodenkapitels wird eine Übersicht mit allen abgeleiteten Arbeitshypothesen zur Verfügung gestellt.

3.1 Weiterentwicklung und Erprobung des Instruments

Die Ziele und Fragestellungen für die Weiterentwicklung und Erprobung des Instruments (Teilkapitel 2.6.1f.) wurden aus der Ausgangslage abgeleitet. Das hierauf abgestimmte Vorgehen (Teilkapitel 2.6.3) verfolgt das übergeordnete Ziel, Organisationen bei der praktischen Umsetzung ihrer Werte und Visionen zu unterstützen und einen Beitrag für nachhaltiges Wachstum und nachhaltige Lieferketten zu leisten. Hierfür sollen Lösungen zur kontinuierlichen Optimierung von Organisationen bereitgestellt werden (Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Einbindung der Weiterentwicklung des Instruments in Organisationsziele

Aspekt	Zielstellung
Werte, Vision, KVP	Schaffung neuer Lösungen für nachhaltiges Wachstum Bewältigung globaler Herausforderungen und Entwicklungen Ausbau der Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit Optimierung der Produkt- und Prozessqualität
Neue Technologien	Aktiver Umgang mit der Dynamik der Arbeitswelt zur Nutzung der Chancen Sinnvoller Einsatz innovativer Technologien Ausbau nachhaltiger Produktivitätssteigerungen Erweiterung der Methodenkompetenz um bereits im Vorfeld der Implementierung neuer Technologien überprüfen zu können, welche Risiken kontrolliert werden müssen
Optimierungsfelder	Systematische Optimierung der Fertigungs- und Montageprozesse Ausbau der Prozessintegration von Optimierungen Standardisierte Vorgehensweise für üblicherweise unsystematisch (heterogen) behandelte Themenstellungen („einheitliche Sprache“) Praxisorientierte Ermittlung der Problemstellungen (Verschwendungen) und des konkreten Handlungsbedarfs (Optimierung) Gestaltung inklusiver Produktionsprozesse, die die Beschäftigten schützen, aktivieren und fördern Gestaltung alters- und altersgerechter Arbeitsbedingungen Einfaches und aufwandsarmes Einhalten gesetzlicher Verpflichtungen

Wie kann beispielsweise die Methodenkompetenz der Fachabteilungen erweitert werden, um die Planungs-, Beschaffungs- und Implementierungsphase neuer Technologien begleiten und so bereits im Vorfeld überprüfen zu können, welche Risiken später (Serienfertigung etc.) kontrolliert werden müssen? Es sollen neue Fach- und Prozessverfahren zur Optimierung von Arbeitsbedingungen bereitgestellt werden zu Problemstellungen, die üblicherweise nicht, nur mangelhaft oder nur unsystematisch in Organisationen behandelt werden können.

3.1.1 Weiterentwicklungs- und Erprobungsziele

Mit der Weiterentwicklung des Instruments sollen neue Anwendungen für relevante Fachthemen (Arbeitsmedizinische Vorsorge, Arbeitsunfallgefährdungen, Belastungszulagen, Inklusion, Psychische Arbeitsbelastungen etc.) entwickelt werden. Themengebiete mit hoher Relevanz ergeben sich vor allem aus der Dynamik der Arbeitswelt, dem Unfall- und Krankheitsgeschehen sowie den Entwicklungen im Vorschriften- und Regelwerk. Die neuen Anwendungen sollen thematisch aufeinander abgestimmt werden und die ganzheitliche Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsbedingungen des Kernverfahrens erweitern. Damit soll der Nutzen des Instruments für die Anwendung in Forschung und Praxis weiter ausgebaut werden. Dabei gilt es, die Philosophie des Instruments fortzusetzen, das heißt die Praxistauglichkeit über eine hohe Verfahrensökonomie zu gewährleisten. Sofern möglich und sinnvoll, soll eine flexible Verfahrenstiefe realisiert werden. Die Weiterentwicklung soll sich nicht nur auf neue Verfahren beziehen, sondern auch auf einzelne Belastungsarten aus dem Kernverfahren, sofern beispielsweise Praxisrückmeldungen hierzu vorliegen. Darüber hinaus sollen neue Hilfestellungen für die Einbindung des Instruments in Organisationsprozesse entwickelt werden. Zur Erprobung des Instruments soll untersucht werden, ob das Instrument auch für neuartige („4.0“) Arbeitssysteme angewendet werden kann.

3.1.2 Eingesetzte Methoden

Zur systematischen Realisierung der Weiterentwicklungen wurde ein **standardisiertes 6-stufiges Vorgehen** entwickelt (Tab. 3.2). Startpunkt ist jeweils ein fachthematisches Literaturreview als Entwicklungsgrundlage des jeweiligen Verfahrens. Sobald das Verfahren entwickelt und adaptiert ist, kann das IT-Lastenheft erstellt werden. Hierauf aufbauend kann die Umsetzung der IT-Architektur erfolgen, die begleitet wird. Mit der Umsetzung der ersten IT-Prototypen im Instrument werden die Initialtests gestartet und bei Auffälligkeiten iterative Anpassungen ausgelöst. Nach erfolgreicher Fertigstellung und Freigabe können die Verfahren für die Praxis zur Verfügung gestellt werden. Die Rückmeldungen aus dem Praxiseinsatz werden zur kontinuierlichen Weiterentwicklung nützlicher Zusatzfunktionen erhoben.

3.1.3 Durchführung der ausgewählten Methoden

Die sechs Entwicklungsschritte bauen aufeinander auf und ermöglichen ein systematisches Vorgehen von der Problemstellung bis zur Lösung unter Einbeziehung von Vorgaben aus Rechtsvorschriften und gesicherten arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Die Weiterentwicklungen basieren auf den fachthematischen Literaturreviews, deren Erkenntnisse zur Entwicklung der Verfahren führen und anschließend im IT-Lastenheft verdichtet werden (Herleitungen, Aufbereitung, Besprechungen, Workflow, Dokumentation etc.). Die Entwicklung von Bewertungsmodellen erfolgt durch Konzeption der 7-stufigen Bewertungsalgorithmen. Die Verfahrenskonzeption berücksichtigt bei Bedarf eine flexible Verfahrenstiefe und kann auch automatisierte Auswertungen und das Reporting umfassen. In die Lastenheftentwicklung fließen die Erkenntnisse aus Fachgesprächen auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Kongressen sowie Meetings und Telefonkonferenzen mit den Industriepartnern mit ein, um neue Bedarfe und den aktuellen Diskussionsstand zu Fachthemen zu berücksichtigen. Die IT-Fachabteilung kann während der Realisierungsphase kontinuierlich auf die fachliche Unterstützung (Verständnisfragestellungen etc.) zurückgreifen.

Die Testung der ersten lauffähigen Versionen neuer IT-Entwicklungsstufen erfolgt durch Prüfung unter Einbeziehung **methodenbedingter Sonderfälle** (Analyse von Extremwerten, Test der Möglichkeiten zur Manipulation durch Anwender*innen etc.) zur potenziellen iterativen Anpassung der IT-Architektur sowie bei Bedarf zur zeitparallelen Aktualisierung der IT-Lastenhefte und Spezifikationen. Nach erfolgreicher Fertigstellung und Freigabe der neuen Verfahren kann deren Anwendung in Forschung und Praxis erfolgen (Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Standardisiertes 6-stufiges Entwicklungsvorgehen

Nr.	Entwicklungsschritt	Durchführung der ausgewählten Methoden
1	Literaturreview	<p>Vorbereitung, Fragestellung, Recherche und Lokalisation der Literaturquellen, Beschreibung der Literaturquellen (Analyse), Qualitative Bewertung und Diskussion der Ergebnisse (Synthese), Dokumentation</p> <p>Universum: Fachbücher, Fachzeitschriften, Artikel, Rechtsvorschriften, Vorschriften-Kommentare, Rechtsauslegung (ggf. Gerichtsurteile, z. B. BAG)</p>
2	Verfahrens- und Methodenentwicklung	<p>Entwicklung der/des arbeits-/sicherheitswissenschaftlichen Methode/Verfahrens auf der Grundlage der fachthemenatischen Literaturreviews</p>
3	Algorithmen (IT)-Lastenheftentwicklung	<p>Entwicklung des IT-Lastenhefts aus der arbeits-/sicherheitswissenschaftlichen Methode, Transformation der Reviewergebnisse in umsetzbare IT-Programmiervorgaben</p>
4	IT-Umsetzung	<p>Begleitung der IT-Umsetzung, Hilfestellung bei Verständnisfragestellungen</p>
5	Prototyp-Testung, ggf. iterative Anpassung der IT-Umsetzung	<p>Testung der ersten „lauffähigen“ Versionen neuer Entwicklungsstufen. Prüfung von methodischen Sonderfällen („Extremwerte“, „Missbrauch“, ...)</p> <p>Testung der IT-Prototypen und ggf. iterative Anpassung der Prototypen sowie Erweiterung der IT-Lastenhefte</p>
6	Freigabe der Neuentwicklung zur Anwendung in der Praxis	<p>Freigabe neuer Verfahren für Praxisanwendung. Aufnahme von Praxiserfahrungen für hilfreiche Zusatzfunktionen neuer Releases</p> <p>Testung der fertig gestellten IT-Umsetzung der/des neuen arbeits-/sicherheitswissenschaftlichen Methode/Verfahrens an (realen) Arbeitssystemen in der Praxis (im Feld)</p>

Das **Literaturreview** bezieht Quellen aus dem Universum der Fachbücher, Fachzeitschriften, Fachartikel, Rechtsvorschriften, Vorschriftenkommentare und Rechtsauslegung ein und dient der im Rahmen der Verfahrensweiterentwicklung der Synthese der Erkenntnisse zu neuen Bewertungsmodellen, die später dann in IT-Algorithmen überführt werden. Fokussiert wird auf neutralen, zwischen den Sozialpartnern abgestimmten, Veröffentlichungen, was insbesondere auch bei politisch brisanten Fachthemen wie beispielsweise Psychische Arbeitsbelastungen von großer Bedeutung zur Gewährleistung wissenschaftlicher Neutralität ist.

Zur Praxiserprobung des Instruments wird wie bei der Erhebung des Datensatzes für die Evaluierung der Kriteriumsvalidität das Kernverfahren des BDS-Instruments eingesetzt. Hierzu werden Belastungsabschnitte zu 29 Belastungsarten zunächst in Bezug auf die Ausgangssituation der Arbeitsbedingungen analysiert, die Arbeitssystem-Datensätze anschließend dupliziert und daraufhin die **Vergleichssituation nach realisierter technischer Umgestaltung simuliert**, sodass hiervon ausgehend die Belastungssituation vor und nach der technischen Umgestaltung miteinander verglichen und anschließend die Effekte interpretiert werden können (Abb. 3.1).

		Zeitanteil Arbeitsvorgang:	76,92%	7,69%	5,13%	10,26%	Profil: weiblich/männlich	Bewertungsstufen	1	2	3	4	5	6	7
		Physische Belastungen													
3,5	3,5	Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	87,6%	2,2%	4,4%	5,8%									
1,1	1,1	Körperbewegung	69,8%	7,0%	4,7%	18,6%									
2,0		Lastenhandhabung	[Berechnung nach Leitmerkalmethode]												
4,44	4,44	Dynamische Muskelarbeit	*86,7%	1,7%	--	*11,6%									
5,0		Manuelle Arbeitsprozesse	[Berechnung nach Leitmerkalmethode]												
4,0		Haltungs-/Bewegungsverteilung	[Verteilungstabelle]												
1,0		Heben, Halten und Tragen	[Berechnung nach Leitmerkalmethode]												
2,0		Ziehen und Schieben	[Berechnung nach Leitmerkalmethode]												
		Umgebungsbedingungen													
3,0		Schallbelastung (Lärm)	[Berechnung nach LEQ8,h]												
1,0		Vibrationen Ganzkörper	[Berechnung des Tagesexpositionswertes]												
1,0		Vibrationen Hand-Arm	[Berechnung des Tagesexpositionswertes]												
5,3	5,3	Klima - hohe Temperaturen	**87,0%	1,4%	--	**11,6%									
1,0	1,0	Klima - niedrige Temperaturen	81,1%	8,1%	--	10,8%									
1,8	1,8	Klima - Wärmestrahlung	84,5%	4,2%	--	11,3%									
1,8	1,8	Zugluft	84,5%	4,2%	--	11,3%									
1,0	1,0	Witterungseinfluss	81,1%	8,1%	--	10,8%									
4,0	4,0	Nassarbeit	*95,5%	1,9%	--	2,5%									
1,8	1,8	Arbeitsstoffe	84,5%	4,2%	--	11,3%									
1,8	1,8	Schmutz	84,5%	4,2%	--	11,3%									
1,0	1,0	Beleuchtung	81,1%	8,1%	--	10,8%									
1,8	1,8	Blendung	84,5%	4,2%	--	11,3%									
		Arbeitsorganisation													
1,0	1,0	Verantwortung für andere Personen	81,1%	8,1%	--	10,8%									
1,0	1,0	Verantwortung für den Prozess	81,1%	8,1%	--	10,8%									
2,49	2,49	Konzentrationsanforderungen	92,8%	3,1%	--	4,1%									
3,6	3,6	Unterforderung	86,3%	2,2%	--	11,5%									
1,8	1,8	Sehraum	84,5%	4,2%	--	11,3%									
1,0	1,0	Sehschärfe	81,1%	8,1%	--	10,8%									
1,0	1,0	Feinmotorik	81,1%	8,1%	--	10,8%									
2,7	2,7	Wiederholung der Tätigkeitsabläufe	85,7%	2,9%	--	11,4%									
		Arbeitsorganisation													
		Verantwortung für andere Personen													
		Verantwortung für den Prozess													
		Konzentrationsanforderungen													
		Unterforderung													
		Sehraum													
		Sehschärfe													
		Feinmotorik													
		Wiederholung der Tätigkeitsabläufe													
		Bindung an den technischen Prozess													
		Kontakte zu Mitarbeitern													
		Arbeitsorganisation													
		Unfallgefahr durch fremden Einfluss													
		Unfallgefahr durch eigenes Verhalten													
		Unfallgefahr durch technische Einrichtungen													
		Belastung durch Schutzausrüstung													

Abb. 3.1 Aggregation von Belastungsabschnitten zu Belastungs-/Gefährdungsprofilen
Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

Hierbei werden auch Analysen der einzelnen Belastungsabschnitte durchgeführt, das heißt auch die Zwischenergebnisse vor der Aggregation von Belastungsabschnitten zu den Belastungs- und Gefährdungsprofilen werden bezüglich der Effekte analysiert.

Die Grundlage für die Analyse der **Belastungssituation der Belastungsabschnitte** bildet die Beobachtungsanalyse der Tätigkeiten der Arbeitssysteme in den Organisationen vor Ort. Hieraus ergeben sich die Belastungsabschnitte und die korrekte Auswahl der anzuwendenden Methoden. Beobachtet werden mit dem Fokus auf die Belastungsaspekte jeweils mehrere Beschäftigte, welche ausreichend eingearbeitet und erfahren sein müssen, was mindestens eine 6-wöchige Ausführungsdauer voraussetzt (Abb. 3.2).



Abb. 3.2 Analyse der Belastungssituation: hier Beobachtungsanalyse des Arbeitsablaufs von mehreren hundert Arbeitssystemen verschiedener Branchen
Quelle: Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

Zur Methodenanwendung werden **technische Messungen** der Arbeitsbelastungsaspekte durchgeführt, deren Art und Umfang vom Charakter der Belastungsabschnitte abhängig ist. Hierzu zählen beispielsweise die Messung der Umgebungseinflüsse wie Lärm (Schall) und die Einzelparameter zum Klimasummenmaß Normaleffektivtemperatur mit dem ASR-konformen Multimessgerät BAPPU_{evo}, bei ortsveränderlichen Tätigkeiten die Messung der zurückgelegten Wegstrecken mit einem Wegstreckenmessgerät (Hodometer), bei manuellen Hebe-, Umsetz- und Tragetätigkeiten die Messung der bewegten Last und Wegstrecken (Abb. 3.3).



Abb. 3.3 Technische Messung der Belastungsaspekte (BAPPU_{evo}, Hodometer, Waage)

Im Rahmen der **Datenerhebung** wie der Messung der zur Verfügung stehenden Beleuchtungsstärken am Ort der Arbeitsausführung wird ergänzend eine **Selbstauführung der Tätigkeiten** durchgeführt.

Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Weiterentwicklung des Instruments

Das umfasst Testungen der anthropometrischen Gestaltung von stehenden, sitzenden und kombinierten Tätigkeiten bezüglich der Greifräume und Reichweiten zu Rohlingen, Materialien und Werkzeugen sowie die Überprüfung der Greifbedingungen. So lassen sich die auf den Ordinalskalen angeordneten Aspekte der Belastung in den angewendeten Methoden sicher zuordnen und das von den Beschäftigten geäußerte subjektive Belastungsempfinden besser einordnen (Abb. 3.4).



Abb. 3.4 Kombinationsmessung sowie Prüfung von Anthropometrie und Greifbedingungen

Komplettiert wird die Analyse der Belastungssituation vor Ort durch die Analyse der korrespondierenden **Betriebsdokumente**. Ein wichtiger Fokus liegt hierbei auf Expositionsdauer-Daten. Insbesondere typische Stückzahlen und Zykluszeiten sind hierfür zu analysieren und je nach Datenlage eine mittel- bis langfristige retrospektive Perspektive einzunehmen, um typische Anlagenzustände und Anlagenverfügbarkeiten und damit indirekt auch zumeist eher schlecht dokumentierte Stillstände mit einzubeziehen. Denn hieraus können sich auch entscheidende Konsequenzen bezüglich der typischen Expositionsdauer der Beschäftigten ergeben (Abb. 3.5).



Abb. 3.5 Analyse von Betriebsdokumenten (typische Stückzahlen, Zykluszeiten etc.)

Gemeinsam mit den direkten Vorgesetzten wie den Linienverantwortlichen sowie den besonders erfahrenen Beschäftigten wie Springern werden Hinweise auf die Ausübung von seltenen Tätigkeiten identifiziert und zusammengetragen. Damit können anschließend auch seltene Tätigkeiten mit anteiliger Schichtdosis in die Ablaufstudien der Arbeitssysteme integriert werden und damit die **Aussagekraft der resultierenden Beurteilung und deren Wahrscheinlichkeitsbetrachtung** weiter verbessert werden.

Zur Bereitstellung neuer Analysemöglichkeiten für die Belastungsart **Wärmestrahlung** werden neue Situationsbeschreibungen durch Messung der effektiven Bestrahlungsstärke (W/m^2) entwickelt. Dies erfolgt anhand von Feldmessungen der effektiven Bestrahlungsstärke verschiedener Fertigungsanlagen und aufgrund der Kompaktheit und Tragbarkeit mit einem unidirektionalen Delta-Radiometer (U-DRM) der Firma Hund (Abb. 3.6).

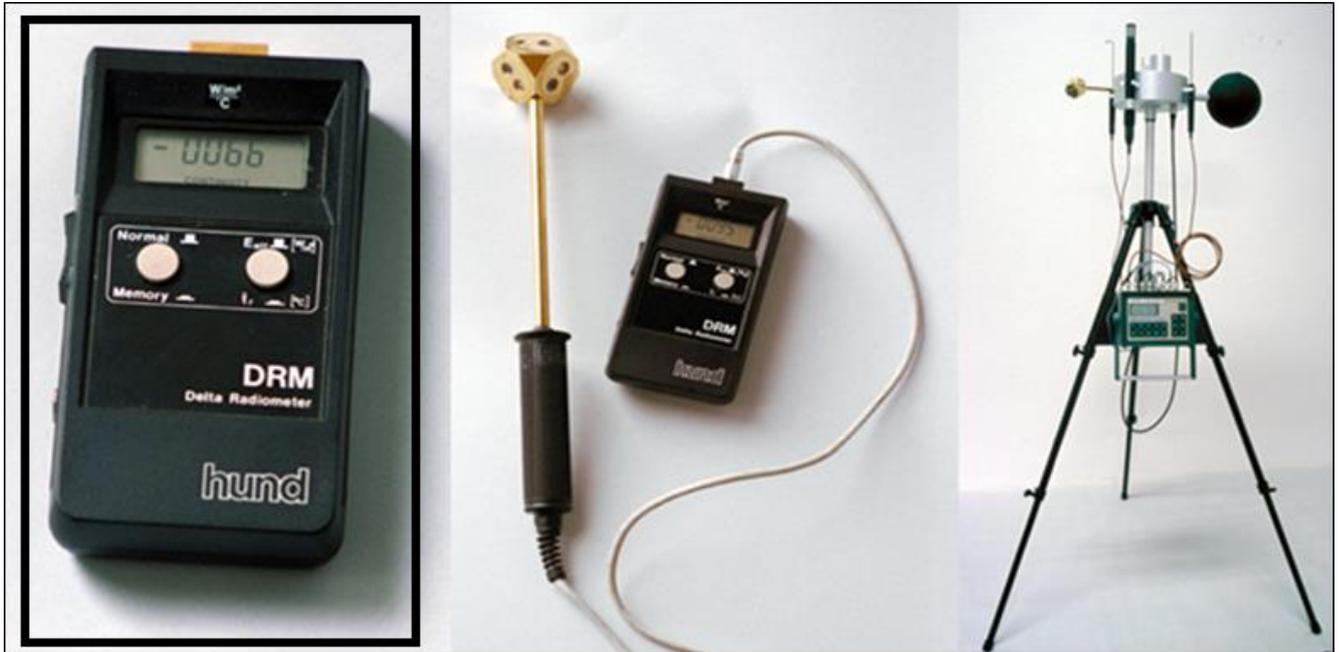


Abb. 3.6 Meilensteine der Produktentwicklung zur Messung effektiver Bestrahlungsstärken (W/m^2) Quelle: Institut ASER e.V.

Um die neuen Situationsbeschreibungen für die Belastungsart Wärmestrahlung entwickeln zu können, werden geeignete Fertigungsanlagen und deren Betriebszustände im Vorfeld der Messdurchführung bei Rundgängen in zwei Vulkanisationsbetrieben identifiziert. Bei den Messreihen sollen dabei möglichst verschiedene Anlagentypen berücksichtigt werden und die Messentfernungen typische Orte der Tätigkeitsausführung berücksichtigen. Aufgrund der hier gestellten speziellen Anforderungen an die **dynamische Messung der effektiven Bestrahlungsstärke** ohne ausreichende Antwortzeit¹³ wird unter Berücksichtigung der technischen Kenndaten mit einem unidirektionalen Delta-Radiometer gemessen (Tab. 3.3).

Tab. 3.3 Unidirektionales Delta-Radiometer (Fa. Hund) - Technische Kenndaten (1/2)

Parameter	Wert
Messgrößen	Effektive Bestrahlungsstärke (nach DIN 33403) Mittlere Strahlungstemperatur (nach ISO 7726)
Messprinzip	Strahlungsdifferenz, Richtungsabhängiger Sensor
Messbereich	-100 bis + 10.000 W/m^2 (effektive Bestrahlungsstärke) 10 °C bis 60 °C (mittlere Strahlungstemperatur)
Spektraler Messbereich	ca. 0,7 bis $50 \cdot 10^{-6}$ m
Messwertspeicher Einsatzbedingungen	10 bis 50 °C Lufttemperatur, max. 95 % relative Luftfeuchtigkeit (nicht kondensierend) für eff. Bestrahlungsstärke -0,02 bis +1 V

¹³ Weitere arbeitswissenschaftliche Hintergründe sowie Limitationen zur Praxisanwendung des Globe-Thermometers werden ausführlich in 4.1.1.2 erläutert.

Tab. 3.3 Unidirektionales Delta-Radiometer (Fa. Hund) - Technische Kenndaten (2/2)

Parameter	Wert
Empfindlichkeit	0,1 mV/W/m ² und 1 mV/°C
Anzeigegenauigkeit	+/- 1 Digit
Messgenauigkeit	+/- 5 % vom Messwert oder +/- 2 Digit
Einsatzmöglichkeit	tragbar
Messkopf	UDRM Messkopf für unidirektionale Messung in UDRM integriert
Maße und Gewicht	145 x 80 x 37 mm; 216 g

3.1.4 Auswertungsmethoden (Entwicklungstransparenz, Dokumentation)

Die Auswertung der Literaturreviews erfolgt durch Extraktion und anschließende Verdichtung der gesicherten arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Erkenntnisse; die Recherchen erfolgen dabei spezifisch für die Fachverfahren und es fließen Statistiken aus dem Unfall- und Erkrankungsgeschehen mit ein. Aufbereitet und dokumentiert werden diese getrennt für jede Weiterentwicklung, soweit sinnvoll inklusive Fazit zu den Rechtsgrundlagen, Erläuterung zur Methoden- und Verfahrensentwicklung und zur Adaptierung im Instrument.

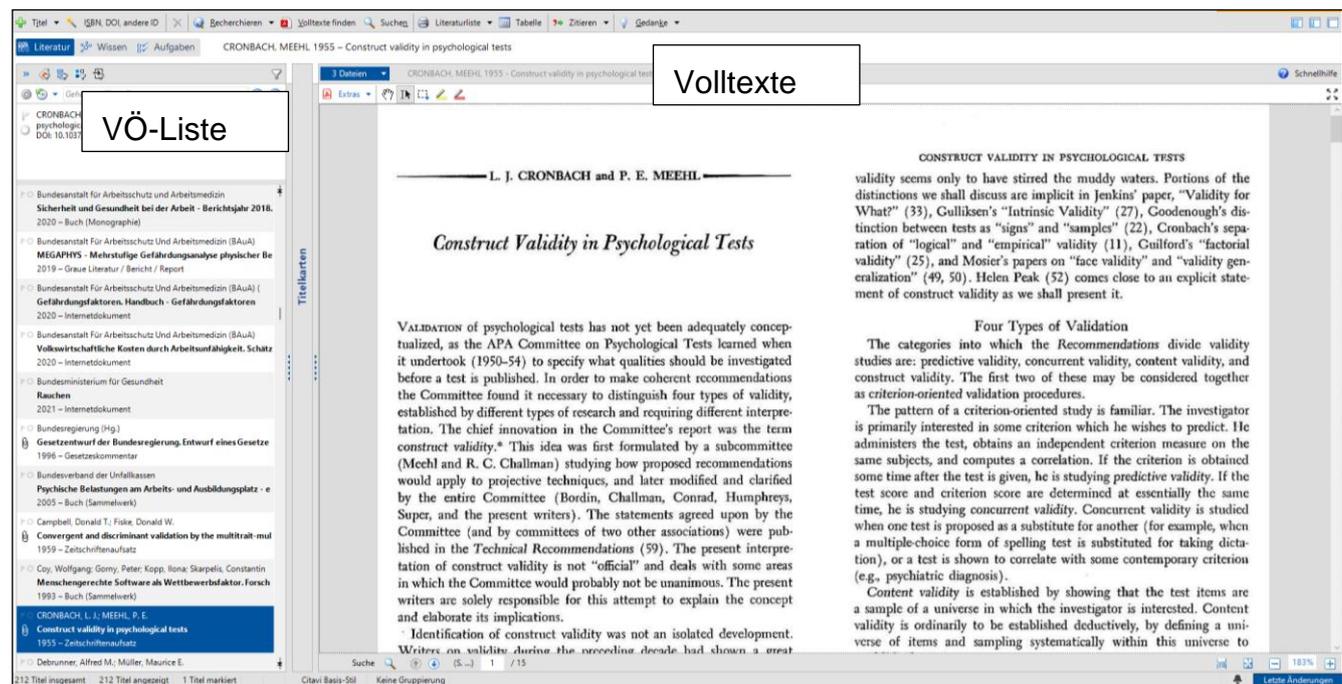


Abb. 3.7 Integration frei verfügbarer Veröffentlichungen in den Citavi 6-Datensatz

Zur Dissertation gehört auch der **Citavi 6-Datensatz** mit etwa 350 Veröffentlichungen, in den auch die frei verfügbaren Veröffentlichungen aus dem Literaturverzeichnis integriert wurden. Damit sollen die Anknüpfung an diese Dissertation und die Entwicklung weiterer neuer Verfahrensmodule für das Instrument unterstützt werden (Abb. 3.7).

3.2 Evaluierung der Hauptgütekriterien des Instruments

Aufgrund der weiten Praxisverbreitung (globale Anwendung) des Kernverfahrens Produktionsergonomie und Risikobeurteilung liegt der Fokus der Evaluierung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien auf dem Kernverfahren des Instruments.

Für die Evaluierung essentiell ist das **Konstrukt** des Kernverfahrens, bei dem die zu erwartende Beanspruchung und Beanspruchungswirkung aus dem verfahrensökonomisch messbaren Sachverhalt Belastung erschlossen wird (**Operationalisierung**; Abb. 3.8).

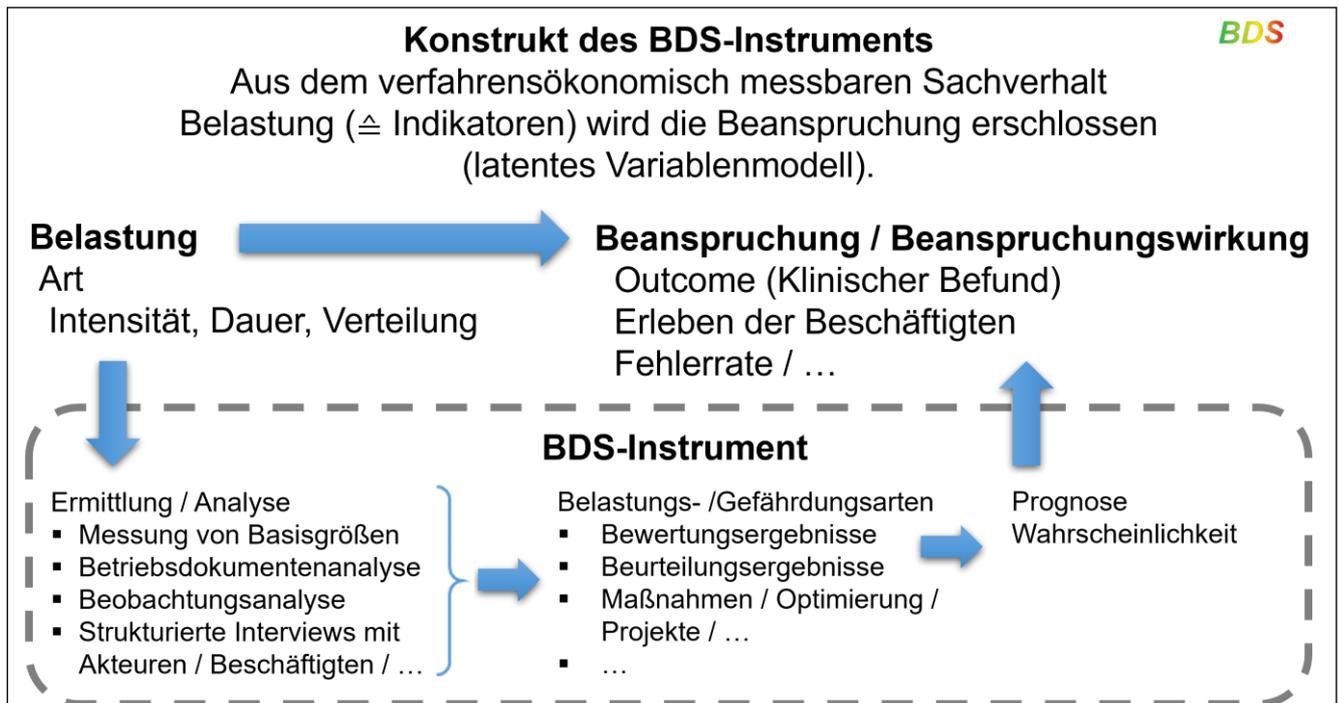


Abb. 3.8 Operationalisierung (Messbarmachung) von Beanspruchungswirkungen durch Analyse und Beurteilung der Belastung

Zu beachten gilt: die vier Belastungs- und Gefährdungsgruppen des Kernverfahrens setzen sich aus mehreren weitgehend unabhängigen Belastungs- und Gefährdungsarten zusammen. In Abhängigkeit des zu überprüfenden wissenschaftlichen Hauptgütekriteriums ist daher gegebenenfalls auch nur eine selektive Überprüfung anhand einzelner isoliert zu betrachtender Belastungs- und Gefährdungsarten sinnvoll (Peters, 1986).

3.2.1 Evaluierung der Validität

Die **Validität** ist neben Reliabilität und Objektivität eines der drei wissenschaftlichen Hauptgütekriterien. Die Validität ist ein Maß dafür, inwieweit die erzeugten Daten wie beabsichtigt die zu messenden Daten repräsentieren. Es geht daher um den Grad an Genauigkeit, inwieweit das gemessen wird, was gemessen werden soll. Mit der Überprüfung der Validität können Aussagen getroffen werden, inwieweit die Daten (Ergebnisse) sinnvoll interpretiert werden können (Lienert & Raatz, 1994). Übertragen auf das Konstrukt und die Operationalisierung des Instruments bedeutet das damit die Abklärung, inwieweit die Outcome-Prävalenz prognostiziert werden kann.

Die Literatur **differenziert** beim Gütekriterium Validität Inhaltsvalidität, Konvergenzvalidität, Diskriminanzvalidität, Nomologische Validität und Freiheit von Methodenverzerrung, die zusammen auch als Konstruktvalidität bezeichnet werden sowie Kriteriumsvalidität. Hiervon ausgehend werden weitere Differenzierungen vorgenommen wie beispielsweise die weitere Unterteilung der Inhaltsvalidität in logische Validität und Augenscheinvalidität (Lienert & Raatz, 1994; Wirtz, 2020).

Kriteriumsvalidität setzt einen erwartungs- oder theoriekonformen Zusammenhang (Korrelation) mit praktisch bedeutsamen Außenkriterien voraus und lässt sich in innere (Fragebogen etc.) und äußere Kriteriumsvalidität (klinische Diagnose, Expertenurteil etc.) unterteilen (Wirtz, 2020). Da die Überprüfung der Konvergenzvalidität dem Paralleltest entspricht, wird diese als Testaspekt im Rahmen der Überprüfung der Reliabilität überprüft.

3.2.1.1 Evaluierungsziele

Ziel der Überprüfung der Validität ist es, ein aktuelles und möglichst umfangreiches Bild zur Validität des Instruments zu generieren (Tab. 3.3). Insgesamt sollen mit den Erkenntnissen Anschlussuntersuchungen und neue konstruktive Weiterentwicklungsideen für das Instrument abgeleitet und erarbeitet werden können, um die Validität kontinuierlich zu optimieren.

Tab. 3.4 Ziel der Überprüfung der Validität des Instruments

Validität (Typ, Sub-Typ)	Überprüfungsziele
Inhaltsvalidität	Erfasst das Konstrukt den Inhalt vollständig?
Logische Validität	Werden die richtigen Belastungs- und Gefährdungsfaktoren in der richtigen Art und Weise verwendet?
Augenscheinvalidität	Lässt sich eine unmittelbare Evidenz der Passung der Inhalte des Instruments zum erfassten Konstrukt erkennen?
<i>Konvergenzvalidität</i>	<i>Siehe Reliabilität - Paralleltest</i>
Diskriminanzvalidität	Ist die Messung verschiedener Aspekte möglich?
Nomologische Validität	Können die Belastungs- und Gefährdungsfaktoren zu einem gemeinsamen Theoriegebilde zusammengefügt werden?
Freiheit von Methodenverzerrung	Können Analysen und damit die Ergebnisse verzerrt werden?
Kriteriumsvalidität	Inwieweit hängen Belastungshöhe und Präsenz von Outcomes zusammen?

3.2.1.2 Eingesetzte Methoden

Die wissenschaftliche Grundlage für die Überprüfung der Validität des Instruments bildet das **Belastungs-Beanspruchungs-Beanspruchungsfolgen-Modell** (Teilkapitel 2.4.1). Werden Beschäftigte mit einer Belastung konfrontiert, so resultieren daraufhin Beanspruchungen, die abhängig sind von den individuellen Eigenschaften der Beschäftigten. Aus der Beanspruchung resultieren Beanspruchungsfolgen, die positiv oder negativ sein können.

Negative Beanspruchungsfolgen können Schmerzen oder Abnutzungserscheinungen der Knochen- und der Gelenkstrukturen sein. Das **Risikokzept** des Instruments geht davon aus, dass mit zunehmender Belastungshöhe die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von negativen Beanspruchungsfolgen zunimmt¹⁴.

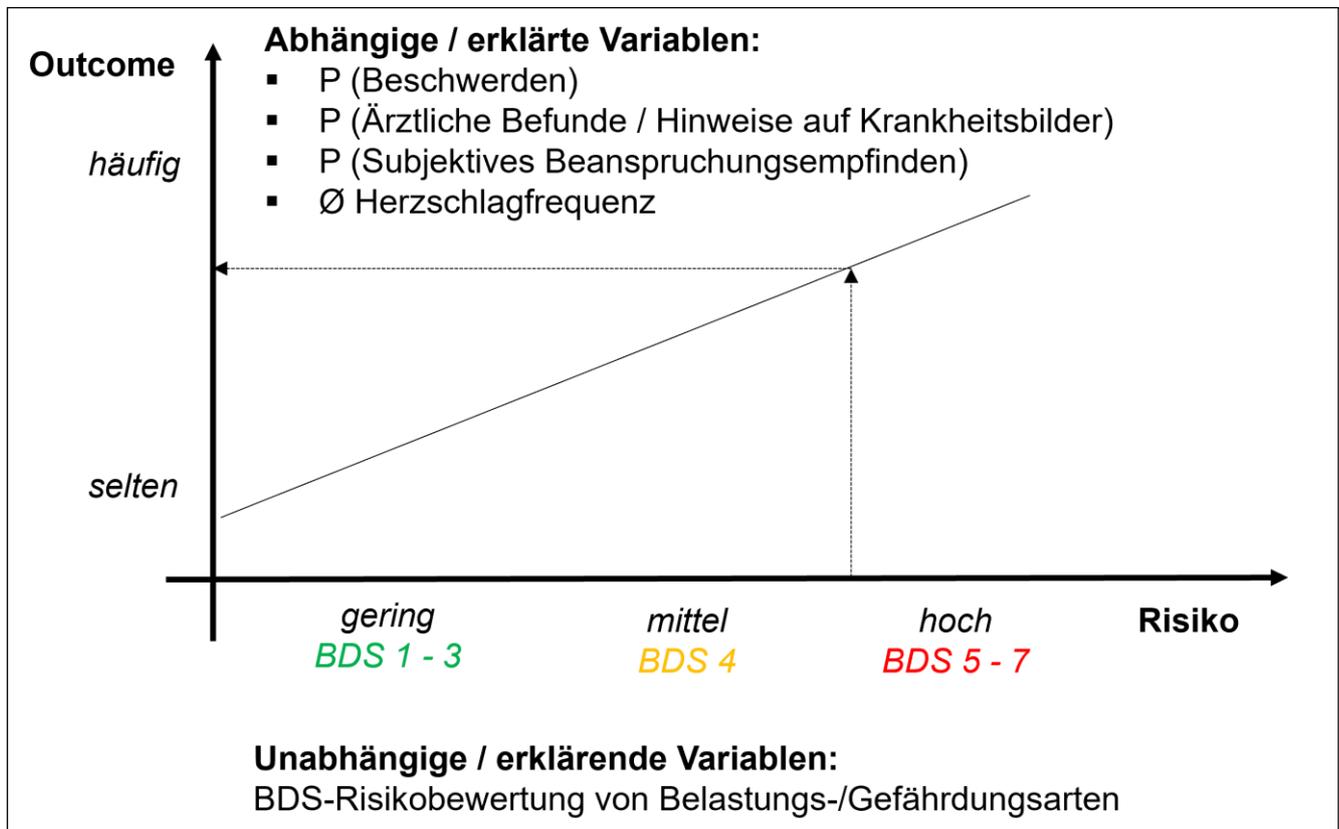


Abb. 3.9 Hypothese zur Kriteriumsvalidität – Grundlegender Zusammenhang
Quelle: Modifiziert nach Klußmann et al., 2017

Wenn ein Zusammenhang zwischen der mit dem Instrument erhobenen Höhe der jeweiligen Belastung und einer zunehmenden **Wahrscheinlichkeit** für die Präsenz bestimmter Outcomes bei Beschäftigten – die unter den jeweiligen Arbeitsbedingungen arbeiten – besteht, sollten sich mit zunehmender Belastung die Wahrscheinlichkeit einer oder mehrerer der folgenden Outcomes zeigen (Abb. 3.9; BAuA, 2019), beispielsweise in Form von

- höheren Prävalenzen an Beschwerden in den belastungstypischen Körperregionen,
- höheren Prävalenzen, einer Häufung von anamnestischen, klinischen oder funktionellen Hinweisen auf typische Erkrankungsbilder in den belastungstypischen Körperregionen,
- höheren physiologischen Beanspruchungsreaktionen (Anstieg der Herzschlagfrequenz),
- einer im Mittel niedrigeren subjektiv eingeschätzten Arbeitsfähigkeit,
- einem höheren subjektiven Beanspruchungsempfinden,
- einer höheren Frequenz anderer Zielgrößen (Unfallhäufigkeit etc.),

als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht oder weniger intensiv ausgesetzt sind. Diese wissenschaftlichen Zusammenhänge sind bei der Auswahl einer geeigneten Methodik der Überprüfung der Validität des Instruments entsprechend zu beachten.

¹⁴ Die Risikoeermittlung erfolgt durch die Kombination der jeweils wichtigsten Aspekte der Belastungs- und Gefährdungsarten anhand der im Instrument integrierten und adaptierten Einzelverfahren.

Inhaltsvalidität wird durch Untersuchung der Entwicklungsgrundlagen und zugrunde liegenden Studienergebnisse überprüft. Dabei wird auch auf das Review zur Entwicklung des Instruments zurückgegriffen, das zur Beschreibung der Ausgangslage durchgeführt worden ist (Unterkapitel 2.1). Als Kriterien werden die Logik des Konstrukts (Logische Validität) und Augenscheinvalidität überprüft. Für Letzteres wird eine **neue Rohdatenschnittstelle für Evaluierungen des Instruments** entwickelt, um die Überprüfungen auch mit großen Rohdatenmengen von mehreren tausend Arbeitssystemen und mehreren zehner- oder gar hunderttausend Tätigkeiten durchführen zu können. Die neu entwickelte Rohdatenschnittstelle wird anschließend auch bei der Überprüfung der Diskriminanzvalidität verwendet.

Zur Überprüfung der nomologischen Validität werden die im Instrument vereinten wissenschaftlichen Einzel- und Kombinationsverfahren in Bezug auf ihre Möglichkeit zur Beurteilung der Beanspruchungswirkungen von Mischbelastungen untersucht (Tab. 3.5).

Tab. 3.5 Eingesetzte Methoden zur Überprüfung der Validität des Instruments

Validität (Typ, Sub-Typ)	Eingesetzte Methoden
Inhaltsvalidität	Studium der Entwicklungsgrundlagen, Untersuchung der zugrunde liegenden Studienergebnisse
Logische Validität	Logische Untersuchung des Konstrukts
Augenscheinvalidität	Verwendung der neu entwickelten Rohdatenschnittstelle (Besseres Handling besonders umfangreicher Rohdatensätze) Auswertung aktueller Datenbasis-Untermenge (n = 2.053)
Diskriminanzvalidität	Verwendung der neu entwickelten Rohdatenschnittstelle Auswertung aktueller Datenbasis-Untermenge mit (n = 3.897)
Nomologische Validität	Untersuchung der im Instrument vereinten Einzel- und Kombinationsverfahren in Bezug auf die Möglichkeit zur Beurteilung der Beanspruchungswirkungen von Mischbelastungen
Methodenverzerrung	Schlussfolgerungen aus internationalen Praxiserfahrungen Entwicklung von Anwendungs- und Implementierungshinweisen
Kriteriumsvalidität	Nordischer Fragebogen Klinische Untersuchungen (SALTSA-Studie) Subjektive Einschätzungen der Belastungssituation (SLESINA- und COPSOQ (Auszug)-Fragebogen, Borg-RPE-20-Skala)

Für die Untersuchung auf Freiheit von Methodenverzerrung wird untersucht, welche Motive für Methodenverzerrung in der Praxis gegeben sind. Hieraus werden Schlussfolgerungen abgeleitet, bei denen die internationalen Praxiserfahrungen des Autors einbezogen werden und daraus Anwendungs- und Implementierungshinweise für das Instrument entwickelt.

Für die Überprüfung der Kriteriumsvalidität wird auf bereits veröffentlichte wissenschaftliche Studienergebnisse zurückgegriffen, an deren Praxiserhebung der Autor partiell beteiligt war. Im Rahmen der veröffentlichten Querschnittsstudie kamen der Nordische Fragebogen (Kuorinka, 1987), klinische Untersuchungen nach der SALTSA-Studie (Sluiter et al., 2001) sowie subjektive Einschätzungen der Belastungssituation durch die Beschäftigten anhand des SLESINA-Fragebogens (Slesina, 1987) und des COPSOQ-Fragebogens (Nübling et al., 2005) sowie anhand der Borg-RPE-20-Skala (Borg, 1998) zum Einsatz.

3.2.1.3 Angewendete Methodik

Ob Inhaltsvalidität vorliegt, wird anhand einer logischen Untersuchung des Konstrukts (Logische Validität) sowie durch Überprüfung der Augenscheinvalidität überprüft. Die Fragestellung ist dabei, ob aus der wissenschaftlichen Literatur zum Instrument in Verbindung mit Kausalitäts- und Plausibilitätsprüfungen der zugrunde liegenden Studien hervorgeht, dass belastungsrelevante Merkmale des Arbeitssystems in das Instrument integriert worden sind. Zur Untersuchung der Augenscheinvalidität wird überprüft, ob von Anwendenden sowie auch für Laien eine augenscheinliche Plausibilität erkennbar ist.

Um die Überprüfung der Augenschein- und später auch der Diskriminanzvalidität durchführen zu können, musste zunächst eine neue **Rohdatenschnittstelle** für das Instrument entwickelt und adaptiert werden. Damit stehen nun neue Möglichkeiten für die Auswertung umfangreicher Datensätze zur Verfügung. Diese neue Anwendung erlaubt einen unmittelbaren Zugriff auf die für die Bewertung der Belastungshöhe zugrunde liegenden Analyseparameter. Denn für große Datensätze mit mehreren hundert oder gar mehreren Tausend Arbeitssystemen entsteht ein hohes Datenvolumen über die vier Belastungs- und Gefährdungsgruppen, da jedes Arbeitssystem wiederum aus mehreren Arbeitsvorgängen besteht. Daher wurden bei der Konzeption der neuen Rohdanteschnittstelle inhaltlich-thematische Einfärbungen vorgesehen, um auch in Anschlussuntersuchungen eine **bessere Übersichtlichkeit und schnelle Navigation bei großen Datenvolumen** zu gewährleisten (Abb. 3.10).

1	RDS-Stufe Klima hohe Temp.	RDS-Stufe Klima niedrige Temp.	RDS-Stufe Wärmestrahlung	max. Wert Luftfeuchte	max. Wert Luftgeschwindigkeit [m/s]	max. Wert Trockentemperatur [°C]	max. Wert NET [°C]	RDS-Stufe Witterung	RDS-Stufe Nassarbeit	RDS-Stufe Schmutz	RDS-Stufe Beleuchtung
1864	2	1	1	40	0,1	22	19,1	3	1	2	1(1)
1878	3	1	1	40	0,5	26,2	22,1	1	1	1	3(4)
1879	3	1	1	40	0,5	26,2	22,1	1	1	1	3(4)
1880	3	1	1	40	0,5	26,2	22,1	1	1	1	3(4)

Abb. 3.10 Neue Rohdatenschnittstelle zur Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien des Instruments (hier als .xls-Import inkl. Zoomansicht ausgewählter Variablen)

Zur Überprüfung der Diskriminanzvalidität wird untersucht, inwieweit eine differenzierte Belastungsermittlung möglich ist. Dabei wird auch auf im Vorfeld durchgeführte Evaluierungsstudien eingegangen, bei denen die Leistungsfähigkeit des Instruments anhand früher verwendeter statistischer Maßzahlen überprüft worden sind.

Für die Überprüfung der nomologischen Validität wird überprüft, inwieweit die Wirkungsstärke von Belastungsarten auf die Beanspruchung von Zielregionen bei den Ergebnissen des Instruments berücksichtigt wird.

Die Freiheit von Methodenverzerrung kann unabhängig vom Überprüfungsobjekt (Methode, Verfahren, Instrument etc.) nicht generell ausgeschlossen werden, da eine willentliche Fehlanwendung theoretisch immer möglich ist. Daher wird ein besonderer Wert gelegt auf entsprechende Schlussfolgerungen, auch aus Praxiserfahrungen, und diese zu Anwendungs- und Implementierungshinweisen zusammengefasst. Damit sollen Lösungen aufgezeigt werden, wie Methodenverzerrung bei der praktischen Anwendung des Instruments effektiv vorbeugt werden kann. Auch grundsätzliche methodische Aspekte und Herangehensweisen sollen in diesem Rahmen behandelt werden.

Die Überprüfung der **Kriteriumsvalidität** erfolgt mit Hilfe eines pseudonymisierten Forschungsdatensatzes der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Projektnummer F 2333, MEGAPHYS). Zurückgegriffen wird hierbei auf einen Teildatensatz der **betriebsepidemiologischen Querschnittsstudie** mit interner Kontrollgruppe (AP 5), zu denen parallele Ganzschicht-Arbeitssystemanalysen auch mit dem Instrument durchgeführt worden sind (Teil BAuA, ASER). Bei der Durchführung der Querschnittsstudie war der **Autor** an Erhebungen mit dem Instrument sowie bei den Fragebogenerhebungen zur subjektiven Beanspruchungsermittlung vor Ort alternierend als Mitglied des Forschungsteams in den verschiedenen Unternehmen **deutschlandweit involviert**. Das Vorkommen von Beschwerden wurde in der Querschnittsstudie auf der Grundlage des Nordischen Fragebogens, mit Hilfe klinischer Untersuchungen (SALTSA-Studie) sowie durch Befragung der subjektiven Einschätzung der Belastungssituation (SLESINA- und COPSOQ-Fragebogen, teils in Auszügen und mit der Borg-RPE-20-Skala) ermittelt (BAuA, 2019). Die verschiedenen Arbeitssysteme der Beschäftigten wurden mit dem Kernverfahren des BDS-Instruments analysiert. Die Überprüfung der Kriteriumsvalidität kann daher an dieser Stelle anhand verschiedener Außenkriterien erfolgen, indem die Befunde (Anamnese, klinische Funktionsdiagnostik) und Ergebnisse der Angaben der Beschäftigten zu deren Beschwerden und Belastungsempfinden mit den Beurteilungsergebnissen des Instruments gegenübergestellt werden.

Damit bildet die methodische Grundlage der verwendeten und anteilig vom Autor erhobenen Daten bezüglich der Analyse der Arbeitssysteme die Direktbeobachtung, Videoaufnahmen der wesentlichen Belastungsabschnitte, Betriebsdokumentenanalysen, ausgewählte Messungen von Arbeits- und Betriebsmittelparametern und – falls gefahrlos möglich – eine selbständige Arbeitsausübung der Tätigkeit(en) durch den jeweiligen Forscher selbst sowie jeweils bei Bedarf die Befragung der Beschäftigten und von Führungskräften.

Die Beurteilung der Arbeitssysteme mit dem Instrument erfolgte deutschlandweit an 361 Arbeitssystemen (Automotive, Handel, Flugzeugbau etc.). Zugrunde gelegt werden die Belastungshöhe je Arbeitssystem und Belastungsart, die über eine Schichtdauer (meist 8h) ausgeführt werden. Innerhalb eines Arbeitssystems können Teil-Tätigkeiten mit unterschiedlichen Belastungshöhen pro Belastungsart auftreten. Studienkollektiv der Querschnittsstudie waren Beschäftigte, die in unterschiedlicher Belastungshöhe exponiert waren mit Belastungsarten wie beispielsweise Heben, Halten und Tragen von Lasten, Ziehen und Schieben von Lasten, manuelle Arbeitsprozesse und Körperfortbewegung.

Die Analyse der Daten erfolgt hypothesenbestätigend. Als Arbeitshypothese wird angenommen, dass bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche oberhalb der Akzeptanzschwelle (BDS-Bewertungsstufe 4) und

oberhalb der Toleranzschwelle (BDS-Bewertungsstufen 5 - 7) eingestuft werden, sich über die Risikokategorien hinweg häufiger **adverse Gesundheitseffekte** (z. B. Prävalenzen an Beschwerden in den belastungstypischen Körperregionen) finden als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen in ihren Arbeitssystemen nicht ausgesetzt sind (Sicherheitsbereich bzw. BDS-Bewertungsstufen 1 - 3).

Zur Prüfung der Hypothesen und Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Arbeitsbelastungen, Beschwerden, anamnestischen und klinischen Hinweisen auf typische Outcomes werden mathematisch-statistische Analysen (Regressionsverfahren) eingesetzt. Die Auswahl der Zielgrößen orientiert sich am Zusammenhang zwischen Belastungsarten und Körperzielregionen (BAuA, 2019) und kann daher in Abhängigkeit der Belastungsart variieren. Die Überprüfung wird Belastungsart-abhängig gestützt durch Untersuchungen zu angrenzenden Aspekten (psychosoziales Belastungsempfinden). Die pseudonymisierten zur Verfügung gestellten Daten werden zunächst grundsätzlich analysiert (Skalenniveau, Vollständigkeit) und vorbereitet (Kategorisierung, Dichotomisierung). Anschließend erfolgen deskriptive und explorative Analysen und mit Hilfe der hiermit gewonnenen Erkenntnisse die Darstellung der Zusammenhänge (Prävalenz-Ratio) zum zusammenfassenden Befund, zur 12-Monatsprävalenz an Beschwerden, Wochenprävalenz an Beschwerden, Prävalenz an anamnestischen und klinischen Hinweisen auf typische Erkrankungen auf Grundlage der medizinischen Untersuchung und zum subjektiven Anstrengungsempfinden auf der Grundlage der Selbsteinschätzung für die Gesamttätigkeit im Rahmen der Interviews.

3.2.1.4 Auswertungsmethoden

Inhaltsvalidität liegt vor, sofern die Messungen eines Konstrukts dessen Inhalt vollständig erfassen (Moosbrugger & Kelava, 2012). Inhaltsvalidität wird überprüft, indem getestet wird, ob zwischen dem gedanklich theoretischen Konstrukt, hier den relevanten Aspekten der jeweiligen Belastungs- und Gefährdungsarten und deren Zusammenwirken bei der Überführung in eine aus Indikatoren bestehende Skala, hier der Bewertungsalgorithmen, Abwerteregelein, Schichtaggregation etc. des Instruments für die jeweiligen Belastungsarten eine Übereinstimmung besteht (BAuA, 2019). Die Auswertung erfolgt qualitativ anhand der logischen Validität durch Auswertung der Ergebnisse der Verdichtung der Literaturreviews sowie quantitativ durch Auswertung neuer Untersuchungen zur Augenscheinvalidität. Für die Auswertung der Augenscheinvalidität wird dargestellt, inwieweit aussagekräftige, das heißt hier besonders **Outcome-relevante Indikatoren**, die hohe Wichtungen (Punktwerte) in wissenschaftlichen Einzelverfahren erreichen mit der resultierenden Bewertungsstufe des Instruments in Zusammenhang stehen. Ausgewertet werden hierzu arithmetische Mittelwerte unter anderem zum maximal transportierten Lastgewicht pro Schicht und werden die finalen Überprüfungsergebnisse in einem Balkendiagramm zusammengestellt.

Für die Auswertung der Diskriminanzvalidität wird dargestellt, inwieweit bei den einzelnen Belastungsarten verschiedene, sich gegenseitig nicht beeinflussende Konstrukte vorliegen. Dabei wird der Grad der Unabhängigkeit über Korrelationskoeffizienten ermittelt und dargestellt. Für die Darstellung der Diskriminanzvalidität wird die **lineare 2-seitige Pearson-Korrelation der Belastungs-(arten)paare** ausgewiesen (Stanton et al., 2001). Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt daran anschließend anhand der von Cohen (Cohen, 1988) vorgeschlagenen Skala.

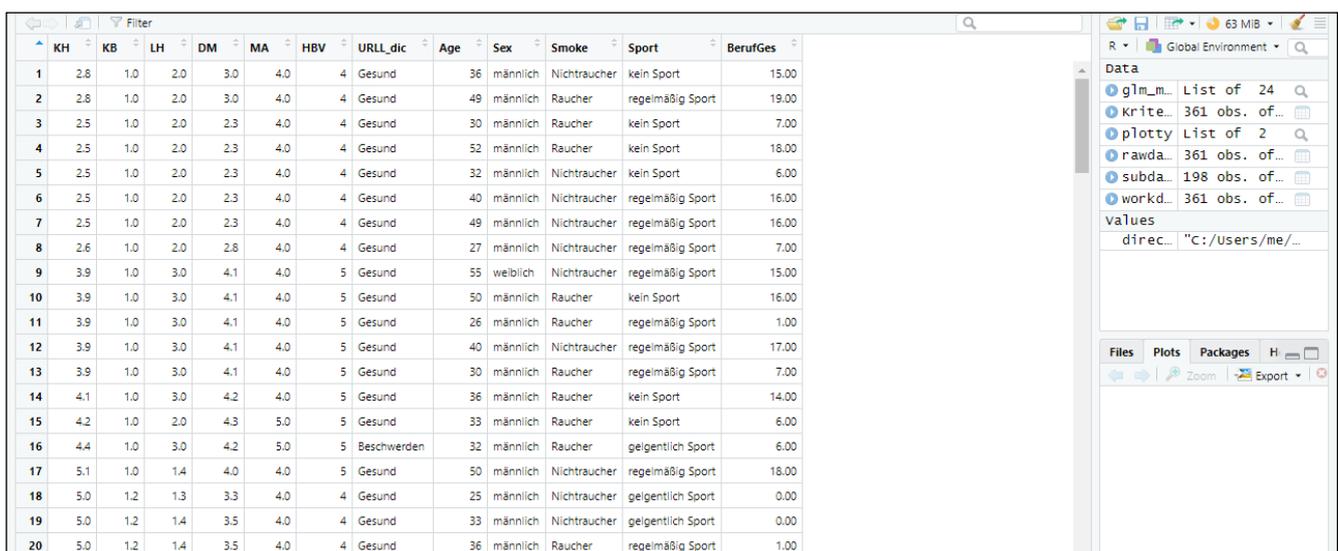
Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Evaluierung der Validität

Die Auswertung der nomologischen Validität erfolgt, indem dargestellt wird, wie die Wirkungsstärke von Belastungsarten zur Beanspruchung auf Zielregionen aggregiert werden kann und dies beim Instrument für die Anwender*innen anschaulich aufbereitet wird.

Die Auswertung der Überprüfung auf Methodenverzerrung erfolgt durch Übertrag der Überprüfungsergebnisse zunächst in Bezug auf Methodenverzerrung bei psychologischen Verfahren, die im Fragebogenkontext insbesondere dann entstehen kann, wenn Untersuchungsteilnehmer*innen Schlussfolgerungen auf die zugrunde liegenden Hypothesen treffen und ihr Antwortverhalten dahingehend anpassen (u. a. Podaskoff et al., 2003; Sharma, 2009). Da dieser Betrachtungsfokus für das Instrument unzutreffend ist, werden darüber hinausgehende Ausführungen zu Quellen und zur Vorbeugung von Methodenverzerrung im auf das Instrument zutreffenden Anwendungskontext abgeleitet.

Die Auswertung der Konstruktvalidität erfolgt, indem alle vorangegangenen Auswertungen zu einem Zwischenergebnis aller bis hierhin betrachteten Überprüfungstypen der Validität zusammengeführt werden (Teilkapitel 3.2.1). Insgesamt wird dabei auf der Grundlage von Untersuchungen aus verschiedensten Blickwinkeln ausgewertet, inwieweit systematische Fehler auftreten können.

Die Auswertung der Kriteriumsvalidität erfolgt durch das Abschätzen der Effekte pro Belastungsart (Prävalenzratio mit 95% Konfidenzintervallen) und Kategorie (kategorisierte BDS-Bewertungsstufen) der mit dem Instrument ermittelten Belastungshöhe auf die Zielgrößen (Prävalenzangaben, dichotom). Soweit nicht anders angegeben, wird als Referenzkategorie der Sicherheitsbereich (BDS Bewertungsstufen 1 - 3) angesehen. Die Auswertung der Datensätze erfolgt nach Zusammenführung, Import, Aufbereitung und Kontrolle mit der **Statistik-Programmiersprache R** und der dazugehörigen grafischen Benutzeroberfläche RStudio in der Version 4.1.0 vom 18. Mai 2021.



	KH	KB	LH	DM	MA	HBV	URLL_dic	Age	Sex	Smoke	Sport	BerufGes
1	2.8	1.0	2.0	3.0	4.0	4	Gesund	36	männlich	Nichtraucher	kein Sport	15.00
2	2.8	1.0	2.0	3.0	4.0	4	Gesund	49	männlich	Raucher	regelmäßig Sport	19.00
3	2.5	1.0	2.0	2.3	4.0	4	Gesund	30	männlich	Raucher	kein Sport	7.00
4	2.5	1.0	2.0	2.3	4.0	4	Gesund	52	männlich	Raucher	kein Sport	18.00
5	2.5	1.0	2.0	2.3	4.0	4	Gesund	32	männlich	Nichtraucher	kein Sport	6.00
6	2.5	1.0	2.0	2.3	4.0	4	Gesund	40	männlich	Nichtraucher	regelmäßig Sport	16.00
7	2.5	1.0	2.0	2.3	4.0	4	Gesund	49	männlich	Nichtraucher	regelmäßig Sport	16.00
8	2.6	1.0	2.0	2.8	4.0	4	Gesund	27	männlich	Nichtraucher	regelmäßig Sport	7.00
9	3.9	1.0	3.0	4.1	4.0	5	Gesund	55	weiblich	Nichtraucher	regelmäßig Sport	15.00
10	3.9	1.0	3.0	4.1	4.0	5	Gesund	50	männlich	Raucher	kein Sport	16.00
11	3.9	1.0	3.0	4.1	4.0	5	Gesund	26	männlich	Raucher	regelmäßig Sport	1.00
12	3.9	1.0	3.0	4.1	4.0	5	Gesund	40	männlich	Nichtraucher	regelmäßig Sport	17.00
13	3.9	1.0	3.0	4.1	4.0	5	Gesund	30	männlich	Raucher	regelmäßig Sport	7.00
14	4.1	1.0	3.0	4.2	4.0	5	Gesund	36	männlich	Raucher	kein Sport	14.00
15	4.2	1.0	2.0	4.3	5.0	5	Gesund	33	männlich	Raucher	kein Sport	6.00
16	4.4	1.0	3.0	4.2	5.0	5	Beschwerden	32	männlich	Raucher	gelegentlich Sport	6.00
17	5.1	1.0	1.4	4.0	4.0	5	Gesund	50	männlich	Nichtraucher	regelmäßig Sport	18.00
18	5.0	1.2	1.3	3.3	4.0	4	Gesund	25	männlich	Nichtraucher	gelegentlich Sport	0.00
19	5.0	1.2	1.4	3.5	4.0	4	Gesund	33	männlich	Nichtraucher	gelegentlich Sport	0.00
20	5.0	1.2	1.4	3.5	4.0	4	Gesund	36	männlich	Raucher	regelmäßig Sport	1.00

Abb. 3.11 Teildatensatz nach Aufbereitung zur Untersuchung der Kriteriumsvalidität in R

Für die Evaluierung werden **Teildatensätze** (subdata) erstellt, in denen die Belastungsarten, relevanten Outcomes und Confounder (Alter, Geschlecht, BMI etc.) integriert sind und die entsprechenden Variablen aufbereitet (Dichotomisierung, Kategorisierung, Skalenzuweisung) werden (Abb. 3.11).

Die Untersuchung der Variablen erfolgt dann vor dem Hintergrund der a priori definierten Arbeitshypothesen sowie nach **konzeptionellen Vorüberlegungen zur Untersuchung der Kausalketten** im Belastungs-Beanspruchungs-Beanspruchungsfolgenmodell.

Belastungsseitig werden hierzu die Beurteilungsergebnisse der Belastungssituation in den Arbeitssystemen mit dem **BDS-Instrument** zu Grunde gelegt (Abb. 3.12)

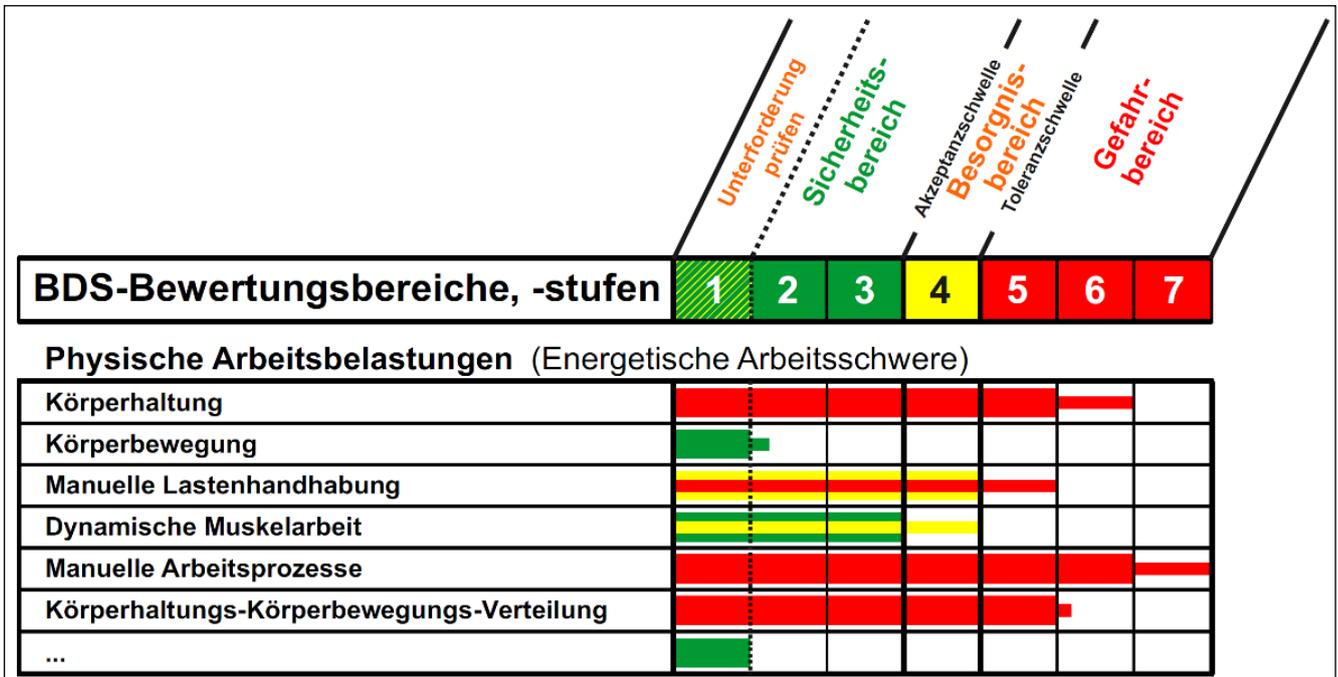


Abb. 3.12 BDS-Instrument als Datengrundlage der Belastungssituation der Arbeitssysteme
Quelle: Übersicht zum BDS-Instrument (Institut ASER e.V.)

Beanspruchungsfolgenreitig bildet die Dokumentation der **klinischen Untersuchung** (Spallek & Kuhn, 2009; Mehrstufendiagnostik nach Grifka et al., 2005) die Datengrundlage (Abb. 3.13).

<u>Lumbalgie / Lumbago?</u>			
Outcome	Ino.	Kriterium	Entscheidung
Typisches Schmerzbild in Anamnese	•	Akute od chronische Kreuzschmerzen ohne Ausstrahlung ins Bein	<input type="checkbox"/>
		Keine radikuläre Symptomatik	<input type="checkbox"/>
		Auslösung durch Hebevorgänge möglich	<input type="checkbox"/>
Prävalenz des Schmerzbildes	•	aktuell	<input type="checkbox"/>
		in den letzten 7 Tagen	<input type="checkbox"/>
		in den letzten 12 Monaten	<input type="checkbox"/>
Typische funktionell klinische Hinweise	•	Ex-Flex: Finger-Bodenabstand >15 cm vergrößert	<input type="checkbox"/>
		Seitneigung eingeschränkt	<input type="checkbox"/>
		Rotation eingeschränkt	<input type="checkbox"/>
		Lokaler Druckschmerz paravertebrale Muskulatur	<input type="checkbox"/>
		Bei pseudoradikulärer Symptomatik Ausschluss von	
		• Lasègue positiv	<input type="checkbox"/>
		• Reflexausfall / Defizite motorisch oder sensibel	<input type="checkbox"/>
ZUSAMMEN-FASSENDER BEFUND:	•	Ja, typische anamn. Hinweise für Krankheitsbild liegen vor.	<input type="checkbox"/> ₁
		Ja, typische funkt. -klin. Hinweise für Krankheitsbild liegen vor.	<input type="checkbox"/> ₂
		Keine Hinweise auf das Krankheitsbild.	<input type="checkbox"/> ₀

Abb. 3.13 Klinische Untersuchungsdokumentation als Datengrundlage der Beanspruchungsfolgen
Quelle: Mehrstufendiagnostik (Grifka et al., 2005 und Spallek & Kuhn, 2009) mit eigener Markierung

Datengrundlage der subjektiven Einschätzung der Belastungs- und Beanspruchungssituation in den Arbeitssystemen durch die Beschäftigten bildet der **SLESINA-Fragebogen** (Slesina, 1987; Caffier et al., 1999; Abb. 3.14).

Bitte überlegen Sie, ob folgende Merkmale oder Belastungsfaktoren an Ihrem Arbeitsplatz vorkommen!	Wie häufig oder wie stark trifft dieses Merkmal oder der Faktor auf Ihre Arbeit zu?				Fühlen Sie sich selbst dadurch körperlich oder geistig belastet oder beansprucht?	
	oft	mittel	selten	nie	ja	nein
<i>Beispiel: Lärm</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	
1. schwere körperliche Arbeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ungünstige Körperhaltung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Stehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Sitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Bewegungsmangel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Konzentration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. eiförmige Arbeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abb. 3.14 Subjektive Einschätzung der Belastungs-/Beanspruchungssituation
Quelle: SLESINA-Fragebogen (Slesina, 1987) mit eigener Markierung

Datengrundlage der subjektiven Einschätzung psychosozialer Aspekte von den Beschäftigten bildet der **COPSOQ-Fragebogen** (Nübling et al., 2005; Kristensen et al., 2005; Abb. 3.15).

Quantitative Anforderungen						
Ino.	Bitte beantworten Sie auch folgende Fragen in Bezug auf Ihre jetzige Tätigkeit.	Ihre Antwort				
		nie/ fast nie	selten	manch mal	oft	immer
COLB101 COS.B101	Müssen Sie sehr schnell arbeiten?	<input type="checkbox"/>				
COLB102 COS.B102	Ist Ihre Arbeit ungleich verteilt, so dass sie sich auftrümt?	<input type="checkbox"/>				
COLB103 COS.B103	Wie oft kommt es vor, dass Sie nicht genügend Zeit haben, alle Ihre Aufgaben zu erledigen?	<input type="checkbox"/>				
COLB107 COS.B104	Müssen Sie Überstunden machen?	<input type="checkbox"/>				
Kognitive Anforderungen						
COB108 COS.....	Müssen Sie bei Ihrer Arbeit auf viele Dinge gleichzeitig achten?	<input type="checkbox"/>				
COLB109 COS.....	Erfordert es Ihre Arbeit, dass Sie sich viele Dinge merken?	<input type="checkbox"/>				
COLB110 COS.....	Erfordert es Ihre Arbeit gut darin zu sein, neue Ideen zu entwickeln?	<input type="checkbox"/>				
COLB112 COS.....	Erfordert es Ihre Arbeit, schwierige Entscheidungen zu treffen?	<input type="checkbox"/>				

Abb. 3.15 Subjektive Eischätzung psychosozialer Aspekte
Quelle: COPSOQ-Fragebogen (Nübling et al., 2005) mit eigener Markierung

Neben den Kernfunktionalitäten der Programmiersprache, beispielsweise für Übersichten (summary), wurden Erweiterungspakete (Packages) installiert und verwendet. Hierzu zählen **heatmap** zur Erstellung von Heatmaps mit hierarchischer Clustering von Belastungsarten, **corrplot** zur Erstellung von Korrelationsmatrizen, **ggplot2** für die Editierung (Farbgebung, Achsenbeschriftung) und **OddsPlotty** zur Visualisierung der Odds Ratio (Abb. 3.16).

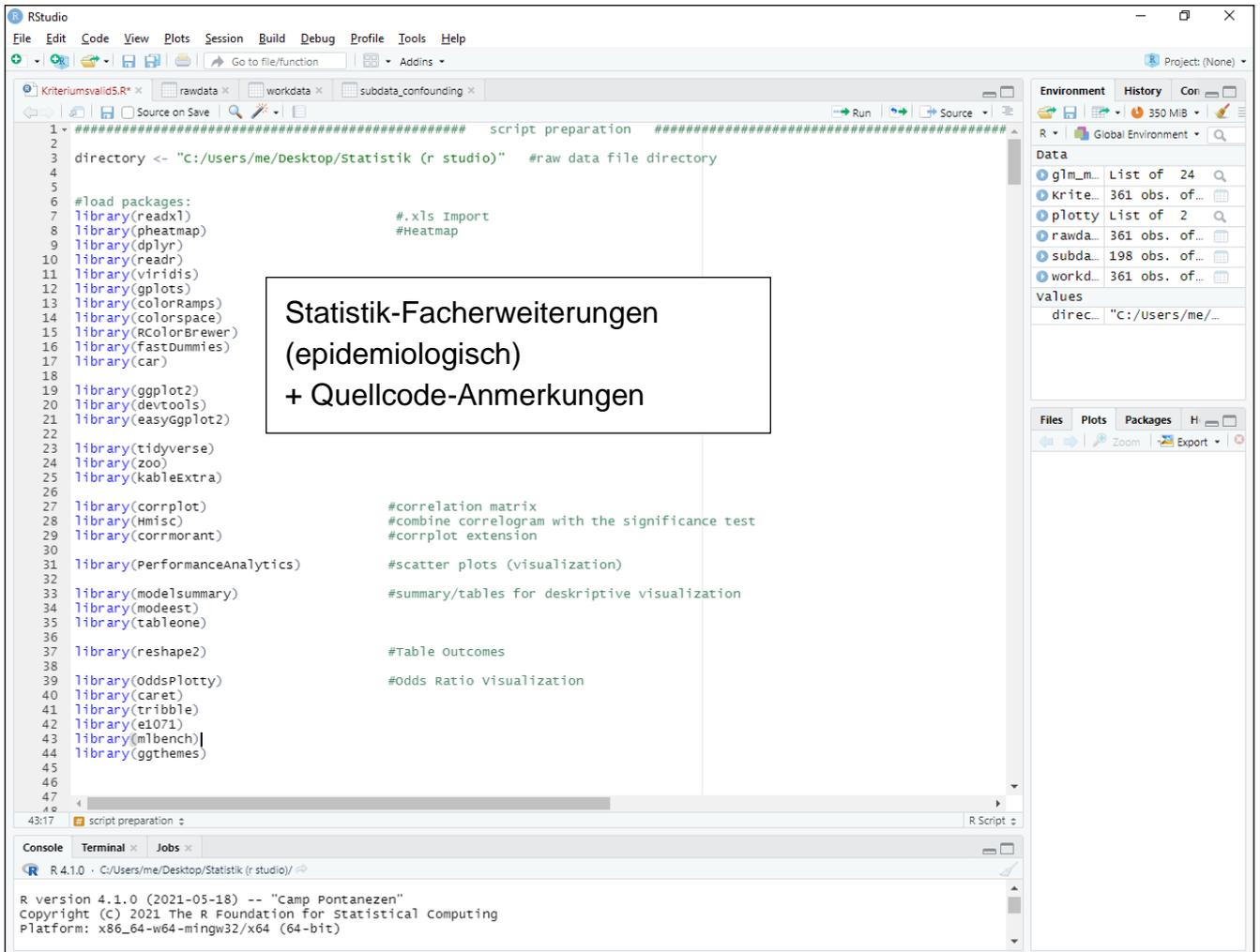


Abb. 3.16 R-Skript zur Prüfung der Kriteriumsvalidität (RStudio; Erweiterungen wie ggplot2)

Für **Binärdaten** (Gesund / Beschwerden) wird das binomiale Regressionsmodell aus der Familie der generalisierten linearen Modelle (glm) verwendet, um die Beziehung zwischen den Outcomes (jeweilige Antwortvariable y) und einer Linearkombination der Exposition gegenüber bestimmten Outcomes (erklärende Variablenvektoren X) zu modellieren. Hierbei kommt auch die Facherweiterung Caret (Classification And REgression Training) mit Funktionalitäten zur Optimierung des Modelltrainingsprozesses für komplexe Regressions- und Klassifikationsprobleme zum Einsatz (Abb. 3.17).

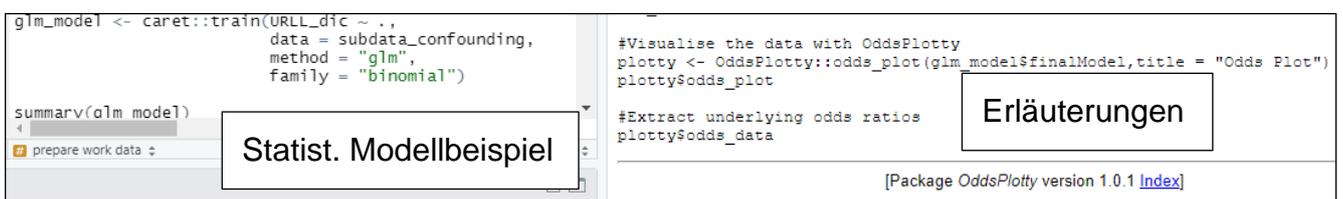


Abb. 3.17 Binomiales Regressionsmodell (glm) im R-Skript

Zur detaillierten Untersuchung und Visualisierung der Zusammenhänge zwischen der Höhe beruflicher Belastung und Outcomehäufigkeit werden Regressionsanalysen zur a priori definierten **Arbeitshypothese 7** durchgeführt. Einflussgrößen sind hierbei die Risikobereiche auf Arbeitssystemebene nach dem Risikokonzept des Instruments, sofern die Datenlage jeweils ausreichend ist (Teilkapitel 4.2.7). Die Auswahl betrachteter Zielgrößen erfolgt nach dem Belastungs-Beanspruchungs-Beanspruchungsfolgenmodell nach Belastungsarten und ebenfalls nur bei ausreichender Datenlage. Bei der Bildung der Modelle werden neben den Outcomes die Basisconfounder und sekundäre Zielgrößen wie das psychosoziale Belastungsempfinden berücksichtigt.

Für die Abschätzung und den Vergleich der Effekte der Einflussgrößen auf die Zielgrößen werden **Odds Ratio** und deren 95 %-Konfidenzintervalle bestimmt und ausgewiesen. Die jeweilige Referenzkategorie bildet dabei der Sicherheitsbereich des Instruments mit den Bewertungsstufen 1 bis 3. Die einzelnen Regressionsmodelle basieren auf den integrierten Standardfunktionalitäten in Kombination mit den **epidemiologischen Erweiterungspaketen** der Statistik-Programmiersprache R. Eingesetzt werden Generalisierte Lineare Modelle (glm) mit Link-Funktionen an mehrstufig adjustierten Modellen, indem je nach Modell unter anderem Basisconfounder wie Alter und Body-Mass-Index (BMI), aber auch gleichzeitige Expositionen gegenüber anderen Belastungsarten und Beschäftigten-bezogene Werte aus dem COPSOQ-Fragebogen einbezogen wurden. Zur Realisierung der Regressionsanalysen werden die einbezogenen Variablen im Falle von unzureichender Ausgangsskalierung angepasst (Kategorie-/Dichotomisierung). Variablen mit fehlenden Angaben wurden entfernt und damit nur jeweils komplette Fälle aus dem Datensatz in die Berechnungen einbezogen.

Da sich die **Rotationsvarianten** belastungsseitig unterscheiden können, werden diese als eigenständige Arbeitssysteme mit einem korrespondierendem Belastungs-/Gefährdungsprofil (BDS) behandelt. Die Zuordnung einer oder mehrerer darin beschäftigter Personen erfolgt unabhängig ohne Reihung/Folge und liegt nur pseudonymisiert (Datenschutzkonzept) vor.

Zur **Untersuchung der Zusammenhänge** werden für jede Belastungsart jeweils einheitliche Modelle für die Regressionsanalysen verwendet, beginnend mit dem Ausgangsmodell mit dem Outcome und der betrachteten Belastungsart (Modell 1). Modell 2 umfasst Basisconfounder wie Alter, Geschlecht und Body-Mass-Index. Ab Modell 3 wurden auch die Bewertungen des Instruments für alle physischen Belastungen mit ausreichender Datenlage über alle Bewertungskategorien berücksichtigt. Körperbewegung wurde ausgeschlossen, da im Datensatz „nur“ Bewertungen der Bewertungsstufe 1 bis 4 vorlagen. Das Modell 4 berücksichtigte auch die tägliche und wöchentliche Arbeitszeit. Schließlich berücksichtigte das Modell 5 hierzu zusätzlich die psychosozialen Arbeitsplatzbelastungen nach den Angaben der Beschäftigten.

Für die Durchführung der epidemiologischen Statistik wird ein R-Skript in der grafischen Benutzeroberfläche RStudio programmiert. Damit wird der geschriebene **Quellcode** transparent archiviert und steht für weitere Forschung als Ausgangspunkt zur Verfügung. Die Ergebnisaufbereitung erfolgt tabellarisch und grafisch mit den epidemiologischen R-Facherweiterungen innerhalb eines Skriptes, das die Datenaufbereitung, die Berechnungen, die Visualisierung und den Export in die vorliegende Dissertation enthält. Eingesetzt werden nur die von der internationalen R-Fachcommunity veröffentlichten und transparent auf GitHub veröffentlichten **R-Facherweiterungen**.

Auch die im Rahmen der Evaluierung des Instruments entwickelten Methoden, Hilfestellungen und Datensätze werden fachthematisch sortiert und zur Verfügung gestellt. Das umfasst auch das **R-Skript** mit den Facherweiterungen und zu exportieren Visualisierungen wie Box-Plots, Streu- und Mosaikdiagramme, Tabellen etc.

Das Programmierskript der Statistikprogrammiersprache R enthält Hinweise des Autors zur einfacheren Nachvollziehbarkeit für Dritte, zum Weiterschreiben des Programmierskripts für Anschlussuntersuchungen, die durch einen von einem Hashtag angeführte hellgrüne Textpassagen gekennzeichnet werden. Die Vorbereitung von **Daten- und Subdatensätzen**, Variablen, Regressionsmodellen und Hilfestellungen aus den Facherweiterungspaketen wird integriert (Abb. 3.18)

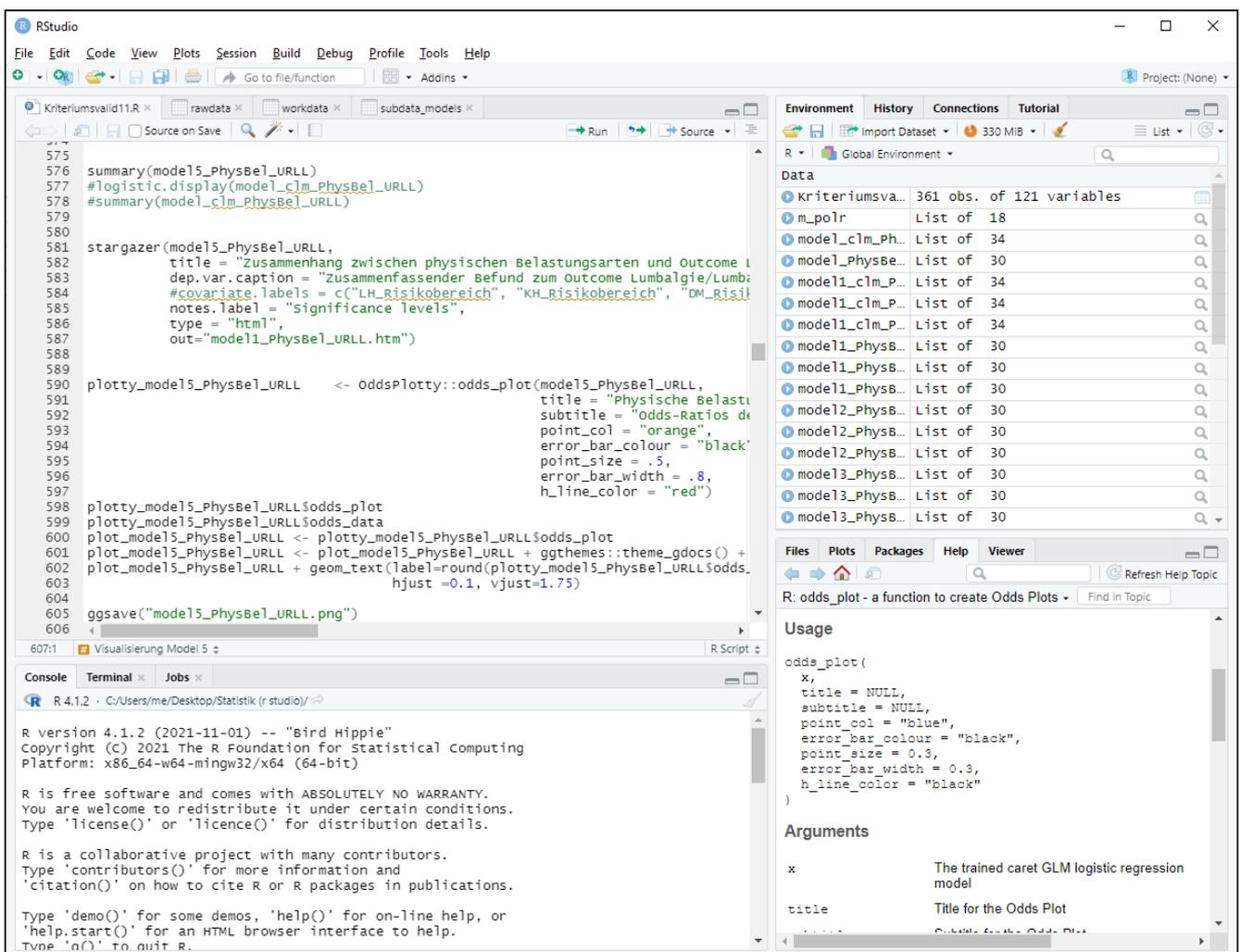


Abb. 3.18 R-Skript (hier Quellcode-Zeilen 575 - 606) mit Konsole und Datenumgebung

Das Programmierskript wird in **eigenständige Blöcke** je Plot und Reiter mit sich automatisch öffnenden Teildatensätzen unterteilt. Die Rohdaten verbleiben dabei jeweils unverändert und können jederzeit über die Karteikarte „rawdata“ eingesehen werden.

Zur Beschreibung der Belastungen an den Arbeitssystemen werden die Verteilungen der BDS-Bewertungsstufen für die wichtigsten Belastungsarten beschrieben. Ausgewiesen werden die Anzahl, Anzahl als Zeilen (%), Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Median und Maximum (Tab. 3.6).

Tab. 3.6 Deskriptive Statistik zur Verteilung der Bewertungsstufen der Belastungsarten

Belastungsart	BDS-Bewertungsstufe								
	0	1	2	3	4	5	6	7	Gesamt
Anzahl									
Anzahl als Zeilen (%)									
Mittelwert									
Standardabweichung									
Minimum									
Median									
Maximum									

Mithilfe dieser Datenbasis erfolgt dann anschließend die Visualisierung der Verteilungen der resultierenden BDS-Bewertungsstufen der einzelnen Belastungsarten mit Hilfe von Balkendiagrammen (Abb. 3.19).

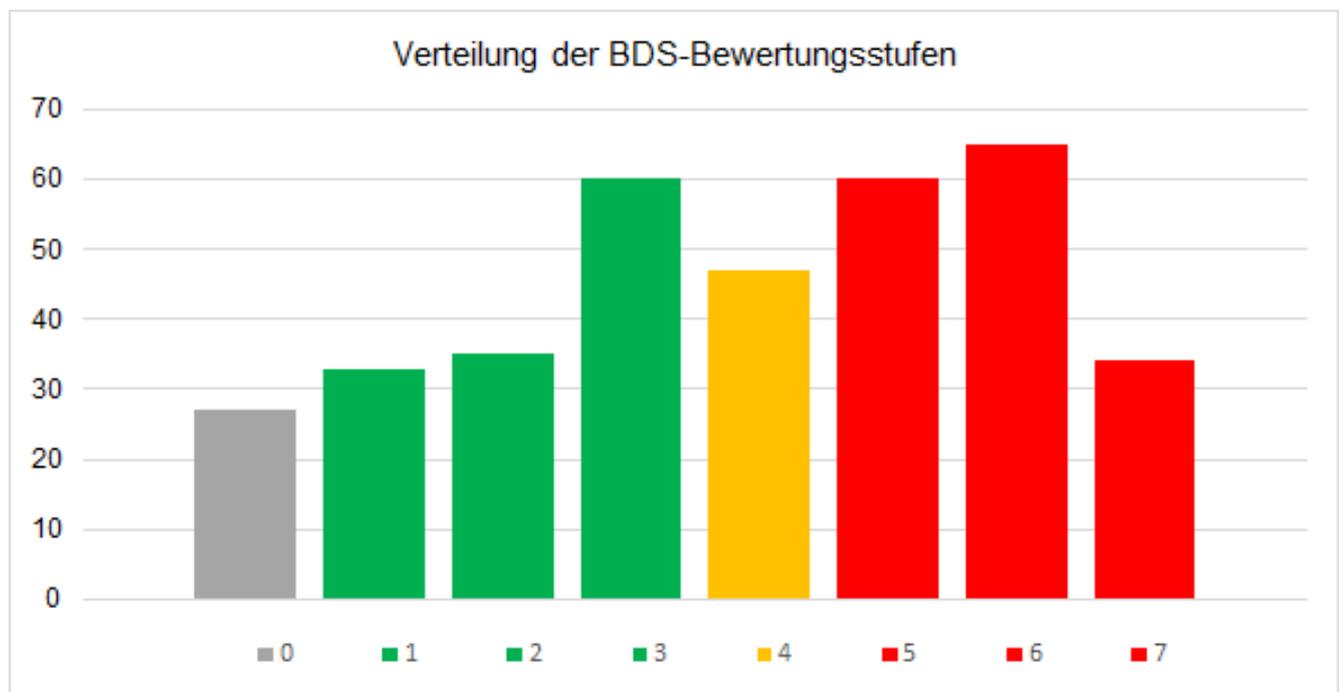


Abb. 3.19 Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung von BDS-Bewertungsstufen

3.2.2 Evaluierung der Reliabilität

Reliabilität gibt die Zuverlässigkeit bei wiederholender Messung bei identischen Bedingungen an (Wirtz & Caspar, 2002). Damit kann bestimmt werden, mit welcher Zuverlässigkeit das Instrument in Praxis und Forschung angewendet werden kann. Reliabilität wird in der Literatur untersucht durch Überprüfung der **Intra-Rater-Reliabilität**, das heißt durch eine Untersuchungswiederholung zu zwei verschiedenen Zeitpunkten sowie durch **Paralleltests**, das heißt durch Wiederholung mit anderen, gleichwertigen Instrumenten oder sofern nicht vorhanden, durch Wiederholung von vergleichbaren Teilaspekten von Instrumenten.

3.2.2.1 Evaluierungsziele

Mit der Überprüfung der Intra-Rater-Reliabilität des Instruments soll bestimmt werden, inwieweit die Beurteilungsergebnisse des Instruments bei identischem Arbeitssystem und Anwender, aber zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten, übereinstimmen.

Weiter soll mittels Paralleltest des Instruments mit dem Humantech-Kombinationsverfahren überprüft werden, inwieweit bei der Anwendung vergleichbarer Teilaspekte die anhand der durchgeführten Analysen gewonnenen Ergebnisse des Instruments mit den Ergebnissen des Humantech-Kombinationsverfahrens übereinstimmen (Tab. 3.7).

Tab. 3.7 Ziel der Überprüfung der Reliabilität des Instruments

Reliabilität (Typ, Sub-Typ)	Überprüfungsziele
Intra-Rater-Reliabilität	Inwieweit stimmen die Beurteilungsergebnisse bei identischem Rater bei Untersuchungswiederholung zu zwei verschiedenen Zeitpunkten überein?
Paralleltest	Inwieweit stimmen die Ergebnisse des Instruments mit den Ergebnissen des Humantech-Kombinationsverfahrens überein?

3.2.2.2 Eingesetzte Methoden

Zur Bestimmung der Intra-Rater-Reliabilität wird von einem Arbeitswissenschaftler ein Arbeitssystem zum Zeitpunkt t_0 analysiert und die Analyse zu einem späteren Zeitpunkt t_1 wiederholt. Denn mit diesem Vorgehen können anschließend die Bewertungsergebnisse der ersten und der zweiten Analyse miteinander verglichen werden.

Beim Paralleltest wird ein identisches Arbeitssystem mit dem Instrument und mit dem Humantech-Kombinationsverfahren analysiert. Auf dieser Grundlage kann überprüft werden, inwieweit die Ergebnisse beider Vorgehensweisen übereinstimmen (Tab. 3.8).

Tab. 3.8 Eingesetzte Methoden zur Überprüfung der Reliabilität des Instruments

Reliabilität (Typ, Sub-Typ)	Eingesetzte Methoden
Intra-Rater-Reliabilität	Anwendung des Kernverfahrens Produktionsergonomie und Risikobeurteilung auf ein identisches Arbeitssystem von einem Arbeitswissenschaftler zu zwei verschiedenen Zeitpunkten t_0 und t_1 : Vergleich der beiden Bewertungsergebnisse der Belastungs- und Gefährdungsprofile durch Vergleich der Bewertungsergebnisse in den Belastungsgruppen Physische Belastungen, Umgebungsbedingungen, Psychische Belastungen und Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung. Intensive Überprüfung von Analyse und Bewertungsergebnissen bis auf die Vorgangsebene.
Paralleltest	Anwendung des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens auf ein identisches Arbeitssystem durch einen Arbeitswissenschaftler: Intensiver Vergleich der Ergebnisse in der Gruppe der physischen Belastung auch unter Einbeziehung der Ausweisung der Wirkungen anhand der Ergebnisdarstellung der Avatare.

3.2.2.3 Angewendete Methodik

Zur Überprüfung der **Intra-Rater-Reliabilität** des Instruments wird ein komplexeres Arbeitssystem von dem Arbeitswissenschaftler analysiert und die Analyse nach einem Jahr wiederholt. Bei dem Arbeitssystem handelt es sich um einen Arbeitsplatz in der Intralogistik, die in einem produktionsnahen, aber abgetrennten Werkhallenbereich stattfindet. Über die Schicht verteilt sind diverse Ein- und Auslagerungstätigkeiten auszuführen. Von einfachen Tätigkeiten wie dem Scannen von Barcodes bis hin zum Transport von Trolleys kommt daher eine Vielzahl an verschiedenen Belastungsarten vor.

Zur t_0 -Analyse erfolgt eine Beobachtungsanalyse an dem komplexen Arbeitssystem vor Ort zur Entwicklung der Systemabgrenzung und zur Analyse der vorgangsbezogenen Aspekte der Belastung für die Belastungsgruppen Physische Belastungen, Umgebungsbedingungen, Arbeitsorganisation und Belastung durch Schutzausrüstung. Nach vollständig abgeschlossener Analyse wird das resultierende Belastungs- und Gefährdungsprofil des Arbeitssystems für den später folgenden Abgleich mit den Teil- und Endergebnissen zu den einzelnen Belastungshöhen und deren zugrunde liegenden Belastungsparametern mit der nach anderthalb Jahren folgenden t_1 -Analyse archiviert.

Die in der Praxis häufig auftretende Problemstellung sich im Zeitverlauf verändernder Arbeitssysteme wird über die Durchführung der t_1 -Analyse anhand der vor Ort aufgenommenen Betriebsdaten und anhand einer erneuten Beobachtungsanalyse des zum Zeitpunkt t_0 aufgezeichneten Videomaterials gelöst. Denn auf dieser Grundlage kann anschließend ein intensiver Paarvergleich der Analyse- und Bewertungsergebnisse der beiden Datensätze t_0 und t_1 durchgeführt werden. So kann anhand sich nicht ändernder Ausgangsparameter festgestellt werden, inwieweit eine identische Systemabgrenzung vorgenommen wird, inwieweit die Belastungs- und Gefährdungsprofile identisch sind und inwieweit auch die einzelnen Bewertungen auf Tätigkeitsebene identisch sind.

3.2.2.4 Auswertungsmethoden

Die Überprüfung soll detailliert vorgenommen werden und erfordert daher einen Vergleich der Bewertungen bis auf die Unterebene der einzelnen Vorgänge. Um diese Auswertung zu ermöglichen, wird mit einer einheitlichen Codierung der Vorgänge gearbeitet. Sortiert nach Gruppen und Untergruppen werden hierfür 3-stellige Codierungen (Codierungen 220, 230, 240ff.; Abb. 3.20) verwendet. Denn damit sollen die Vergleiche anschließend zielgenau vorgenommen werden können.

Magazin01		220	230	240	300	310	320	400	Y	Z
Physische Belastungen										
5	Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	5	3	5	2	5	2	1	1	0
1	Körperbewegung	1	1	1	2	2	1	1	1	0
6	Lastenhandhabung	7	1	1	6	4	1	1	1	0
3	Dynamische Muskelarbeit	7	1	2	7	4	1	1	1	0
2	Manuelle Arbeitsprozesse	1	3	5	1	4	1	1	1	0
Umgebungsbedingungen										
2	Schallbelastung (Lärm)	2	2	2	2	2	2	2	1	0
1	Vibrationen Ganzkörper	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	Vibrationen Hand-Arm	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	Klima - hohe Temperaturen	6	2	2	6	3	2	2	2	0
1	Klima - niedrige Temperaturen	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	Klima - Wärmestrahlung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	Zugluft	4	4	4	4	4	4	4	2	0

Abb. 3.20 Auswertungsmethode zur Untersuchung der Intra-Rater-Reliabilität
Quelle: Kernverfahren im BDS-Instrument (GEWITEB)

Für die Auswertung des **Paralleltests** wird auf die Bewertungsergebnisse der physischen Belastungsarten und deren Wirkungsstärke auf die Körperzielregionen zurückgegriffen, die mittels Avatar-Darstellung visualisiert werden. Damit kann anschließend die hierzu korrespondierende Ergebnisdarstellung mit dem beim Humantech-Kombinationsverfahren verwendeten Avatar verglichen und die Übereinstimmung ausgewertet werden (Abb. 3.21).

LMM2019 Bewertung - Arbeitsplatz: Paralleltest

Arbeitsplatzprofil **Mischbelastung**

Profil LMM2019: männlich

Bewertungsstufen	1	2	3	4	5	6	7
Heben, Halten und Tragen (LMM HHT 2019)							
Ziehen und Schieben (LMM ZS 2019)							
Manuelle Arbeitsprozesse (LMM MA 2019)							
Ganzkörperkräfte (LMM GK 2019)							
Körperfortbewegung (LMM KB 2019)							
Körperzwangshaltung (LMM KH 2019)							



Übersicht - Heben, Halten und Tragen (LMM HHT 2019) Nur relevante Vorgänge anzeigen

Vorgangname	anteilig			Vorgang			Merkmalspunkte Männer Summe	Merkmalspunkte Frauen Summe
	LMM-Punkte Männer	LMM - Punkte Frauen	Zeit-wichtung	LMM-Punkte Männer	LMM - Punkte Frauen	Zeit-wichtung		
Umsetzen der KLT's	101,1	111,8	4,24	101,1	111,8	4,2	23,8	26,4
Summen	101,1	111,8						

Abb. 3.21 Auswertungsmethode für den Paralleltest
Quelle: Fachverfahren Physische Arbeitsbelastungen (Ausschnitt) mit Avatar im BDS-Instrument (GEWITEB)

3.2.3 Evaluierung der Objektivität

Als drittes Hauptgütekriterium gibt die Objektivität an, inwieweit eine Unabhängigkeit der Ergebnisse von Anwendern vorliegt. Durch Untersuchung der Konkordanz¹⁵ kann bestimmt werden, inwieweit das Instrument unabhängig vom individuellen Urteil der Anwender*innen einsetzbar ist. Als Maß für die Objektivität wird in der Literatur die Inter-Rater-Reliabilität verwendet. Dabei lässt sich wiederum differenzieren in Überprüfungen der Durchführung sowie in Überprüfungen der Interpretation (Lienert & Raatz, 1998).

3.2.3.1 Evaluierungsziele

Die Überprüfung der Objektivität soll ermitteln, inwieweit die Beurteilungsergebnisse unterschiedlicher Anwender*innen (Rater) des Instruments übereinstimmen. Zielstellung ist in diesem Rahmen auch, Praxis-Feedback¹⁶ im Gespräch zu sammeln. Denn hieraus lassen sich in der Regel nützliche Hinweise zu den im Instrument integrierten Hilfestellungen und Handlungshilfen (Informationsfelder etc.) ableiten (Tab. 3.9).

Tab. 3.9 Ziel der Überprüfung der Objektivität des Instruments

Objektivität (Typ, Sub-Typ)	Überprüfungsziel
Inter-Rater-Reliabilität	Inwieweit stimmen die Beurteilungsergebnisse unterschiedlicher Anwender*innen des Instruments („Rater“) überein?
Durchführung	Inwieweit ist eine einheitliche Durchführung möglich?
Interpretation	Inwieweit werden die Ergebnisse einheitlich interpretiert?

3.2.3.2 Eingesetzte Methoden

Zur Bestimmung der Objektivität des Instruments wird untersucht, inwieweit eine **einheitliche Durchführung** möglich ist. Das erfolgt durch Überprüfung, inwieweit es mit dem Instrument bei der Anwendung durch mehrere Anwendende zu vergleichbaren Ergebnissen kommt.

Zusätzlich wird zur Bestimmung der Objektivität des Instruments auch im Gespräch mit den Anwendenden untersucht, inwieweit die Ergebnisse einheitlich interpretiert werden. Nach der Anwendung werden dazu die Teilnehmer mündlich zu ihrer Interpretation befragt (Tab. 3.10).

Tab. 3.10 Eingesetzte Methoden der Überprüfung der Objektivität des Instruments

Objektivität (Typ, Sub-Typ)	Eingesetzte Methoden
Inter-Rater-Reliabilität	Inwieweit stimmen die Beurteilungsergebnisse unterschiedlicher Anwender*innen des Instruments („Rater“) überein?
Durchführung	Beurteilung von jeweils drei Tätigkeiten durch 10 Anwender*innen
Interpretation	Interpretation der Ergebnisse durch die Anwender*innen

¹⁵ Ausmaß an Übereinstimmung

¹⁶ Was wird nicht verstanden? Wo liegen Fehlerquellen? Gibt es Interpretationsunterschiede?

3.2.3.3 Angewendete Methodik

Zur Bestimmung der Objektivität des Instruments mit Hilfe der Inter-Rater-Reliabilität bezüglich der Durchführbarkeit werden im Rahmen einer Qualifizierung von zehn Teilnehmer*innen drei auf Video aufgezeichnete Tätigkeiten beurteilt. Für diese drei Tätigkeiten wurden mit dem Umsetzen von Säcken, dem Transport eines Handwagens und einer Injektorenprüfung gezielt unterschiedliche Belastungsarten a priori ausgewählt, die wie folgt charakterisiert sind:

Beurteilungsaufgabe 1 zum Heben, Halten, Tragen: Umsetzen von Säcken

Ein Beschäftigter setzt 60 Säcke pro Schicht mit einem Gewicht von 25 Kilogramm von einer Palette auf einen nahegelegenen Container um. Die einfache Distanz mit Ladung beträgt mehr als fünf Meter (Umsetzen). Der Boden ist uneben. Hinweis an die Rater*innen: Denken Sie später bitte immer an die verschiedenen Ebenen, wenn Sie mit Videoausschnitten arbeiten, die nicht den gesamten Belastungsabschnitt zeigen!

Beurteilungsaufgabe 2 zum Ziehen, Schieben: Transport eines Handwagens

Das Gewicht der Ladung beträgt 300 Kilogramm bei 50 kg Leergewicht. Die einfache Distanz beträgt 15 Meter und die Dauer 22 Sekunden. Damit beträgt die Geschwindigkeit ca. 0,7 m/s. Die Frequenz ist 40-mal pro Schicht; der Boden eben und trocken. Der Wagen hat 2x Bock- und 2x-Lenkrollen, die sauber sind und aus Standard-Gummi für geringe Gewichte bestehen. Griffe sind verfügbar mit geeigneten Abmaßen in einer (nicht höhenverstellbaren) Position.

Beurteilungsaufgabe 3 zu Manuellen Arbeitsprozessen: Bauteilprüfung

Dieser Zyklus wiederholt sich pro Tag etwa 420-mal pro Schicht bei einem Filmausschnitt von 60 Sekunden. Das Bauteil wiegt etwa 400 Gramm. Dabei erfolgt kein Wechsel mit anderen Tätigkeiten. Als Umgebungsbedingungen liegt eine gute Beleuchtung, aber auch eine geringe Geräuschbelastung vor.

3.2.3.4 Auswertungsmethoden

Für die Auswertung der Inter-Rater-Reliabilität werden für alle Beurteilungsaufgaben zunächst Ergebnistafeln erstellt. Hierin finden sich die einzelnen Aspekte der jeweiligen Belastungsart und deren Einschätzung von den Rater*innen. Wichtig ist: Die Belastungsaspekte greifen dabei auf **Ordinalskalen mit variabler Kategorienanzahl** zurück. Beispielsweise wird die Expositionsdauer durch die Anzahl, die Dauer oder den Weg über 18 verschiedene Kategorien beschrieben; bei den Ausführungsbedingungen sind es dagegen beispielsweise lediglich drei Kategorien (Tab. 3.11).

Tab. 3.11 Auswertung der Inter-Rater-Reliabilität mit einer Ergebnistafel

Aspekte der Belastung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	18
1. Anzahl, Dauer, Weg											
2. Wirksame Last											
3. Körperhaltung											
4. Ausführungsbedingungen											
Ergebnis											
5. Risikobereich											

Visualisierung der max. Kategorienanzahl je Belastungsaspekt

Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Evaluierung der Objektivität

Die Ergebnistafeln bilden die Grundlage zur Auswertung der Reliabilitätsüberprüfungen. Hiervon ausgehend können anschließend das Expertenvotum und die Ergebnisse der Rater*innen absolut und im Verhältnis zueinander verglichen werden (Δ). Dabei werden jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (s) sowie der maximale und minimale Wert der Rater*innen angegeben (Tab. 3.12).

Tab. 3.12 Auswertung der Inter-Rater-Reliabilität - Durchführbarkeit

Aspekte der Belastung	Exp	Anw MW	s	Min	Max	Δ (Delta) Exp-MW	%
1. Anzahl, Dauer, Weg							
2. Wirksame Last							
3. Körperhaltung							
4. Ausführungsbedingungen							
Ergebnis							
5. Risikobereich							

Die empirische Standardabweichung wird dabei aus der positiven Quadratwurzel aus der empirischen Varianz errechnet (Timischl, 2013).

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad s = + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Formel 3.1

Um alle Auswertungen zentral durchführen zu können, wurden die verwendeten statistischen Verfahren mit transparenter Formelauflistung und Kommentaren mit der Microsoft Excel **Real Statistics**-Erweiterung programmiert. Hiermit können auch statistische Auswertungen zur **Intra-Klassen-Korrelation** und zum **Fleiss' Kappa** durchgeführt werden (Abb. 3.22).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

- Worksheet 1:** Data for 4 aspects of load (Anzahl, Dauer, Weg; Wirksame Last; Körperhaltung; Ausführungsbedingungen) across 10 raters. Columns include 'Anw MW', 's', 'Min', 'Max', and 'Delta'.
- Worksheet 2:** Summary table for the 4 aspects, including 'Anw MW', 's', 'Min', 'Max', 'Exp - MW', and '%'. A note indicates '40 von 40 richtige Entscheidungen = 100%, d.h. keine abweichende Meinung'.
- Worksheet 3:** Formulas for Intra-Klassen-Korrelation (ICC):

$$ICC(1,1) = \frac{MS_{\text{Bew}} - MS_{\text{Rater}}}{MS_{\text{Bew}} + (k-1)MS_{\text{Rater}}}$$

$$ICC(3,1) = \frac{MS_{\text{Bew}} - MS_{\text{Rater}}}{MS_{\text{Bew}} + (k-1)MS_{\text{Rater}}}$$
- Worksheet 4:** Formula for Gewichtetes Kappa:

$$K = \frac{P_{\text{D}} - P_{\text{E}}}{1 - P_{\text{E}}}$$
- Worksheet 5:** Formulas for Messener Übereinstimmungswert and Erwartungswert für den Zufall.
- Worksheet 6:** Formula for Fleiss' Kappa.

Abb. 3.22 Berechnung von Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und Fleiss' Kappa (κ)

Die Interpretation der resultierenden Korrelationskoeffizienten (r) erfolgt von geringer Güte der Korrelation mit $r \geq 0,1$ bis $< 0,3$ bis zu hoher Korrelationsgüte ab $r \geq 0,5$, was hierbei für positive wie negative Werte gilt (Cohen, 1988; Tab. 3.13).

Tab. 3.13 Interpretation resultierender Korrelationskoeffizienten

Korrelationskoeffizient (r)	Güte der Korrelation (Cohen, 1988)
$\geq 0,1 - < 0,3$	gering (small)
$\geq 0,3 - < 0,5$	mittel (medium)
$\geq 0,5$	hoch (large)

Die Interpretation des resultierenden Fleiss-Kappa (κ) erfolgt von schlecht bei Kappa kleiner 0 bis fast perfekt ab Kappa-Werten größer 0,8 (Landis & Koch, 1977; Tab. 3.14).

Tab. 3.14 Interpretation resultierender Kappa-Werte (κ)

Kappa (κ)	Grad der Übereinstimmung (Landis & Koch, 1977)
< 0	schlecht (poor)
$0 - 0,2$	klein (slight)
$> 0,2 - 0,4$	gering (fair)
$> 0,4 - 0,6$	moderat (moderate)
$> 0,6 - 0,8$	stark (substantial)
$> 0,8$	fast perfekt (almost perfect)

Die Interpretation der resultierenden Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) erfolgt von schlecht bei Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten kleiner 0,4 bis exzellent bei Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten größer 0,75 (Fleiss, 1986; Tab. 3.15).

Tab. 3.15 Interpretation resultierender Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC)

Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC)	Grad der Übereinstimmung (Fleiss, 1986)
$< 0,40$	schlecht (poor)
$\geq 0,40 - 0,75$	gering bis gut (fair to good)
$> 0,75$	exzellent (excellent)

Die Interpretation und Visualisierung (in R) des Signifikanzniveaus erfolgen von statistisch hoch signifikant mit $p \leq 0,001$ bis nicht signifikant ohne Symbol mit $p > 0,1$ (Tab. 3.16; modifiziert nach Fisher & Yates, 1963).

Tab. 3.16 Interpretation des Signifikanzniveaus

Signifikanzniveau (p-value)	Signifikanzcode	Signifikanzniveau
$> 0,1$	kein Symbol	nicht signifikant
$> 0,05 - \leq 0,1$	.	nicht signifikant
$> 0,01 - \leq 0,05$ ($\leq 5\%$)	*	signifikant
$> 0,001 - \leq 0,01$ ($\leq 1\%$)	**	sehr signifikant
$\leq 0,001$ ($\leq 0,1\%$)	***	hoch signifikant

3.3 FINER-Prüfung der Forschungsfragen und Methodik

Nachdem die Forschungsfragen aus der Ausgangslage abgeleitet und das Vorgehen (Methodik) zu deren Untersuchung festgelegt und dokumentiert wurde, konnte das geplante Vorgehen anhand der FINER-Kriterien geprüft werden. Hiermit wird das Forschungsvorhaben in Bezug auf zentrale wissenschaftstheoretische Überlegungen mehrerer Autoren (Durbin, 2004; Aslam & Emmanuel, 2010; Farrugia et al., 2010; Cummings et al., 2013; Fandino et al., 2019) vorab geprüft. In die Prüfung einbezogen werden dabei Durchführbarkeit (Feasibility), Interessantheit (Interest), Neuheit (Novel), Ethik (Ethic) und Relevanz (Relevance).

Tab. 3.17 FINER-Prüfung der Forschungsfragen und Methodik

FINER-Kriterien	Prüfung
<p>✓ F Feasibility Ist die Forschung durchführbar?</p>	<p>Literaturreview: Notwendige Informationen Hauptgütekriterien lassen sich testen (Testliteratur / aktuell z.B. MEGAPHYS (BAuA, 2019) Standardisiertes Vorgehen jeweils für Weiterentwicklung und Evaluierung konzipiert</p>
<p>✓ I Interest Ist die Forschung interessant?</p>	<p>Megatrends, Smart-Factory, ... Demografie, Fachkräftemangel, ... Erkrankungsgeschehen, Entwicklungsländer, Lieferkettengesetz, ...</p>
<p>✓ N Novel Sind die zu erwartenden Ergebnisse neu?</p>	<p>Neue Methodenebenen Robotik -> Cobots Aktuelle, umfangreiche Datensätze Qualifizierungen wirksam?</p>
<p>✓ E Ethic Ist die Forschung ethisch?</p>	<p>Prüfung der DFG-Leitlinie 10: <u>Keine</u> Experimente an Menschen oder Tieren, <u>kein</u> Dual Use, Übergeordnetes Ziel: Gute Arbeitsbedingungen / Nachhaltiges Wachstum</p>
<p>✓ R Relevance Ist die Forschung relevant?</p>	<p>Messung Beanspruchungsgrößen für Praxis schwierig - > daher Operationalisierung wichtig Unterrepräsentierung des Fachgebiets in vielen Ausbildungen, Studiengängen, ... Viele zurückgezogene Verfahren (siehe Ausgangslage)</p>

Bei der FINER-Prüfung wurde festgestellt, dass sich aufbauend auf dem standardisierten Vorgehen, konzipiert jeweils für die Weiterentwicklung und für die Evaluierung, die Forschungsfragen untersuchen lassen, die Entwicklungen hin zur Smart-Factory einerseits und das Erkrankungsgeschehen andererseits interessante Ergebnisse erwarten lassen. Neue Ergebnisse werden erwartet, insbesondere auch da neue Datensätze vorliegen. Bei der Prüfung der DFG-Leitlinie 10 wurde kein Ethikverstoß festgestellt, insbesondere da hier keine Experimente an Menschen und Tieren vorgesehen sind und die Beschäftigten hier nicht gezielt und zusätzlich erhöhten Belastungen ausgesetzt werden. Die Relevanz ergibt sich unter anderem für die praktische Anwendung des Instruments in Organisationen, die ihre Arbeitsbedingungen und das betriebliche Knowhow verbessern wollen und hierfür auf valide und möglichst einfache Verfahren angewiesen sind (Tab. 3.17).

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Weiterentwicklung und Evaluierung des Instruments werden anhand der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen beschrieben (Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Überblick der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen

Arbeitshypothesen	Kapitel
Arbeitshypothese 1 (Praxiserprobung): Die Struktur der Belastungsarten des Instruments ist neben der Analyse, Beurteilung und Gestaltung klassischer Arbeitssysteme gleichermaßen auch für die Analyse, Beurteilung und Gestaltung von neuartigen („4.0“) Smart-Factory-Arbeitssystemen geeignet.	4.1.13
Arbeitshypothese 2 (Logische Validität): Die ganzheitliche Struktur der Belastungsarten des Instruments bildet belastungsrelevante Merkmale von Arbeitssystemen und damit eine große Bandbreite der Beanspruchung ab.	4.2.2.1
Arbeitshypothese 3 (Augenscheinvalidität): Bei der Belastungsart Heben, Halten und Tragen von Lasten beeinflussen jeweils das Lastgewicht, die Expositionsdauer sowie eine Kombination aus beidem die resultierende Bewertungsstufe.	4.2.2.2
Arbeitshypothese 4 (Diskriminanzvalidität): Die nach evidenzbasierten Kriterien ausgewählten Belastungsarten ermöglichen einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen.	4.2.3
Arbeitshypothese 5 (Nomologische Validität): Nomologische Validität ist gegeben, da Zusammenhänge über die Belastungsarten und deren Beanspruchungswirkungen bekannt sind.	4.2.4
Arbeitshypothese 6 (Methodenverzerrung): Methodenverzerrung wird ausgeschlossen, da hierzu Hilfestellungen und Praxiserfahrungen vorliegen.	4.2.5
Arbeitshypothese 7 (Kriteriumsvalidität): Bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche eingestuft werden, finden sich über die Risikokategorien hinweg ansteigend höhere Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen bzw. ein höheres subjektives Beanspruchungsempfinden als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht ausgesetzt sind (Referenzgruppe).	4.2.7
Arbeitshypothese 8 (Intra-Rater-Reliabilität): Ein Arbeitswissenschaftler bewertet eine vorgegebene Tätigkeit zu zwei Zeitpunkten. Bei der später wiederholten Anwendung des Instruments bei der Bewertung derselben Tätigkeit sind die Bewertungsergebnisse mit den Ergebnissen der ersten Bewertung vergleichbar.	4.2.8.1
Arbeitshypothese 9 (Paralleltest): Bei der Anwendung vergleichbarer Aspekte des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens werden vergleichbare Ergebnisse erzielt.	4.2.8.2
Arbeitshypothese 10 (Objektivität: Inter-Rater-Reliabilität-Durchführung): Wenden verschiedene betriebliche Akteure das Instrument auf eine bestimmte Tätigkeit an, so kommen sie zu vergleichbaren Ergebnissen.	4.2.9.1
Arbeitshypothese 11 (Objektivität: Inter-Rater-Reliabilität-Interpretation): Das Risikokzept des Instruments ist eindeutig formuliert sowie mit Hilfe der Signalfarben des Ampelsystems erwartungskonform ausgewiesen. Damit lässt sich das Erfordernis und die Dringlichkeit von Maßnahmen nachvollziehbar ableiten.	4.2.9.2

4.1 Weiterentwicklung des Instruments

Die Umsetzung der Weiterentwicklung (und Evaluierung) des Instruments erfolgte nach der im Teilkapitel 2.6.3 in Verbindung mit dem Unterkapitel 3.1 aufgeführten standardisierten iterativen Vorgehensweise. Die Ergebnisse der Weiterentwicklung werden im Unterkapitel 4.1, die Ergebnisse der Evaluierung anschließend im Unterkapitel 4.2 beschrieben.

Die im Jahr 1976 begonnene wissenschaftliche Entwicklung und kontinuierliche Weiterentwicklung des Instruments hat ein Portfolio aus Fach- und Prozessverfahren, Auswertungen, Kennzahlen und Reporting hervorgebracht, in das die Fachkenntnisse **mehrerer Wissenschaftler/-innen-Generationen** eingeflossen sind (Unterkapitel 2.1). Es stellte sich daher die Frage, welche Weiterentwicklungen als Nächstes sinnvoll sind? Durch Verknüpfung von Literaturrecherchen zum Instrument und zur Dynamik der Arbeitswelt konnten neue Fachthemengebiete identifiziert werden, die eine sinnvolle Erweiterung für das Instrument darstellen (Unterkapitel 3.1).



Abb. 4.1 Übersicht über die Weiterentwicklungen im Rahmen der Dissertation

Für das **Kernverfahren** Produktionsergonomie und Risikobeurteilung wurden daher die Belastungsarten Beleuchtung, Wärmestrahlung und Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung (Atemschutz, Gesichtsschutz) weiterentwickelt sowie die neuen Prozessverfahren Arbeitsmedizinische Vorsorge, Inklusion und Optimierung (Gestaltung, Maßnahmen, Projekte) entwickelt (Abb. 4.1).

Die wissenschaftliche Methodik zur ganzheitlichen Analyse, Beurteilung und Gestaltung mit dem Kernverfahren des Instruments wurde anschließend unter Nutzung der integrierten Simulationsfunktionalitäten an einem **Smart-Factory-Arbeitssystem (Cobot)** erprobt.

In einem weiteren Schritt wurden die vier neuen **Fachverfahren** Arbeitsunfallgefährdungen, Belastungs- und Erschwerniszulagen, Mutterschutzgefährdungen und Psychische Arbeitsbelastungen für das Instrument entwickelt.

Die **Verknüpfung der Weiterentwicklungen** erfolgte anschließend einerseits in einem neuen Konzept für ein Dashboard, in dem alle wichtigen Aspekte in einer Übersicht gebündelt wurden und andererseits in der Zusammenführung aller Lösungen zum Instrument in der neuen Entwicklungsstufe („Version 10.0“). Finalisiert wurden die Weiterentwicklungen mit einem erweiterten Implementierungskonzept für das Instrument, in das unter anderem auch die internationalen Roll-Out-Erfahrungen des Autors eingeflossen sind.

Zukünftig wird es weiter möglich sein, das Kernverfahren und die neuen Fachverfahren autark anzuwenden. Darüber hinaus gibt es neue Möglichkeiten zur intelligenten Weiterverarbeitung der Datensätze des Kernverfahrens in den Prozessverfahren und im Dashboard. Weitere **Synergien** werden möglich für Anwender*innen, die neben dem Kernverfahren auch ein oder mehrere Fachverfahren nutzen (Abb. 4.2).

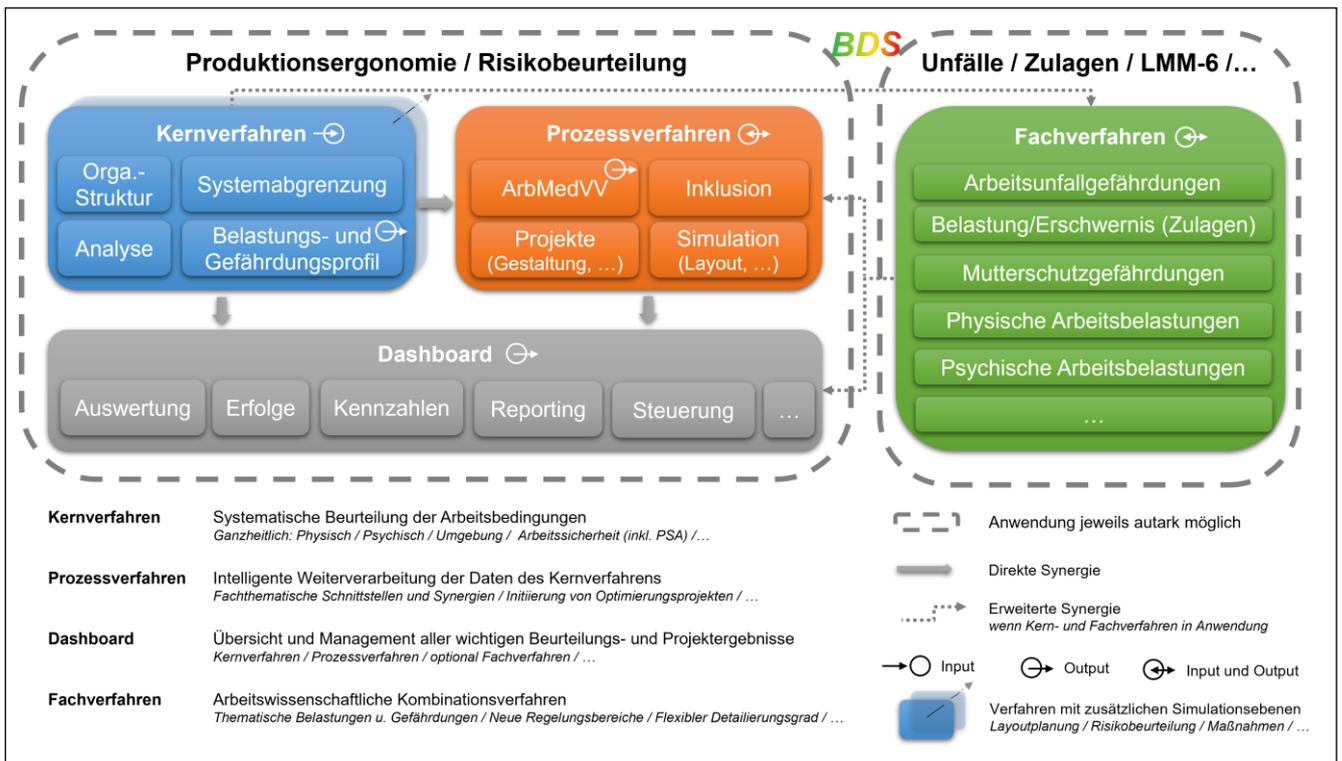


Abb. 4.2 Interaktion von Kern-, Prozess-, Fachverfahren und Dashboard im Instrument

In den nachfolgenden Teilkapiteln wird die Umsetzung der Weiterentwicklungen detailliert beschrieben. Separat werden jeweils eine fachthematische Einführung, die wissenschaftlichen Grundlagen, relevante Rechtsvorschriften, die Verfahrenskonzeption sowie die Art und Weise der Adaptierung für das Instrument und die Realisierung im Instrument erläutert.

4.1.1.1 Belastungsart Wärmestrahlung - Situationsbeschreibungen

Das Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung des Instruments ermöglicht als ein Baustein zur Optimierung der Umgebungsbedingungen die Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Klimagröße Wärmestrahlung. Die Bewertungsgrundlagen gehen zurück auf Feldstudien, die für das BAB-Kombinationsverfahren (Peters, 1986) durchgeführt worden sind. Die Analyse erfolgt tätigkeitsbasiert und nach betrieblicher Verfügbarkeit von Messequipment flexibel entweder in Abhängigkeit der gemessenen **effektiven Bestrahlungsstärke** E_{eff} (W/m^2) oder mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Situationsbeschreibungen (Tab. 4.2).

Tab. 4.2 Belastungsbewertung durch Wärmestrahlung mit dem Instrument
Quelle: Eigene Darstellung mit 7-stufiger Normierung (ASER-Forschungsgruppe)

Umgebungsbedingungen	Hauptkriterien: f (effektive Bestrahlungsstärke, Häufigkeit pro Schicht, Einzeldauer, Entfernung)		
	Situationsbeschreibungen	Messwerte	Stufe
Schallbelastung (Lärm)	Vulkanisation - Balgwechsel	> 300 W/m^2	7
	Schmelzöfen, 2 - 5 m entfernt	261 - 300 W/m^2	6
Vibration Hand-/Arm Ganzkörper	Sichtbar glühendes Material in unmittelbarer Umgebung	221 - 260 W/m^2	5
	Beheizter Behälter, 1m entfernt	161 - 220 W/m^2	4
Klima Hohe Temp. Niedrige Temp. Wärmestrahlung	Nicht mehr sichtbare, glühende Teile, 2 – 5 m entfernt	96 - 160 W/m^2	3
	Wärmeerzeugende Aggregate	35 - 95 W/m^2	2
	Keine prozessbedingten Strahlungsquellen	< 35 W/m^2	1
Zugluft	Erweiterte Funktionalitäten des Instruments		
Witterungseinfluss	(Schichtaggregation, Abwertungen, Kennzahlen, ...)		
Nassarbeit	Aggregation	Vorgangsbasiert; zeitanteilig	
Arbeitsstoffe	Abwertungen	Belastungsspitzen mit f (Expositionsdauer)	
Schmutz	(Zusatz-)Filter	Demografie	
Beleuchtung	Auswertungen	Klimakataster, ArbMedVV, Inklusion/BEM	
Blendung	Kennzahlen	Psychische Überbelastungsrate (Zusatzfaktor)	

Die Bewertung erfolgt zeitanteilig-gewichtet unter der Einbeziehung von Abwerteregeln als Funktion der Expositionsdauer. Bei Gewährleistung einer hinreichend genauen Analyse von mindestens 90 Prozent der Schichtdauer werden Bewertungsergebnisse berechnet, die in das Belastungsprofil, das Klimakataster und das Prozessverfahren zur arbeitsmedizinischen Vorsorge einfließen. Die Aspekte der Belastung können vor der Neu- und Umgestaltung mit dem Kernverfahren simuliert werden und werden für die systematische Optimierung im Dashboard über Auswertungen und Kennzahlen zur Verfügung gestellt. Letzteres ermöglicht Expertenbeurteilungen zur psychischen Belastung durch Wärmestrahlung, ein Aspekt der unter anderem auch in die psychische Überbelastungsrate einfließt.

4.1.1.2 Wissenschaftliche Grundlagen des Weiterentwicklungsbedarfs

Die messtechnische Ermittlung der Klimagröße Wärmestrahlung stellt die Praxis vor große Herausforderungen, da die benötigten Messgeräte und die erforderliche Fachkunde für die Messdurchführung, Auswertung und Protokollierung häufig fehlen. Zwar kann mit dem Globe-Thermometer mit entsprechendem Thermoelement und einem darauf abgestimmten Messgerät die Wärmestrahlung gemessen werden. Hierbei ergibt sich jedoch ein weiteres Problem. Während bei der messtechnischen Ermittlung anderer Klimagrößen die Messwerte in der Regel ohne Latenz abgelesen werden können, ist dies bei der Messung der Wärmestrahlung mit dem **Globe-Thermometer** aufgrund der langen Antwortzeit des Messfühlers nicht möglich. Die Antwortzeit ist dabei die Zeitdauer, innerhalb der der Fühler die Spanne zwischen zu messender und der Anfangstemperatur durchschritten hat.

Als Kompromiss zwischen Messdauer und Messgenauigkeit wird daher eine Messdauer von etwa 18 Minuten empfohlen. Die Empfehlung basiert dabei auf dem anderthalb-fachen Wert der Antwortzeit t_{90} , das heißt der Zeitdauer, innerhalb der der Fühler 90 Prozent der Spanne zwischen zu messender und der Anfangstemperatur durchschritten hat. Eine Veranschaulichung der Antwortzeit beim Globe-Thermometer zeigt das folgende Beispiel (DIN EN 27243:1993; Gebhardt et al., 2007; Abb. 4.3).

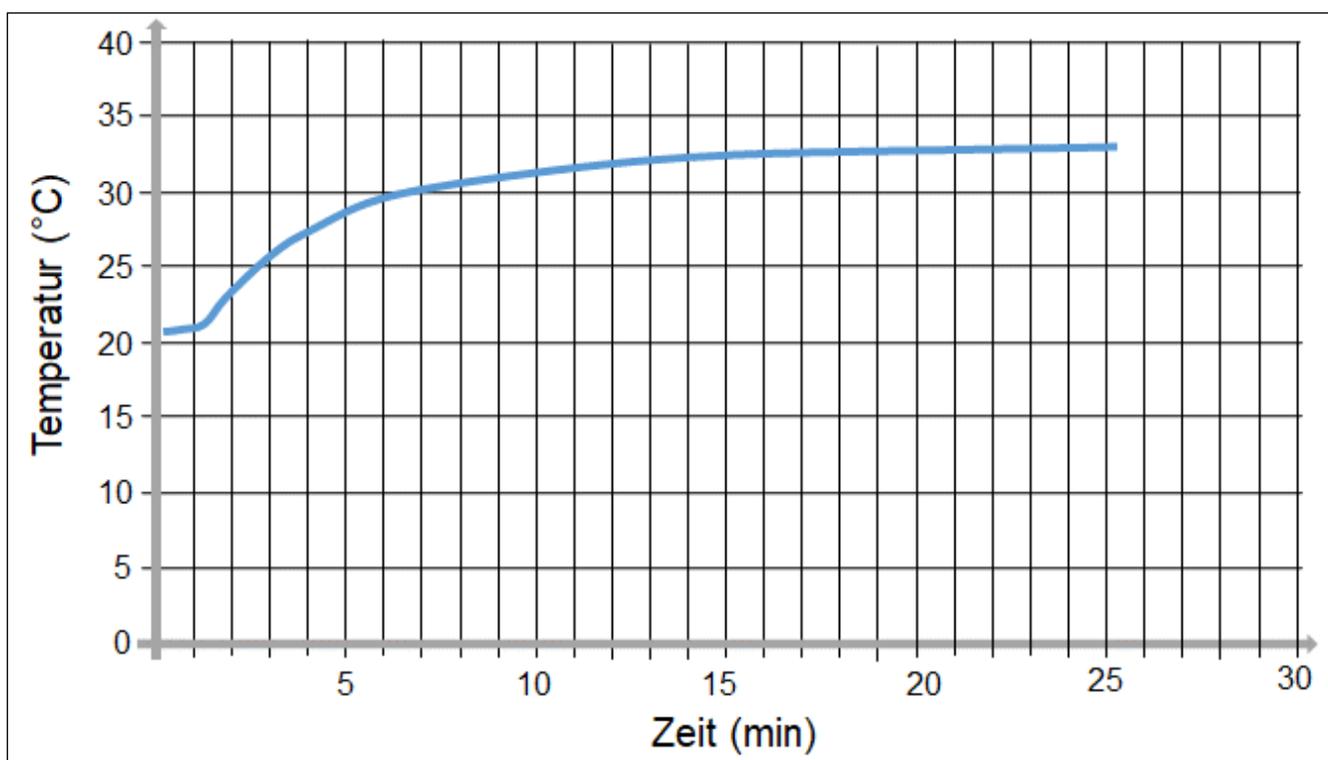


Abb. 4.3 Veranschaulichung der Antwortzeit beim Globe-Thermometer (Beispiel, geglättet)
Quelle: DIN EN 27243 (1993)

Da eine messtechnische Ermittlung der Wärmestrahlung daher in der Praxis in der Regel nicht möglich ist, sind die Situationsbeschreibungen (so genannte Brückenbeispiele) und deren korrespondierende Konkretisierungen bei der Belastungsart Wärmestrahlung besonders wertvoll für die Analyse in der Praxis. Die Situationsbeschreibungen im Instrument sind normierte und damit fixe, versionsübergreifende Analysegrundlagen, falls Messungen nicht möglich sind oder deren Aufwand nicht gerechtfertigt ist.

Für Anwendende des Instruments können Branchen- und Organisations-spezifische Betriebsbeispiele zu den Situationsbeschreibungen nach **technischer Messung vor Ort**, Eingruppierung und anschließender Qualitätskontrolle durch die Fachleute des Institut ASER e.V. eingepflegt werden (Customizing). Mit dem Wandel der Arbeitswelt sind die klassischen Arbeitssysteme der Eisen- und Stahlindustrie immer stärker durch neue Arbeitssysteme abgelöst worden.

Der individuelle Übertrag der Situationsbeschreibungen auf die eigenen Tätigkeiten ist dadurch im Laufe der Zeit immer schwieriger geworden. Insgesamt ergeben sich hieraus der Weiterentwicklungsbedarf und der praktische Mehrwert neuer Situationsbeschreibungen der Erweiterung der im Instrument integrierten Hilfestellungen für die Beobachtungsanalyse, sofern Messwerte nicht erhoben werden können. Die Situationsbeschreibungen sollen aus neuen Feldmessungen an aktuellen Arbeitssystemen, bei denen eine relevante Wärmestrahlung auftritt, hervorgehen.

4.1.1.3 Messequipment, Feldmessung, Haupteinflussgrößen

Zur Feldmessung effektiver Bestrahlungsstärken verschiedener Fertigungsanlagen wurde aufgrund der Vorteile der Kompaktheit und Tragbarkeit ein unidirektionales Delta-Radiometer (U-DRM) der Firma Hund mit vernachlässigbarer Antwortzeit verwendet (siehe 4.1.1.2). Zur Auswahl geeigneter **Anlagen und Betriebszustände** wurden im Vorfeld der Messungen Betriebsrundgänge in zwei Fertigungsbetrieben aus der Vulkanisationsbranche durchgeführt. Schnell wurde deutlich, dass nach wie vor eine Vielzahl an manuellen Tätigkeiten auszuführen ist, bei denen Wärmestrahlungsbelastungen oberhalb der Akzeptanz- und Toleranzschwellen auftreten. Das kann der Fall sein, wenn Rohlinge, Komponenten und Produkte im Vorfeld der Bearbeitung in Vorwärmschränken vorgeheizt werden müssen, sofern eine manuelle Formgebung erst durch Erhitzen möglich wird sowie um Produkte in Vulkanisationskesseln in die geforderte Form zu bringen. Die Durchführung der Feldmessung erfolgte an fünf Fertigungsanlagen; sofern möglich und sinnvoll bei jeweils verschiedenen Anlagenzuständen und Entfernungen. Zusätzlich durchgeführt wurde auch ein Testlauf mit einem vorläufigem Messgerät-Prototyp, der zukünftig ggf. mit identischem Messprinzip arbeiten könnte.

Mit der Feldmessung konnten als Haupteinflussgrößen der resultierenden Bestrahlungsstärke die folgenden Parameter ermittelt werden: **Öffnungsquerschnitte** und Öffnungsdauer, eingehaltene **Abkühldauer** vor der Tätigkeitsausführung, **Abstand** der Tätigkeitsausführung, Variation von frontalem und seitlichem Arbeitsbereich zum Öffnungsbereich der Anlage, zeitliches Verhältnis geschlossener zu offener Anlagenzustände sowie **Material- und Wartungsqualität** der Türen und **Dichtungen** bei Tätigkeiten bei geschlossenen Anlagenzuständen. Die Praxiserfahrungen lassen auf teils große Potenziale zur Belastungsoptimierung in vielen Branchen und Organisationen schließen, womit oft auch Synergien bei der Optimierung der Energieeffizienz einhergehen sollten.

Im Einzelnen erfolgte die **Messdurchführung bei regulärem Betrieb**, indem das Messgerät auf die jeweilige Strahlungsfläche gerichtet wurde. Die Höhen variierten dabei in Abhängigkeit der repräsentativen Tätigkeitsausführung an den verschiedenen Anlagen, die bei den Betriebsrundgängen im Vorfeld durch Beobachtungsanalyse mehrerer Zyklen ermittelt wurde. Die gemessenen effektiven Bestrahlungsstärken verschiedener Fertigungsanlagen in der Schlauchvulkanisierung reichten von 50 bis 1.450 W/m² (Tab. 4.3).

Tab. 4.3 Wärmestrahlungsbelastung in der Schlauchvulkanisierung

Fertigungsanlage		Entfernung	Bestrahlungsstärke
Bezeichnung (Typ)	Betriebstemperatur (°C)	horizontal (cm)	auf Strahlungsquelle gerichtet (W/m ²)
Vorwärmschrank Firma Binder klein/geschlossen	71	0 ¹⁷	162
		20	60
		50	15
Vulkanisations- kessel <i>offen</i>	180	0	1.450
		20	1.310
		50	1.190
<i>geschlossen</i>		Bedienelemente ¹⁸	180
Kesselwagen mit Metalldornen	<i>keine</i>	50 ¹⁹	341 ²⁰ (Vulkanisationsende) 246 (Abkühlung: 60s)
Vorwärmofen 3 Einschübe, <i>offen</i>	205	20	670
		100	290
		150	116
Erwärmungs- schrank (für Kunststoffdorne) <i>offen</i>	205	0	1940
		100	1470
		150	920
Vulkanisations- ofen ²¹ <i>offen</i>	205	0	1.300
		50	700
		100	200
		geschlossen	100	50

¹⁷ Sofern überwiegend hineingegriffen werden muss, um Teile herauszuholen/hineinzulegen, sollte bei der Analyse jeweils diese (geringste) Entfernung zugrunde gelegt werden.

¹⁸ Beim gemessenen Vulkanisationskessel waren die Bedienelemente 50cm seitlich versetzt an der Längsseite zur Öffnung angeordnet.

¹⁹ Repräsentiert den Arbeitsbereich vor den Dornen beim manuellem so genannten Auf-/Abdornen

²⁰ Die Bestrahlungsstärke in diesem Praxisszenario ist stark abhängig von der Bestückungsdichte und der Art der bestückten Dorne und der daraus resultierenden Schlauch- und Metalloberflächengröße.

²¹ Betriebsbedingt kam es hierbei zu einer Überlagerung mit weiteren Vorwärmöfen auf engstem Raum aufgrund teils permanenter Öffnung.

4.1.1.4 Adaptierung im Instrument

Die Ergebnisse der Feldmessungen wurden ausgewertet und für die Adaption an die 7-stufige Bewertungsskala des Instruments aufbereitet. Entwickelt wurden dabei insgesamt sieben neue Situationsbeschreibungen, die auf aktuellen Arbeitssystemen basieren.

Bei der Entwicklung der neuen **Situationsbeschreibungen** wurde auf die Berücksichtigung der Haupteinflussfaktoren wie beispielsweise Anlagentemperatur, Abstand der Beschäftigten zur Anlage während der Tätigkeitsausführung und Anlagenzustand geachtet, um hiervon ausgehend eine möglichst praxisnahe Übertragung auf individuelle (nicht explizit genannte) Belastungssituationen zu gewährleisten (Tab. 4.4).

Tab. 4.4 Abgeleitete Situationsbeschreibungen für die Belastungsart Wärmestrahlung

Stufe	E_{eff} (W/m ²)	Neue Situationsbeschreibungen
7	> 300	Metalldorne auf Dornscheiben
6	261 - 300	Vorwärmöfen – 3-teilig, offen, übereinander angeordnete Einschübe, 205 °C, etwa 1 Meter Entfernung
5	221 - 260	Metalldorne auf Dornscheiben/Wägen - 5 Minuten Abkühldauer
4	161 - 220	Vorwärmschränke (kleine Ausführungen, offen, etwa 70 °C)
3	96 - 160	Vulkanisationskessel – Arbeitsbereich an seitlich geschützten und versetzten Bedienelementen
2	35 - 95	Große Vorwärmschränke – geschlossen
1	< 35	Vorheizöfen/-schränke mit guter Isolierung

Die neu entwickelten Situationsbeschreibungen können als Ergänzung zu den bisherigen Situationsbeschreibungen eingesetzt werden. Damit können Organisationen der Branchen der Eisen- und Stahlindustrie auf die bisherigen Situationsbeschreibungen aus den Feldmessungen im Rahmen der Projekte zur Humanisierung des Arbeitslebens zurückgreifen. Organisationen aus anderen Branchen können nun wahlweise auch auf die neuen Situationsbeschreibungen und deren Konkretisierungen zurückgreifen, die in Abhängigkeit der aktuell in der Praxis angetroffenen Anlagen entwickelt wurden.

Die Erkenntnisse aus den Feldmessungen wurden darüber hinaus auch in die **Qualifizierungsunterlagen** zum Instrument eingearbeitet. Insbesondere auch die Fachabteilungen des Industrial Engineering und der Beschaffung sollen so zukünftig noch umfangreicher auf die wesentlichsten Einflussparameter sensibilisiert und so die Optimierung der Organisation vorangetrieben werden können.

4.1.2 Belastungsart Beleuchtung - Bewertungsmodell und Demografiefilter

Die **visuelle Wahrnehmung** macht etwa 80 Prozent der menschlichen Informationsaufnahme aus. Rund 60 Prozent der Hirnrindenfläche wird von visuellen und visuomotorischen Arealen eingenommen (Schmidt et al., 2017). In vielen Studien wurden die Auswirkungen schlechter Beleuchtungsverhältnisse²² auf die Tätigkeitsausführung, das Wohlbefinden, die Produktivität sowie die Fehler- und Unfallhäufigkeit belegt (Bieske et al., 2011). Diese Auswirkungen verstärken sich mit zunehmendem Alter, da die Leistungsfähigkeit des Auges mit zunehmendem Alter abnimmt²³ (Saup, 1993; Feller, 2001).



Abb. 4.4 Beleuchtung von Arbeitsstätten - Künstliche Beleuchtung in Gebäuden
Quelle: Eigene Darstellung nach den Technischen Regeln für Arbeitsstätten

Hieraus resultiert das Optimierungspotenzial der Gestaltung der visuellen Performance (Beleuchtungsstärke, Blendungsreduktion), des visuellen Komforts (Farbwiedergabe, Helligkeitsverteilung) und des visuellen Ambientes (Lichttrichtung, Schattenbildung, Lichtfarbe, Leuchtdichte). Die Potenziale können bei der **Modernisierung der künstlichen Beleuchtung** in Gebäuden (Abb. 4.4) ausgeschöpft werden, indem die Ausführung unterschiedlichster Tätigkeiten optimal unterstützt und Synergien wie ein positiver Einfluss auf Qualität und Quantität der Arbeitsergebnisse, Konzentration und Motivation der Beschäftigten sowie mittelbar auch ein positiver Einfluss auf den Gesamteindruck bei Audits erreicht werden kann.

²² Geringe Beleuchtungsstärke, Reflexionen im Blickfeld, geringer Kontrastumfang u.v.a.m.

²³ Abnehmende Transparenz und Elastizität der Linse etc. (Saup, 1993; Feller, 2001)

4.1.2.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

Die Gestaltung künstlicher Beleuchtung in Gebäuden ist in Deutschland in der Arbeitsstättenverordnung und den Arbeitsstättenregeln geregelt. Eine zentrale Forderung ist insbesondere die Bereitstellung einer angemessenen Beleuchtungsstärke zur gesundheitsgerechten Ausführung der Tätigkeiten in Abhängigkeit der auszuführenden Sehaufgaben nach Arbeitsstättenverordnung § 3a Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Nummer 3.4 Absätze 1 und 2. Der Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse werden in der Arbeitsstättenregel 3.4 (2014) aufgeführt. **Planungsgrundlagen** für die Dimensionierung der Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen enthält die Norm DIN EN 12464-1 (2011).

4.1.2.2 Weiterentwicklung von Bewertungsmodell und Demografiefilter

Das Bewertungsmodell in der Belastungsart Beleuchtung setzt sich aus den Bewertungsvorschriften für Normpersonen und einem Demografiefilter (Alter) zusammen. Beide Aspekte wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit weiterentwickelt. Hierbei wurden die **Alterungsprozesse** des Auges durch eine stärkere Differenzierung zwischen der Bewertung von Normpersonen und dem Bewertungsfilter für ältere Beschäftigtengruppen berücksichtigt. Ein übergeordnetes Ziel hierbei war, eine fähigkeitsgerechte Gestaltung für ältere Beschäftigtengruppen als generelle Prävention und im Hinblick auf das zu erwartende immer spätere Renteneintrittsalter stärker zu unterstützen (Abb. 4.5).

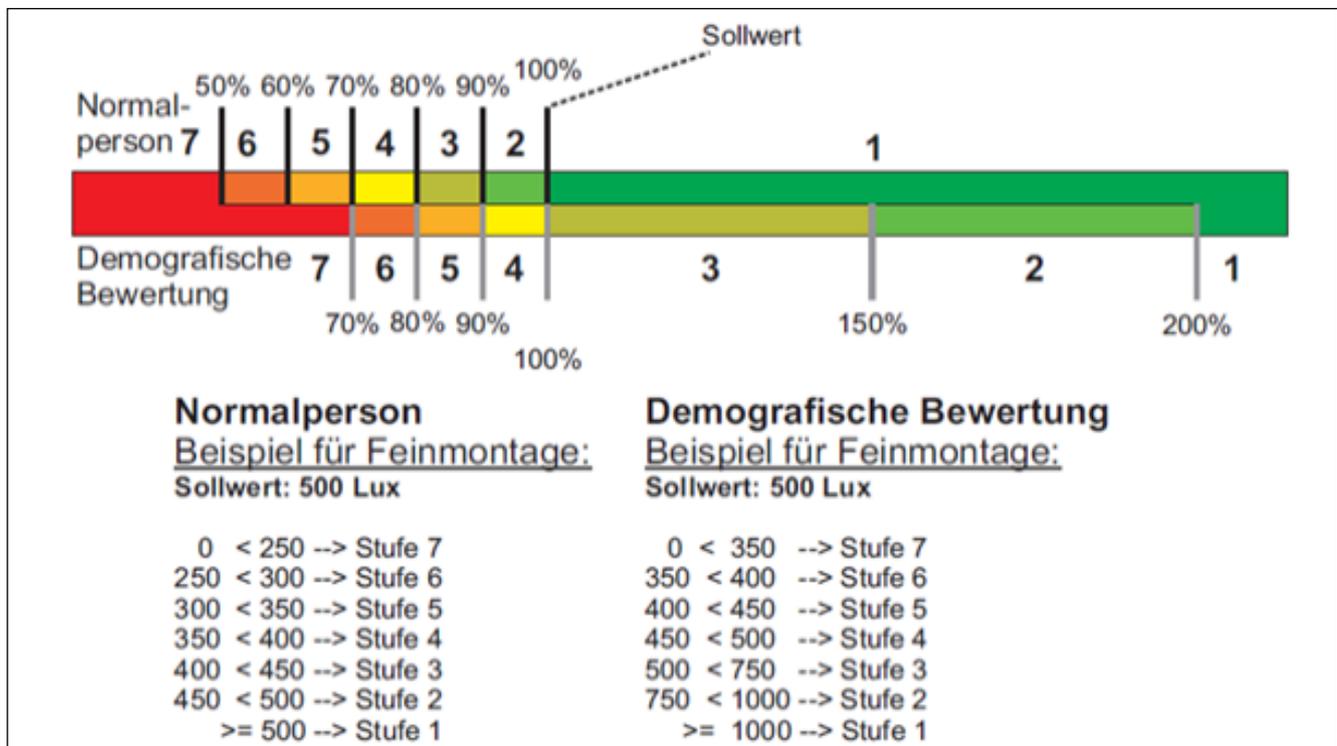


Abb. 4.5 Entwickelter Bewertungsprototyp für das Bewertungsmodell Beleuchtung

Aber wie beziehen die Weiterentwicklungen den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse aus der Arbeitsstättenregel ASR 3.4 in der zuletzt geänderten Version (Gemeinsames Ministerialblatt 2014) als praxisorientierte Erkenntnisquelle ein?

Der **Bewertungsalgorithmus für Normpersonen** wurde wie folgt auf die Arbeitsstättenregel A3.4 (2014) abgestimmt und ein Sicherheitsfaktor vorgesehen: wird die 60 Prozent-Forderung²⁴ der Technischen Regeln für Arbeitsstätten für den Mindestwert der mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E}_m unterschritten, wird die Toleranzschwelle überschritten und die Bewertungsstufe 7 erreicht²⁵. Liegt die gemessene mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}_m unterhalb der geforderten mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E}_m , wird die Akzeptanzschwelle überschritten und damit mindestens die Bewertungsstufe 4 erreicht.

Tab. 4.5 Finales Bewertungsmodell mit integriertem Demografiefilter und Abwerteregeln

Erfüllungsgrad (%) Mittlere Beleuchtungsstärke (\bar{E}_m)	Normperson		Demografiefilter	
	Bewertung	Abwertung	Bewertung	Abwertung
< 60 %	7	Ja, zeitabhängig sehr kurze Expositionsdauer	7	Ja, zeitabhängig sehr kurze Expositionsdauer (Stunden)
≥ 60 - < 70 %	6	Ja, zeitabhängig kurze Expositionsdauer		
≥ 70 - < 80 %	5	Ja, zeitabhängig mittlere Expositionsdauer		
≥ 80 - < 90 %	4	nein	6	Ja, zeitabhängig kurze Expositionsdauer
≥ 90 - < 100 %			5	
≥ 100 - < 110 %	3	nein	4	Ja, zeitabhängig mittlere Expositionsdauer (Minuten)
≥ 110 - < 120 %	2			
≥ 120 - < 150 %	1		nein	3	nein
≥ 150 - < 200 %		2		
≥ 200 %		1		

Der weiter entwickelte **Demografiefilter** berücksichtigt die Verringerung des Sehvermögens mit zunehmendem Alter nun stärker: aufgrund der höheren Anforderung an die Beleuchtungsqualität für eine gleichwertige Sehleistung wird die Akzeptanzschwelle bereits ab Messwerten von weniger als 120 Prozent des Mindestwerts der mittleren Beleuchtungsstärke (\bar{E}_m) überschritten. Hierauf aufbauend wurden die erweiterten **Abwerteregeln** zur Berücksichtigung niedriger Beleuchtungsstärken bei sicherheits- und qualitätskritischen Tätigkeiten entwickelt, die bereits bei kurzen Expositionsdauern greifen (Tab. 4.5).

²⁴ „An keiner Stelle im Bereich des Arbeitsplatzes darf das 0,6-fache der mittleren Beleuchtungsstärke unterschritten werden. Der niedrigste Wert darf nicht im Bereich der Hauptsehaufgabe liegen.“ [ASR A3.4 (2014) Unterkapitel 5.2 Absatz 3]

²⁵ „Der Mindestwert der Beleuchtungsstärke (siehe Anhänge 1 und 2) \bar{E}_m ist der Wert, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken darf.“ [ASR A3.4 (2014) Kapitel 3 Absatz 3.8]

4.1.2.3 Adaptierung und Integration in das Instrument

Das neue Bewertungsmodell wurde mit dem neuen Demografiefilter und den erweiterten Abwerteregeln im Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung integriert. Das führt auch zu stärker differenzierter Visualisierung in den Belastungs- und Gefährdungsprofilen der Arbeitssysteme bezüglich der demografierelevanten Belastungsart Beleuchtung. Bei Gestaltungsdefiziten wird die im Mittel stärkere Beanspruchung älterer Beschäftigtengruppen nun deutlicher ausgewiesen.

Beispielsweise ergibt sich im nachfolgend dargestellten Arbeitssystem aufgrund zu geringer Beleuchtungsstärke die Bewertungsstufe 4 für Normpersonen. Mit dem ausdifferenzierten Demografiefilter resultiert die Bewertungsstufe 6 für ältere Beschäftigtengruppen (Abb. 4.6).

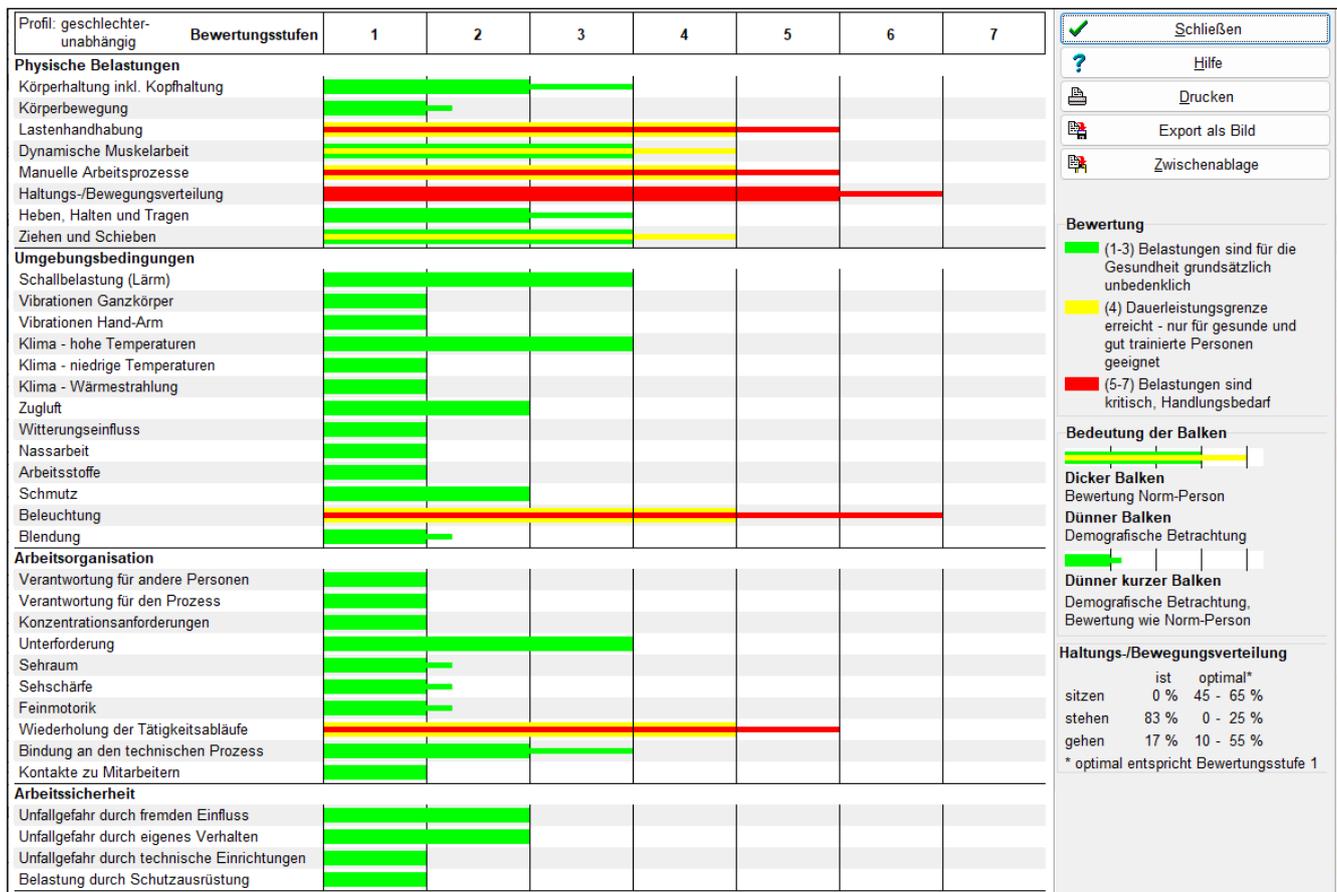


Abb. 4.6 Adaptierung des Bewertungsmodells in die Belastungs-/Gefährdungsprofile
Quelle: Belastungs- und Gefährdungsprofil im BDS-Instrument (GEWITEB)

Bei noch stärkeren Abweichungen von den **Forderungen der Arbeitsstättenregel** können sich darüber hinaus auch noch größere Differenzen von bis zu vier Bewertungsstufen zwischen den Bewertungsfiltren für Normpersonen und dem Demografiefilter ergeben.

Neben der Weiterentwicklung des Bewertungsmodells wurden in einem weiteren Schritt neue Tätigkeitsbeispiele aus der Arbeitsstättenregel 3.4 (2014) in Kategorien gruppiert und anschließend in den **Analysekatalog der verschiedenen Sehaufgaben** aufgenommen. Die verschiedenen Gruppen wurden dabei für den branchenübergreifenden Praxiseinsatz des Instruments gezielt möglichst heterogen angelegt (Abb. 4.7).

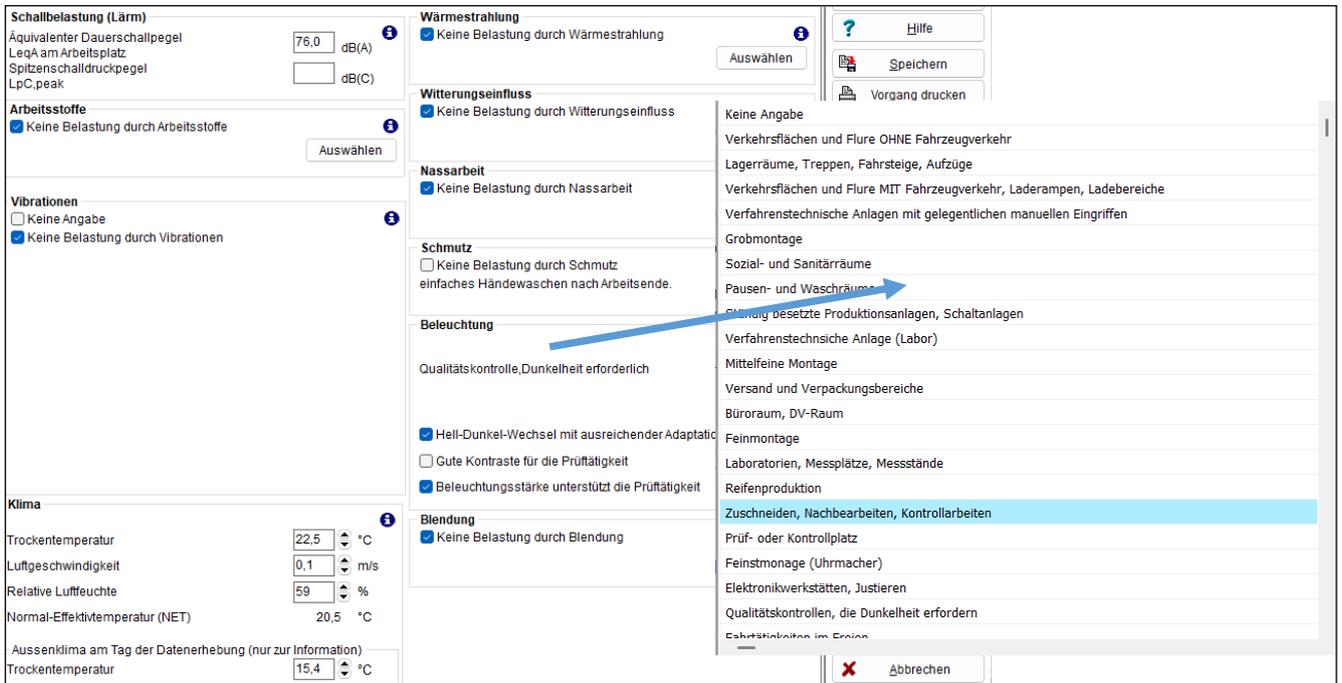


Abb. 4.7 Erweiterung des Tätigkeitsarten-Katalogs der Belastungsart Beleuchtung
Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

Abschließend wurden neue Sonderfunktionen entwickelt, die eine gesonderte Bewertung der Beleuchtungssituation für spezielle Tätigkeitsarten ermöglichen. Denn die Praxiserfahrung zeigt einerseits vermehrt Qualitätskontrollen, die Dunkelheit erfordern. Andererseits werden immer häufiger auch Arbeitssysteme analysiert, bei denen Gabelstapler im Freien zum Einsatz kommen. Gestaltungsdefizite in Bezug auf zu geringe **Adaptionszeit** und zu schwache **Kontraste** können damit nun auch analysiert werden (Abb. 4.8).

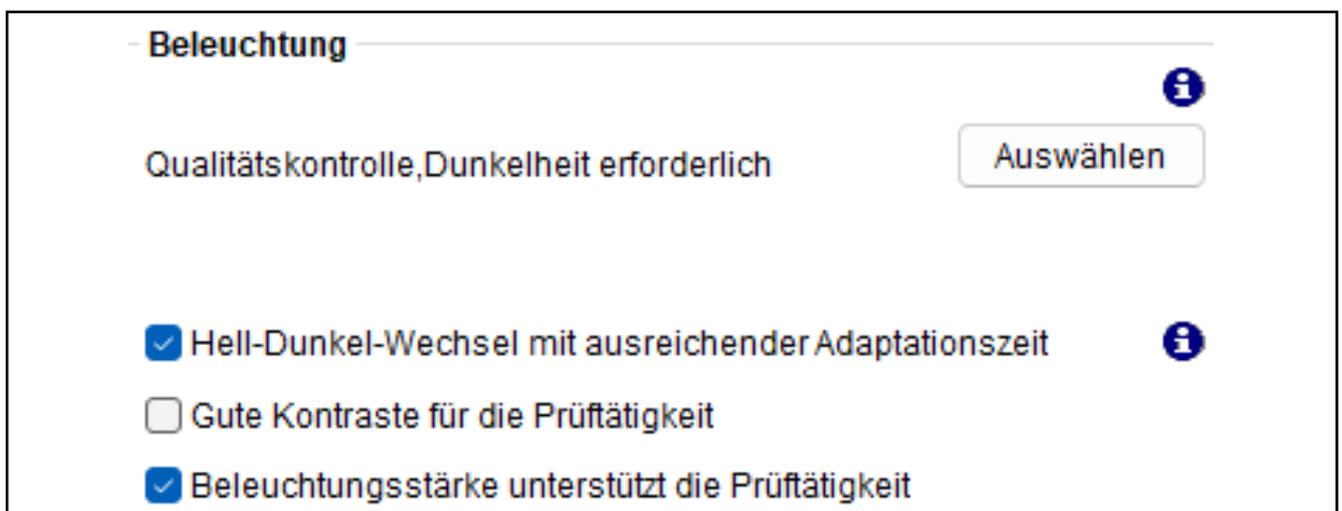


Abb. 4.8 Neue Analysemöglichkeiten von Sonderfällen der Beleuchtungssituation
Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

4.1.3 Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung

Falls Arbeitsunfallgefahren nicht wirksam mit Hilfe technischer und organisatorischer Maßnahmen reduziert werden können (PSA-BV §2 Absatz 1; 1996), verbleibt der Einsatz von Persönlicher Schutzausrüstung (PSA). Einerseits kann und soll Persönliche Schutzausrüstung Leben retten, andererseits kann von Persönlicher Schutzausrüstung eine zusätzliche Belastung oberhalb der Akzeptanz- und Toleranzschwellen ausgehen. Das Instrument stellt daher mit dem Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung in der Belastungsgruppe Arbeitssicherheit ein Verfahren zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung bereit.

4.1.3.1 Analyse der Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung

Die Belastungshöhe durch Persönliche Schutzausrüstung wird von Art und Umfang der eingesetzten Persönlichen Schutzausrüstung bestimmt. Wichtige Belastungsaspekte sind dabei das Gewicht der Schutzkleidung, der Ein- und Atemwiderstand von Schutzmasken, die Beschränkung der Bewegungsfreiheit, die Exposition der Haut beim Schwitzen unterhalb der Kleidung bei fehlender Atmungsaktivität u.v.a.m. Das Verfahren arbeitet Vorgangs-bezogen (tätigkeitsbasiert) durch Auswahl der bei den jeweiligen Tätigkeiten zu tragenden Persönlichen Schutzausrüstung und damit in Abhängigkeit der Tragedauer (Abb. 4.9).

<input type="checkbox"/> Handschuhe	Hand-/Arm-Schutz
<input type="checkbox"/> Stoffhandschuhe (atmungsaktiv)	
<input type="checkbox"/> Chemikalienschutzhandschuhe	
<input type="checkbox"/> Schnittschutzhandschuhe	
<input type="checkbox"/> Metallgeflechthandschuhe	
<input type="checkbox"/> Schutzhelm/Anstossskappe	Helme, Schuhe
<input type="checkbox"/> Sicherheitsschuhe/Schutzschuhe	
<input type="checkbox"/> Halbmaske/Viertelmaske	Atemschutz
<input type="checkbox"/> Vollmaske	
<input type="checkbox"/> Atemschutzhaube	
<input type="checkbox"/> Atemschutzhelm	
<input type="checkbox"/> leichtes Atemgerät	Gehörschutz
<input type="checkbox"/> schweres (umluftunabhängiges) Atemgerät	
<input type="checkbox"/> Gehörschutzstöpsel	ESD
<input type="checkbox"/> Otoplastik	
<input type="checkbox"/> Gehörschutzkapseln	
<input type="checkbox"/> Schallschutzhelm	
<input type="checkbox"/> (Schnitt-)Schutzschürze / -hose	Kleidung
<input type="checkbox"/> ESD-Schutzkittel	
<input type="checkbox"/> ESD-Overall	
<input type="checkbox"/> Wetterschutzkleidung	
<input type="checkbox"/> Schutzmantel	
<input type="checkbox"/> Schutzanzug (Nomex)	Augenschutz
<input type="checkbox"/> Schutzbrille	
<input type="checkbox"/> Blendschutz	Anmerkungen
ergänzende Hinweise zur Schutzausrüstung	
<input type="text"/>	

Abb. 4.9 Analyse der zu tragenden Persönlichen Schutzausrüstung
Quelle: Kernverfahren im BDS-Instrument (GEWITEB) mit eigener Gruppierung

4.1.3.2 Kopplung von Atemschutz mit arbeitsmedizinischer Vorsorge

Unter Berücksichtigung der Vorgaben der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (2008) in Verbindung mit der arbeitsmedizinischen Regel (AMR) Nr. 14.2 (2014) erfolgt eine Einteilung von Atemschutz in vier Gruppen. Die erste Gruppe (Gruppe 0) ist vom Geltungsbereich der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge ausgeschlossen. Das bezieht sich auf Atemschutzgeräte mit einem **Gerätegewicht** bis drei Kilogramm ohne **Atemwiderstand**, da aufgrund der geringen Belastungshöhe eine Gesundheitsgefährdung durch das Tragen des Atemschutzes nicht zu erwarten ist sowie Fluchtgeräte und Selbstretter, die Personen ausschließlich für Flucht und Selbstrettung tragen und deren Gerätegewicht maximal fünf Kilogramm beträgt (Tab. 4.6).

Tab. 4.6 Zuordnung der BDS-Atemschutz-Arten zu den AMR 14.2 Gruppen

PSA-Gruppe	Atemschutz-Art	Arbeitsmedizinische Vorsorge ArbMedVV / AMR 14.2
	<i>Viertel- und Halbmasken, sofern kein Atemwiderstand</i> <i>Fluchtgeräte und Selbstretter bis 5kg</i>	
Atemschutz	<i>ArbMedVV / AMR 14.2 Gruppe 1</i> Viertelmaske Halbmaske Vollmaske	Gerätegewicht: bis 3 kg Atemwiderstand: bis 5 mbar Angebotsvorsorge > 30 Minuten/Schicht
	<i>ArbMedVV / AMR 14.2 Gruppe 2</i> Atemschutzhaube Atemschutzhelm Leichtes Atemgerät	Gerätegewicht: 3 - 5 kg Atemwiderstand: über 5 mbar Pflichtvorsorge
	<i>ArbMedVV / AMR 14.2 Gruppe 3</i> Schweres (umluftunabhängiges) Atemgerät	Gerätegewicht: über 5 kg Pflichtvorsorge

In die **Gruppe 1** fällt Atemschutz mit einem Gerätegewicht bis drei Kilogramm und einem Atemwiderstand bis fünf Millibar. Hierzu zählen Filtergeräte mit Partikelfilter der Partikelfilterklassen P1 und P2, partikelfiltrierende Halbmasken mit FFP1 oder FFP2, Gebläse-unterstützte Filtergeräte mit Voll- oder Halbmaske sowie Druckluft-Schlauchgeräte und Frischluft-Druckschlauchgeräte mit Atemanschlüssen mit Ausatemventilen. Für Atemschutzgeräte der Gruppe 1, die weniger als 30 Minuten pro Tag getragen werden, entfällt dabei die Angebotsvorsorge. In die **Gruppe 2** fällt Atemschutz mit einem Gerätegewicht zwischen drei und fünf Kilogramm oder Atemwiderstand über fünf Millibar. Hierzu zählen Filtergeräte mit Partikelfiltern der Partikelfilterklasse P3 und partikelfiltrierende Halbmasken FFP 3, Filtergeräte mit Gasfiltern und Kombinationsfiltern aller Filterklassen; Regenerationsgeräte bis fünf Kilogramm, Frischluft-Saugschlauchgeräte; Strahlerschutzgeräte und Schutzanzüge in Verbindung mit Schlauch- oder Filtergeräten sowie Leichtgeräte. In die **Gruppe 3** fällt Atemschutz mit einem Gerätegewicht über fünf Kilogramm. Hierzu zählen frei tragbare Isoliergeräte wie Behältergeräte mit Druckluft und Regenerationsgeräte über fünf Kilogramm. Mithilfe dieser, auf die AMR 14.2 abgestimmten, Gruppeneinteilung lässt sich nun eine Zuordnung der im Instrument integrierten Typen von Atemschutz zur arbeitsmedizinischen Angebots- und Pflichtvorsorge durchführen.

4.1.3.3 Kopplung von Atemschutz mit Tragezeitbegrenzungen

Die Tragedauer als Zeitraum fortwährenden Gebrauchs von Persönlicher Schutzausrüstung kann bei der Verwendung von Atemschutz begrenzt sein. Als notwendige Erholungsdauer gilt dabei der Zeitraum zwischen zwei fortwährenden Benutzungen von Atemschutzgeräten (DGUV Regel 112-190; 2011). Für Atemschutzmasken ohne Ausatemventil ist ein fortwährender Gebrauch bis 75 Minuten, für Atemschutzmasken ohne Ausatemventil ein fortwährender Gebrauch bis zwei Stunden möglich (Tab. 4.7).

Tab. 4.7 Zusammenhang von Atemschutz und Tragezeitbegrenzung

PSA-Gruppe	PSA-Art	Tragezeitbegrenzung DGUV Regel 112-190
Atemschutz	Masken <u>ohne</u> Ausatemventil	75 Minuten Tragedauer 30 Minuten Erholungsdauer
	Masken <u>mit</u> Ausatemventil	120 Minuten Tragedauer 30 Minuten Erholungsdauer

4.1.3.4 Neues Bewertungsmodell für Alltagsmasken

Aufgrund der Corona-Pandemie wurde der SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandard (Große-Jäger, 2020) erlassen. Bei nicht einhaltbaren Schutzabständen sind Mund-Nase-Bedeckungen zur Verfügung zu stellen und zu tragen. Zum Einsatz kommen Mund-Nase-Bedeckungen (MNB) und Mund-Nase-Schutz (MNS, medizinische Gesichtsmasken, „OP-Masken“). Da Materialien wie Baumwolle, Leinen oder Seide verwendet werden und daher ähnliche Atemwiderstände (Druckdifferenz) wie partikelfiltrierende Halbmasken mit Ausatemventil aufweisen (DGUV, 2020), wurde das Bewertungsniveau mit den bereits in der Analyse integrierten Halbmasken gleichgesetzt (Tab. 4.8).

Tab. 4.8 Entwicklung eines neuen Bewertungsmodells für Alltagsmasken

Mund-Nase-Bedeckungen und Mund-Nase-Schutz	Stufe
	7
	6
Mund-Nase-Bedeckung bei Tragedauer > 6h Mund-Nase-Schutz (Medizinische Gesichtsmaske, OP-Maske), aber in medizinischer Anwendung ist kein Wechseln nach Anwendung möglich.	5
	4
	3
Mund-Nase-Bedeckung (Community-Maske, Alltagsmaske) Mund-Nase-Schutz (Medizinische Gesichtsmaske, OP-Maske)	2
	1

Die empfohlene Tragedauer von partikelfiltrierenden Halbmasken mit Ausatemventil von zwei Stunden mit einer anschließenden Erholungsdauer von 30 Minuten macht drei Einsätze während einer Arbeitsschicht von acht Stunden möglich (DGUV-Regel 112-190). Überschreitet die Einsatzdauer sechs Stunden pro Schicht, wurde daher eine zusätzliche Abwertung auf die Bewertungsstufe 5 in das neue Bewertungsmodell integriert.

4.1.3.5 Neues Bewertungsmodell für Gesichtsschutzvisiere

Gesichtsschutzvisiermodelle stehen auf dem Markt in diversen Ausführungen zur Verfügung. Zudem muss während deren Lebenszyklus und Benutzungsdauer von einem variierenden Funktionszustand ausgegangen werden. Daher wurde ein zusätzliches **Pilot-Bewertungsschema zur Erprobung** entwickelt, in das die Kriterien für den Komfort, den Zustand und die Einstellmöglichkeiten zur Verhinderung von Hitzestau unter dem Visier in die Bewertung von Gesichtsschutzvisieren mit einfließen können. Hiermit soll eine flexible, von bestimmten Herstellern unabhängige und möglichst exakte Analyse der tatsächlich vor Ort vorhandenen Belastung ermöglicht werden.

Gesichtsschutzvisiere mit einem hohen **Tragekomfort** werden im Pilot-Bewertungsschema in die Bewertungsstufe 2 kategorisiert, sofern sie als bequem empfunden werden, anpassbar sind an die Kopfform, eine aufklappbare Scheibe besitzen und keine Einengung des Sichtfeldes erfolgt. Gesichtsschutzvisiere mit einem mittleren Tragekomfort werden in die Bewertungsstufe 4 kategorisiert, sofern Einstellmöglichkeiten teilweise fehlen oder bereits ein deutlicher Verschleiß erkennbar ist. Gesichtsschutzvisiere ohne Einstellmöglichkeiten werden in die Bewertungsstufe 5 kategorisiert, sofern es zum Hitzestau kommt, Druckstellen am Kopf deutlich sichtbar sind und eine Einengung des Sichtfeldes erfolgt. Eine sinnngemäße Einstufung sollte auch erfolgen, falls das Gesichtsschutzvisier permanent geschlossen getragen werden muss, ohne es regelmäßig öffnen zu können, da es hierdurch in der Praxis zu einem längerfristigen Hitzestau unter dem Visier kommt (Tab. 4.9).

Tab. 4.9 Entwicklung eines neuen Bewertungsmodells für Gesichtsschutzvisiere

Gesichtsschutzvisier - Charakterisierung	Stufe
	7
	6
Gesichtsschutzvisier ohne Einstellmöglichkeiten (Hitzestau, deutlich sichtbare Druckstellen am Kopf, Einengung des Sichtfeldes) <i>Trifft auch zu, falls das Gesichtsschutzvisier permanent geschlossen getragen werden muss, ohne es regelmäßig öffnen zu können, und es daher zum längerfristigen Hitzestau unter dem Visier kommt.</i>	5
Gesichtsschutzvisier mit Verschleiß (teilw. fehlende Einstellmöglichkeiten, deutlicher Verschleiß erkennbar)	4
	3
Gesichtsschutzvisier mit hohem Tragekomfort (bequem, anpassbar an Kopfform, aufklappbare Scheibe, keine Einengung des Sichtfeldes)	2
	1

4.1.3.6 Zusammenführung zu erweiterten Analysemöglichkeiten

Die Zusammenführung aller Neuentwicklungen soll erweiterte Analysemöglichkeiten zur Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung ermöglichen. Eine neue Strukturierung der zu tragenden Persönlichen Schutzausrüstung soll auch die Softwareergonomie bei der Analyse verbessern und die Kopplung mit Tragezeitbegrenzungen und arbeitsmedizinischer Vorsorge ermöglichen. Die vorgeschlagene Strukturierung erfolgt nach Körperregion, Gruppe und Art der jeweils getragenen Persönlichen Schutzausrüstung (Tab. 4.10).

Tab. 4.10 Erweiterte Analyse der Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung

Körperregion	PSA-Gruppe	PSA-Art					
Kopf, Hals	Helme	Anstoßkappe Schutzhelm Forsthelm (Integral mit Visier und Gehörschutz)					
	Brillen, Visiere	Blendschutz Schutzbrille Gesichtsschutzvisier	Hoher Tragekomfort Verschleiß Hitzestau				
		Rettung	Fluchtgerät, Selbstretter				
			Mund-Nase-Bedeckung (Alltagsmaske)	6h			
		Masken	Infektion		med., ohne Wechsel		
		FFP123	ohne A-Ventil	Viertelmaske Halbmaske	5h	AMR 14.1 2 Gr. 1	
			mit A-Ventil	Viertelmaske Halbmaske	6h		
		Atemschutz	Weitere	Atemschutzgerät < 3kg, kein Atemwiderstand Atemschutzgerät < 3kg, < 5mbar	0,5h		
			Filtergeräte	Partikel	Filter P1, P2 Filter P3	AMR 14.2 Gr. 1 AMR 14.2 Gr. 2	
				Stoffe	mit Halbmaske, Gebläse Mit Vollmaske, Gebläse	AMR 14.2 Gr. 1	
					Atemschutzhaube Gasfilter, Kombinationsfilter Atemschutzhelm	AMR 14.2 Gr. 2	
		Isoliergeräte	Stationär, Ventil, Anschluss	Frischluft- Saugschlauchgerät Druckluft-Schlauchgerät	AMR 14.2 Gr. 2 AMR 14.2 Gr. 1		
			Mobil	Regenerationsgerät < 5kg Pressluftatmer > 5kg	AMR 14.2 Gr. 2 AMR 14.2 Gr. 3		
					Behältergeräte mit Druckluft	AMR 14.2 Gr. 3	
		Schallschutz	Otoplastik Gehörschutzstöpsel Gehörschutzkapsel Schallschutzhelm				
	Oberkörper, Arme, Hände	Mäntel, Jacken	Jacke Schutzmantel				
		Entladungsschutz (Elektrostatik)	ESD-Schutzkittel ESD-Overall				
		Handschuhe	Atmungsaktive Stoffhandschuhe Handschuhe Schnittschutzhandschuhe Chemikalienschutzhandschuhe Metallgeflechthandschuhe				
	Beine, Füße	Hosen Schuhe	Schnittschutzhose Sicherheitsschuhe				
Ganzkörper	Anzüge	Schutzanzug Wetterschutz					

4.1.4 Prozessverfahren Optimierungsprozesse (Gestaltungsmaßnahmen)

In der ersten Entwicklungsstufe des BAB-Kombinationsverfahrens zum Ende der 1970er Jahre lag der Fokus auf der Entwicklung von Belastungs- und Gefährdungsprofilen für Items hoher Wirkungsstärke. Mit der Überführung in das BDS-Instrument in den 1990er Jahren erfolgte die zusätzliche Integration der Maßnahmendokumentation (Teilkapitel 2.1.2).

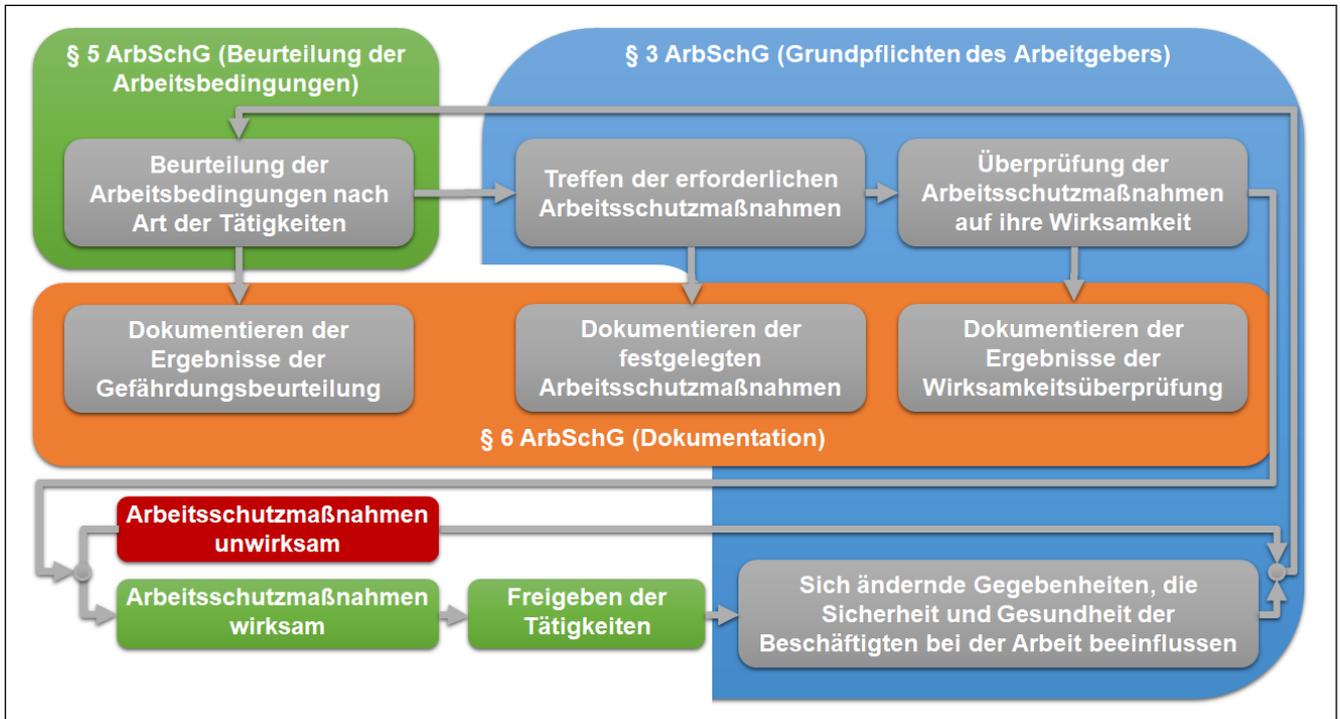


Abb. 4.10 Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten – Ein kontinuierlicher Kreisprozess
Quelle: Pieper & Vorath, 2005

Zwar sieht das Arbeitsschutzgesetz seit dem Jahr 1996 für Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten einen kontinuierlichen Kreisprozess vor, dennoch bereitet dies in der Praxis noch vielen Organisationen Probleme: nach der Betriebs- und Beschäftigtenbefragung der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie wurden im Jahr 2015 (n = 3.404) in nur sieben Prozent der befragten Organisationen alle Aspekte der Beurteilung der Arbeitsbedingungen, der Grundpflichten des Arbeitgebers und der Dokumentation durchgeführt. Dabei hat sich, bezogen auf die davon betroffenen Beschäftigten, die Situation gegenüber den Ergebnissen aus der vorherigen Betriebs- und Beschäftigtenbefragung aus dem Jahr 2011 (n = 3.308) verschlechtert²⁶ (BMAS, 2018).

Daher zielt die Weiterentwicklung des Prozessverfahrens auf die **Implementierung eines kontinuierlichen Kreisprozesses in der Praxis** ab. Der kontinuierliche Kreisprozess für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit (Pieper & Vorath, 2005) soll durch neue Initiierungs-, Steuer- und Kontrollmöglichkeiten (Workflow, Schnittstellen etc.) umfangreicher und standardisiert im Instrument abgebildet werden (Abb. 4.10).

²⁶ „In 2015 gaben 54 % der Betriebe an, Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen. (...) Der Anteil der Betriebe, die alle Prozessschritte einer Gefährdungsbeurteilung durchführen, lag 2015 bei 13 % (...). Der Anteil der Beschäftigten, die in Betrieben arbeiten, die alle Prozessschritte der Gefährdungsbeurteilung durchführen, ist gegenüber 2011 um sechs Prozentpunkte auf 34 % zurückgegangen.“ (BMAS, 2018)

4.1.4.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

Ziel der Beurteilung der Arbeitsbedingungen (Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG § 5) ist die Festlegung und Durchführung der erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen (ArbSchG (§§ 3, 4). Umgesetzte Arbeitsschutzmaßnahmen sind auf ihre **Wirksamkeit zu überprüfen** und erforderlichenfalls sich ändernden Gegebenheiten anzupassen (ArbSchG § 3). Mit diesem kontinuierlichen Kreisprozess soll der Arbeitgeber die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit gewährleisten. Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung, die festgelegten Arbeitsschutzmaßnahmen und die Ergebnisse der Wirksamkeitsüberprüfungen sind zu dokumentieren (ArbSchG § 6).

4.1.4.2 Entwicklung der Verfahrensgrundlagen

Bereits in den 1960er Jahren wurde ein systematischer Ablauf für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten – damals als **Sicherheitsanalysen** bezeichnet – diskutiert. Aufbauend auf der Gliederung von Arbeitssystemen in Arbeitsvorgänge war beispielsweise die Suche und Beschreibung von Verletzungsmöglichkeiten vorgesehen und sollte anschließend die Beseitigung der ermittelten Verletzungsmöglichkeiten erfolgen. In der Folgezeit wurden neue Begrifflichkeiten eingeführt und die Vorgehensweise immer feiner untergliedert, sodass schließlich bis zum Ende der 1980er Jahre ein bis heute ähnlicher Ablauf in sieben Schritten (Nohl, 1989) beschrieben wurde (Tab. 4.11).

Tab. 4.11 Historie – Kreisprozess-Schritte für Sicherheit und Gesundheit (Teil 1/2)

Nr.	Fehlauer, 1962	Schneider & Wallner, 1976	Skiba, 1979	Nohl, 1989
1	Beschreibung der zu analysierenden Tätigkeit	Ermittlung von Gefährdungen (Istzustand)	Allgemeine Daten über den Arbeitsplatz sammeln	Gefährdungssysteme abgrenzen
2	Gliederung der zu analysierenden Tätigkeit in Arbeitsvorgänge	Festlegung von Schutzzielen (Sollzustand)	Arbeitsabläufe zergliedern und beschreiben	Arbeitsablaufanalysen erstellen
3	Suche und Beschreibung von Verletzungsmöglichkeiten	Festlegung und Durchführung von Sicherheitsmaßnahmen	Mögliche und vorhandene sicherheitswidrige Zustände und Verhaltensweisen beschreiben	Gefährdungen ermitteln
4	Beseitigung der ermittelten Verletzungsmöglichkeiten	Wirkungskontrolle	Maßnahmen zur Beseitigung oder Einengung der Unfallgefährdungen festlegen	Gefährdungen bewerten
5			Sicherheitsmerkkarte für den Beschäftigten anfertigen	Auswertung
6			Sicherheitskontrollkarte für die Aufsicht anfertigen	Maßnahmen treffen
7				Wirkungskontrolle

In vielen der heutigen Handlungsanleitungen findet sich daher der Ablauf des kontinuierlichen Kreisprozesses mit überwiegend sieben oder mehr Schritten wieder. Durchgehend wird dabei die Ermittlung der Gefährdungen von der Beurteilung der Gefährdungen getrennt. Bezüglich der Schutz- und Gestaltungsmaßnahmen werden in der Regel die drei Schritte Maßnahmen festlegen, Maßnahmen durchführen und Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit überprüfen unterschieden. Dabei ist der **zunächst verwendete Begriff Wirkungskontrolle** in den 1990er Jahren in den Begriff Wirksamkeitsüberprüfung übergegangen (Tab. 4.12).

Tab. 4.12 Historie – Kreisprozess-Schritte für Sicherheit und Gesundheit (Teil 2/2)

Nr.	Hamacher et al. (2002)	BAuA „S 42“ (Efker, 2016)	BGHM-Information 102 (BGHM, 2016)	BAuA-Portal (BAuA, 2018)
1	Vorbereiten	Aufgabenstellung festlegen	Festlegen von Arbeitsbereichen und Tätigkeiten	Vorbereiten der Gefährdungsbeurteilung
2	Ermitteln	Gefährdungen ermitteln	Ermitteln der Gefährdungen	Ermitteln der Gefährdungen
3	Beurteilen	Gefährdungen beurteilen	Beurteilen der Gefährdungen	Beurteilen der Gefährdungen
4	Ziele setzen	Maßnahmen festlegen	Setzen von Schutzziele	Festlegen konkreter Arbeitsschutzmaßnahmen
5	Festlegen	Maßnahmen durchführen	Entwickeln von Maßnahmenalternativen	Durchführen der Maßnahmen
6	Durchführen	Wirksamkeit der Maßnahmen überprüfen	Auswählen einer oder mehrerer Maßnahmen	Überprüfen der Durchführung und der Wirksamkeit der Maßnahmen
7	Überprüfen	Gefährdungsbeurteilung fortschreiben	Durchführen der Maßnahmen	Fortschreiben der Gefährdungsbeurteilung
8	Fortschreiben		Wirksamkeit ausgewählter Maßnahmen prüfen	
9			Dokumentieren	
10			Fortschreiben	

Der Ablauf des Kreisprozesses macht deutlich, dass es – wie bereits von Fehlauer im Jahr 1962 beschrieben – im Kern darum geht, positive Effekte in der Organisation durch Beseitigung oder Verringerung der ermittelten Verletzungsmöglichkeiten und Gesundheitsrisiken zu erzielen (Fehlauer, 1962). Bei Maßnahmen und Dokumentation werden die Ablaufschritte häufiger unterschiedlich differenziert und anders als vom Arbeitsschutzgesetz vorgesehen zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen hinzugezählt. Im Wesentlichen hat sich aber ein typischer Ablauf etabliert.

Bei begleitender Erstellung und Fortschreibung der Dokumentation der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung, der festgelegten Arbeitsschutzmaßnahmen sowie der Ergebnisse der Wirksamkeitsüberprüfung der festgelegten Arbeitsschutzmaßnahmen werden im Kreisprozess die sechs Schritte Analyse der Gefährdungen, Bewertung der Gefährdungen, Beurteilung der Gefährdungen, Festlegen der Maßnahmen, Durchführung der Maßnahmen und Wirksamkeitsüberprüfung der Maßnahmen durchlaufen. Dieser kontinuierliche Kreisprozess ermöglicht es, die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit **systematisch** und nach den gesetzlichen Vorgaben **iterativ** zu durchlaufen (Abb. 4.11).

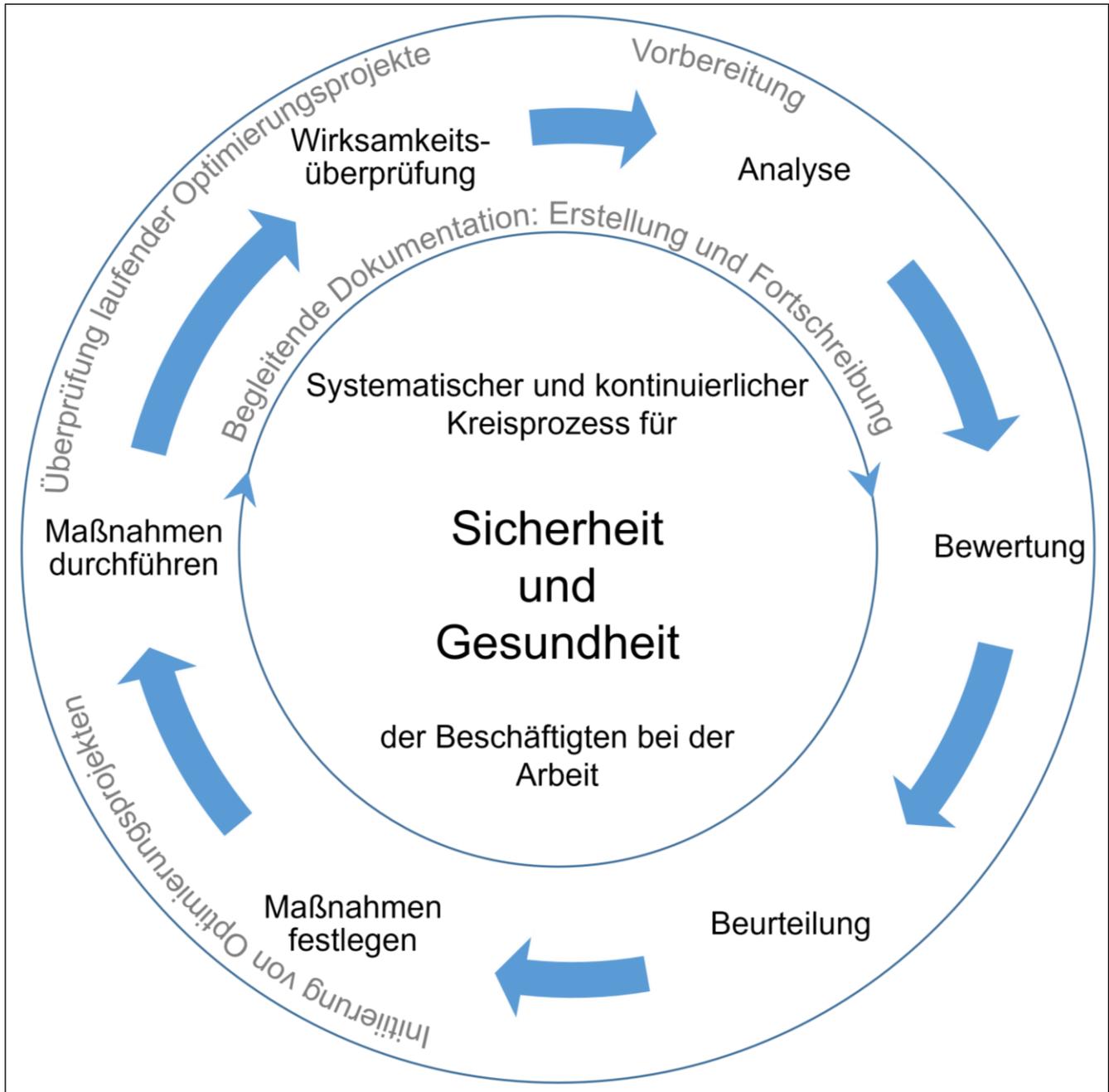


Abb. 4.11 Kontinuierlicher Kreisprozess mit Schnittstellen zu Organisationsprozessen
Quelle: Eigene Darstellung nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, 1996)

Um kontinuierliche Optimierungsergebnisse zu erzielen, ist eine gute Vorbereitung sowie die **Initiierung und Überprüfung laufender Optimierungsprojekte** (Gestaltungsmaßnahmen) notwendig. Eine zeitparallele Dokumentation trägt in diesem Zusammenhang zu einer hohen Qualität und Effizienz der Dokumentation bei.

Die Entwicklung der neuen **Workflow**-unterstützten Anwendungen für das Instrument orientierte sich an den bereits im Instrument integrierten Maßnahmenformularen und entwickelte diese zu einem neuen, einheitlichen Vorgehen in allen Fach- und Prozessverfahren des Instruments weiter (Abb. 4.12).

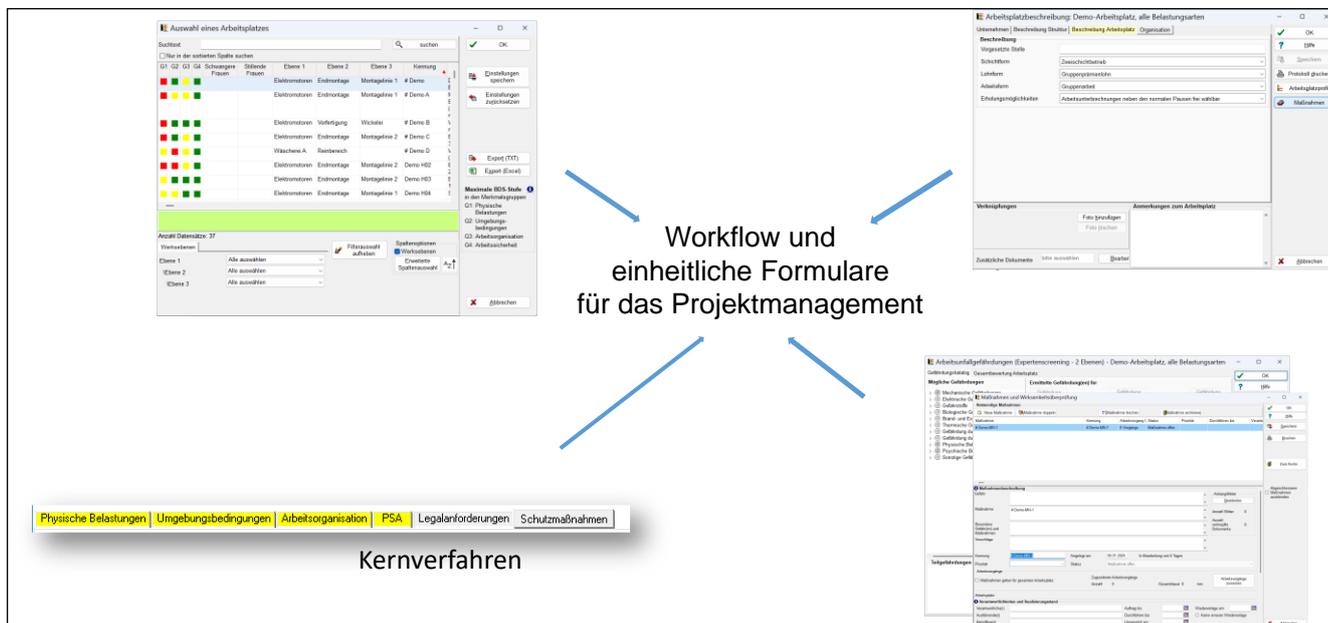


Abb. 4.12 Zusammenführung vorhandener Formulare zu einem einheitlichen Vorgehen
Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

Um den Stellenwert und die Verbindlichkeit der betrieblichen Optimierungsprozesse zu erhöhen, wurden die Aspekte Maßnahmenfestlegung, Verfolgung Maßnahmendurchführung, deren Wirksamkeitsüberprüfung sowie die Archivierungsmöglichkeiten erweitert und mit neuen Funktionalitäten und Erläuterungen versehen. Die Realisierung erfolgte über den Zwischenschritt einer neu entwickelten MS-Excel-**Prozessverfahrensvorlage** (Abb. 4.13).

Maßnahmenerfassung							
Übersicht über alle Maßnahmen							
Maßnahme [nur offene]	Kennung	Arbeitsvorgang	Status	Priorität	Ablaufdatum	Verantwortliche(r)	Ausführung durch
(hier erfolgt die Auflistung)							
Druck (Tabelle) Protokoll (erscheint auf Export)							
Maßnahmenbeschreibung							
Gefahr						Anhang/Links/Bilder	
Maßnahme							
Besondere Gefahr(en) und Maßnahm(en)							
Vorschläge							
Kennung		Priorität		Angelegt am		Bearbeitungsdauer	
Arbeitsplatz		Status					
Vorgänge	Auswahl der Vorgänge	Name	Einzel-Dauer (Min.)	Wiederholung/Anzahl		Gesamt-Dauer (Min.)	
Verantwortlichkeiten & Realisierungsstand							
Verantwortliche(r)		Auftrag an Ausführende(n) bis		Wiedervorlage bis	Keine Wiedervorlage		
Ausführende(r)		Umsetzen bis	Umgesetzt am				
Begünstigte(r) / Betroffene(r)		Anzahl					
Wirksamkeitsüberprüfung							
Prüfer(in)		Prüfdatum	Ergebnis	Abgeschlossen am			
Ergebnis der Wirksamkeitsüberprüfung							
Anmerkungen							
Druck Protokoll (erscheint auf Export)							

Abb. 4.13 Prototypentwicklung zur einheitlichen Maßnahmenfestlegung, Verfolgung der Maßnahmendurchführung und Wirksamkeitsüberprüfung

In diesem Rahmen war es sinnvoll, neue Verfahrens- und Software-Anwendungen mit zu entwickeln. Diese beziehen sich auf die Maßnahmenverwaltung im Maßnahmenarchiv und der Maßnahmenhistorie, auf Übersichts- und Druckfunktionalitäten sowie die Möglichkeit zur Datenmigration für Bestandsdaten für eine aufwandsarme Übertragung aktuell laufender betrieblicher Aufgaben und Gestaltungsmaßnahmen (Tab. 4.13).

Tab. 4.13 Lastenheftentwicklung für zusätzliche Erweiterungen (Ausschnitt)

Rubrik	Level1-Spezifikation
Vereinheitlichung auf ein identisches Formular	<i>Siehe separate Detail-Spezifikation</i>
Kopier-, Duplizier- und LösCHFunktionen	Archiv bleibt von LösChvorgang unberührt
Erreichbarkeit aus Arbeitsplatz und Arbeitsvorgang bleibt bestehen	<i>Siehe separate Detail-Spezifikation</i>
Datenbankzuordnung und Übersichtlichkeit	Zuordnung zum Arbeitsvorgang automatisch, wenn aus Arbeitsvorgang gestartet Zuordnung zu einem/mehreren Vorgängen (z.B. via Drop Down Menü), wenn aus AP gestartet Verbesserungen bei der Kennung (Pflichtfeld) + weiterhin Manuelles Konkretisieren der Kennung ermöglichen Automatisches Vergeben einer lfd. Nummer für Datenbank
Verbesserungen beim Erfassen, Nachvollziehen (Nachverfolgung der Maßnahmen und gesetzten Zieltermine muss über Excel-Export möglich sein), Umgang	Bilder einfügen Dokumente verlinken Export Excel Druck verbessern (Was, Wer, Wann)
Layout, Gestaltung	Platz für Informationsfelder vorsehen
Historie	Abrufbarkeit der Historie der Maßnahmen (An welchen AP wurde was gemacht?)

Von der IT-Abteilung wurde die Programmier-effizienz durch Entwicklung einer einheitlichen Datenbank-tabelle verbessert. Sie macht zukünftig das einheitliche Handling aller integrierten Workflow-gestützten Anwendungen und Formulare bei Implementierung neuer Entwicklungsstufen einfacher, insbesondere auch falls im weiteren Verlauf von Organisationen weitere Übersetzungen in zusätzliche Landessprachen nachgefragt werden. Damit können Änderungen im **Quellcode** an einer zentralen Stelle vorgenommen werden, die sich dann zukünftig auf die Aktualisierung aller integrierten Formulare auswirken.

4.1.4.3 Adaptierung und Realisierung im Instrument

Für das Prozessverfahren Gestaltungsmaßnahmen / Optimierungsprozesse wurden neben der Standardisierung der Formulare neue Schnittstellen zur Initiierung aus den anderen Prozess- und Fachverfahren geschaffen.

Darauf aufbauend wurde der Kern des neuen Prozessverfahrens mit neuen Lösungen für das Management von Umsetzungsprojekten von Gestaltungsmaßnahmen in den Organisationen entwickelt. Die Rollen und Verbindlichkeiten können damit klar festgelegt werden und die Zusammenarbeit der interdisziplinären Teams über die Projektphasen besser organisiert, verfolgt und gesteuert werden. Der stärkere Differenzierungsgrad ermöglicht hierzu die Festlegung von Rollen und Verantwortlichkeiten von den Ausführenden bis hin zur Projektleitung. Ausgangspunkt bildet eine detaillierte Interpretation der Belastungs- und Gefährdungsprofile des Kernverfahrens über die analysierten Problemstellungen und Gestaltungsansätze. Die Projektleitung kann den Projektanlass der Geschäftsführung **evidenzbasiert** darlegen und damit gezielt über die Hintergründe informieren (Abb. 4.14).

Abb. 4.14 Management von Optimierungsprojekten mit dem neuen Prozessverfahren
Quelle: Prototyp Prozessverfahren Optimierungsprozesse (GEWITEB)

Oft unterschätzt, soll damit der Grundstein gelegt werden können, für die Freigabe der erforderlichen Entscheidungsbefugnisse und des erforderlichen **Optimierungsbudgets**. Insgesamt zielen die Weiterentwicklungen auf einen möglichst reibungslosen Ablauf bei der Umsetzung der Gestaltungsmaßnahmen ab. Durch bessere Information und Kommunikation sollen die Schnittstellen zwischen den Beteiligten ausgebaut und die Einhaltung der Meilensteine durch Terminierung besser überwacht werden können. Die **Transparenz** ermöglicht Steuerung bis hin zur Eskalation, falls sicherheits-, gesundheits- und qualitätskritische Optimierungsprojekte sich verzögern.

Diese Abläufe des neuen Prozessverfahrens wurden auf den vorgestellten **kontinuierlichen Kreisprozess** für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit abgestimmt. Die Optimierungsprojekte können nun in einer Anwendung wahlweise auf Tätigkeits- oder Arbeitssystem-Ebene initiiert, begleitet, überwacht und zeitparallel dokumentiert werden.

Die folgende Darstellung zeigt ein **Anwendungsbeispiel** für eine erfolgreich implementierte Kombinationsmaßnahme aus einer organisatorischen Schutzmaßnahme mit dem Einsatz von Persönlicher Schutzausrüstung. Im Verlauf des Optimierungsprojekts ist zeitparallel eine Dokumentation entstanden, die der Organisation nun für eine spätere Nachverfolgung zur Verfügung steht. Damit können Optimierungsprojekte nun archiviert und auch nach Jahren und Jahrzehnten durch neue betriebliche Akteure einfacher nachvollzogen und bei Bedarf entsprechend angeknüpft und adaptiert werden (Abb. 4.15).

The screenshot displays a software window titled 'Maßnahmen und Wirksamkeitsüberprüfung'. It contains several sections:

- notwendige Maßnahmen**: A table with columns 'Kennung', 'Arbeitsplatz', and 'Maßnahme'. The selected row is: Endmontage Kombi, Produktionsmechaniker Endmontage, Hilfestellungen für Reparaturen im Kriechen.
- Personen**: A section with three input fields: 'Betroffene(r)' (Beide Produktionsmechaniker (Früh- und Spätschicht)), 'Verantwortliche(r)' (Abteilungsleiter des Mechaniker-Teams), and 'Ausführende(r)' (Beschaffung PSA).
- Gefährdung/Schutzziel**: A text box containing 'Unterlagen und Knieschutz für Produktionsmechaniker beschaffen'.
- Wirksamkeitsprüfung**: A section with 'Prüfer(in)' (Abteilungsleiter des Mechaniker-Teams), 'Datum der Prüfung' (17.12.2016), 'Ergebnis' (Unterlagen und Knieschutz stehen zur Verfügung und werden eingesetzt.), and 'Abnahme' (OK).
- Anmerkungen**: A text box containing 'Unterlagen und Knieschutz werden von den Beschäftigten angenommen. Maßnahme sollte für weitere Produktionsmechaniker (in anderen Hallen) auch geprüft werden.'

Abb. 4.15 Projektmanagement von Optimierungen mit dem Instrument
Quelle: Prozessverfahren Optimierungsprozesse (Ausschnitt)
im BDS-Instrument (GEWITEB)

Konkret wurden im Beispiel zunächst Unterlagen und Knieschutz beschafft. Diese wurden für allen knienden Instandhaltungsarbeiten getestet und deren Wirksamkeit für alle betreffenden Vorgänge von den beiden Produktionsmechanikern, hier beim Schichtbetrieb in Früh- und Spätschicht überprüft, im Fazit bestätigt und dieser gesamte Optimierungsprozess schließlich auch vom Abteilungsleiter **erfolgreich abgenommen**.

4.1.4.4 Konzeptentwicklung zur Visualisierung dringender Maßnahmen

Das neue Prozessverfahren Gestaltungsmaßnahmen / Optimierungsprozesse wurde für eine direkte Ausweisung dringender Maßnahmen im Belastungs- und Gefährdungsprofil vorbereitet. Hierzu wurde ein **neues 7-stufiges Bewertungsmodell** entwickelt (Tab. 4.14).

Tab. 4.14 Konzeptentwicklung zur Bewertung und Visualisierung dringender Maßnahmen

	Parameter		Interpretation und BDS - Bewertungsstufe	
	Status	Prio			Umsetzung
Sofern Maßnahme <u>nicht</u> abgeschlossen ODER Wirksamkeitsüberprüfung <u>nicht</u> erfolgreich	hoch	Datum <u>über-</u> schritten	Aktuell werden Maßnahmen im Arbeitssystem mit hoher Priorität umgesetzt. Die Umsetzung ist unverzüglich nachzuholen.	7
		Datum <u>unter-</u> schritten	Aktuell werden Maßnahmen im Arbeitssystem mit hoher Priorität umgesetzt. Die Umsetzung hat so schnell wie möglich zu erfolgen.	6
	mittel	Datum <u>über-</u> schritten	Aktuell werden Maßnahmen im Arbeitssystem mit mittlerer Priorität umgesetzt. Die Umsetzung liegt jedoch außerhalb des Zeitplans. Bei den Verantwortlichen und Ausführenden sind die Ursachen direkt zu erfragen.	5
		Datum <u>unter-</u> schritten	Aktuell werden Maßnahmen im Arbeitssystem mit mittlerer Priorität umgesetzt. Die Umsetzung ist noch im Zeitplan. Jedoch sollte die Ausführung wenn möglich so schnell wie möglich erfolgen.	4
	gering	Datum <u>über-</u> schritten	Aktuell werden Maßnahmen im Arbeitssystem mit höchstens geringer Priorität umgesetzt. Die Umsetzungsdauer liegt jedoch bereits außerhalb des Zeitplans. Bei den Verantwortlichen und den Ausführenden sind die Ursachen zu erfragen.	3
		Datum <u>unter-</u> schritten	Aktuell werden Maßnahmen im Arbeitssystem mit höchstens geringer Priorität umgesetzt. Die Umsetzung ist im Zeitplan. Sofern das Umsetzungsdatum zeitnah erreicht ist, sollte bei den Verantwortlichen und Ausführenden der aktuelle Stand zu den Realisierungsmöglichkeiten im Rahmen des festgelegten Zeitplans hinterfragt werden.	2
	Keine Maßnahmen ODER Wirksamkeitsüberprüfung erfolgreich (alle)		Keine laufenden Maßnahmen im Arbeitssystem oder alle Maßnahmen erfolgreich implementiert.	1

Diese Erweiterung hat Konzeptstatus und wird zur **Diskussion** zur Verfügung gestellt. Die Ausweisung bietet sich mit der Bezeichnung Optimierungsmaßnahmen an. Das Bewertungsergebnis sollte über die maximale Bewertungsstufe aller Maßnahmen ermittelt werden. Dabei sollte die Erfüllung des 90%-Kriteriums nicht obligatorisch sein, um Warnungen bereits ab der ersten angelegten Maßnahme ausgeben zu können. Damit könnte sofort gewarnt werden, falls Arbeitsunfallgefahren eine sofortige Maßnahmenumsetzung („Not-Aus“) erforderlich machen. Neben der Eliminierung sehr hoher Risiken könnte hiermit auch die Optimierung nach Prioritäten in den Organisationen weiter vorangetrieben werden.

4.1.5 Prozessverfahren Arbeitsmedizinische Vorsorge

Mit den Maßnahmen nach der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) sollen arbeitsbedingte Erkrankungen und Berufskrankheiten frühzeitig erkannt und verhütet werden. Die arbeitsmedizinische Vorsorge hat den Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit und den Ausbau des betrieblichen Gesundheitsschutzes zum Ziel (ArbMedVV § 1). Die Anlässe für arbeitsmedizinische Angebots- und Pflichtvorsorge sind im Anhang der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge geregelt und werden in den arbeitsmedizinischen Regeln (AMR) konkretisiert.

Die Praxiserfahrungen zeigen, dass die auf die Prävention von Erkrankungen abzielende arbeitsmedizinische Vorsorge in den Organisationen häufig ohne Verknüpfung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen durchgeführt wird, obwohl eigentlich viele sinnvolle Schnittstellen existieren und sich daher eine Reihe an Synergien ergibt.

Die Neuentwicklung des Prozessverfahrens Arbeitsmedizinische Vorsorge soll die Verbindung zwischen der Beurteilung der Arbeitsbedingungen und der arbeitsmedizinischen Vorsorge herstellen. Im Instrument soll das Prozessverfahren der Praxis die Möglichkeit zur Verfügung stellen, Vorsorgeanlässe aus den Beurteilungsergebnissen der Arbeitsbedingungen automatisch vom Instrument generieren zu lassen. Damit soll in Organisationen unnötig betriebener **doppelter Analyseaufwand vermieden** werden.

4.1.5.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

Arbeitsmedizinische Vorsorge ist ein Teilaspekt arbeitsmedizinischer Präventionsmaßnahmen in Organisationen und dient der Beurteilung und Aufklärung über die individuellen Wechselwirkungen von Arbeit und physischer und psychischer Gesundheit sowie der Früherkennung arbeitsbedingter Gesundheitsstörungen. Dabei geht es auch um die Feststellung, ob bei Ausübung bestimmter Tätigkeiten eine **erhöhte** gesundheitliche Gefährdung besteht (ArbMedVV § 2).

Angebotsvorsorge ist jeweils bei bestimmten gefährdenden Tätigkeiten anzubieten und Pflichtvorsorge ist jeweils bei bestimmten besonders gefährdenden Tätigkeiten durchzuführen. Hiervon abzugrenzen ist die Wunschvorsorge für Tätigkeiten, bei denen ein Gesundheitsschaden nicht ausgeschlossen werden kann, die auf Wunsch der Beschäftigten zu ermöglichen ist.

Die arbeitsmedizinischen Regeln (AMR) konkretisieren die arbeitsmedizinische Vorsorge (ArbMedVV) und geben den Stand der Arbeitsmedizin und sonstige gesicherte arbeitsmedizinische Erkenntnisse wieder, bei deren Einhaltung davon ausgegangen werden kann, dass die Anforderungen der Arbeitsmedizinischen Vorsorge erfüllt sind²⁷.

²⁷ Vgl. zur Vermutungswirkung: ArbMedVV § 3 (1)

4.1.5.2 Verfahrensentwicklung

Im Rahmen der Dissertation lag der Fokus der Verfahrensentwicklung auf der Umsetzung der beiden Kategorien **Angebotsvorsorge** und **Pflichtvorsorge**. Ob ein Vorsorgekriterium greift, ist in vielen Fällen von der **Expositionsdauer** abhängig. Bei der korrekten Feststellung ist daher eine detaillierte, die Expositionsdauer berücksichtigende, Beurteilung der Arbeitsbedingungen zwingend erforderlich. Spätere Anwender*innen des Prozessverfahrens sollen daher von der tätigkeitsbasierten Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen mit dem Kernverfahren profitieren. Denn die Daten zur Prüfung der Relevanz der Kriterien liegen ihnen bereits vor, müssen jedoch im Rahmen der Dissertation zunächst noch aufbereitet werden, da die Daten im Kernverfahren für andere Zielstellungen wie die Belastungs- und Gefährdungsprofile weiterverarbeitet werden.

Tab. 4.15 Expositionsdauerabhängige Kriterien für arbeitsmedizinische Vorsorge

Vorsorge	Kriterien
Feuchtarbeit	≥ 2 und 4 Stunden pro Tag (vgl. Anhang Teil 1)
Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung	Kriterien nach AMR 13.1 sind teilweise zeitabhängig
Tätigkeiten mit extremer Kältebelastung	Temperatur ≤ -25°C für Beschäftigungsdauer ≥ 15 Min. (kurzfristige Tätigkeit nach Grundsatz G21)
Tätigkeiten mit Lärmexposition Auslösewerte für Tages-Lärmexpositionspegel	($L_{ex,8h}$ von 80 dB(A) bzw. 85 dB(A)) oder Spitzenschalldruckpegel erreicht oder überschritten (vgl. 1, Anhang Teil 3)
Tätigkeiten mit Exposition durch Vibrationen	Tages-Vibrationsexpositionsgrenzwert A(8) für Ganzkörper- oder Hand-Arm-Vibrationen erreicht oder überschritten (vgl. 1, Anhang Teil 3)
Tätigkeiten mit Exposition durch inkohärente künstliche optische Strahlung	(Mögliches) Überschreiten von Expositionsgrenzwerten in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Einwirkdauer (siehe Anhang I der EU-Richtlinie 2006/25/EG) (vgl. Anhang Teil 3)
Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen	Nach AMR 13.2 bei Heben, Halten, Tragen, Ziehen und Schieben von Lasten und Manuelle Arbeitsprozesse ab 25 Punkten in der entsprechenden LMM (Zeitfaktor enthalten); Knien, Rumpfbeugen und Arbeiten über Schulterniveau ab 1 Std., erzwungene Sitzhaltung ab 2 Std. und dauerhaftes Stehen ab 4 Std. pro Arbeitsschicht
Tätigkeiten an Bildschirmgeräten	nicht unwesentlicher Teil der normalen Arbeit (§ 2 Abs. 3); mehr als 30 bzw. 45 Minuten nach aktueller Rechtsprechung

Im ersten Entwicklungsschritt wurden daher die Kriterien von Expositionsdauer-abhängigen Vorsorgemaßnahmen zusammengetragen (Waldminghaus, 2016; Tab. 4.15).

Anschließend wurden die Kriterien und resultierenden Vorsorgekategorien zugeordnet. Das ist wichtig, da die Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge beispielsweise bei extremer Hitzebelastung immer Pflichtvorsorge vorsieht (Waldminghaus, 2016; Tab. 4.16).

Tab. 4.16 Angebots- und Pflichtvorsorge nach Belastungs- und Gefährdungsart
Quelle: Eigene Darstellung nach Waldminghaus, 2016

Belastungs- und Gefährdungsarten	Art der Vorsorge	
	Angebot	Pflicht
Wesentlich erhöhte körperliche Belastungen	X	
Hitzearbeit		X
Kältarbeit		X*
Lärm	X	X
Vibration	X	X
Taucherarbeiten		X*
Inkohärente Strahlung		X*
Feuchtarbeit	X	X
Atemschutz	X	X

Die Kriterien für die **Vorsorge bei Hitzearbeit** führt die arbeitsmedizinischen Regel 13.1 auf. Extreme Hitze ist hiernach ein Zustand, bei dem die Wärmeabfuhr des Körpers durch äußeren klimatischen Einfluss erschwert wird. Die Wärmebelastung kann durch einzelne klimatische Parameter, durch deren Zusammenspiel oder durch Klimasummenmaße wie die Normal-Effektivtemperatur (NET) beurteilt werden. Letztere wird anhand der messbaren Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit berechnet. Zunächst kann die Beurteilung anhand einzelner Parameter vorgenommen werden. Dafür gelten die folgenden Kriterien: Eine Lufttemperatur größer 45°C und Beschäftigungsdauer länger als 15 Minuten, eine Lufttemperatur größer 30°C und länger als 4 Stunden pro Schicht und gleichzeitig hohe Luftfeuchte und Flüssigkeitsaufnahme größer vier Liter pro Schicht oder unerträgliche Wärmestrahlung im Gesicht. Mit identischem Vorgehen wurden auch die weiteren Kriterien zusammengetragen und das Verfahren basierend auf anderen bereits vorhandenen Auswertungen konzipiert (Abb. 4.16).

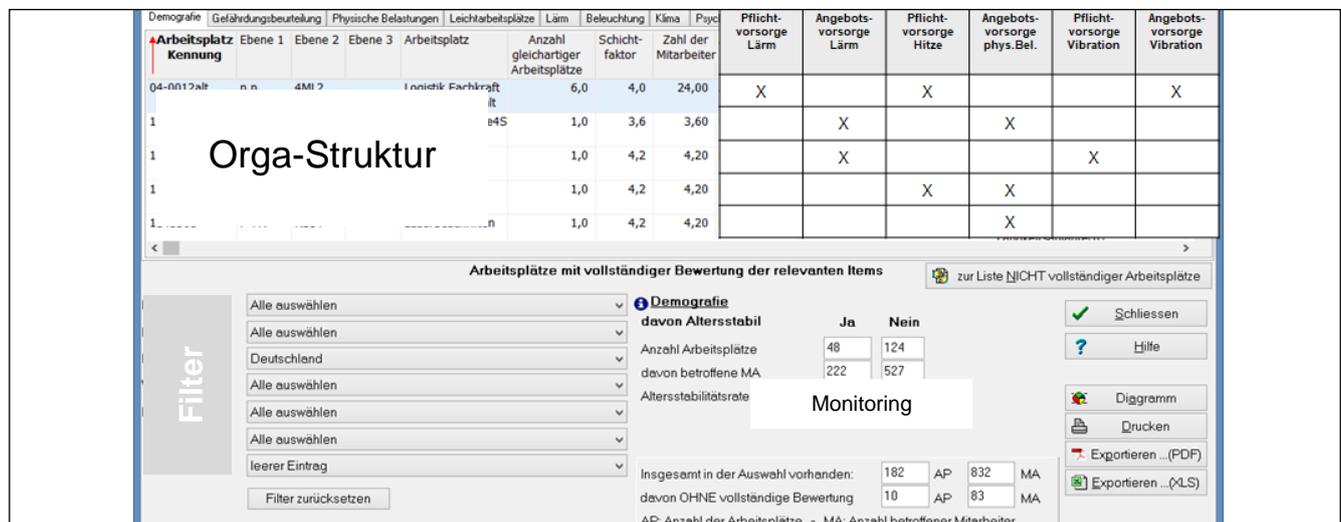


Abb. 4.16 Konzeption von Funktion und Design des neuen Prozessverfahrens

4.1.5.3 Adaptierung im Instrument

Zur Adaptierung des neuen Prozessverfahrens zur arbeitsmedizinischen Vorsorge wurde ein Monitoringsystem als Startpunkt für die **Vorsorgekartei** des Arbeitgebers [ArbMedVV §3 (4)] entwickelt. Dieses stellt eine automatisch generierte Übersicht über die Arbeitssysteme zur Verfügung, bei denen die im Anhang der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge aufgeführten Kriterien zutreffen und daher für die dort Beschäftigten Angebotsvorsorge anzubieten oder Pflichtvorsorge zu veranlassen ist. Das Monitoringsystem gliedert sich in zwei Bestandteile. Das umfasst ein Dashboard zur Übersicht sowie Detailinformationen zur Angebots- und Pflichtvorsorge nach den Belastungs- und Gefährdungsarten (Abb. 4.17).

The screenshot shows a dashboard titled 'Übersicht Arbmed-VV'. At the top, there are tabs for 'Details phys. Belastungen', 'Details Lärm', 'Details Hitze', 'Details Vibration', 'Details Feuchtarbeit', and 'Details Atemschutz'. Below these is a table with columns: 'Arbeitsplatz Kennung', 'Ebene 1', 'Ebene 2', 'Ebene 3', 'Arbeitsplatz', 'Zahl der Mitarbeiter', 'Geschlecht', 'phys. Bel.', 'Lärm', 'Hitze', 'Vibration', 'Feuchtarbeit', and 'Atemschutz'. A red arrow points to the 'phys. Bel.' column. A callout box labeled 'Orga-Struktur' points to the 'Arbeitsplatz' column. Another callout box labeled 'Monitoring zur Angebots- und Pflichtvorsorge' points to the 'phys. Bel.' column. Below the table is a filter sidebar with 'Filter' and 'Ebene 3' sections. To the right of the filter is a summary table for 'Pflichtvorsorge (P) MA' and 'Angebotsvorsorge (A) MA'. At the bottom right, there are buttons for 'Schliessen', 'Drucken', 'Export (PDF)', 'Export (TXT)', and 'Export (XLS)'. A callout box labeled 'Flexibler Datensatzumfang' points to the summary table.

Arbeitsplatz Kennung	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Arbeitsplatz	Zahl der Mitarbeiter	Geschlecht	phys. Bel.	Lärm	Hitze	Vibration	Feuchtarbeit	Atemschutz
pta 4			pta 4	Erfassung der	7,20	m/w	A					P
2					18,00	m	A		P			P
V				ilac	1,00	m	A					
8					6,00	m						P
P.				it	7,20	m/w						P
P.				je	7,20	m/w						P
				pte								

Pflichtvorsorge (P) MA	Angebotsvorsorge (A) MA
918	5749
2186	3410
366	752
1720	797
	370
42 MA	
34 MA	

Abb. 4.17 Monitoring der arbeitsmedizinischen Vorsorge (Beispieldatensatz)
Quelle: Prozessverfahren ArbMedVV im BDS-Instrument (GEWITEB)

Das Dashboard reduziert die Komplexität, indem alle Daten auf einen Blick erfasst werden können. Es generiert eine Übersicht über die Belastungs- und Gefährdungsarten Wesentlich erhöhte körperliche Belastungen, Lärmexposition, Exposition mit Vibrationen, Extreme Hitzebelastung, Feuchtarbeit und Tragen von Atemschutzgeräten sowie alle involvierten Arbeitssysteme. Die Filterung der Organisationsstruktur kann flexibel erfolgen. In Abhängigkeit der integrierten Organisationsstruktur bietet sich eine Filterung beispielsweise nach Ländern, Werken und internen Organisationseinheiten an. Da im Instrument generell **keine persönlichen Daten** hinterlegt werden, entsteht daher eine anonyme Übersicht zu den Ursachen sowie zur Anzahl der Beschäftigten für die Vorsorge anzubieten und zu veranlassen ist. Die aus den anderen Verfahren bekannten Schnittstellen- und Exportfunktionalitäten sowie zusätzliche Informationen unterstützen bei den betrieblichen Prozessen mit nützlichen Zusatzfunktionen und praktischen Tipps („Informationsfelder“).

Vom Dashboard ausgehend können Detailinformationen zur Angebots- und Pflichtvorsorge nach Belastungs- und Gefährdungsarten eingesehen werden. Das erlaubt Rückschlüsse zu häufig auftretenden Vorsorgemaßnahmen.

Denn welche Pflicht- oder Angebotsvorsorge vorgeschrieben ist, welche organisatorischen Aufwände in den Organisationen eingeplant werden müssen und welche Ursachen zum jeweiligen Vorsorgebedarf führen, kann hier erkannt werden. Die korrespondierenden arbeitswissenschaftlichen Einzelverfahren liefern dabei den fachlichen Ansatz für effektive Gestaltungsmaßnahmen, um das Gesundheitsrisiko zu eliminieren oder möglichst weit zu minimieren. Im nachfolgenden Beispiel ist manuelle Lastenhandhabung bei insgesamt 257 Arbeitssystemen, an denen insgesamt 1.513 Beschäftigte arbeiten, die Ursache für arbeitsmedizinische Angebotsvorsorge (Abb. 4.18).

Manuelle Arbeitsprozesse >= 25 Pkt.	Knie/Hocken/Kriechen >= 1 h [min]	Rumpfvorb./verdrehung >= 1 h [min]	Arbeit ü. Schulter >= 1 h [min]	Erzwungenes Sitzen >= 2 h [min]	Erzwungenes Stehen >= 4 h [min]
39					245
	94				
			124	120	
				370	
			62		
34					

Details phys. Belastungen					
Lastenhandhabung >= 25 Pkt.	257	AP	1513	MA	✓
Manuelle Arbeitsprozesse >= 25 Pkt.	51	AP	565	MA	?
Knie/Hocken/Kriechen >= 1 h	11	AP	42	MA	
Rumpfvorb./verdrehung >= 1 h	38	AP	234	MA	
Arbeit ü. Schulter >= 1 h	38	AP	315	MA	
Erzwungenes Sitzen >= 2 h	37	AP	348	MA	
Erzwungenes Stehen >= 4 h	14	AP	78	MA	

Abb. 4.18 Detailinformationen zur Vorsorge am Beispiel Physische Belastungen
 Quelle: Prozessverfahren ArbMedVV im BDS-Instrument (GEWITEB)

Mit dem Prozessverfahren werden die den Belastungs- und Gefährdungsprofilen zugrunde liegenden Analysedaten der Arbeitssysteme zeitparallel für die arbeitsmedizinische Vorsorge weiterverarbeitet. Damit können Organisationen ihren Vorsorgebedarf wie von der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vorgesehen aus der Beurteilung der Arbeitsbedingungen ableiten und zusätzlichen Aufwand vermeiden.

Übergeordnet kann hiermit das **E-STOP-Prinzip** gefördert werden, indem durch Substitution und Technische Maßnahmen zur optimierten Arbeitsgestaltung (Manipulatoren zur Eliminierung von Belastungsspitzen etc.) Maßnahmen der Vorsorge reduziert werden können. Das Prozessverfahren soll dabei helfen, zusätzliche Argumente für die Budgetfreigabe (Business Case etc.) für Substitution und Technische Maßnahmen zu generieren.

4.1.6 Prozessverfahren Inklusion

Das Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderung²⁸ dient der **Gleichstellung von Menschen mit Behinderung** und spezifiziert das Recht auf Zugang zur Arbeitswelt. Die unterzeichnenden Länder verpflichten sich dazu, einen gleichberechtigten Zugang zu Umwelt, Transportmitteln, Information, Kommunikation, Bildung und Arbeit für alle Menschen zu schaffen. Hierzu sind verbindliche Regeln zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung festgelegt. Auch in Deutschland ist die UN-Behindertenrechtskonvention als geltendes Recht umgesetzt. Hiermit ergeben sich Schnittstellen zum betrieblichen Eingliederungsmanagement (BEM), das dem Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit dient und in Deutschland länger erkrankten Beschäftigten anzubieten ist. Ein wichtiger Aspekt des betrieblichen Eingliederungsmanagements ist der Ausbau individueller Chancen auf Arbeitsplatzverlust durch präventive Gestaltung

Mit dem neuen Prozessverfahren Inklusion sollen Organisationen ihre Produktionsergonomie systematisch auf ein neues Qualitätslevel - die **Inklusive Produktionsergonomie** - anheben können. Von dem zu entwickelnden Prozessverfahren sollen die Beschäftigten und damit die Organisationen profitieren. Einerseits durch ein größeres Angebot an barrierefreien Arbeitssystemen, die möglichst vielfältigen Anforderungen gerecht werden. Andererseits durch **zielgenaue Auswahl einschränkungsspezifischer Arbeitssysteme** auf der Grundlage neuer Algorithmen. Hierbei soll auch geforscht werden, ob und wie künstliche Intelligenz eventuell helfen kann, um aus großen Datenbeständen einfach zu realisierende Optimierungsprojekte zu identifizieren.

4.1.6.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

In Deutschland ist die **UN-Behindertenrechtskonvention** seit dem Jahr 2009 geltendes Recht (BGBl, 2008). Bereits seit dem Jahr 2004 sind Organisationen in Deutschland verpflichtet, länger erkrankten Beschäftigten ein betriebliches Eingliederungsmanagement anzubieten (SGB IX, 2016). Nach SGB IX § 84 (2) besteht die Verpflichtung zum Betrieblichen Eingliederungsmanagement, falls Beschäftigte während eines Jahres länger als sechs Wochen ununterbrochen oder wiederholt arbeitsunfähig waren.

Das Betriebliche Eingliederungsmanagement ist an den Arbeitgeber adressiert mit dem übergeordneten Ziel, Arbeitsunfähigkeit der Beschäftigten zu überwinden, erneuter Arbeitsunfähigkeit vorzubeugen und die Arbeitssysteme der betroffenen Beschäftigten zu erhalten. Insgesamt sollte es als eine weitere Chance verstanden werden, den Folgen des demografischen Wandels systematisch und wirksam zu begegnen.

²⁸ Üblicherweise wird die Kurzbezeichnung UN-Behindertenrechtskonvention mit der Abkürzung UNBRK verwendet. Der Originaltitel lautet: Convention on the Rights of Persons with Disabilities.

4.1.6.2 Entwicklung des Prozessverfahrens

Für das neue Prozessverfahren Inklusion wurde in einem ersten Schritt die Verarbeitung der Analyseparameter von Arbeitssystemen aus dem Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung weiterentwickelt. Damit sollte die jeweilige Belastungs- und Gefährdungssituation an den einzelnen Arbeitssystemen detaillierter dargestellt und ausgewertet werden können sowie auf ein flexibles System mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad zurückgegriffen werden können.

Entwickelt wurde hierzu ein **3-stufiges System**, das isoliert oder als Ganzes genutzt werden kann und aufeinander aufbaut. Das Informationslevel 1 besteht aus den Belastungs- und Gefährdungsprofilen, das Informationslevel 2 aus einem professionellen Anforderungsprofil und das Informationslevel 3 aus einer detaillierten Datenanalyse (Abb. 4.19).



Abb. 4.19 Generierung von Anforderungsprofilen mit flexiblem Informationsgehalt

Das Prozessverfahren stellt in Informationslevel 1 die interaktiven Belastungs- und Gefährdungsprofile für die Inklusionsprozesse zur Verfügung. Sie enthalten die ganzheitlichen Ergebnisse in den vier Belastungsgruppen mit grafischer Übersicht über die 7-stufigen Bewertungsergebnisse aller Belastungs- und Gefährdungsarten.

Sind die Informationen der Belastungs- und Gefährdungsprofile für den konkreten Eingliederungsfall nicht ausreichend, steht in einer zweiten Stufe das Professionelle Anforderungsprofil zur Verfügung, das auf dem Belastungs- und Gefährdungsprofil basiert und darüber hinaus auch die wichtigsten spezifischen Aspekte der Belastungsarten grafisch und numerisch aufbereitet zur Verfügung stellt. Hieraus können detailliere Informationen über die Ausprägung von Belastungen, spezifischen Anforderungen der Arbeitssysteme und **Wirkweise der Belastungsarten auf die Zielorgane der Beschäftigten** ermittelt werden. Aus dem Professionellen Anforderungsprofil geht mit höherem Detaillierungsgrad hervor, welche konkreten Anforderungen die Arbeitssysteme an die Beschäftigten stellen. In die Entwicklung wurden Besonderheiten und interessante, auf die unterschiedlichen Belastungsarten zugeschnittene Fragestellungen, integriert. Wahlweise kann damit nun auch ein stunden- und minuten-genaueres Monitoring durchgeführt werden.

Damit kann beispielsweise nun auch abgeklärt werden, mit welcher Expositionsdauer Körperzwangshaltungen (Hocken, Knien, Fersensitz) erforderlich sind (Tab. 4.17).

Tab. 4.17 Identifizierung konkreter Anforderungen von Arbeitssystemen (Auswahl)

Belastungsart	Anforderungen
Ziehen, Schieben	Wie hoch sind die maximal zu transportierenden Lasten?
Körperhaltung	Inwieweit müssen kritische Körperhaltungen eingenommen werden, z. B. wie lange muss in Rumpfvorneigung mit Beugewinkeln größer 60° gearbeitet werden? Wie lange muss in Zwangshaltungen wie Hocken, Knien und Fersensitz gearbeitet werden?
Manuelle Arbeitsprozesse	Welchen Anteil der Schicht machen Überschulterarbeit und körperfernes Greifen aus?
	Welche Hand-/Arm-/Schultergelenkstellungen sind bei Montageprozessen erforderlich?
	Welcher Kraftaufwand muss bei der Montage aufgebracht werden? Inwieweit sind die linke und rechte Hand im Einsatz? Sind Spitzenkräfte erforderlich oder muss ggf. sogar die Hand zum (Ein-)Schlagen (von Teilen, Werkzeugen etc.) eingesetzt werden?

Eine darüber hinausgehende Aufbereitung aller Unterlagen, beispielsweise für Sitzungen vom Arbeitsschutzausschuss kann über den Export (*.pdf etc.) realisiert werden. Der Report umfasst je nach Umfang der in der Analysephase der Arbeitssysteme integrierten Abbildungen und Beschreibungen ein etwa 15-seitiges Anforderungsprofil (Abb. 4.20).

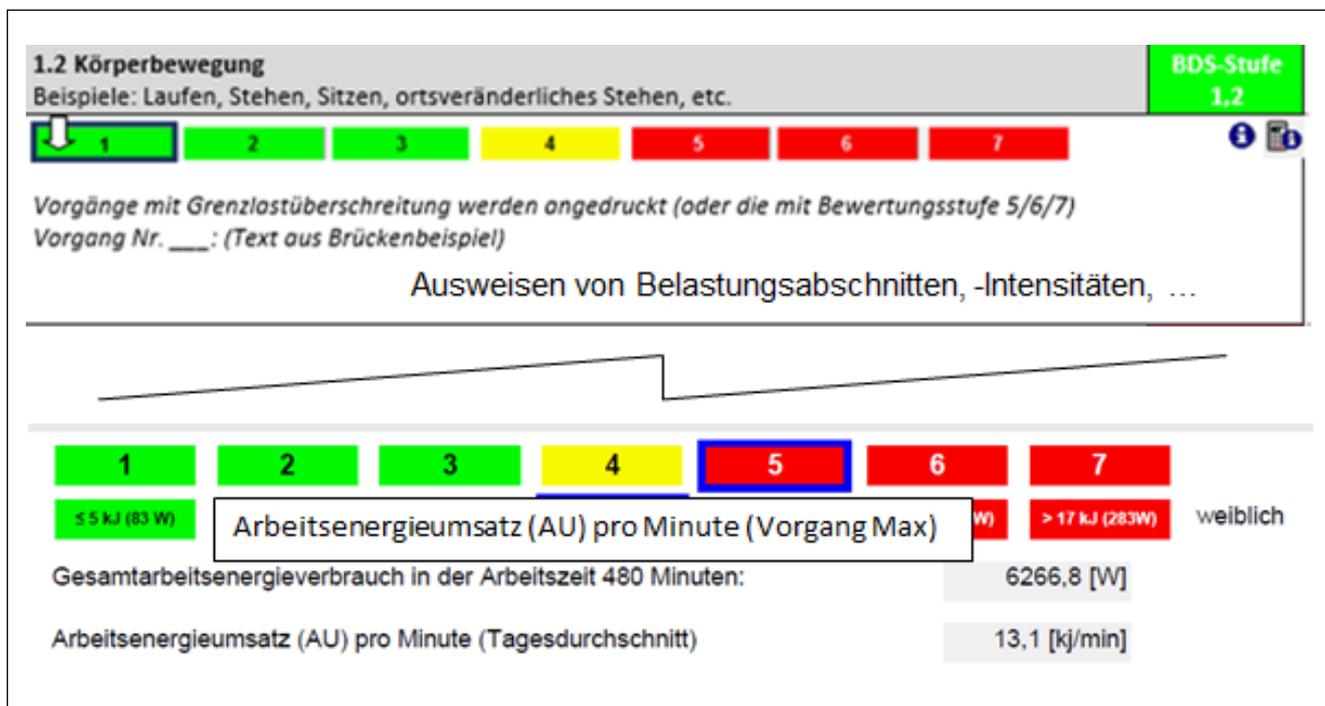


Abb. 4.20 Prototypentwicklung des BDS- Anforderungsprofils (Informationslevel 2)
 Quelle: Prototyp zum Prozessverfahren Inklusion (Institut ASER e.V.)

Falls das positive Leistungsvermögen besonders stark oder mehrere Organsysteme gleichzeitig eingeschränkt sind, können sich sehr anspruchsvolle Eingliederungsfälle ergeben, bei denen komplexe Ausschlusskriterien geprüft werden müssen. Hierfür wurde die detaillierte Datenanalyse entwickelt, die den Zugang auf alle Analyseparameter aller Belastungsarten aller Arbeitssysteme in Organisationseinheiten liefert.

		1	2	3	ind.	n.r.
Physische Belastungen						
Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	i			X	(3)	
Körperbewegung	i		X		(2)	
Lastenhandhabung	i		X		(1)	
Dynamische Muskelarbeit	i			X	(2)	
Manuelle Arbeitsprozesse	i			X	(11)	
Haltungs-/Bewegungsverteilung	i		X		(1)	
sonstige Kriterien						
<input type="checkbox"/> Nur Schichtsysteme OHNE Nachtschicht						

Abb. 4.21 Die neue Matching-Schnittstelle des Prozessverfahrens im Prototyp-Status
Quelle: Prozessverfahren Inklusion (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

Hierauf aufbauend wurde das **Matching von Anforderungsprofil und Leistungsprofil** entwickelt. Um das zu ermöglichen, wurde eine Schnittstelle zur anonymen Integration der Leistungsprofile der Beschäftigten geschaffen. Hiermit kann eine Umwandlung vom positiven Leistungsvermögen der Beschäftigten in zulässige Bewertungsstufen aller Belastungsarten unter Angabe zusätzlicher Ausschlusskriterien erfolgen. Das ist auch möglich für erweiterbare Analyseparameter wie die Art des Schichtsystems und ermöglicht eine Neuberechnung von Bewertungsfiltren, beispielsweise durch eine nachträgliche Simulation der Grenzwerte von weiblichen Beschäftigten (Abb. 4.21).

Kernidee hinter der Entwicklung der Matching-Schnittstelle war, eine anonyme Integration der Leistungsprofile der Beschäftigten zu ermöglichen und damit die generelle Vorgehensweise des Instruments fortzusetzen, personenbezogene Daten im Allgemeinen und arbeitsmedizinische Daten aus den Akten der Betriebsärzte im Speziellen nicht in das Instrument zu integrieren. Dies funktioniert durch Umwandlung in noch zulässige Belastungshöhen in den betreffenden Belastungsarten. Um dies in der Betriebspraxis zu erleichtern, wurde das **Risikokzept um ein Schutzkonzept für besonders schutzbedürftige Personengruppen erweitert**.

Damit soll insbesondere auch Betriebsärzten die Umwandlung durch Einschätzung für den niedrigen Belastungsbereich erleichtert werden und wird die Eingliederung entlang eines logischen Prozesses ermöglicht, der mit dem Rehabilitationsbericht und Leistungsprofil startet, in der Gefährdungsbeurteilung fortgesetzt wird und im Anforderungsprofil mündet. In das Rahmenrisikokzept wurden Erläuterungen aus der Sichtweise der zur Verfügung stehenden Leistungsfähigkeit der Beschäftigten integriert, um bei der Umwandlung hieraus die jeweils maximal empfohlene Bewertungsstufe möglichst zielgenau ableiten zu können (Tab. 4.18).

Tab. 4.18 Neues Risikokzept für besonders schutzbedürftige Personengruppen

BDS-Level	Risikokzept für besonders schutzbedürftige Personengruppen
3 normal belastend	Akzeptabler Bereich für Beschäftigte ohne gesundheitliche oder sonstige Einschränkungen mit Auswirkungen auf die jeweilige Belastungsart. Überbeanspruchung ist ab <u>unterdurchschnittlicher Leistungsfähigkeit</u> aufgrund gesundheitlicher oder sonstiger Einschränkungen in Bezug auf die jeweilige Belastungsart zu erwarten.
2 gering belastend	Akzeptabler Bereich für alle Beschäftigten ohne wesentliche gesundheitliche oder sonstige Einschränkungen. Überbeanspruchung ist ab <u>geringer Leistungsfähigkeit</u> aufgrund gesundheitlicher oder sonstiger Einschränkungen in Bezug auf die jeweilige Belastungsart zu erwarten.
1 sehr gering belastend	Akzeptabler Bereich für nahezu alle Beschäftigten. Überbeanspruchung ist lediglich bei Beschäftigten mit <u>sehr geringer Leistungsfähigkeit</u> aufgrund gesundheitlicher oder sonstiger Einschränkungen in Bezug auf die jeweilige Belastungsart zu erwarten.

Vor allem in Organisationen mit hohen Sicherheits- und Gesundheitsrisiken muss davon ausgegangen werden, dass in der Betriebspraxis keine passenden oder nur zu wenige geeignete Arbeitssysteme identifiziert werden können. Letzteres kann auch der Fall sein, wenn eine große Anzahl an Eingliederungsfällen über einen kurzen Zeitraum ansteht. Diese Problemstellung stellt ein bedeutendes arbeitswissenschaftliches Forschungsgebiet dar.

Im Rahmen der Dissertation wurde daher ein neuer Ansatz zur **inkluisiven Produktionsergonomie** entwickelt. Er soll den Start für neue Algorithmen mit künstlicher Intelligenz (KI) darstellen, mit denen es möglich wird, Arbeitssysteme nach Eingliederungsfällen zu identifizieren, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eine möglichst schnelle und ressourcenarme Umgestaltung zulassen. Die realisierte Entwicklungsstufe des neuen Ansatzes ermöglicht es, auf individuelle Bedürfnisse zugeschnittene Arbeitssysteme mit dem geringsten Umgestaltungsaufwand zu identifizieren.

Interessante Praxisanwendungen entstehen hiermit für die Organisationen und Organisationseinheiten, die über keine geeigneten Arbeitssysteme verfügen und die Ausgleichsabgabe nach SGB IX (2016) zahlen müssen. Denn die neue Anwendung Umbaupotenziale soll dabei helfen, die Ausgleichsabgabe für Investition in die Modernisierung der eigenen Organisation zu verwenden. Die Algorithmen können aus Millionen von möglichen Kombinationen die Arbeitssysteme identifizieren, die das geforderte Belastungsniveau nur möglichst knapp verfehlen (Abb. 4.22).



Abb. 4.22 Intelligente Identifizierung ressourcenarmer Gestaltungsoptionen

Denn je weniger die tatsächliche Belastung von der geforderten Belastung abweicht, umso geringer ist der zu erwartende Gestaltungsaufwand. Aus den möglichen Kombinationen werden die besten Handlungsoptionen im Vorfeld der Umsetzung für die Business Cases errechnet. Welche Spannweiten dabei im Einzelfall erlaubt sind (10%, 20% und 30%), kann individuell durch die Anwender*innen eingestellt werden. Das Prozessverfahren steht mit seinen Anwendungen für die Inklusive Produktionsergonomie zur Verfügung. Entstanden ist ein Multi-Level-Matching (MLM) für den fähigkeitsgerechten Einsatz von rückkehrenden Beschäftigten. Über drei Informationslevel können die am besten geeigneten Arbeitssysteme identifiziert werden. Falls kein Matching vorliegt, ermöglicht die KI-Anwendung Umbaupotentiale eine **ressourcenarme Gestaltung** (Abb. 4.23).

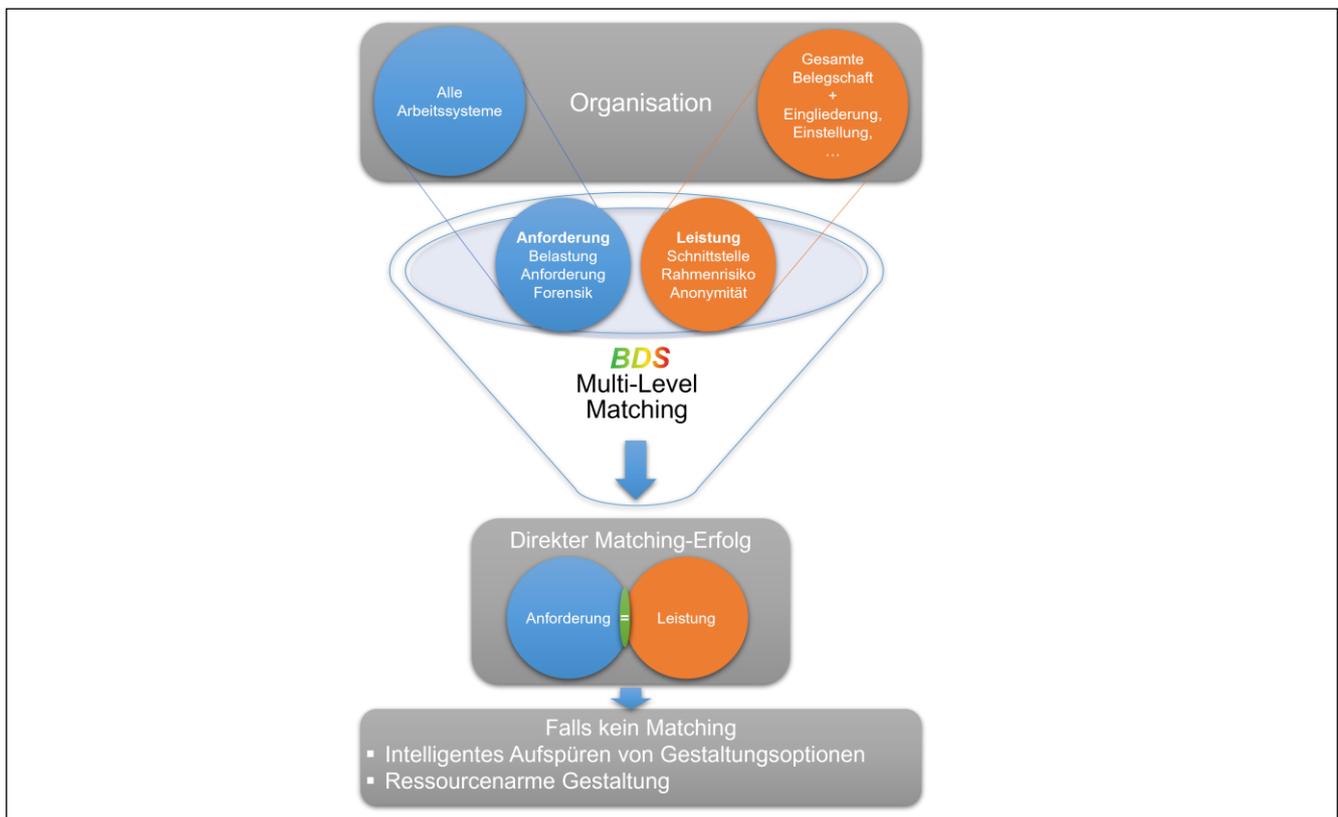


Abb. 4.23 Multi-Level Matching von Anforderung und Leistung mit dem Instrument

4.1.6.3 Adaptierung im Instrument

Das neue Prozessverfahren Inklusion führt die wichtigsten Informationen zur Belastungssituation an den Arbeitssystemen in der Organisation zusammen.

Das professionelle Anforderungsprofil informiert über die Bewertungsstufen der Belastungsarten und deren spezifischen Aspekte, Beispiele negativer Ausprägungen und deren Auswirkungen auf die Körperzielorgane. Damit können Organisationen während der Eingliederungsprozesse nun das Vorhandensein der konkreten Anforderungen abklären, ohne dafür neue Analysen durchführen zu müssen. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie abgeklärt werden kann, ob extrem unnatürliche Körperhaltungen durch notwendige Rumpfvorneigung mit Beugewinkeln größer 60 Grad eingenommen werden müssen, was an diesem Arbeitssystem nicht der Fall ist (Abb. 4.24).

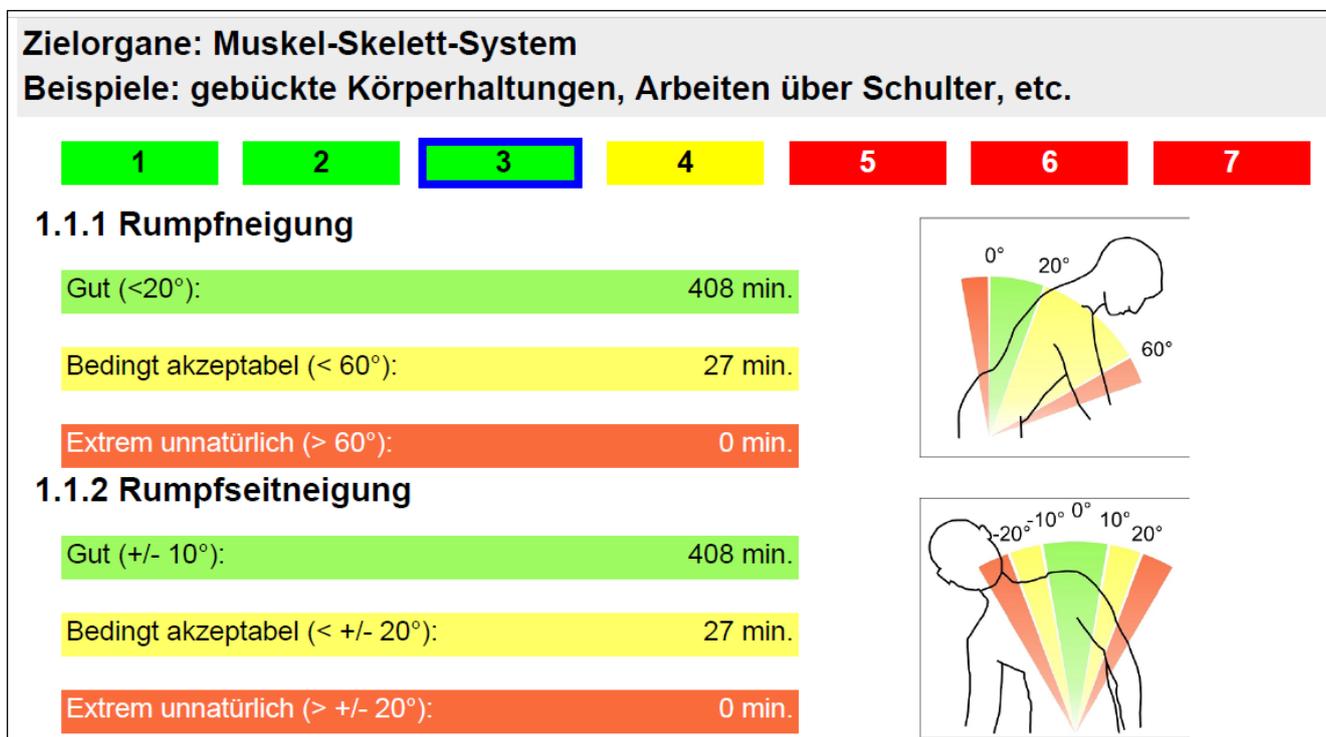


Abb. 4.24 Das professionelle BDS-Anforderungsprofil (Informationslevel 2)

Quelle: Prozessverfahren Inklusion (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

Mit der Schnittstelle zur anonymen Integration der Leistungsprofile der Beschäftigten kann das positive Leistungsvermögen der Beschäftigten bezüglich aller Belastungsarten unter optionaler Angabe von Ausschlusskriterien in noch zulässige Bewertungsstufen umgewandelt werden. Die Schnittstelle wurde mit einem Abfrageverfahren realisiert, das auf die Integration der üblicherweise vom Betriebsarzt oder der Rehabilitationseinrichtung zur Verfügung gestellten Leistungsprofile abgestimmt ist. Ausgehend vom aktuell zur Verfügung stehenden Leistungsniveau der Beschäftigten kann hiermit der Einfluss auf bis zu 30 Belastungsfaktoren in den Belastungsgruppen Physische Belastungen, Umgebungsbedingungen und Psychische Belastungen festgelegt werden.

Falls ein oder mehrere Belastungsfaktoren relevant sind, kann festgelegt werden, welche Maximalbelastung nicht überschritten werden soll. Damit werden darüber hinaus auch ganz neue interdisziplinäre Anwendungen möglich, da hiermit auch die in der Sportwissenschaft häufig angewendete **Belastungssteuerung** sich auch auf das Berufsleben übertragen lässt.

Die Matching-Schnittstelle wurde mit Zusatzfunktionalitäten versehen, mit deren Hilfe eine gezielte Recherche von geeigneten Arbeitssystemen nach Alter und Geschlecht erfolgen kann. Um sicherzustellen, dass der korrekte Bewertungsfilter zum Einsatz kommt, ist die Angabe des Geschlechts als Pflichtfeld umgesetzt. Hiermit lässt sich auch die **Simulation** durch nachträgliche Neuberechnung von Bewertungsfiltern durchführen (Abb. 4.25).

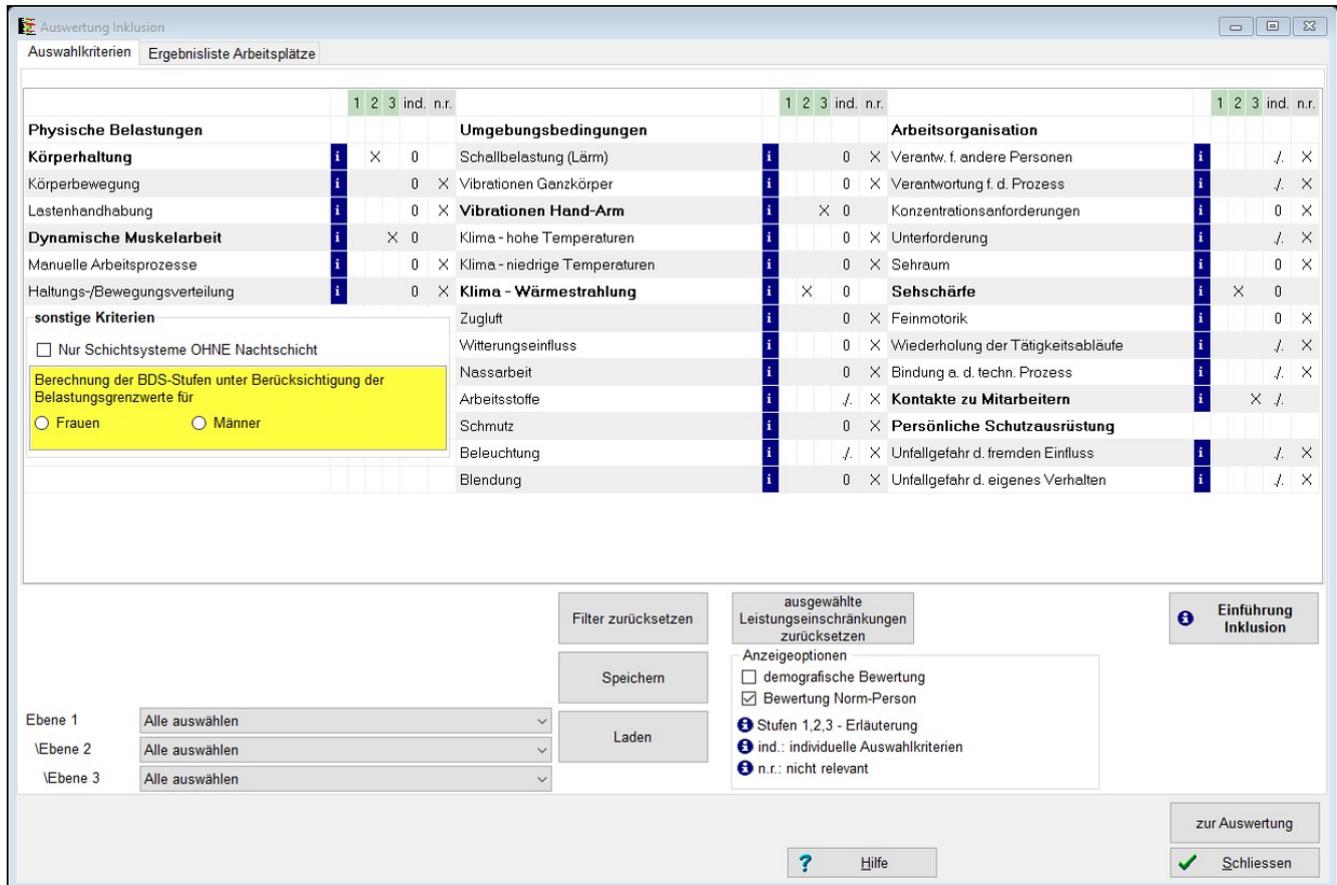


Abb. 4.25 Matching-Schnittstelle zur anonymen Integration der Leistungsprofile
Quelle: Prozessverfahren Inklusion (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)

Als Resultate der Anwendung des Prozessverfahrens können Auflistungen mit Informationen zu allen **automatisch gefilterten Arbeitssystemen** ausgegeben werden.

Die Anwendung Umbaupotenziale wurde in die Ergebnisliste der Schnittstelle integriert. Von hier aus können nun die erlaubten Spannweiten²⁹ festgelegt und neu recherchiert werden. Von der Matching-Schnittstelle aus können die korrespondierenden Datensätze der automatisch gefilterten Arbeitssysteme bei Bedarf eingesehen werden, um weitergehende Detailbetrachtungen zu den Belastungsaspekten durchzuführen.

Die Gestaltung und die Bedienung des neuen Prozessverfahrens sind an die bereits vorhandene individuelle Auswertung des Kernverfahrens angepasst worden. Das soll ein einheitliches Layout, eine möglichst intuitive Bedienung und eine steile Lernkurve gewährleisten.

²⁹ Diskrepanz zwischen der vom Arbeitssystem ausgehenden Belastung und von dem/der Beschäftigten vorübergehend oder noch leistbaren Belastung von 10, 20 oder 30 Prozent.

4.1.7 Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen

Arbeitsunfälle können zu **irreversiblen Gesundheitsschäden** bis hin zum **Tod** führen (SGB VII; 1996). Neben den Beschäftigten und den Einsatzkräften können bei Faktorenbereichen wie beispielsweise bei Brand- und Explosionsgefährdungen zusätzlich auch die Nachbarschaft und ganze Ökosysteme betroffen sein (Efker, 2001; Abb. 4.26).

Die Auswirkungen können weitreichende Folgen für Organisationen und deren Verantwortliche nach sich ziehen, was den hohen Stellenwert der Arbeitssicherheit für einen nachhaltigen Erfolg der Organisation erklärt (Schliephacke, 2008). Die Gefährdungsbeurteilung ist die Grundlage für einen systematischen und erfolgreichen Sicherheits- und Gesundheitsschutz und der wichtigste **iterative Prozess**, um Gefährdungen präventiv zu erkennen und notwendigen Handlungsbedarf abzuleiten. Das ist die Grundlage um geeignete Maßnahmen festzulegen, umzusetzen und anschließend deren Wirksamkeit zu überprüfen, damit Arbeitsunfällen vorgebeugt werden kann (Pieper & Vorath, 2005).

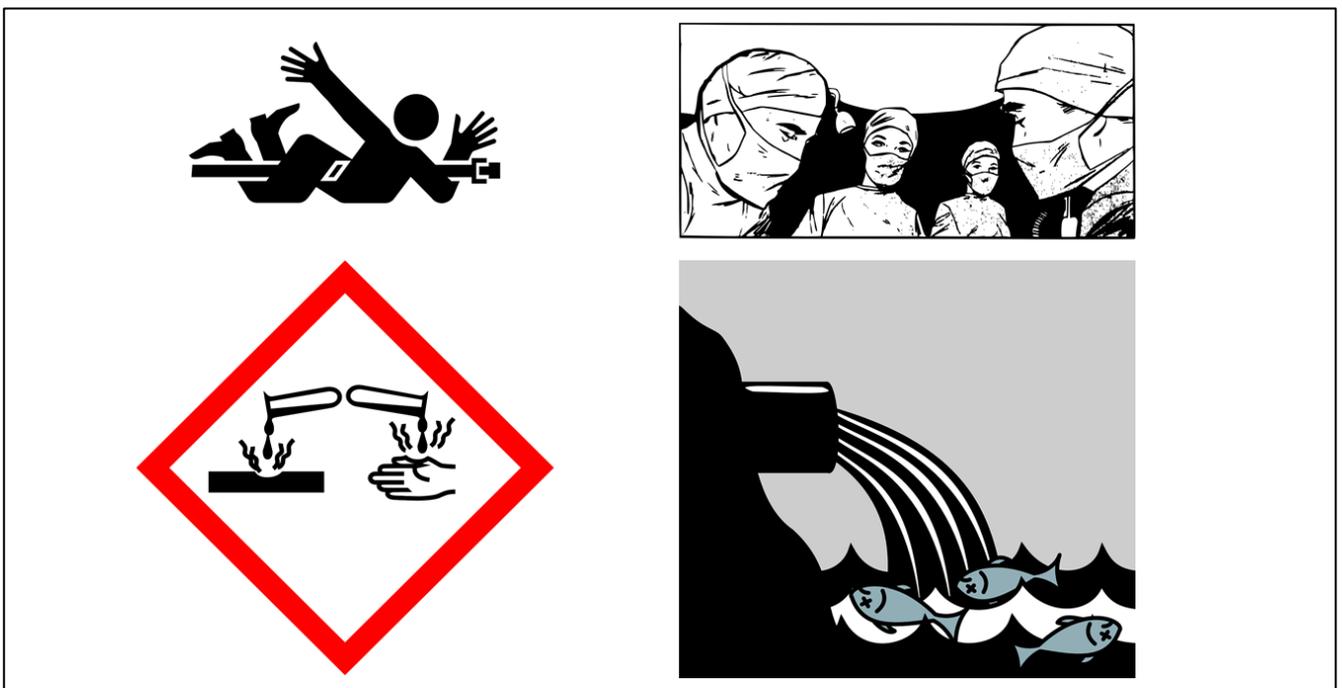


Abb. 4.26 Gefährdungsfaktoren und Folgen von Unfällen (auch Umweltverschmutzung etc.)
Quelle: Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

4.1.7.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

Die europäische Richtlinie 89/391/EWG³⁰ über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit beinhaltet "*allgemeine Grundsätze für die Verhütung berufsbedingter Gefahren (...) sowie allgemeine Regeln für die Durchführung dieser Grundsätze*" (Art. 1.2.). Hieraus resultiert die **Verantwortung des Arbeitgebers** für Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer. In Deutschland bildet das Arbeitsschutzgesetz die gesetzliche Grundlage für die Beurteilung der Arbeitsbedingungen (Gefährdungsbeurteilung; ArbSchG § 5). Die dortigen Verpflichtungen werden in zahlreichen Rechtsverordnungen konkretisiert³¹.

³⁰ Kurzbezeichnung: Rahmenrichtlinie – Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit

³¹ Vgl. Arbeitsstättenverordnung, Betriebssicherheitsverordnung, Lastenhandhabungsverordnung etc.

Verpflichtungen zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ergeben sich auch aus dem Unfallversicherungsrecht wie der Unfallverhütungsvorschrift DGUV 1 "Grundsätze der Prävention" (DGUV Vorschrift 1 §3; DGUV, 2013). Vorschriften zur Ausführung und zum Umfang der Gefährdungsbeurteilung liefert das Arbeitsschutzgesetz. Darin werden Ursachengruppen für Gefährdungen skizziert (§ 5) und auch die Dokumentationspflichten festgelegt (§ 6), die sich auf das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung, die festgelegten Arbeitsschutzmaßnahmen sowie das Ergebnis ihrer Überprüfung beziehen. Von diesen Rechtsgrundlagen ausgehend wurden Methoden- und Verfahren entwickelt, mit denen Organisationen unterstützt werden sollen, ihre gesetzlichen Verpflichtungen zu erfüllen und hiervon ausgehend einen erfolgreichen Sicherheits- und Gesundheitsschutz zu leben.

4.1.7.2 Erkenntnisse, Methoden- und Verfahrensentwicklung

Bei der Literaturrecherche wurden in Bezug auf die Fachbegriffe Gefährdungsbeurteilung, Gefährdungsfaktor, Gefährdungsanalyse, Sicherheitsanalyse, Risikobewertung und Gefährdungsmatrix zunächst die Veröffentlichungen von Nohl (Nohl, 1988; Nohl 1989), Büchner (Büchner et al., 2007) und Gruber (Gruber et al., 2018) als bedeutende und praxisrelevante fachliche Grundlagen für die Verfahrensentwicklung identifiziert. Aufgrund der weiten Verbreitung und der großen Praxistauglichkeit wurde das Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen als **faktorenspezifische Gefährdungsbeurteilung** konzipiert. Die Verfahrensentwicklung basiert daher auf einem neu entwickelten Gefährdungskatalog mit erweitertem Funktionsumfang und verbindet diesen Gefährdungskatalog mit der Risikobewertung nach dem ursprünglichen („originalen“)³² Nohl-Verfahren.

4.1.7.2.1 Neuer Gefährdungskatalog

Um die sich aus den spezifischen Betriebsbedingungen jeweils ergebenden relevanten Gefährdungen praxisgerecht ermitteln zu können, hat sich eine Auflistung und thematische Gliederung der Gefährdungen in **Faktorenbereiche** bewährt. Es existiert eine Vielzahl an Auflistungen, die sich jedoch teils stark voneinander unterscheiden, in Verfahren oft nicht aktualisiert werden und sehr unterschiedliche Detaillierungsgrade³³ bieten. Für das neue Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen wurde daher ein neuer umfangreicher, aktueller und qualitätsgesicherter Gefährdungskatalog entwickelt, der alle wichtigen Gefährdungen enthält. Die Auswahl und Zusammenstellung des Gefährdungskatalogs erfolgte auf der Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes (§ 5), dem Verfahren zur Sicherheitsanalyse (Nohl, 1989), der GDA-Leitlinie Gefährdungsbeurteilung und Dokumentation (NAK, 2017) sowie der BAuA-Sonderschrift S 42 (Efker, 2001) in Verbindung mit den diesbezüglichen Aktualisierungen des Handbuchs Gefährdungsbeurteilung, was zuvor im Portal Gefährdungsbeurteilung erfolgte (BAuA, 2019). Die erschwerenden Bedingungen wurden auf der Grundlage des Erkennungsleitfadens nach Nohl (Nohl, 1989) zusammen getragen. Der **Gefährdungskatalog** wurde in drei Gefährdungsebenen untergliedert.

³² Das Review zeigte, dass zwar häufig die Bezeichnung „nach Nohl“ erfolgt, aber tatsächlich davon abgewandelte Derivate an Risikomatrizen verwendet werden.

³³ Im neuen BDS-Modul nachfolgend als „Gefährdungsebenen“ bezeichnet

Mit diesem Vorgehen wurde ein Gefährdungskatalog entwickelt, der **elf Faktorenbereiche** mit insgesamt **56 Gefährdungsfaktoren** und **221 Teilgefährdungen** umfasst. Die Differenzierung der Faktorenbereiche greift auf das etablierte Klassifizierungssystem³⁴ zurück. Auch auf der Ebene der Gefährdungsfaktoren wie beispielsweise Ungeschützte bewegte Maschinenteile und auf der Ebene der Teilgefährdungen wie beispielsweise in Quetschstellen geraten wird auf die etablierten Bezeichnungen zurückgegriffen (Tab. 4.19).

Tab. 4.19 Entwicklung der Struktur des ASER-Gefährdungskatalogs

Ebenen		Beispiele	
1	11 (+ 1)	Faktorenbereiche	Mechanische Gefährdungen
2	56	Gefährdungsfaktoren	Ungeschützt bewegte Maschinenteile
3	221	Teilgefährdungen	Quetschstellen

Insgesamt hat der 221 Teilgefährdungen umfassende Gefährdungskatalog zum Ziel, eine detaillierte Beurteilung der Arbeitsbedingungen durchführen zu können und sowohl **eher unerfahrenen³⁵ Anwender*innen** ebenso wie erfahrenen Akteuren unter Zeitdruck zu ermöglichen, während der Analysephase möglichst alle relevanten Gefahren zu identifizieren.

Ein Katalog von Gefährdungsfaktoren und Teilgefährdungen kann nie abschließend sein. Je nach Wirtschaftszweig und speziellen Arbeitssystemen können immer auch andere als die integrierten Gefährdungen auftreten. Daher ermöglicht das entwickelte Fachverfahren die zusätzliche Analyse, Beurteilung und Dokumentation **individueller Gefährdungsfaktoren** und Teilgefährdungen in einem separaten Faktorenbereich.

Tab. 4.20 Zuordnung erschwerender Bedingungen zu Gefährdungsfaktoren (Ausschnitt)

	Gefährdungsfaktoren	Teilgefährdungen	Erschwerende Bedingungen
Mechanische Gefährdungen	Ungeschützte bewegte Maschinenteile	in Quetschstellen geraten	schlechte Erkennbarkeit der Gefahrenquelle
		in Scherstellen geraten	schlechte Beleuchtung
		in Schneid-, Stich- oder Stoßstellen geraten	hoher Zeitdruck
		in Fangstellen geraten	Aufmerksamkeitsablenkung
		in Einzugstellen geraten	geringer Bewegungsraum
	

Hieran anschließend wurden zu jedem Gefährdungsfaktor **erschwerende Bedingungen** zugeordnet und die Ergebnisse tabellarisch aufbereitet (Nohl, 1989; Tab. 4.20).

³⁴ Mechanische Gefährdungen, Elektrische Gefährdungen, Gefahrstoffe, Biologische Arbeitsstoffe, Brand- und Explosionsgefährdungen, Thermische Gefährdungen, Gefährdung durch spezielle physikalische Einwirkungen, Gefährdungen durch Arbeitsumgebungsbedingungen, Physische Belastung/Arbeitsschwere, Psychische Faktoren, Sonstige Gefährdungen

³⁵ Beispiel: Unternehmermodell

4.1.7.2.2 Risikobewertung und resultierendes Gefährdungsmaß

Die Durchführung der Risikobewertung setzt sich aus den drei Bewertungskriterien Mögliche Schadensschwere³⁶, Wirkdauer³⁷ und Erschwerende Bedingungen³⁸ zusammen. Das Bewertungskriterium Mögliche Schadensschwere bewertet die anerkanntermaßen zu erwartenden Folgen und Schäden einer Gefährdung. Dabei sind keine Extremfälle wie eine Verkettung unglücklicher Umstände zu berücksichtigen, sondern die Folgen, die in der Mehrheit der Fälle – also durchschnittlich – eintreten würden. Dabei werden das Ausmaß der Folgen, Ausfalltage, Meldepflichtigkeit sowie die Minderung der Erwerbsfähigkeit berücksichtigt. Die Klassifizierung der Folgen von Unfällen und Gesundheitsschäden erfolgt 5-stufig nach dem Klassifizierungssystem nach Nohl (Nohl, 1989). Hierbei steht die Klasse 1 für Keine Folgen, die Klasse 2 für Bagatellfolgen, die Klasse 3 für Verletzungs- und Erkrankungsfolgen, die Klasse 4 für Leichter bleibender Gesundheitsschaden und Klasse 5 für Schwerer bleibender Gesundheitsschaden bis Tod. Ab der Stufe 4 kommt es damit zum Übergang zu einer Schadensschwere mit **irreversiblen Gesundheitsschäden** (Tab. 4.21).

Tab. 4.21 Klassifizierung der Folgen von Unfällen und Gesundheitsschäden

Kat.	Ausmaß	Beispiele
1	Keine Folgen	Keine Folgen zu erwarten.
2	Bagatellfolgen	Reversible Folgen. Nicht meldepflichtig. Ausfall ≤ 3 Tage. Leichte Prellung.
3	Verletzungs- und Erkrankungsfolgen	Reversible Folgen. Meldepflichtig. Ausfall > 3 Tage. Große Schnittwunden. Sonderfall: Immer wieder kehrende Bagatellfolgen (chronisch) aufgrund identischer Ursachen.
4	Leichter bleibender Gesundheitsschaden	Irreversible Folgen. ≤ 20% Minderung der Erwerbsfähigkeit. Gesichtsentstellung.
5	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden bis Tod	Irreversible Folgen. > 20% Minderung der Erwerbsfähigkeit. Völlige Erblindung.

Bei dem Bewertungskriterium Wirkdauer wird die Aufenthaltsdauer im Wirkungsbereich der Gefährdung erfasst, um einzuschätzen, ob der Eintritt eines Ereignisses wahrscheinlich oder unwahrscheinlich ist. Als Dauer ist die Zeit zu berücksichtigen, in der sich Beschäftigte im Wirkungsbereich der Gefährdung aufhalten. Wirkungsbereiche können dabei beispielsweise die **Nähe von Gefahrstellen**, mögliche Aufprallstellen herunterfallender Lasten, Verkehrswege oder auch der Umgang mit explosionsfähigen Stoffen sein (Tab. 4.22).

³⁶ Zu erwartende Folgen (Schäden). Skalierung nach Ausfalltagen, bleibenden Schäden (Grad der Behinderung)

³⁷ Aufenthaltsdauer im Wirkungsbereich der Gefahrenquelle (Zeitdauer des Aufenthalts im Wirkungsbereich der Gefahrenquelle)

³⁸ Fälle, bei denen davon ausgegangen wird, dass ein Unfalleintritt begünstigt wird. Fälle mit sich gegenseitig beeinflussenden Gefährdungen

Tab. 4.22 Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Stufe	Wirkdauer pro Schicht
1	< 5 Minuten (auch „seltener als täglich“)
2	5 bis < 30 Minuten
3	30 bis < 120 Minuten
4	120 Minuten bis „nicht ständig“
5	ständig (über die gesamte Schicht)

Erschwerende Bedingungen können das Eintreten einer Gefährdung beeinflussen, da davon auszugehen ist, dass sie den Unfalleintritt begünstigen. Beispiele für Erschwerende Bedingungen sind schlechte Beleuchtungsverhältnisse oder ein eingegengter Bewegungsraum. Das **resultierende Gefährdungsmaß** (G_m) wird durch Addition von Gefährdungsmaß-Basiswert und der Anzahl der erschwerenden Bedingungen errechnet. Hierzu wird der Gefährdungsmaß-Basiswert mit Hilfe der Nohl-Matrix aus Schadensschwere und Wirkdauer ermittelt und anschließend die Anzahl der erschwerenden Bedingungen addiert. Die erschwerenden Bedingungen werden maximal mit $n_{max} = 2$ berücksichtigt (Formel 4.1).

$$G_m = G_m \text{ [Basiswert]} + n \text{ [Erschwerende Bedingungen]}^{0-2}$$

Formel 4.1 Risikobewertung anhand von Eintrittswahrscheinlichkeit (Matrix), Unfallschwere und erschwerenden Bedingungen ($\Sigma \hat{=}$ Resultierendem Gefährdungsmaß)

Wie ursprünglich im Verfahren nach Nohl (Nohl, 1989) vorgesehen, wird die **Risikobewertung standardmäßig auf der Ebene der Teilgefährdungen** realisiert. Optional sind hierbei Anpassungen möglich. Für die Umsetzung des Fachverfahrens wurde die Vorgehensweise zur Risikobewertung in einem IT-Lastenheft grafisch aufbereitet (Abb. 4.27).

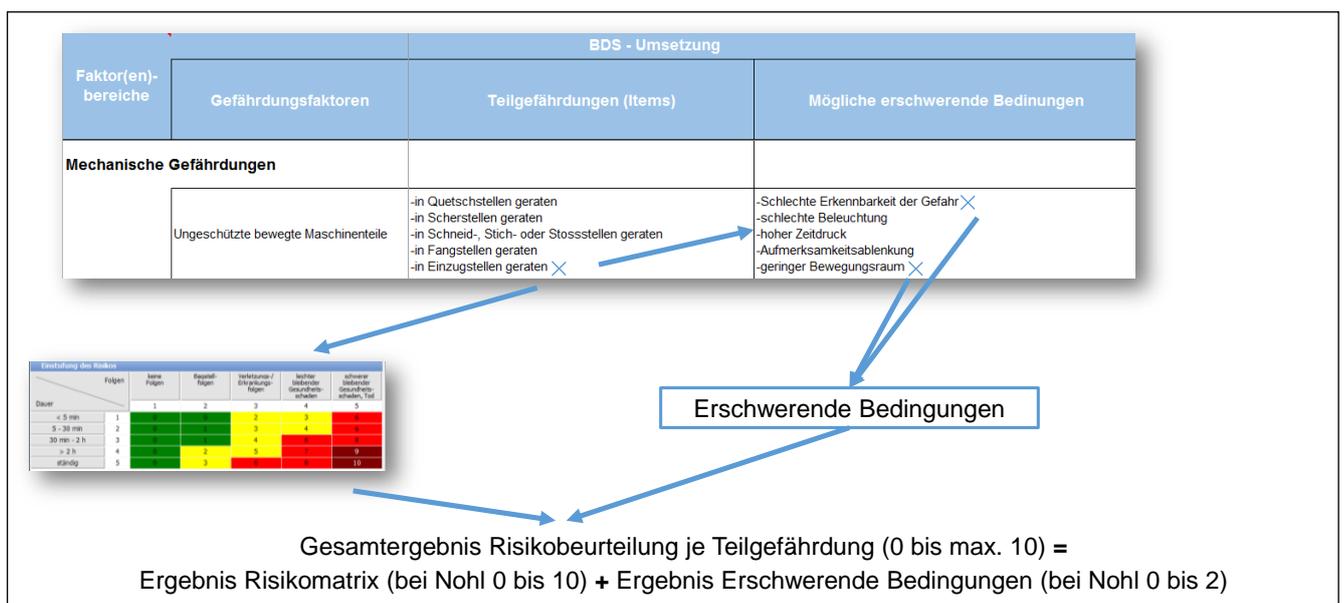


Abb. 4.27 Funktionsweise der Risikobewertung im neuen Fachverfahren

Eine reine Orientierung an relativen Aussagen wie gefährlich oder weniger gefährlich erschwert die **Ermittlung erforderlicher Maßnahmen** und deren **Dringlichkeit**. Eine fachlich fundierte Gefährdungsanalyse und Risikobewertung ermöglicht in diesem Zusammenhang die kausale Festlegung von Maßnahmen und deren Dringlichkeit anhand des ermittelten Gefährdungspotentials, hier ausgedrückt durch das Gefährdungsmaß. Aus dem Gefährdungsmaß auf der Skala von 0 bis 10 ergeben sich vier Risikoklassen, die einen direkten Einfluss auf den zeitlichen Handlungsbedarf für die Umsetzung von Maßnahmen, das heißt auf die Maßnahmendringlichkeit, haben (Tab. 4.23).

Tab. 4.23 Risikoklassen und korrespondierende Maßnahmendringlichkeit

Risikoklasse f(G _m)	Bezeichnung
1	Das Gefährdungspotenzial ist gering, so dass keine Maßnahmen erforderlich werden und somit auch kein Handlungsbedarf besteht.
2	Im untersuchten System treten Gefährdungen auf, die Maßnahmen nach sich ziehen sollten. Das Gefährdungspotenzial nimmt jedoch lediglich solche Werte an, die keine besondere Dringlichkeit erfordern.
3	Die Höhe des Gefährdungspotenzials im untersuchten System verlangt die unverzügliche Umsetzung von Maßnahmen; damit müssen Sofort-Maßnahmen getroffen werden.
4	Das System enthält ein derart hohes Gefährdungspotenzial, dass eine sofortige Unterbrechung der Tätigkeit gerechtfertigt ist („Not Aus“).

Die Interpretation der Risikoklassen beim neuen Fachverfahren erfolgt mit Grenzwert-Übergangsbereichen wie dies bei arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Verfahren immer häufiger der Fall ist (BAuA, 2019). Das heißt, die Ableitung der Maßnahmendringlichkeit ist in den Übergangsbereichen immer auch an die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten und Beschäftigtengruppen anzupassen, wobei dann unter anderem auch Besuchergruppen zu berücksichtigen sind. Im Zweifel wird eine konservative Betrachtung empfohlen (Abb. 4.28).

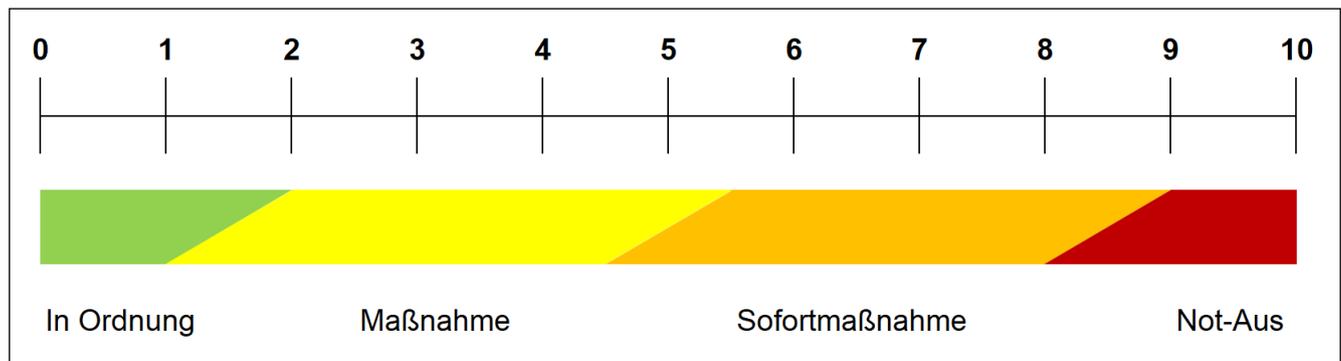


Abb. 4.28 Einfluss des Risikos auf die Maßnahmendringlichkeit
Quelle: Interpretationsprototyp der Risikoklassen im BDS-Instrument (GEWITEB)

4.1.7.3 Adaptierung im Instrument

Die Realisierung des Fachverfahrens Arbeitsunfallgefährdungen ermöglicht nun die Beurteilung der Arbeitsbedingungen sowie die darauf aufbauende Maßnahmenfestlegung mit digitaler IT-Architektur. Das Fachverfahren wurde als **eigenständiges Fachverfahren** entwickelt und kann daher unabhängig vom Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung angewendet werden. Jedoch können Organisationen, die das Kernverfahren verwenden, zur Erleichterung auf die dortigen Systemabgrenzungen zurückgreifen.

Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt auf Arbeitssystemebene in farbiger Darstellung nach dem bewährten Ampelprinzip. Damit können Problemstellungen aufgrund hoher Risiken (Gefährdungsmaße) auf einen Blick erkannt werden. In Abhängigkeit vom gewählten Detaillierungsgrad der Beurteilung der Arbeitsbedingungen werden die Risiken auf der Ebene der Gefährdungsfaktoren oder auf der Ebene der Teilgefährdungen dargestellt. Zur Verfügung gestellt werden jeweils der Mittelwert, der Maximalwert sowie die Anzahl der ermittelten Teilgefährdungen, damit hieraus der Handlungsbedarf direkt abgeleitet werden kann. Unterhalb der Ausweisung der Risiken für alle ermittelten Gefährdungen wird automatisch ein Diagramm mit der Gefährdungshäufigkeit für Teilgefährdungen ab Gefährdungsmaß 4 erstellt sowie eine resultierende Gefährdungskennzahl vom Instrument errechnet. Die **interaktive Visualisierung** der Ergebnisse ermöglicht zur Initiierung von Gestaltungsmaßnahmen eine direkte Verknüpfung in das ebenfalls neue Prozessverfahren Optimierung / Gestaltungsmaßnahmen (Abb. 4.29).

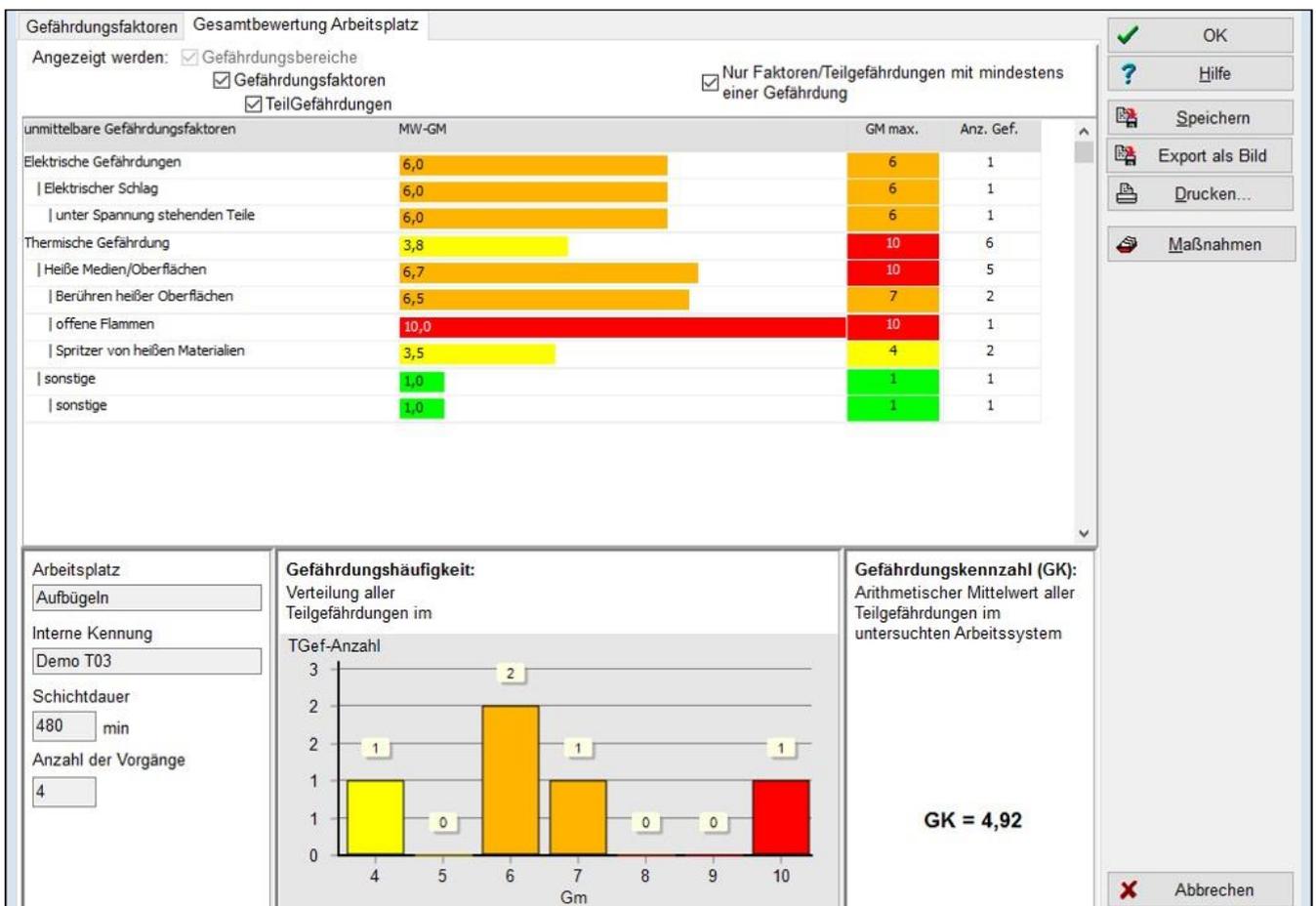


Abb. 4.29 Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen nach Adaptierung im Instrument
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

4.1.8 Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen

Aus dem Gesamtkontext des Arbeitsschutzgesetzes lässt sich seit dessen Inkrafttreten ableiten, dass psychische Belastungen bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen zu berücksichtigen sind. In der Rechtsprechung wurde das bereits im Jahr 1997 bestätigt (Bundesverband der Unfallkassen, 2005). Um es zweifelsfrei zu formulieren, erfolgte im Jahr 2013 eine **Klarstellung im Arbeitsschutzgesetz** durch explizite Erwähnung psychischer Belastungen. Aber dennoch werden psychische Belastungen in der Gefährdungsbeurteilung verhältnismäßig wenig berücksichtigt (BMAS, 2014). Ursache kann sein, dass viele Organisationen die Notwendigkeit und Potenziale der psychischen Gefährdungsbeurteilung noch nicht erkannt haben, Unsicherheiten bei deren Umsetzung bestehen und es bisher kaum praxisgerechte Verfahren gibt, mit denen das konkrete Optimierungspotenzial gut abgeleitet werden kann.

Bis Anfang Juli 2014 wurden etwa 100 Verfahren zur Erfassung psychischer Belastungen in die Toolbox „Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen“ (Richter, 2012) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) aufgenommen. Hierzu zählt das Instrument, das die Analyse, Bewertung und Gestaltung von zehn psychischen Belastungsfaktoren mit dem Kernverfahren Risikobeurteilung und Produktionsergonomie ermöglicht und hierauf aufbauend **verlaufsbezogene Kennzahlen** wie die psychische Belastungsrate zur Verfügung stellt.

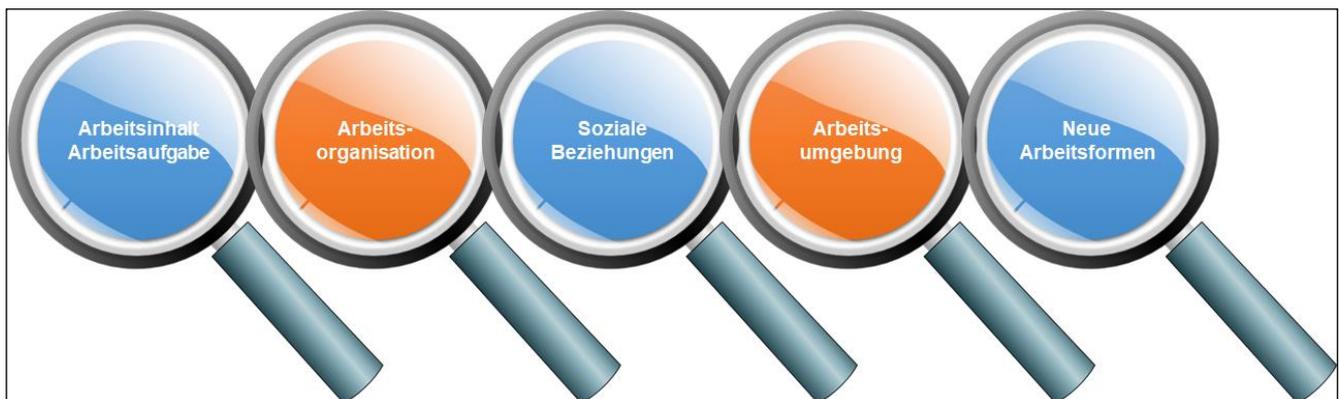


Abb. 4.30 Strukturierung Psychischer Arbeitsbelastungen
Quelle: Eigene Darstellung mit Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

Auch das Fachthemengebiet psychischer Arbeitsbelastungen wandelt sich kontinuierlich und gewinnt weiter an Bedeutung (Latniak et al., 2023). Parallel verbleiben aber die teils große Verunsicherung bei der Durchführung der psychischen Gefährdungsbeurteilung in der Praxis (BMAS, 2014) und sind gleichzeitig immer weniger Verfahren aktuell und bis auf wenige Ausnahmen vergriffen³⁹. Daher soll das neue Fachverfahren die Analyse, Beurteilung und Gestaltung psychischer Arbeitsbelastung ergänzend zum Kernverfahren des Instruments um **neue Belastungsarten in von den Sozialpartnern abgestimmter Struktur** erweitern und Organisationen branchenübergreifend bei der Verhältnisprävention unterstützen (Abb. 4.30).

³⁹ Die Toolbox in der Version 1.2 ist im Internet verfügbar: www.baua.de/toolbox. „Seit dem 01.07.2014 erfolgen keine Aufnahme neuer Verfahren und ab 01.01.2015 keine Aktualisierungen der Toolbox mehr.“ (Anmerkung der BAuA).

4.1.8.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

Psychische Belastung wird im **Bundesrat-Verordnungsentwurf** der Verordnung zum Schutz vor Gefährdungen durch psychische Belastung bei der Arbeit im § 2 Begriffsbestimmungen als Summe aller äußeren Einflüsse, die von außen auf die Beschäftigten zukommen und psychisch auf sie einwirken.⁴⁰ definiert.

Diese umfassend⁴¹ formulierte Definition zur psychischen Belastung deckt sich mit der Definition in der Norm **DIN EN ISO 10075-1** (2018), in der psychische Belastung ebenfalls definiert wird als Summe aller psychisch wirkenden Einflüsse.⁴² Psychische Beanspruchung wird in der Norm DIN EN ISO 10075-1 als die unmittelbare Auswirkung psychischer Belastung definiert und auf die diesbezügliche Abhängigkeit der psychischen Beanspruchung von den individuellen Eigenschaften der Beschäftigten hingewiesen.⁴³

Auf **europäischer Ebene** finden sich Vorgaben zu psychischen Belastungen im Hinblick auf Beschaffenheitsanforderungen für Geräte und Produkte (Produktsicherheit/Inverkehrbringen) in der Maschinenrichtlinie (MaschRL). Die Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz (89/391/EWG) zielt auf Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bezüglich aller Aspekte, die die Arbeit betreffen (Artikel 5 Absatz 1) ab, ohne explizit auf psychische Belastungen einzugehen.

Die Umsetzung der europäischen Richtlinie 89/391/EWG erfolgte in **Deutschland** mit dem Arbeitsschutzgesetz und regelt den Schutz der Beschäftigten vor psychischen Belastungen in § 5 Absatz 3 ArbSchG. Die auf der Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes erlassenen Rechtsverordnungen Betriebssicherheitsverordnung und Bildschirmarbeitsplatzverordnung verpflichten ebenfalls zur Berücksichtigung psychischer Belastungen in verschiedenen Zusammenhängen.

Darüber hinaus finden sich in Deutschland Ausführungen in Technischen Regeln wie beispielsweise in der Technischen Regel für Betriebssicherheit (**TRBS 1151**) (2015) und in der **Technischen Regel LV (TRLV) Lärm** (2017).

Neben der DIN EN ISO 10075-1:2018 ergeben sich auf Normungsebene weitere Anforderungen zur Berücksichtigung psychischer Belastungen in unterschiedlichem Kontext, unter anderem nach **DIN EN ISO 6385** (2016) und **nach DIN SPEC 33418** (2014) (Tab. 4.24).

⁴⁰ „(1) Psychische Belastung ist die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf die Beschäftigten zukommen und psychisch auf sie einwirken. Sie führen bei den Beschäftigten zu physischen und psychischen Beanspruchungen und können Einfluss auf ihre Gesundheit, ihr Leistungsvermögen und ihr Wohlbefinden haben.“ (2) Psychische Belastung bezieht sich auf Vorgänge des menschlichen Erlebens und Verhaltens bei der Arbeit. Dazu gehören insbesondere 1. die sensorische Wahrnehmung und Informationsverarbeitung, 2. kognitive und mentale Vorgänge bei Anforderungen an Denken, Entscheiden, Konzentration, Gedächtnis und Lernen, 3. emotionale, soziale und die Motivation betreffende Vorgänge bei der Arbeit.“

⁴¹ Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse

⁴² „Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken“

⁴³ „(...) unmittelbare (nicht die langfristige) Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen über-dauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien“.

Tab. 4.24 Verankerung Psychischer Arbeitsbelastung im Regelwerk

Regelungsbereich	Quelle / Vorgaben
EU RL	MaschRL Anhang I, Ziffer 1.1.6 <i>„(...) psychische Fehlbeanspruchung des Bedienpersonals (muss) auf das mögliche Mindestmaß reduziert sein (...)“</i>
Deutschland Gesetz	ArbSchG § 5 (3) Ziff. 6 <i>„Eine Gefährdung kann sich insbesondere ergeben durch (...) psychische Belastungen bei der Arbeit.“</i>
Deutschland VO	BetrSichV § 3 (2) <i>„Bei der Gefährdungsbeurteilung ist insbesondere Folgendes zu berücksichtigen: (...) die physischen und psychischen Belastungen der Beschäftigten, die bei der Verwendung von Arbeitsmitteln auftreten (...)“</i>
Deutschland VO	BildscharbV § 3 <i>„Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes hat der Arbeitgeber bei Bildschirmarbeitsplätzen die Sicherheits- und Gesundheitsbedingungen insbesondere hinsichtlich einer möglichen Gefährdung des Sehvermögens sowie körperlicher Probleme und psychischer Belastungen zu ermitteln und zu beurteilen.“</i>
Deutschland Technische Regel	TRBS 1151 (2015) Abschnitt 1 <i>„Diese Technische Regel gilt für die Beurteilung von Gefährdungen und der Belastung sowie für die Ermittlung von Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (...) durch physische und psychische Belastungen, die zu negativen Beanspruchungsfolgen für die Beschäftigten führen.“</i>
Deutschland Technische Regel	TRLV Lärm (2017) Teil 1 Anhang 2 Absatz 7 <i>„Somit sind auch extraaurale, d. h. physiologische bzw. vegetative, sowie psychische Wirkungen von Lärm zu beachten, (...)“</i>
Diverse Normung	DIN EN ISO 6385 (2016); DIN EN ISO 10075-1 (2018); DIN SPEC 33418 (2014) <i>„(...) müssen die mit den Arbeitsmitteln verbundenen psychischen Aspekte ebenso beachtet werden wie die körperlichen/ mechanischen Faktoren“</i>
Deutschland Verordnungs-antrag BR-Drs 315/13 (2013)	Verordnung zum Schutz vor Gefährdungen durch psychische Belastung bei der Arbeit. Verordnungsantrag der Länder Hamburg, Brandenburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen, Grundpflichten, Entwurf einer Gefährdungsbeurteilung und Unterweisung, Betriebliche Gestaltungsmaßnahmen, Schlussvorschriften

4.1.8.2 Verfahrensentwicklung

Zum Fachthemengebiet der Psychischen Arbeitsbelastungen existiert eine Vielzahl an Veröffentlichungen. Das Fachthemengebiet ist gekennzeichnet durch die teils kontrovers geführten Diskussionen zwischen den Sozialpartnern. Der Gewährleistung **wissenschaftlicher Neutralität** durch Generierung und Berücksichtigung neutraler wissenschaftlicher Erkenntnisse kommt daher in diesem Fachthemengebiet eine besondere Bedeutung zu. Für die Entwicklung des neuen Fachverfahrens Psychische Arbeitsbelastungen wurde daher auch gezielt auf die Veröffentlichungen zurückgegriffen, die bereits offiziell zwischen den Sozialpartnern abgestimmt worden sind.

Das Review und die Verfahrensentwicklung wurden auf der Masterthesis des Autors aufgebaut (Mühlemeyer, 2016). Erstes wichtiges Ergebnis der Literaturrecherche war, dass die Strukturierung der psychischen Arbeitsbelastungsarten bisher noch nicht aus Rechtsvorschriften abgeleitet werden kann. Zur Strukturierung war auf die untergesetzliche Ebene der Technischen Regeln, Richtlinien, Normung und gemeinsamen Erklärungen zurückzugreifen, bei deren Detailanalyse gemeinsame Muster erkannt werden konnten. Überwiegend⁴⁴ wird bei psychischen Belastungen eine Strukturierung in die vier Belastungsgruppen Arbeitsinhalt und Arbeitsaufgabe, Arbeitsorganisation, Soziale Beziehungen und Arbeitsumgebung vorgenommen. Hinzu kommt die Belastungsgruppe Neue Beschäftigungsformen, die zwar anfänglich noch **nicht Gegenstand des Aufsichtshandelns** war, **aber relevant für die Belastungssituation** ist (GDA, 2014).

Die weitere Entwicklung des neue Fachverfahrens Psychische Arbeitsbelastungen erfolgte nach den abgestimmten Veröffentlichungen der Leitlinie Gefährdungsbeurteilung und den dazugehörigen Empfehlungen zur Umsetzung Gefährdungsbeurteilung (Auflage 2) der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie (GDA), der Handlungsanleitung LV 52 des Länderausschuss für Arbeitssicherheit und Sicherheitstechnik (LASI), der Normenreihe der DIN EN ISO 10075 (2018) sowie dem Verordnungs-Entwurf 315/13 (2013). Die entwickelte Verfahrensstruktur basiert damit auf den **fünf Belastungsgruppen** Arbeitsinhalt und Arbeitsaufgabe, Arbeitsorganisation, Soziale Beziehungen, Arbeitsumgebung und Neue Beschäftigungsformen.

⁴⁴ Vgl. hierzu die Gemeinsame Erklärung der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie (GDA, 2014), den Verordnungs-Entwurf 315/13 (2013), die LASI-Handlungsanleitungen LV 31 (2003) und LV 52 (2009) sowie die DIN EN ISO 10075-1 (2018).

Die fünf Belastungsgruppen umfassen insgesamt 27 Belastungsarten. Eine Erweiterung auf wahlweise bis zu 36 Belastungsarten ist vorbereitet. Die Belastungsgruppen Soziale Beziehungen und Arbeitsumgebung sind in zusätzliche Belastungsteilbereiche untergliedert. Entlang dieser neu entwickelten Struktur soll die Psychische Arbeitsbelastung in Organisationen standardisiert, systematisch und umfangreich analysiert, beurteilt und gestaltet werden können (Tab. 4.25).

Tab. 4.25 Beurteilung psychischer Belastungen mit Kernverfahren und Fachverfahren

Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung BAB-Verfahren (Peters, 1986); 1 Belastungsgruppe mit 10 Belastungsarten				
1. Verantwortung für andere Personen, 2. Verantwortung für den Prozess, 3. Konzentrationsanforderungen, 4. Unterforderung, 5. Sehraum, 6. Sehschärfe, 7. Feinmotorik, 8. Wiederholung der Tätigkeitsabläufe, 9. Bindung an den technischen Prozess, 10. Kontakte zu Mitarbeitern				
Neues Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen Flexible Verfahrenstiefe; 5 Belastungsgruppen; 27 (36) Belastungsarten				
GDA GFB-Leitlinie	LASI LV 51 Handlungs- anleitung	DIN EN ISO 10075	VO Entwurf 315/13	GDA Empfehlungen Umsetzung GFB
<u>Arbeitsinhalt und Arbeitsaufgabe</u>	Arbeitsinhalt	Anforderungen seitens der Aufgabe	Arbeitsaufgabe	Arbeitsinhalt / Arbeitsaufgabe
<u>Arbeits- organisation</u>	Arbeits- organisation	Physikalische Bedingungen	Arbeits- organisation Arbeitszeit- gestaltung	Arbeits- organisation
Soziale Bedingungen	<u>Soziale Beziehungen</u>	Soziale und organisatorische Faktoren	Soziale Bedingungen	Soziale Beziehungen
<u>Arbeitsplatz- und Arbeits- umgebungs- bedingungen</u>	Arbeits- umgebungs- faktoren	Gesell- schaftliche Faktoren	Arbeits- umgebungs- bedingungen	Arbeits- umgebungen
				<u>Neue Arbeitsformen</u>

Wichtig anzumerken ist, dass eine Analyse für **spezielle Belastungsarten** auf der zeitlichen Betrachtungsebene einzelner Arbeitsschicht-Belastungsabschnitte nicht sinnvoll ist.

Der variierende Betrachtungszeitraum zwischen den Belastungsarten ist daher eine wesentliche Besonderheit des entwickelten Fachverfahrens. Viele Belastungsarten können wie üblich auf eine repräsentative Schicht bezogen werden. Da dies jedoch nicht immer sinnvoll und möglich ist, wurden auch Bewertungsmodelle entwickelt, bei denen gezielt eine **schichtübergreifende Analyse** erfolgt. Denn inwieweit beispielsweise Arbeitsverhältnisse prekär sind und daraufhin Beanspruchungswirkungen aufgrund der **langjährigen Berufsverläufe** auftreten, kann nur unter Einbeziehung von Datenmaterial mehrerer Jahre oder gar Jahrzehnte analysiert werden (Tab. 4.26).

Tab. 4.26 Gruppierung der Belastungsarten und Betrachtungshorizont der Bewertung

Belastungs-Gruppe	Teilgruppe	Belastungsarten	Betrachtungshorizont			
			T	A	J	E
Arbeitsaufgabe und Arbeitsinhalt		1. Vollständigkeit der Aufgabe		X		
		2. Handlungsspielraum		X		
		3. Variabilität (Abwechslungsreichtum)		X	X	
		4. Information/Informationsangebot	X			
		5. Verantwortung	X			
		6. Qualifikation	X		X	
		7. Emotionale Inanspruchnahme	X		X	
Arbeitsorganisation		8. Arbeitszeit		X		
		9. Arbeitsablauf	X		X	
		10. Kommunikation/Kooperation	X			
Soziale Beziehungen	Kollegen	11. Streitigkeiten/Konflikte/Unterstützg.	X		X	
		12. Soziale Kontakte	X			
	Vorgesetzte	13. Qualifizierung		X		X
		14. Rückmeldung			X	
		15. Führung/Unterstützung				
Arbeitsumgebung	Physikalisch / Chemisch	16. Lärm (Schall)	X			
		17. Beleuchtung/Blendung	X			
		18. Gefahrstoffe	X			
	Physisch	19. Schwere körperliche Arbeit	X			
		20. Ergonomische Gestaltung	X			
	Arbeitsplatz/ Informationsgestaltung	21. Arbeitsräume		X		
		22. Räumliche Enge		X		
		23. Signale/Hinweise		X		
			24. Arbeitsmittel	X		
	Neue Arbeitsformen		25. Räumliche Mobilität		X	
26. Arbeitsverhältnisse, Berufsverläufe				X		X
27. Flexibilisierung, Abgrenzung						X

4.1.8.3 Adaptierung im Instrument

Das neue Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen konnte nach der im Methodenkapitel beschriebenen Vorgehensweise zeitparallel im Instrument realisiert werden. Auch die Beurteilung der psychischen Arbeitsbelastungen kann damit nun im Instrument mit digitaler IT-Architektur durchgeführt werden. Das Fachverfahren wurde als eigenständiges Fachverfahren konzipiert und umgesetzt, das daher nun unabhängig von dem Kernverfahren und den weiteren Fachverfahren des Instruments angewendet werden kann. Um die Anwendung zu erleichtern, kann jedoch wahlweise auf bereits durchgeführte Beurteilungen sowie auf Simulationen im Kernverfahren Risikobeurteilung und Produktionsergonomie zur **Übernahme von Systemabgrenzungen** und weitergehenden hinterlegten Informationen zu den Arbeitssystemen zurückgegriffen werden. Aktuell erweitert das Fachverfahren bei gleichzeitigem Einsatz des Kernverfahrens die Analyse- und Beurteilungs- und Gestaltungsmöglichkeiten um 27 neue Belastungsarten von zuvor zehn auf nun 37 psychische Arbeitsbelastungsarten.

Zur Gestaltung und Prävention in den Organisationseinheiten sowie im Falle einer **behördlichen Überprüfung** der psychischen Gefährdungsbeurteilung können die Ergebnisse in der gewohnten übersichtlichen Darstellung visualisiert werden (Abb. 4.31).

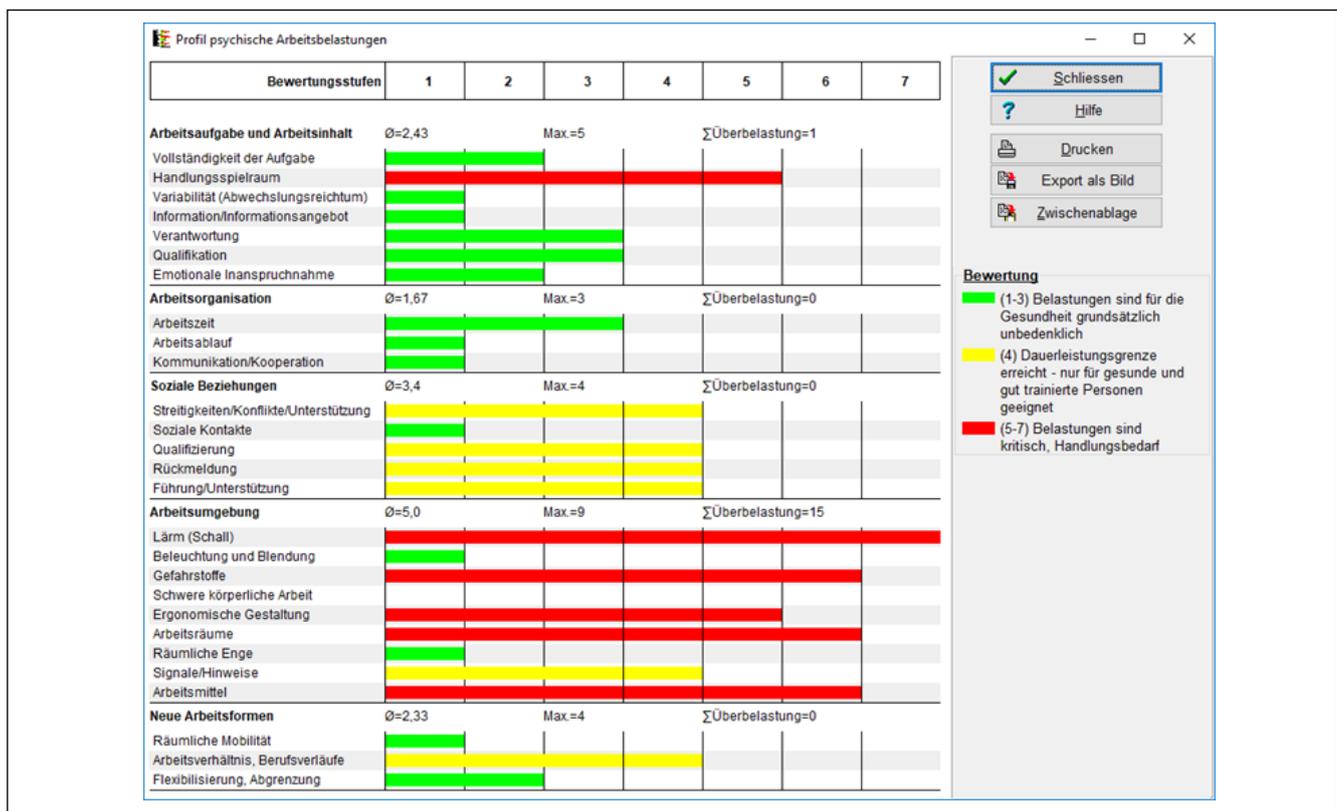


Abb. 4.31 Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen mit erweitertem Belastungsprofil
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Weitergehende Unterstützung wurde mit neuen Fachinformationen in das Belastungsprofil des Fachverfahrens integriert. In jeder Belastungsgruppe werden nun der arithmetische Mittelwert und der Maximalwert der Belastungshöhe der dazugehörigen Belastungsarten sowie die Anzahl der Überbelastungen **automatisch berechnet** und dargestellt. Die Optimierungspotenziale und Maßnahmenreihenfolge von Organisationseinheiten und Arbeitssystemen können so nun noch einfacher festgelegt werden.

Zur systematischen Analyse der vorliegenden psychischen Arbeitsbelastungen wurden die dargelegten Besonderheiten der Fachthematik berücksichtigt (4.1.8.2). Zur Gewährleistung der **Verfahrensökonomie** erfolgt die Analysephase auf Arbeitssystemebene.

Um dennoch eine möglichst hohe Präzision zu realisieren, ist abhängig von der Belastungsart eine von der Expositionsdauer abhängige und damit „quasi“-tätigkeitsbasierte Analyse durch Analyse prozentualer Verteilungen in Verbindung mit einer **Zuweisung von ursächlichen Tätigkeiten** aus der Systemabgrenzung möglich (Abb. 4.32).

Vollständigkeit der Aufgabe

Aufgabenklasse	Anteil [%]	Dauer [min]
Vor-/Nachbereiten	35	168,0
Ausführen	20	96,0
Kontrollieren	30	144,0
Organisieren	15	72,0
Summen	100	480,0

Handlungsspielraum

Inhaltlicher Handlungsspielraum			Zeitlicher Handlungsspielraum		
	Anteil [%]	Dauer [min]		Anteil [%]	Dauer [min]
eher hoch	30	144,0	eher hoch	25	120,0
eher gering	70	336,0	eher gering	75	360,0
Summen	100	480	Summen	100	480

Variabilität (Abwechslungsreichtum)

Tätigkeit beinhaltet:

Information/Informationsangebot

Abb. 4.32 Analyseoberfläche im Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen (Ausschnitt)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Bei Belastungsarten, bei denen die „quasi“-tätigkeitsbasierte Analyse nicht zielführend ist, wurden Lösungen entwickelt, um mit Hilfe der die jeweilige Belastungssituation beschreibenden Situationsbeschreibungen einen mittel- bis langfristigen Betrachtungszeitraum zu realisieren.

4.1.9 Fachverfahren Mutterschutzgefährdungen

Mit der Neuregelung des Mutterschutzgesetzes (MuSchG)⁴⁵ sind Organisationen gesetzlich zur Durchführung **anlassunabhängiger Gefährdungsbeurteilungen** für alle Arbeitssysteme verpflichtet worden. Die Vorschriften gelten unabhängig davon, ob an den Arbeitssystemen schwangere oder stillende Frauen beschäftigt werden und zielen drauf ab, Arbeitssysteme zu gestalten und bereitzustellen, bei denen während der Ausführung der Tätigkeiten keine Gefahr für das Leben und die Gesundheit der Mütter und ihrer Kinder besteht. Insgesamt geht es darum, festzustellen, ob Handlungsbedarf besteht oder gegebenenfalls bereits optimale Arbeitsbedingungen vorliegen. Falls Handlungsbedarf besteht, ist zu überprüfen, ob eine Optimierung der Arbeitsbedingungen möglich ist. Falls dies nicht möglich ist, ist zu prüfen, ob ein Wechsel zu einem geeigneten Arbeitssystem möglich ist. Ist auch dies nicht möglich, ist als letzte Option ein Beschäftigungsverbot auszusprechen (Abb. 4.33).



Abb. 4.33 Zentrale Organisationsaufgaben und Prozesse im Mutterschutz

4.1.9.1 Fazit zu den Rechtsgrundlagen

In Deutschland ist die Gesundheit von Frauen und ihrer Kinder am Arbeits-, Ausbildungs- und Studienplatz während der **Schwangerschaft**, **nach der Entbindung** und in der **Stillzeit** im Mutterschutzgesetz geregelt. Das Gesetz soll es Frauen ermöglichen, ihre Beschäftigung in dieser Zeit ohne Gesundheitsgefahr für sich und ihre Kinder fortzusetzen und soll auch Benachteiligungen während der Schwangerschaft und nach der Entbindung und in der Stillzeit entgegenwirken. Wie üblich, bleiben Regelungen in anderen bestehenden Rechtsvorschriften unberührt.

⁴⁵ Gesetz zur Neuregelung des Mutterschutzrechts vom 23. Mai 2017. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 30, ausgegeben zu Bonn am 29. Mai 2017

Das Mutterschutzgesetz gilt für alle werdenden und stillenden Mütter, die in einem Arbeitsverhältnis stehen und damit auch für Heimarbeiterinnen, Hausangestellte, geringfügig Beschäftigte, weibliche Auszubildende und unter bestimmten Voraussetzungen auch für **Schülerinnen** und **Studentinnen**. Für Beamtinnen, Richterinnen und Soldatinnen gelten andere, inhaltlich dem Mutterschutzgesetz vergleichbare Mutterschutzverordnungen.

Zum 1. Januar 2018 sind umfängliche Änderungen des Mutterschutzrechts in Kraft getreten. Ziel waren verständlichere und übersichtlichere Regelungen durch Integration der bisherigen Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz in das Mutterschutzgesetz. Die Arbeitsbedingungen sollen nun eine **unverantwortbare Gefährdung** ausschließen. Der Arbeitgeber hat hierzu bei der Gestaltung der Arbeitsbedingungen für schwangere oder stillende Frauen alle auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilungen erforderlichen Maßnahmen für den Schutz der physischen und psychischen Gesundheit der werdenden und stillenden Mütter und ihrer Kinder zu treffen. Daher gehen die Schutzmaßnahmen häufig über die Regelungen des allgemeinen Arbeitsschutzes hinaus.

Nach Mutterschutzgesetz § 9 Absatz 2 ist eine Gefährdung unverantwortbar, wenn die **Eintrittswahrscheinlichkeit** einer Gesundheitsbeeinträchtigung angesichts der zu erwartenden Schwere des möglichen Gesundheitsschadens **nicht hinnehmbar** ist. Eine unverantwortbare Gefährdung gilt als ausgeschlossen, wenn der Arbeitgeber alle Vorgaben einhält, die aller Wahrscheinlichkeit nach dazu führen, dass die Gesundheit einer schwangeren oder stillenden Frau oder ihres Kindes nicht beeinträchtigt wird (MuSchG § 9).

Schutzziel des Mutterschutzgesetzes ist die gesundheitliche Unversehrtheit der schwangeren oder stillenden Frauen und ihrer Kinder am Arbeits-, Ausbildungs- und Studienplatz. Daher sind alle aufgrund der Gefährdungsbeurteilung erforderlichen Maßnahmen für den Schutz der physischen und psychischen Gesundheit von schwangeren und stillenden Frauen sowie ihrer Kinder zu treffen, um Gefährdungen zu vermeiden und unverantwortbare Gefährdungen auszuschließen. Das hat durch präventive Beurteilung der Arbeitsbedingungen (MuSchG § 10) zu erfolgen. Hierzu sind Art, Ausmaß und Dauer der Gefährdungen zu ermitteln, denen schwangere und stillende Frauen und ihre Kinder ausgesetzt sind oder sein können. Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung sind die Grundlage, um beurteilen zu können, inwieweit Schutzmaßnahmen und eine Umgestaltung der Arbeitsbedingungen erforderlich sind und ob eventuell eine **Fortführung** der Tätigkeiten der Frauen an den bestimmten Arbeitssystemen **ausgeschlossen** ist.

4.1.9.2 Verfahrensentwicklung

Die Verfahrensentwicklung für das neue Fachverfahren Mutterschutzgefährdungen wurde auf die präventive Beurteilung der Arbeitsbedingungen nach dem Mutterschutzgesetz abgestimmt. Die Konzeption als eigenständiges Fachverfahren sollte eine schwerpunktmäßige Beurteilung von Gefährdungen, denen schwangere und stillende Frauen und ihre Kinder ausgesetzt sind oder sein können in Abhängigkeit von deren Art, Ausmaß und Dauer ermöglichen. Die Rechtsgrundlagen wurden recherchiert, um die Gefährdungs- und Belastungsgruppen und Gefährdungs- und Belastungsarten zu ermitteln. Bedeutend für werdende und stillende Mütter sind ein Kontakt mit Gefahrstoffen und biologischen Stoffen, physikalische Einwirkungen, belastende Arbeitsbedingungen und Verfahren, ungünstige Arbeitszeiten und weitere spezielle unverantwortbare Gefährdungen.

Zur Gewährleistung eines systematischen, „lückenlosen“ und damit rechtskonformen Vorgehens bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen wurden die **sieben Gefährdungs- und Belastungsgruppen** Physische Belastungen, Physikalische Gefährdungen, Gefahrstoffe, Biostoffe, Arbeitsbedingungen, Arbeitszeit sowie Weitere basierend auf den Vorarbeiten und Überlegungen von Ann Kathrin Waldminghaus (Waldminghaus, 2016) geschaffen. Damit können die Arbeitsbedingungen hinsichtlich der auftretenden Gefährdungs- und Belastungsarten, beispielsweise aufgrund manueller Lastenhandhabung, Strahlung, Lärm, Klima, Akkordarbeit, Arbeiten mit Überdruck sowie Nacht- und Mehrarbeit analysiert, beurteilt und gestaltet werden (Tab. 4.27).

Tab. 4.27 Prototypentwicklung zur Visualisierung der Bewertungsergebnisse
Quelle: Eigene Darstellung nach Waldminghaus, 2016

Gefährdungen/Belastung (Gruppen)	Beschäftigtengruppe	
	Schwangere Frauen	Stillende Frauen
Gefahrstoffe	3	
Biologische Arbeitsstoffe		
Physikalische Einwirkungen	1	
Physische Belastungen		
Arbeitsbedingungen		
Arbeitszeit	1	1
Weitere		

Für die Analyse und Bewertung der einzelnen Gefährdungs- und Belastungsarten wurde ein neu entwickeltes **zweistufiges System** angewendet. Dabei wird zunächst qualitativ und bei Bedarf mit dem optionalen Einsatz der integrierten Hilfestellungen entschieden, welche Kriterien bei den einzelnen Arbeitssystemen in der Organisation zutreffen. Anschließend ermittelt das Fachverfahren die Anzahl der nicht geeigneten Kriterien je Gefährdungs- und Belastungsgruppe. Hierdurch wird eine Übersicht generiert, mit Hilfe derer auf einen Blick erkannt werden kann, ob Arbeitssysteme für schwangere und/oder für stillende Frauen geeignet sind.

Die Visualisierung erfolgt zweistufig (Rot, Grün), da Grenzbereiche in diesem Kontext bisher nicht sinnvoll erscheinen. Die Farbe Grün visualisiert hierbei, dass das Arbeitssystem geeignet ist und daher schwangere und/oder stillende Frauen beschäftigt werden dürfen. Mit der Signalfarbe Rot wird auf einen Blick visualisiert, ob schwangere und/oder stillende Frauen an dem jeweiligen Arbeitssystem erst nach entsprechenden Gestaltungsmaßnahmen beschäftigt werden dürfen. Ist eine Umgestaltung nicht möglich, ist die Beschäftigung an einem anderen geeigneten Arbeitsplatz zu prüfen. In die Visualisierung der Ergebnisse wurde die resultierende Anzahl der nicht geeigneten Kriterien integriert, damit der **Optimierungsumfang** direkt aus dem Belastungs- und Gefährdungsprofil des neuen Fachverfahrens Mutterschutzgefährdungen hervorgeht.

Um die **differenzierte Beurteilung und Visualisierung** für schwangere (Tab. 4.28; Ziffer 1) und für stillende (Tab. 4.28; Ziffer 2) Frauen zu ermöglichen, wurden die Kriterien nach dem Mutterschutzgesetz verdichtet und zugeordnet.

Tab. 4.28 Gefährdungen und Belastungen für schwangere und stillende Frauen

Gefährdungs-/Belastungsgruppen mit Gefährdungs-/Belastungsarten	1	2	M
Physische Belastungen			
Lasten heben, tragen, bewegen, befördern, regelmäßig >5kg, gelegentlich >10kg	X		X
Stehen > 4 h	X		X
Strecken (erheblich), Beugen (häufig; haltend), Hocken (dauernd), Zwangshaltung	X		X
Erhöhung des Bauchraum-Drucks (z. B. durch besondere Fußbeanspruchung)	X		
Nutzung von Fahrzeugen (Unverantwortbare Gefährdung)	X		
Belastung durch Tragen von PSA	X		X
Physikalische Gefährdungen			
Ionisierende Strahlung	X	X	
Nicht ionisierende Strahlung	X	X	
Vibrationen, Erschütterungen	X		X
Lärm	X		X
Hitze	X		X
Kälte	X		X
Nässe	X		X
Gefahrstoffe			
Reproduktionstoxisch Kategorie 1A, 1B, 2	X		
Reproduktionstoxisch Wirkungen auf oder über die Laktation	X	X	
Keimzellmutagen Kategorie 1A oder 1B	X		
Karzinogen Kategorie 1A oder 1B	X		
Spezifisch zielorgantoxisch: einmalige Exposition Kategorie 1	X		
Akut toxisch Kategorie 1, 2, 3	X		
Blei, Bleiderivate (Aufnahmegefahr)	X	X	
Möglicherweise fruchtschädigende Gefahrstoffe („Vorsorgeprinzip“)	X		
Biologische Arbeitsstoffe			
Risikogruppe 2, 3	X	X	
Kontakt mit Risikogruppe 4	X	X	
Kontakt mit Rötelnvirus, Toxoplasma	X		
Möglicherweise erforderliche therapeutische Maßnahmen	X		
Arbeitsbedingungen			
Arbeiten mit Überdruck	X	X	X
Sauerstoffreduzierte Atmosphäre	X	X	
Bergbau unter Tage	X	X	
Arbeiten mit erhöhten Unfallgefahren	X	X	
Akkordarbeit (höheres Entgelt durch gesteigertes Arbeitstempo)	X	X	
Fließarbeit	X	X	
Getaktete Arbeit mit vorgegebenem Arbeitstempo	X	X	X
Keine kurzfristigen Arbeitsunterbrechungen möglich	X	X	X
Arbeitszeit			
Nachtarbeit zwischen 22 und 6 Uhr	X	X	
Nachtarbeit zwischen 20 und 22 Uhr	X	X	
Mehrarbeit > 8,5 (8,0) h/d, > 90 (80) h/pro Doppelwoche	X	X	
Sonn- und Feiertagsarbeit	X	X	
Ruhezeit weniger als 11 Stunden	X	X	
Weitere			
Spezielle unverantwortbare Gefährdungen	X	X	

4.1.9.3 Adaptierung im Instrument

Mit dem neuen Fachverfahren Mutterschutzgefährdungen kann die Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Mutterschutzgefährdungen nun im Instrument erfolgen. Das Fachverfahren wurde als **eigenständiges Fachverfahren** konzipiert, sodass die Anwendung unabhängig vom Kernverfahren und anderen Fachverfahren ist. Arbeitserleichternde Synergien ergeben sich, da auf die Systemabgrenzungen und Arbeitssysteminformationen bereits durchgeführter Beurteilungen und Simulationen im Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung zurückgegriffen werden kann. Das neue Fachverfahren wurde nach der im Methodenkapitel beschriebenen Vorgehensweise im Instrument realisiert und steht Organisationen nun zur Praxisanwendung zur Verfügung. Empfohlen wird mit einer Überprüfung der Einhaltung der Vorgaben des Mutterschutzgesetzes zu starten (Abb. 4.34).

Gefährdungen	Schwangere Frauen	Stillende Frauen
- Physische Belastungen	6	
Heben, Tragen, Bewegen oder Befördern von Lasten		
Ständiges Stehen, länger als 4 Stunden täglich		
Strecken, Beugen, Hocken, Bücken oder sonstige Zwangshaltungen		
Erhöhung des Drucks im Bauchraum insbesondere bei besonderer Fußbeanspruch...		
Unverantwortbare Gefährdung durch Beschäftigung auf Fahrzeugen		
Belastung durch Tragen von PSA		
- Physikalische Gefährdungen	2	1
Unverantwortbare Gefährdung durch ionisierende Strahlung		
Unverantwortbare Gefährdung durch nicht ionisierende Strahlung		
Unverantwortbare Gefährdung durch Vibrationen oder Erschütterungen		
Unverantwortbare Gefährdung durch Lärm		
Unverantwortbare Gefährdung durch Hitze		
Unverantwortbare Gefährdung durch Kälte		
Unverantwortbare Gefährdung durch Nässe		
+ Gefahrstoffe	3	1
+ Biostoffe		
+ Arbeitsbedingungen	keine Angabe (5)	keine Angabe (5)
+ Arbeitszeit		

Schließen
 Hilfe
 Drucken
 Export als Bild
 Zwischenablage
 alle Items anzeigen

Bewertung
 geeignet
 nicht geeignet
 () Anzahl der nicht geeigneten Kriterien

Abb. 4.34 Eignungsprüfung von Arbeitssystemen für schwangere und stillende Frauen
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Wie bei den anderen Fachverfahren besteht aber das übergeordnete Anwendungsziel in der Entwicklung neuer Lösungsansätze, die Frauen dabei helfen, ihre beruflichen Tätigkeiten während der Schwangerschaft sicher fortsetzen zu können. Hierzu bietet das Instrument neben der Analyse und Beurteilung der Gefährdungen und Belastungen eine Übersicht über die Eignung der Arbeitssysteme für schwangere und stillende Frauen sowie die Visualisierung des Optimierungsumfangs an. Hierauf aufbauend wurden drei neue Funktionen entwickelt: eine Kennzahl zur Anzahl geeigneter Arbeitssysteme, eine neue Recherche nach geeigneten Arbeitssystemen in Abhängigkeit gewünschter Filterkriterien sowie die intelligente Identifizierung von Arbeitssystemen, die mit geringem Aufwand optimiert werden können.

Um die Analysephase der Mutterschutzgefährdungen bestmöglich zu unterstützen, ist eine **neue Generation der Analyseoberfläche** für das Instrument entwickelt worden. Diese integriert Direktverknüpfungen zur Systemabgrenzung und zum Prozessverfahren Optimierung, erlaubt eine optionale Arbeitsvorgangszuweisung und enthält neue Hilfestellungen für die Praxis. Bei der Entwicklung und Testung des Fachverfahrens wurden arbeitswissenschaftliche Hintergründe, Vorgaben aus Rechtsvorschriften und Regelwerk und nützliche Praxiserfahrungen aufbereitet und werden diese nun in Informationsfeldern kontextabhängig zur Verfügung gestellt. Das erlaubt ein Organisations-spezifisches Customizing, beispielsweise indem Hilfestellungen zur Messdurchführung bei Schwerpunktgefährdungen in speziellen Branchen gegeben werden. Das Knowhow kann dort beispielsweise auch durch Zusammenstellung der wichtigsten Tipps und Tricks und der Bündelung des Anwenderfeedbacks kontinuierlich erweitert werden. So ist ein interaktives Handbuch entstanden, das direkt im Instrument zur Verfügung steht. Integriert ist nun auch ein neues Direktfeedback, das bereits in der Analysephase zu den Beurteilungsergebnissen für schwangere und stillende Frauen informiert (Abb. 4.35).

Abb. 4.35 Prototyp einer qualitativen BDS-Anlysemaske auf Arbeitssystemebene
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Dabei signalisiert eine grüne Einfärbung, dass keiner der Gefährdungs- und Belastungsarten in der Gefährdungs-/Belastungsgruppe relevant ist. Eine rote Einfärbung signalisiert hingegen, dass mindestens eine unverantwortbare Gefährdungs- oder Belastungsart vorliegt. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, erfolgt standardmäßig eine graue Einfärbung, solange bis die Analyse vollständig durchgeführt worden ist. Damit gibt es nun eine **direkt verfügbare Rückmeldung zur Vollständigkeit** der Analyse, eine neue Hilfestellung des Instruments zur Verbesserung der Rohdatenqualität.

4.1.10 Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen

Das neue Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen wurde aufgrund seines richtungsweisenden Charakters auf der Grundlage des Entgelt-Rahmenabkommens⁴⁶ (ERA) Baden-Württemberg entwickelt. Das Entgelt-Rahmenabkommen enthält die **Tarifvorgaben** für die Ermittlung der tariflichen Belastungszulage. Die Belastungszulage ergibt sich aus der Betrachtung der zulagerelevanten Belastungsarten Muskeln, Reizarmut, Lärm, Sonstige Umgebungseinflüsse sowie Sonderkriterien (§ 3 Belastungsarten und ihre Bewertung) nach dem in ERAT-TV § 2 festgelegten Verfahren (IG-Metall, 2004; IG-Metall, 2006).

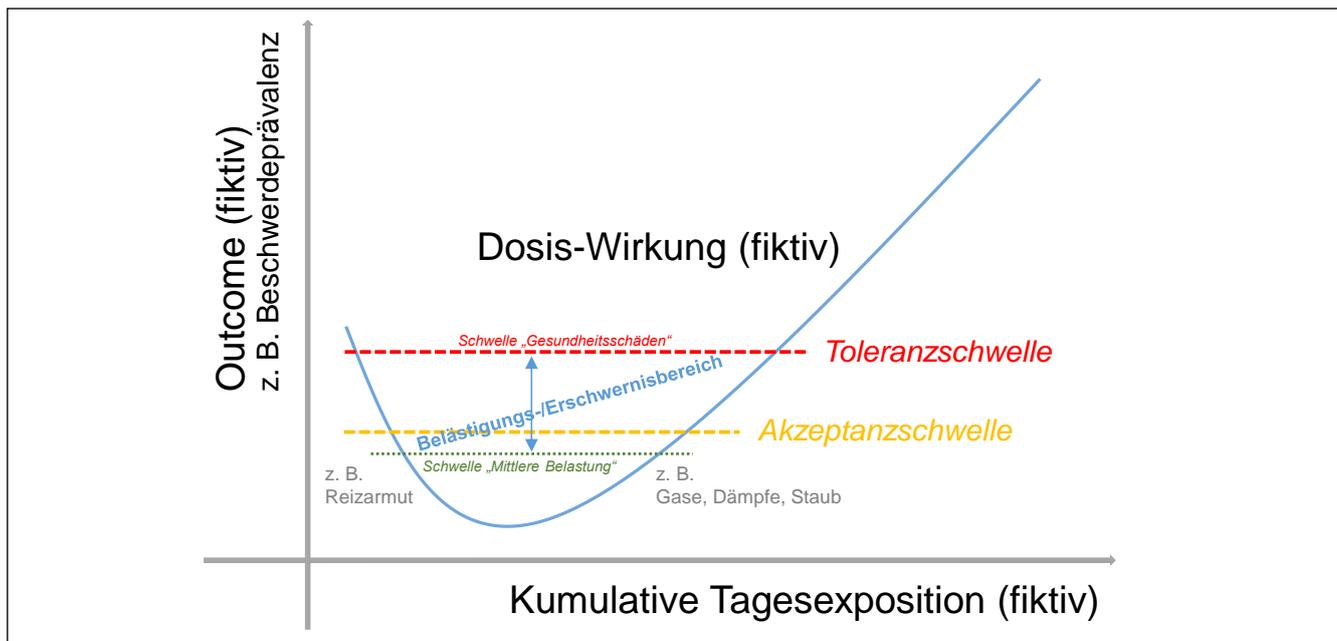


Abb. 4.36 Belästigung/Erschwernis im Risikokonzept mit Akzeptanz-/Toleranzschwelle
Quelle: Eigene Erweiterung (Stufe 2) nach Hartmann et al., 2013

Die Dynamik der Arbeitswelt kann einerseits mit der Optimierung von Arbeitsbedingungen und andererseits auch mit neuen Belastungsschwerpunkten einhergehen, weshalb auch das Zulagensystem eine große Dynamik aufweist. Führt das Zulagensystem für das Personalmanagement zu einem Anreiz der Optimierung der Arbeitsbedingungen, ist dies aus der Sicht des Sicherheits- und Gesundheitsschutzes zu begrüßen (Bahnmüller et al., 2017).

Analyse und Beurteilung im arbeitswissenschaftlichen **Belastigungs-/Erschwernisbereich** ist eine besondere Herausforderung, wie auch das weiterentwickelte Modell in Abb. 4.36 zeigt und weshalb eine arbeitswissenschaftliche Ermittlung von Belastungszulagen in der Praxis kontinuierlich nachgefragt wird. Unterstützt werden soll eine ökonomische Anwendung bei hoher Dynamik bei etwaigen Tarifanpassungen, da aufwandsarme Anpassungen möglich werden. Aber auch Organisationen ohne Tarifvertrag können profitieren, da derartige Analysen in der Gefährdungsbeurteilung nicht oder nicht derart detailliert behandelt werden (BMAS, 2014), was aber auch bedeutet, dass sich noch viele Optimierungspotenziale erschließen lassen.

⁴⁶ „Abkommen zwischen der Gewerkschaft IG Metall und dem Arbeitgeberverband Gesamtmetall u. a. über größere Entgeltgerechtigkeit und Belastungszulagesystem, das mehr als 1,8 Millionen Beschäftigte der Elektro- und Metallindustrie, mehr als 3.000 tarifgebundenen Unternehmen und ein Gesamtvolumen der Löhne und Gehälter von etwa 144 Milliarden Euro betrifft.“ (Stand Ende 2017).

4.1.10.1 Fazit zu den tarifrechtlichen Grundlagen

Die **tarifrechtlichen Grundlagen** geben die **Rahmenbedingungen** vor, ohne dessen Einhaltung das zu entwickelnde Verfahren nicht einsatzfähig ist. Essentiell ist die Berücksichtigung der Rahmenbedingungen aus Anlage 2 des ERA-TV, die als Auszug nachfolgend aufgeführt sind (ERA-TV BW, Anlage 2, § 3, Absätze 1 bis 5 und gemeinsames Glossar zum ERA-TV BW von IGM und SWM, Januar 2005, Stichwort „Belastungen“):

- *„Bewertungsrelevant sind nur die im ERA-TV aufgeführten Belastungsarten.“*
Andere Belastungen sind nicht zu berücksichtigen.
- *„Es werden die bei der Ausführung der Arbeitsaufgabe und ggf. aus der Arbeitsumgebung resultierenden Belastungen berücksichtigt.“*
Eine Abgrenzung von „Belastung“ zu „Risiko / Gefährdung“ und „individueller Beanspruchung“ ist daher wichtig.
- *„Unter Umgebungseinflüssen werden äußere Einwirkungen verstanden, welche die Arbeitsausführung beeinträchtigen bzw. Belastungen hervorrufen.“*
Es geht also nicht um das Vorhandensein eines Risikos oder einer möglichen Gefährdung, sondern um die tatsächliche Einwirkung auf den Beschäftigten.
- *„(...) mittlere Belastungen sind bereits mit dem Grundentgelt abgegolten. Darüber hinausgehende Belastungen werden (...) bewertet und (...) abgegolten.“*
- *„Bei der Feststellung der jeweiligen Belastung ... ist zu berücksichtigen, inwieweit die Tätigkeit durch einen Grad der Belastung geprägt ist, der nachhaltig über einer mittleren Belastung liegt.“*
- *„Die Begriffe mittlere, höhere und hohe Belastung sind im Rahmen der bisherigen summarischen Arbeitsbewertung ... eingeführte Begriffe, deren Definition der ERA-TV übernimmt. Um die gemeinten Belastungsniveaus zu verdeutlichen, wurden sie beim Belastungsfaktor Lärm festgehalten.“*
Es ist ein Abgleich der gemeinten Belastungsniveaus an Hand der vereinbarten Grenzwerte beim Lärm vorzunehmen.
- *„Neben der Intensität der Belastung ist auch deren „Dauer, Häufigkeit und zeitliche Verteilung“ zu berücksichtigen.“*

4.1.10.2 Verfahrensentwicklung

Bei der Entwicklung des neuen Fachverfahrens wurden die vorgegebenen Rahmenbedingungen des Tarifvertrages mit den gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen verknüpft. Im Entwicklungsprozess stand ein praktikables Verfahren als Einstufungshilfe für die betrieblichen Akteure als wichtigste Zielgruppe im Fokus. Entwickelt wurden zunächst die Bewertungsalgorithmen und korrespondierenden Anwendungshilfen zu den einzelnen Belastungsgruppen. Alle Einzelverfahren wurden nach einem identischen Aufbau gegliedert, wie es beispielsweise auch bei den Leitmerkmalmethoden der Fall ist, um ein durchgängig einheitliches Vorgehen zur Verfügung zu stellen. Um die Praktikabilität sicherzustellen, wurden Indikatoren und Parameter verwendet, die betrieblich bestimmbar sind und betriebliche **Praxisbeispiele** aus der Metall- und Elektroindustrie verwenden. Hiermit soll gewährleistet werden, dass das neue Fachverfahren durch neue Verbandsingenieure*innen und qualifizierte und eingewiesene Praktiker*innen einfach anwendbar ist.

Zur Ermittlung der resultierenden Belastungszulage wurde das Verfahren nach ERA-TV BW § 2 im neuen Fachverfahren realisiert. Hiernach ergibt sich eine Belastungszulage aus der Punktesumme der Bewertung der Belastungsarten Muskeln, Reizarmut und Umgebungseinflüsse als **Prozentsatz der Entgeltgruppe 7** ausgewiesen. Für die inhaltlich mit Abstand umfangreichste Gruppe der sonstigen Umgebungseinflüsse wurde eine zusätzliche Gliederungsebene eingeführt, in der die Zwischenergebnisse der Einstufungen zum Gruppenergebnis zusammengeführt werden können (Tab. 4.29).

Tab. 4.29 Methode zur Bestimmung der resultierenden Belastungszulage (mit Beispiel)

Belästigung/Erschwernis (Art)	Stufe / Punkte					
	0	1	2			
Muskeln		1				
Reizarmut	0					
Lärm	0					
<i>Schmutz, Öl, Fett</i>		1				
<i>Hitze, Kälte, Zugluft</i>		1				
<i>Wasser, Säure, Lauge</i>	0					
<i>Gase, Dämpfe, Staub</i>	0					
<i>Blendung, Lichtmangel</i>		1				
<i>Unfallgefahr, Schutzkleidung</i>	0					
Sonstige Umgebungseinflüsse					2	
Liegt eine ständige Beschäftigung in der Gießerei unter dortigen erschwerten Arbeitsbedingungen vor?						
	Summe	1	2	3	4	5
	Geldbetrag in Prozent der Entgeltgruppe 7	2,5	5	7,5	10	12,5 ⁴⁷

Bei der Bestimmung der resultierenden Belastungshöhe ist eine spezielle kombinierte Betrachtung der Belastungsintensität und der schichtübergreifend, **nachhaltigen Einwirkung** über längere Zeiträume erforderlich. Die Analyse und Bewertung der Belastungsintensität wurde auf das Bewertungsniveau im Belästigungs- und Erschwernisbereich ausgelegt.

Damit kann sichergestellt werden, dass **keine Bezahlung** unterhalb der mittleren Belastung und für Gesundheitsschäden (Gesetzesverstöße) erfolgt. Um die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in Deutschland bezüglich der physischen Belastungen direkt mit einzubeziehen, wurde dabei auch die **Kompatibilität** mit der 2019er-Generation des mehrstufigen Leitmerkmalmethodeninventars sichergestellt (Tab. 4.30).

⁴⁷ In den Tarifgebieten Nordwürttemberg/Nordbaden und Südwürttemberg-Hohenzollern werden Belastungen mit einer Punktesumme von 5 und mehr Punkten bei Arbeitsaufgaben, die eine ständige Beschäftigung in der Gießerei unter dortigen erschwerten Arbeitsbedingungen beinhalten, durch eine Belastungszulage in Höhe von 12,5 % der Entgeltgruppe 7 abgegolten.

Tab. 4.30 Verfahrens-Harmonisierung mit arbeitswissenschaftlichen Risikokzepten

Bewertungsstufen oder Risikokategorien	Risikokzept
BAB/BDS-Instrument (1976ff.) (Bewertungsstufen: 1 - 7)	
5 - 7	Überbelastung
4	Dauerleistungsgrenze
1 - 3	Belastend
Leitmerkmalmethoden HHT; ZS; MA (2001 - 2012) (Risikokategorien 1 - 4)	
4	Hohe Belastung
3	Erhöhte Belastung auch für Normpersonen
2	Mittlere Belastung
Mehrstufiges Leitmerkmalmethoden - Inventar HHT; ZS; MA, GK, KB, KH (2019) (Risikokategorien 1 - 4)	
4	Hohe Belastung ⁴⁸
3	Wesentlich erhöhte Belastung ⁴⁹
2	Mäßig erhöhte Belastung

Um eine **standardisierte Nachhaltigkeitsbetrachtung** zu ermöglichen, wurde eine neue Nachhaltigkeitsmatrix entwickelt, mit deren Hilfe die Nachhaltigkeit des Auftretens der zuvor ermittelten Belastungsintensitäten berücksichtigt werden kann. Der zu erreichende Zeitanteil über längere Zeiträume ist dabei von der Intensität abhängig. Beispielsweise wird bei einer hohen Intensität ab einem Zeitanteil von 25 Prozent die Belastungsstufe 1 und ab einem Zeitanteil von 50 Prozent die Belastungsstufe 2 erreicht (Tab. 4.31).

Tab. 4.31 Nachhaltigkeitsmatrix zur Feststellung der resultierenden Stufe

Intensität Belästigung / Erschwernis	Zeitanteil über längere Zeiträume	
	≥ 25 %	≥ 50 %
<u>Höhere</u> Intensität	0	1
<u>Hohe</u> Intensität	1	2

Mit Hilfe dieser Systematik wurden für alle Belästigungs- und Erschwernisbereiche Einzelverfahren unter gemeinsamer Berücksichtigung der **tariflich vereinbarten Kriterien** (ERA-TV BW Anlage 2; Gemeinsames Glossar zum ERA-TV BW von IGM und SWM, Januar 2005) sowie der gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse entwickelt. Beispielsweise sind die Voraussetzungen für eine Belastungszulage in der Gruppe Schmutz, Öl, Fett der sonstigen Umgebungseinflüsse im ERA-TV BW Anlage 2, § 3.3.2.1 festgelegt.

⁴⁸ Funktionsstörungen, Strukturschäden

⁴⁹ Schmerzen, meist reversibel

Ergebnisse der Neuentwicklung autarker Fachverfahren

Für die Vergabe einer Belastungszulage mussten daher unter anderen die folgenden tariflichen Kriterien erfüllt sein: „Eine Belastung durch ölige, fettige, klebrige Substanzen oder Schmutz kann vorliegen, wenn durch ihre Art und die unvermeidbare Dauer ihrer Einwirkung während der Schicht Reinigungsmaßnahmen zur Weiterführung der Arbeit erforderlich sind oder nach der Schicht über das allgemein Übliche hinausgehende Reinigungsmaßnahmen notwendig sind.“ Damit wird das Ausmaß der Belastung in der Gruppe Schmutz, Öl, Fett anhand der erforderlichen Reinigungsmaßnahmen gemessen. Dabei erfolgt eine Differenzierung der **Reinigungsmaßnahmen** in Reinigungsmaßnahmen während der Schicht und in Reinigungsmaßnahmen nach der Schicht. Das entwickelte Einzelverfahren Schmutz, Öl, Fett beginnt daher wie alle anderen entwickelten Einzelverfahren mit dem Tariftext und den hieraus abgeleiteten **Ausschlusskriterien**. Diese sind als Fragestellung formuliert und dienen als Entscheidungshilfe, ob die tariflichen Voraussetzungen für eine Belastungszulage überhaupt zutreffen (Abb. 4.37).

Bewertungsblatt „sonstige Umgebungseinflüsse: Schmutz, Öl, Fett“											
Arbeitsplatz:						resultierende Belastungsstufe (BS):		0	1	2	
A Tariftext und Prüfung der tariflichen Voraussetzungen: Treffen die Voraussetzungen für eine Belastungszulage zu?											
Eine Belastung durch ölige, fettige, klebrige Substanzen oder Schmutz kann vorliegen, wenn durch ihre Art und die unvermeidbare Dauer ihrer Einwirkung während der Schicht Reinigungsmaßnahmen (RM) zur Weiterführung der Arbeit erforderlich sind oder nach der Schicht über das allgemein Übliche hinausgehende Reinigungsmaßnahmen notwendig sind.											
A1	Sind ölige oder fettige oder klebrige Substanzen oder Schmutz vorhanden?					Ja	Nein	Ja: weiter bei A2		Nein: BS 0	
A2	Besteht eine Einwirkung auf die Beschäftigten?					Ja	Nein	Ja: weiter bei A3.1		Nein: BS 0	
A3.1	Sind hierdurch bedingt RM <u>während</u> der Schicht <u>zur Weiterführung der Arbeit</u> erforderlich?					Ja	Nein	Ja: weiter bei A3.2 und B1		Nein: weiter bei A3.2	
A3.2	Sind hierdurch bedingt RM <u>nach der</u> Schicht <u>über das allgemein übliche Maß</u> notwendig?					Ja	Nein	Ja: weiter bei B2		Nein: BS0, wenn A.3.1 Nein	
B Bestimmung der Intensität der Belastung pro Schicht: Charakterisierung der Reinigungsmaßnahmen.											
B1 Charakterisieren Sie Art und Häufigkeit der Reinigungsmaßnahmen <u>während</u> der Schicht ¹ und ...						B2 <u>nach</u> der Schicht					
Größe der Hautfläche Hände		Anzahl	Faktor	Teil- ergebnisse	1 Tragen Sie die Anzahl der Reinigungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Reinigungsmittel (RL) und -fläche in die Spalte Anzahl ein. 2 Multiplizieren Sie die Werte der Spalte Anzahl mit dem nebenstehenden Faktor und tragen das Ergebnis in die Spalte Teilergebnisse ein. 3 Addieren Sie die untereinander stehenden Werte der Spalte Teilergebnisse und tragen das Ergebnis in das Feld Endergebnis ein. 4 Markieren Sie die resultierende Intensität in Abhängigkeit vom Wert des Endergebnisses .					Größe der Hautfläche Ganzkörper	
Stärke des RL ²	leicht	x	3	=	Endergebnis	Intensität	Stärke des Reinigungsmittels ²	leicht	geringe/mittlere I.		
	mittel	x	4	=				mittel	höhere I.		
	stark	x	6	=				stark	hohe I.		
Größe der Hautfläche > Hände		Anzahl	Faktor				Notizen:				
Stärke des RL ²	leicht	x	4	=	< 36	geringe/mittlere I.					
	mittel	x	6	=	≥ 36 bis < 60	höhere I.					
	stark	x	12	=	≥ 60	hohe I.					
Endergebnis Σ											
C Bestimmung der Belastungsstufe:					D Hinweise:						
resultierende Intensität ³ :	Zeitanteil über <u>längere Zeiträume</u> :				¹ Ist eine Ganzkörperreinigung während der Schicht erforderlich, erfolgt die Einstufung wie bei den Reinigungsmaßnahmen nach Schichtende (siehe B2). ² RL = Reinigungsmittel. Zur Beurteilung, ob ein leichtes, ein mittleres oder ein starkes Reinigungsmittel vorliegt, steht Tabelle 4 in der Anwendungshilfe zur Verfügung. ³ Die resultierende Intensität ergibt sich aus der höchsten in Teil B ermittelten Intensität. Liegt bei den Reinigungsmaßnahmen während der Schicht (B1) und nach der Schicht (B2) <u>jeweils</u> eine höhere Intensität vor, resultiert insgesamt eine hohe Intensität.						
	≥ 25%	≥ 50%									
	höhere Intensität	BS 0	BS 1								
hohe Intensität	BS 1	BS 2									

Abb. 4.37 Einzelverfahren Schmutz, Öl, Fett – Bestimmung der Belastungsstufe

Die arbeitswissenschaftliche Grundlage der höheren und hohen Belastungsintensität geht auf das Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu **Nr. 5101 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung** (BMA, 1996) zurück. Auf dieser Grundlage wurde ein Punktesystem entwickelt, dass es ermöglicht, sowohl Arbeitssysteme mit identischen Reinigungsarten als auch Arbeitssysteme mit unterschiedlichen Reinigungsarten in einem Einzelverfahren beurteilen zu können. Ganzzahlige Faktoren sollen die Einstufung vor Ort mittels Kopfrechnung in der Paper & Pencil - Variante vereinfachen.

4.1.10.3 Adaptierung im Instrument

Für das neue Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen wurden alle sechs Einzelverfahren in das Instrument integriert. Wie konzipiert, ist die Anwendung daher nun mit digitalen Vorteilen und eigenständig möglich. Zur Ermittlung der insgesamt resultierenden Höhe der Belastungs- und Erschwerniszulage wurde eine zusätzliche, finale Ergebnisansicht geschaffen, in der alle Einzelverfahren automatisch zum **Gesamtergebnis** zusammengeführt werden (Abb. 4.38).

The screenshot displays a software application window titled "Belastungsarten" with multiple overlapping instances of a form titled "ERA TV Bewertung". The active window shows a detailed assessment form. The main heading is "A Tariftext und Prüfung der tariflichen Voraussetzungen: Treffen die Voraussetzungen für eine Belastungszulage zu?". Below this, there are several sections: "A1 Besteht trotz Beachtung aller Sicherheits- und Schutzmaßnahmen in gewissen Fällen eine Unfallgefahr?", "A2 Wird zur Vermeidung von Unfällen/Gesundheitsgefährdung Schutzkleidung getragen...", "B Bestimmung der Intensität der Belastung:", and "C Bestimmung der Belastungsstufe". The "B" section includes a table for "Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere von Arbeitsunfällen" and "Hinderlichkeit von Schutzkleidung". The "C" section shows a summary table with "Belastungsstufe Blatt" set to 0 and "Gesamtpunktzahl" set to 2. At the bottom right, there are buttons for "OK", "Speichern", and "Abbrechen".

Abb. 4.38 Neues BDS-Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen (Ausschnitt)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Insgesamt wird über alle Belastungs- und Erschwernisgruppen hinweg eine durchgehend **einheitliche Analysestruktur** zur Verfügung gestellt, um damit ein systematisches und standardisiertes Vorgehen zu gewährleisten. Aufwandsarme Anpassungen bei der Veränderung der Belastungssituation in Arbeitssystemen werden möglich, da mit der digitalen Arbeitsweise lediglich die sich ergebenden Veränderungen der Belästigungen und Erschwernisse angepasst werden müssen. Zusätzlich zu den dargestellten Verfahrensgrundlagen ermöglicht das neue Fachverfahren weitere nützliche Zusatzfunktionen für einen flexiblen internen Einsatz in Organisationen und einen externen Beratungseinsatz für **Verbandsingenieure*innen**. Sollte eine **freiwillige Betriebsvereinbarung** vorliegen, dann wird die Nutzung der jeweils vereinbarten Methoden direkt möglich, ohne dass das Verfahren angepasst werden muss. Denn das Fachverfahren wurde frei von einer konkreten Methodenbindung realisiert. Das heißt für die Praxis, dass bereits vorliegende Ergebnisse mit Hilfe der Importfunktionalitäten übertragen werden können.

Weitere Vorteile ergeben sich für Anwender*innen des Kernverfahrens des Instruments. Sie können alle ihrer bereits vorliegenden Ergebnisse der arbeitswissenschaftlichen Analyse der Belastung der Muskeln über eine arbeitswissenschaftliche Analyse und Bewertung der vier Belastungsarten Heben, Halten, Tragen (LMM-HHT; LASI, 2001), Ziehen, Schieben (LMM-ZS; LASI, 2002), Manuelle Arbeitsprozesse (LMM-MA 2012; LASI, 2013) und Dynamische Muskelarbeit (Arbeitsenergieumsatz; Müller & Hettinger, 1981; Hettinger et al., 1989; DIN EN ISO 8996:2005; BGI/GUV-I 504-30, 2010) durchführen

Damit wird noch einmal ein **höheres Analyse- und Genauigkeitslevel** bei der Bewertung und Beurteilung ermöglicht und dies auf der Grundlage von bereits durchgeführten Analysen, das heißt durch Nutzung der Datenbank und damit ohne doppelten Analyseaufwand (Abb. 4.39).

Belastungsarten													
§ 3.1 Belastung der Muskeln													
<ul style="list-style-type: none"> - welchen Kraftaufwand die zu bewegenden Werkstücke, Werkzeuge oder Arbeitsmittel erfordern, - inwieweit die zur Arbeitsverrichtung notwendige Haltung des Körpers belastend wirkt, - ob während der täglichen Arbeitszeit ein Wechsel der Belastung vorliegt, - ob sie auf die gleichen Muskelgruppen wirkt oder ob sie verschiedene Muskelgruppen abwechselnd beansprucht, - ob sie stoßartig auftritt. 	<table border="1"> <tr> <td>LMM-HHT</td> <td>0,0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LMM-ZS</td> <td>14,5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LMM-MA</td> <td>23,4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>AEU</td> <td>10,9</td> <td>1w</td> </tr> </table>	LMM-HHT	0,0	0	LMM-ZS	14,5	0	LMM-MA	23,4	0	AEU	10,9	1w
LMM-HHT	0,0	0											
LMM-ZS	14,5	0											
LMM-MA	23,4	0											
AEU	10,9	1w											
Definition	Punkte												
höhere Belastung der Muskeln: (25 - 40 Punkte) schwere Arbeiten, mittelschwere Arbeiten in ungünstiger Körperhaltung (z. B. Bücken, Knien, über Kopf).	1												
hohe Belastung der Muskeln: (>40 Punkte) besonders schwere Arbeiten, schwere Arbeiten in ungünstiger Körperhaltung (z. B. Bücken, Knien, über Kopf).	2												
	<table border="1"> <tr> <td>höchster Wert</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <input type="button" value="Wert übernehmen"/> </td> </tr> <tr> <td>gewählter Wert</td> <td>1</td> </tr> </table>	höchster Wert	1	<input type="button" value="Wert übernehmen"/>		gewählter Wert	1						
höchster Wert	1												
<input type="button" value="Wert übernehmen"/>													
gewählter Wert	1												

Abb. 4.39 Integration der Ergebnisse (externer) arbeitswissenschaftlicher Einzelverfahren in das neue Fachverfahren und gleichzeitige Flexibilisierung für das Treffen von Einzelbetriebsvereinbarungen (Import)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

4.1.11 Dashboard (Business Intelligence)

Für das Instrument wurde ein neues Dashboard konzipiert. Es wurde auf **interdisziplinäre Optimierungsprozesse** und die Kulturentwicklung hin zu einem modernen, gewinnbringenden Arbeits- und Gesundheitsschutz zugeschnitten. Von einem zentralen Ausgangspunkt, sollen sich Schwachpunkte einfach identifizieren lassen und eine schnelle und flexible Reaktion organisiert werden können (Abb. 4.40).

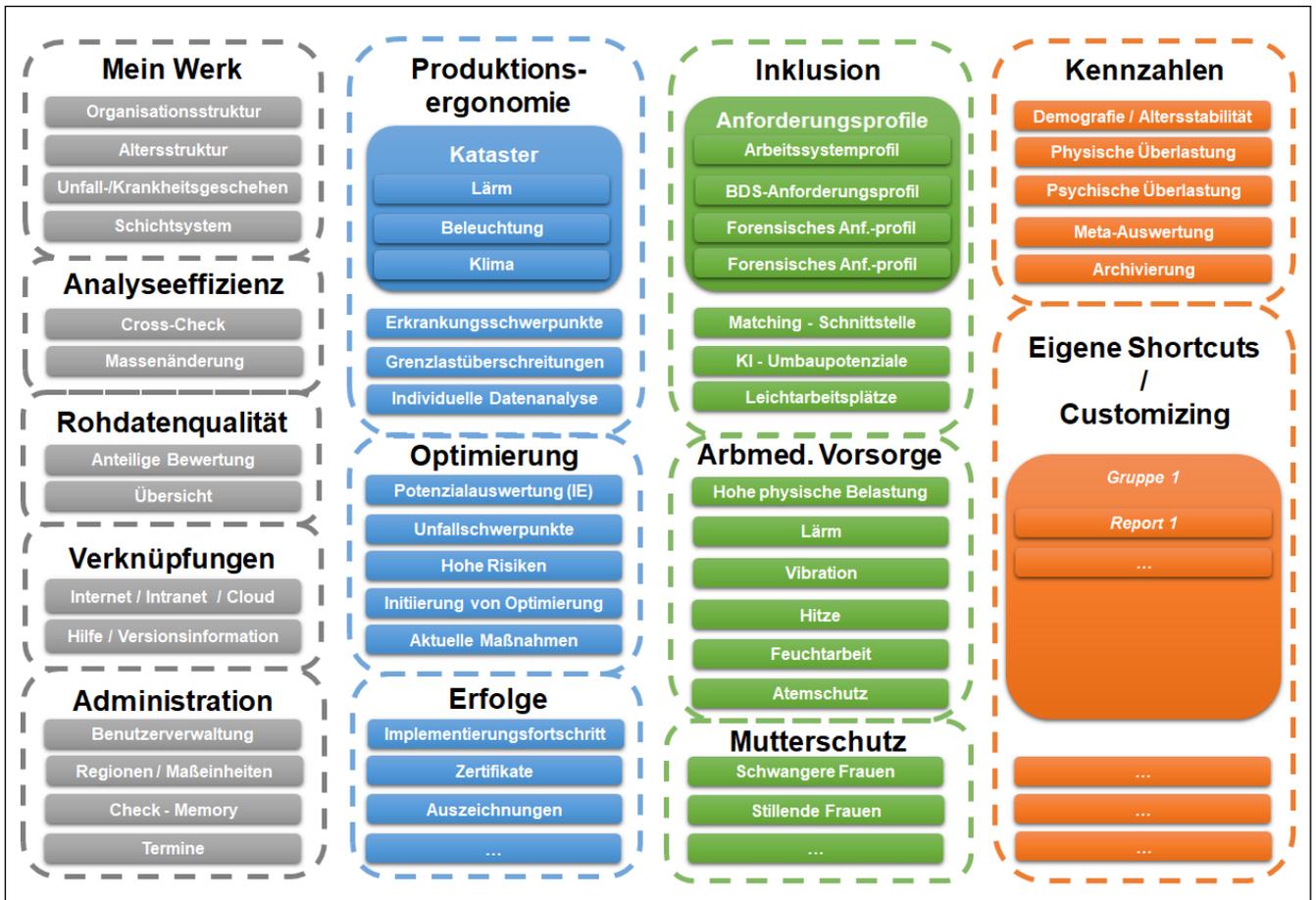


Abb. 4.40 Neues Dashboard-Konzept für das Instrument

Kombiniert werden hierzu Methoden und Verfahren aus den Kern-, Prozess- und Fachverfahren. Hinzu kommen organisatorische Aspekte, Verknüpfungen und Übersichten, mit denen Organisationen ihre Produktions- und Fertigungsprozesse erfolgreich in die Zukunft führen können.

Insgesamt geht es auf dem Fundament der Prävention darum, die Beschäftigten für eine gemeinsame Zukunft zu gewinnen, zu aktivieren und zu fördern und damit die **Grundlagen für nachhaltiges Wachstum** zu schaffen. Hierzu werden mit dem Dashboard vielseitige Anwendungen zu den Fachthemengebieten Produktionsergonomie, Inklusion, Mutterschutz sowie zur arbeitsmedizinischen Vorsorge an einem Ort im Instrument gebündelt.

4.1.11.1 Mein Werk

Die **Organisationsstruktur** des eigenen Werkes kann aus dem Organigramm (Organisationsplan, Organisationsschaubild, Strukturplan) in das Instrument importiert werden. Das kann die Aufbauorganisation von kleinen Unternehmen bis hin zu weltweit agierenden Konzernen sein. Damit wird eine Strukturierung beispielsweise nach Divisionen, Business Units, Ländern und Werken möglich. Jedem Werkstandort stehen mehrere Ebenen zur Verfügung, mit denen Werkshallen, Abteilungen, Kostenstellen und Gruppen beispielsweise für Gefährdungsbeurteilungen und Kataster klar voneinander abgegrenzt werden können. Zur Verwendung standardisierter Bezeichnungen von identischen Arbeitssystemen kann ein Arbeitssystemkatalog eingerichtet werden. Diese Funktionalität wird genutzt, sofern in großen Organisationen unterschiedliche Begriffe und Klassifizierungen für identische Arbeitssysteme verwendet werden. Dann kann eine Zuordnung vorgegebener Arbeitssystembezeichnungen erfolgen, um auf dieser Grundlage filtern und auswerten zu können. Spezifische Systemabgrenzungen können in den einzelnen Arbeitssystemen vorgenommen werden. Hierzu können die Elemente der Arbeitssysteme in Anlehnung an die Beschreibungssystematik nach REFA spezifiziert werden. Die Altersstruktur, das Unfall- und Krankheitsgeschehen sowie das Schichtsystem können bei Bedarf in das Instrument importiert werden, um zusätzliche Spezialauswertungen durchführen zu können.

4.1.11.2 Analyseeffizienz

Zunächst wird im Rahmen der betrieblichen Implementierung des Instruments (**Qualifizierung**) an betriebseigenen Arbeitssystemen detailliert erläutert, wie eine hohe Rohdatenqualität bei hoher Analyseeffizienz sichergestellt werden kann. Ein effizientes, Verfahrens-ökonomisches digitales Instrument sollte aber auch technische Lösungen (hier interaktiver Cross-Check) für eine hohe Analyseeffizienz bereitstellen (Abb. 4.41).

Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	7	2	7	4	0
Körperbewegung	2	2	2	2	0
Lastenhandhabung	6	5	6	4	0
Dynamische Muskelarbeit	4	3	4	4	0
Manuelle Arbeitsprozesse	1	1	1	1	0
Klima - hohe Temperaturen	3	2	3	3	0
Arbeitsstoffe	1	0	1	1	1
Verantwortung für andere Personen	1	1	0	1	1
Kontakte zu Mitarbeitern	1	1	2	0	1
Belastung durch Schutzausrüstung	0	3	3	3	3

Abb. 4.41 Verbesserung der Analyseeffizienz mit dem interaktiven Cross-Check
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Der **interaktive Cross-Check** ist eine Anwendung zum automatischen Identifizieren von unvollständig analysierten Tätigkeiten, die unvollständige Belastungsprofile zur Folge haben können.

Der Cross-Check erspart eine Recherche von nicht analysierten Aspekten über alle Belastungsarten und führt daher zu einer teils großen Zeitersparnis insbesondere für noch unerfahrene Anwender*innen. Identifiziert werden Tätigkeiten und Belastungsarten mit fehlenden Analyseparametern. Das Resultat wird in einer interaktiven Ergebnisdarstellung visualisiert. Dabei wird mithilfe von Direktverknüpfungen ein unmittelbares Vervollständigen der Analyse in den betreffenden Einzelverfahren möglich. Hiermit entfällt die manuelle Navigation durch das Instrument. Alle unvollständigen Belastungsarten werden rot markiert. Ergänzend zum interaktiven Cross-Check ermöglicht die Massenänderung eine **simultane und Tätigkeits-übergreifende Änderung von Analyseparametern**.

4.1.11.3 Rohdatenqualität

Daten von hoher Qualität sind genau, verfügbar, vollständig, konform, konsistent, glaubwürdig, verarbeitbar, relevant und zeitgemäß (European Data Support; European Commission, 2013). Sofern Daten die Grundlage für Informationen sind, wirkt sich die Datenqualität damit auf die Qualität der daraus gewonnenen Informationen aus. Eine präzise Analyse wird durch Qualifikation und die kontextabhängigen Informations-, Link- und Hilfetexte mit fachthemenspezifischen Erläuterungen unterstützt. Insbesondere für komplexe Arbeitssysteme ist ein regelmäßiger Vollständigkeits- und Plausibilitätscheck auf Arbeitssystemebene hilfreich. Die anteilige Bewertung und die Übersicht sind Werkzeuge auf der Ebene der Arbeitssysteme, die einen umfangreichen **Vollständigkeits- und Plausibilitätscheck** ermöglichen (Abb. 4.42).

	10	20	30	40	50	
Physische Belastungen						
3	Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	4	2	2	3	1
2	Körperbewegung	2	2	1	2	1
4	Lastenhandhabung	3	1	1	6	1
3	Dynamische Muskelarbeit	3	5	1	3	1
1	Manuelle Arbeitsprozesse	1	1	1	1	1
Umgebungsbedingungen						
2	Schallbelastung (Lärm)	2	2	3	3	1
1	Vibrationen Ganzkörper	1	1	1	1	1
1	Vibrationen Hand-Arm	1	1	1	1	1
2	Klima - hohe Temperaturen	2	4	1	2	2
1	Klima - niedrige Temperaturen	1	1	1	1	1
1	Klima - Wärmestrahlung	1	1	1	1	1
3	Zugluft	3	3	3	3	1
1	Witterungseinfluss	1	1	1	1	1
3	Nassarbeit	1	4	4	4	1
2	Arbeitsstoffe	1	2	2	3	1
2	Schutz	2	2	2	2	1
1	Beleuchtung	1	1	1	1	1
1	Blendung	1	1	1	1	1
Arbeitsorganisation						
1	Verantwortung für andere Personen	1	1	1	1	1
2	Verantwortung für den Prozess	2	2	2	3	1
1	Konzentrationsanforderungen	1	1	2	2	1
1	Unterforderung	1	1	1	1	1
1	Selbstraum	1	1	1	1	1
1	Sehschärfe	1	1	1	1	1
1	Feinmotorik	1	1	1	1	1
1	Wiederholung der Tätigkeitsabläufe	1	1	1	1	0
1	Bindung an den technischen Prozess	1	1	1	1	1
1	Kontakte zu Mitarbeitern	1	1	1	1	1
Arbeitsicherheit						
4	Belastung durch Schutzausrüstung	2	3	3	3	2
1	Legalanforderungen	1	1	1	1	1

	ohne Abwertung	10	20	30	40	50
Physische Belastungen						
2.5	Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	21.88%	25.00%	31.25%	15.62%	6.25%
1.5	Körperbewegung	25.9%	30.8%	19.2%	19.2%	3.8%
4.6	Lastenhandhabung	23.9%	45.5%	11.4%	17.0%	2.3%
2.8	Dynamische Muskelarbeit	23.9%	45.5%	11.4%	17.0%	2.3%
1.0	Manuelle Arbeitsprozesse	23.9%	45.5%	11.4%	17.0%	2.3%
3.0	Halts- / Übergangsstellung	23.9%	45.5%	11.4%	17.0%	2.3%
Umgebungsbedingungen						
2.0	Schallbelastung (Lärm)	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Vibrationen Ganzkörper	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Vibrationen Hand-Arm	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
2.2	Klima - hohe Temperaturen	20.0%	45.7%	14.3%	14.3%	5.7%
1.0	Klima - niedrige Temperaturen	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Klima - Wärmestrahlung	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
2.9	Zugluft	22.8%	26.1%	32.6%	16.3%	2.2%
1.0	Witterungseinfluss	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
3.2	Nassarbeit	6.9%	31.7%	39.6%	19.8%	2.0%
1.9	Arbeitsstoffe	11.7%	26.7%	33.3%	25.0%	3.3%
1.9	Schutz	22.6%	25.8%	32.3%	16.1%	3.2%
1.0	Beleuchtung	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Blendung	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
Arbeitsorganisation						
1.0	Verantwortung für andere Personen	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
2.1	Verantwortung für den Prozess	20.9%	23.9%	29.9%	22.4%	3.0%
1.47	Konzentrationsanforderungen	14.9%	17.0%	42.6%	21.3%	4.3%
1.0	Unterforderung	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Selbstraum	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Sehschärfe	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Feinmotorik	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Wiederholung der Tätigkeitsabläufe	23.3%	26.7%	33.3%	16.7%	-
1.0	Bindung an den technischen Pro.	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
1.0	Kontakte zu Mitarbeitern	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%
Arbeitsicherheit						
3.5	Belastung durch Schutzausrüstung	12.4%	35.4%	26.5%	22.1%	3.5%
1.0	Legalanforderungen	21.9%	25.0%	31.3%	15.6%	6.3%

Abb. 4.42 Vollständigkeits- und Plausibilitätscheck von Arbeitssystemen
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Werden verschiedene Tätigkeiten ortsunveränderlich durchgeführt, sollte beispielsweise die Beleuchtung nicht ohne Grund stark voneinander abweichen. Zudem können fehlende Analyseparameter durch eine blaue Markierung schnell identifiziert werden. Auch beim Instrument wirkt sich eine Optimierung der Rohdatenqualität positiv auf mehrere Aspekte aus. Mit den Methoden können beispielsweise der Umfang und die Aussagekraft der zur Verfügung stehenden Auswertungen erhöht werden. Erfahrene Anwender*innen erhalten mit diesen Werkzeugen zusätzlich auch **wirksame Ansatzpunkte für Gestaltungsmaßnahmen**.

4.1.11.4 Verknüpfungen

Mit Verknüpfungen kann das Datenmanagement im Internet sowie in Intranet und der Cloud der Organisationen erfolgen und korrespondierende Informationen einfach abgerufen werden. Es bietet sich an, Analyserohdaten und fachspezifische Hilfestellungen von und für die Anwender*innen des Instruments hier zu verknüpfen.

Von hier aus sind auch die weiterführenden Hilfestellungen zum Instrument wie das Handbuch und die Versionsinformationen mit **mehrsprachigen Fachinformationen** zum Updateverlauf der Weiterentwicklungen des Instruments verfügbar.

4.1.11.5 Administration

Mit der Benutzerverwaltung kann eine systematische Vergabe der Benutzerrechte über ein Rollenkonzept erfolgen. Eine Rolle repräsentiert dabei eine Gruppe von Rechten für den Zugriff auf Anwendungen und Lösungen des Instruments. Hierzu zählen Analysen und Auswertungen und beispielsweise auch der Zugriff auf die Benutzerverwaltung selbst. Neue Rollen können individuell erzeugt werden, um die jeweils benötigten Rechte abzubilden. Die Verwaltung der Anwender*innen erfolgt durch Administratoren, die beliebig viele Anwender*innen und Rollen anlegen können. Bei vielen Anwender*innen kann eine zusätzliche Hierarchieebene mit Hilfe von Local-Admins generiert werden. Local-Admins können Werke zugewiesen werden und diese im **Umfang der gewünschten Pflichtübertragung** durch den übergeordneten Administrator eigenständig verwalten (Abb. 4.43).

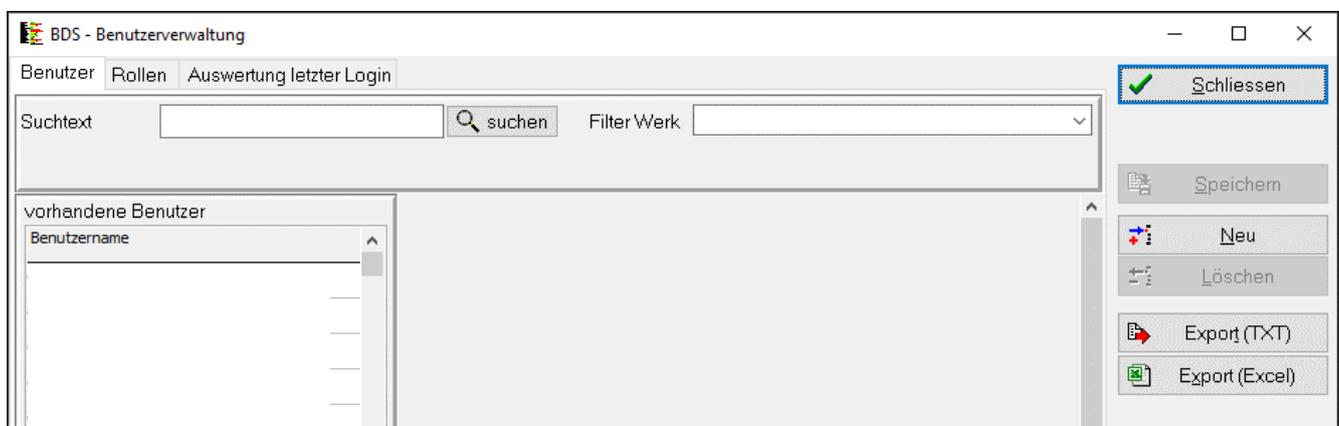


Abb. 4.43 Benutzerverwaltung
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Der **Detaillierungsgrad** beziehungsweise die Methodenebene oder Analysetiefe kann für die Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen, Mutterschutz und psychische Arbeitsbelastungen im Vorfeld festgelegt werden (Abb. 4.44).

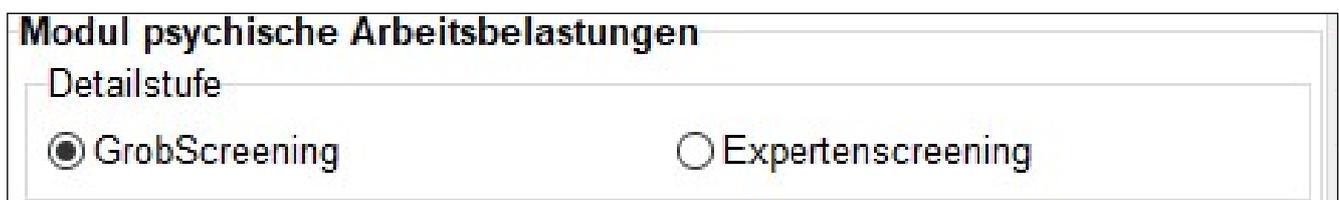


Abb. 4.44 Detaillierungsgrad-Auswahl (Methodenebene) für Fachverfahren (Ausschnitt)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Die flexiblen Maßeinheiten sollen die internationale Anwendung des Instruments unterstützen und wurden entwickelt für den **weltweiten Transfer von mitgelieferten Gefährdungsbeurteilungen**. Neben den SI-Einheiten können die in bestimmten Regionen üblicherweise verwendeten Maßeinheiten verwendet oder eigene Einstellungen gewählt werden. Letzteres ermöglicht es für alle verwendeten physikalischen Größen die gewünschte Einheit individuell festzulegen (Abb. 4.45).

Abb. 4.45 Maßeinheiten-Umwandlung von Datensätzen im Instrument
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Die Überwachung vom aktuell verwendeten und noch verfügbaren **Prozessorspeicher** wird mit Check Memory ermöglicht. Es erfolgt ein Monitoring des Gesamtspeichers, des freien Speichers, der maximalen Blocksize und des vom Instrument genutzten Prozessorspeichers (RAM), was unter anderem für Entwicklungsländer sowie für Parallel- und Cloud-Anwendungen nützlich sein kann.

Termine ermöglicht die Übersicht über wichtige Termine wie Konferenzen, Fachmessen und Gremiensitzungen wie den Arbeitsschutzausschuss.

4.1.11.6 Produktionsergonomie

Das Monitoring der Produktionsergonomie ist eine Metaanwendung (in Echtzeit), die alle vollständigen Belastungs- und Gefährdungsprofile von Organisationseinheiten zusammenführt. Dargestellt werden die Bewertungsergebnisse über alle relevanten Belastungsarten auf der 7-stufigen Bewertungsskala. Zusammen mit den Werkplänen lassen sich aussagekräftige **Standortübersichten** erstellen, aus denen Organisationsbereiche mit guter ergonomischer Gestaltung sowie Handlungsbedarf hervorgeht.

Das Monitoring der Produktionsergonomie wird über Kataster, **Erkrankungsschwerpunkte**, Informationen zum Auftreten von Grenzlastüberschreitungen sowie eine interaktive Anwendung für individuelle Datenanalysen ermöglicht.

Aus der Beurteilung der Arbeitssysteme erstellt das Instrument automatisch **Lärm-, Beleuchtungs- und Klimakataster**. Das Lärmkataster ermöglicht ein Echtzeit-Monitoring aller Arbeitssysteme, bei denen die Auslösewerte für Lärm nach der aktuellen Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung überschritten sind. Das Beleuchtungskataster ermöglicht ein Echtzeit-Monitoring aller Arbeitssysteme mit schlechten Lichtverhältnissen, ausgewiesen anhand der Diskrepanz zwischen vorgeschriebener (de jure) und tatsächlicher (de facto) Beleuchtungsstärke, basierend auf dem Arbeitsstättenrecht und den Arbeitsstättenregeln. Das Klimakataster ermöglicht ein Echtzeit-Monitoring aller Arbeitssysteme bei denen aufgrund von Klimasummenmaßen und Arbeitsenergieumsatz eine erhöhte Klimabelastung besteht.

AP-ID	G1	G2	G3	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Kennung	Arbeitsplatz	Beurteiler/in	Erhebungs-Datum	Le
164	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 2	Demo H03	Elektromotorenfertigung 1	Schulze	25.09.2013	24.0
163	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	Demo H04	Spindelantriebe 3	Schröder	24.09.2013	14.0
162	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	Demo H05	Spindelantriebe 2	Huser	24.09.2013	24.0
161	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	Demo H06	Montage von Elektromotoren 5	Huser	24.09.2013	24.0
160	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	Demo H07	Montage von Elektromotoren 4	Meier	24.09.2013	24.0
159	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	Demo H08	Montage von Elektromotoren 3	Meyer	24.09.2013	24.0
158	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 2	Demo H09	Elektromotorenfertigung 4	Meyer	25.09.2013	24.0
157	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 3	Demo H10	Zentrieren 1	Müller	25.09.2013	14.0
156	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 2	Demo H11	Montage von Elektromotoren 1	Müller	24.09.2013	24.0
155	■	■	■	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	Demo H12	Spindelantriebe 1	Huser	25.09.2013	24.0

Abb. 4.46 Identifizierung von Erkrankungsschwerpunkten

Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB; mit Demonstrationsdatensatz)

Die Erkrankungsschwerpunkte bündeln Informationen, die in den einzelnen Verfahren des Instruments zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe von Sonderauswertungen können gezielt Belastungsarten mit einem erhöhten Erkrankungsrisiko ermittelt werden. Hierbei werden alle Belastungsfaktoren ausgewiesen, die mit der Bewertungsstufe 5 oder höher bewertet wurden. Die Übersicht über alle analysierten Arbeitssysteme visualisiert die Maximalausprägungen der Belastungsarten des Kernverfahrens über die Belastungsgruppen Physische Belastungen, Umgebungsbedingungen und Arbeitsorganisation in einer Schnellübersicht. Das hilft präventiv abzuklären, ob für ein oder mehrere funktionelle Körpersysteme der Beschäftigten eine **erhöhte Überbeanspruchungswahrscheinlichkeit** vorliegt (Abb. 4.46).

Das Monitoring über das Auftreten von **Grenzlasterüberschreitungen** hilft bei der schnellen und aufwandsarmen Identifizierung der dafür verantwortlichen Tätigkeiten von Arbeitssystemen, bei denen Lasten oberhalb der empfohlenen Grenzwerte manuell von den Beschäftigten gehandhabt werden müssen. Die Identifizierung der Tätigkeiten erfolgt nach den gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Basis sind erhöhte Risiken für Überbeanspruchungen der Beschäftigten nach den Leitmerkmalmethoden. Beim Heben, Halten und Tragen von Lasten sind das nach dem aktuellen Stand der arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse Einzellasten von mehr als 40kg bei Männern und mehr als 25kg bei Frauen. Beim Ziehen und Schieben von Lasten ist das der Fall, wenn die erforderlichen Aktionskräfte leicht die maximalen Körperkräfte übersteigen können, was automatisiert in **Abhängigkeit vom verwendeten Hilfsmittel** identifiziert wird.

Mit der individuellen Datenanalyse kann ein individuelles Customizing für ein breites Anwendungsspektrum der Produktionsergonomie realisiert werden. Enthalten ist ein erweiterter Überblick über die Bewertungen aller Arbeitssysteme. Hiermit wird es ermöglicht, Arbeitssysteme nach gewünschten Belastungsgruppen und Belastungsarten zu filtern. Neben der **Auswahl nach Belastungsart und Belastungshöhe** stehen Filter über die Werkstruktur zur Verfügung. In die grafische Ergebnisdarstellung können Bewertungsfilter wie der Demografiefilter wahlweise mit einbezogen werden. Im Ergebnis werden die jeweils zutreffenden Arbeitssysteme mit der Angabe ihrer jeweiligen Werksstruktur aufgelistet. Potenziale und Argumentationsgrundlagen für die Optimierung können damit zusätzlich auch anhand der Anzahl der betroffenen Beschäftigten und des Geschlechts vorgenommen werden. Die Anwendung wird häufig als Startpunkt für eine detaillierte **Ursachenanalyse** bezüglich bestimmter Belastungsarten und deren Ursprung in einzelnen Tätigkeiten genutzt und dafür mit der Übersicht über alle Aspekte der Belastungsparameter in den Belastungsübersichten gekoppelt.

4.1.11.7 Optimierung (Projektmanagement)

Organisationen sind verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes unter Berücksichtigung der Umstände zu treffen, die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinflussen. Die Maßnahmen sind auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und erforderlichenfalls sich ändernden Gegebenheiten anzupassen. Diese Verpflichtungen richten sich direkt an den Arbeitgeber (ArbSchG §3). Das Instrument unterstützt Organisationen bei ihrem **Projektmanagement** der laufenden Gestaltungsmaßnahmen (Optimierungen).

Die **Potenzialauswertung** ist ein auf die Bedürfnisse des Industrial Engineering zugeschnittenes Optimierungstool zur ergonomischen Arbeitssystemgestaltung. In vielen Organisationen steht dem Industrial Engineering eine gute Datenbasis zu Qualität, Kosten und Kapazitäten zur Verfügung. Daten zur ergonomischen Arbeitssystemgestaltung fehlen jedoch oft und können damit auch nicht in das LEAN-Management einbezogen werden. Mit der Potenzialauswertung wird das Betrachtungsspektrum des **Industrial Engineering** um Daten zur ergonomischen Arbeitssystemgestaltung erweitert. Die Potenzialauswertung errechnet hierfür ein arbeitswissenschaftliches Ranking der Arbeitssysteme nach der Höhe der auftretenden physischen Belastung, indem die Normbewertungen aller physischen Belastungsarten miteinander verknüpft werden.

Ergebnisse der Konzeption eines neuen Dashboards (Business Intelligence)

Die Besonderheit besteht in der Flexibilität der zugrunde liegenden Einzelverfahren mit Hilfe speziell entwickelter äquivalenter Leitmerkmalmethoden-Punktwerte. Letzteres ist interessant, falls Organisationen andere Einzelverfahren im Einsatz haben oder bezüglich der Belastungsarten auf verschiedene Versionen der Leitmerkmalmethoden zurückgreifen. Insgesamt wird es Organisationen hiermit ermöglicht, organisationspezifisch die am höchsten und am niedrigsten belasteten Arbeitssysteme insgesamt und je physischer Belastungsart zu identifizieren und zu vergleichen – und das **unabhängig vom adaptierten Einzelverfahren**. Dem Industrial Engineering wird damit ein Verfahrens-übergreifendes Werkzeug zur Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen zur Verfügung gestellt (Abb. 4.47).

BDS-Stufe	1				2				3												
Körperhaltung BDS-Stufe	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
Körperhaltung Punkte für Auswertung	2,0	3,9	5,7	7,6	9,4	9,5	10,3	11,0	11,8	12,6	13,3	14,1	14,9	15,6	16,4	16,5	17,4	18,3	19,1	20,0	20
Körperbewegung BDS-Stufe	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
Körperbewegung Punkte für Auswertung	2,0	3,9	5,7	7,6	9,4	9,5	10,3	11,0	11,8	12,6	13,3	14,1	14,9	15,6	16,4	16,5	17,4	18,3	19,1	20,0	20
Lastenhandhabung Punkte nach LMM (Hilfszeile)	2 - < 9,5				9,5 - < 16,5				16,5 - < 24												
Lastenhandhabung Punkte für Auswertung	wie LMM				wie LMM				wie LMM												
Dynamische Muskelarbeit (AEU) BDS-Stufe	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
Dynamische Muskelarbeit (AEU) Punkte für Auswertung	2,0	3,9	5,7	7,6	9,4	9,5	10,3	11,0	11,8	12,6	13,3	14,1	14,9	15,6	16,4	16,5	17,4	18,3	19,1	20,0	20
MAP Punkte nach LMM (Hilfszeile)	2 - < 9,5				9,5 - < 16,5				16,5 - < 24												
MAP Punkte für Auswertung	wie LMM				wie LMM				wie LMM												
HBV BDS-Stufe	1				2				3												
HBV Punkte für Auswertung	2				13,3				20,9												
Alternativ: HBV Punkte für Auswertung (mittlerer LMM-Wert der Stufe)	5,7				12,95				20,45												
	2 - 9		10 - 16		17 - 24		25 - 39		40 - 49		50 - 84		> 85								
Beispielhafte Potenzialauswertung																					
	Eingabe: fiktives AP-Profil (ACHTUNG: Nur in dieser Spalte (gelbe Felder) ändern!)				Ausgabe: Punktwert für jedes Item zur Potenzialauswertung				Ergebnis der Potenzialauswertung: Summe der Punkte für jedes Item												
	BDS-Stufe bzw. LMM Punkte				Punkte für Auswertung je Item																
Körperhaltung (BDS-Stufe)	6,3				80,5				288,3												
Körperbewegung (BDS-Stufe)	3,6				26,2																
Lastenhandhabung (LMM-Punkte)	86,3				86,3																
dynamische Muskelarbeit (AEU) (BDS-Stufe)	2,4				16,4																
MAP (LMM-Punkte)	34,5				34,5																
HBV (BDS-Stufe)	5				44,5																

Abb. 4.47 Verfahrensübergreifende Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen
In der Abbildung: Serafin-Verrechnungsprototyp

Erweiterte Export- und Druckfunktionen stehen für die **Planung der Optimierungsprojekte** in Abstimmungs- und Besprechungsterminen zur Verfügung.

Mit der entwickelten Summenfunktion können Arbeitssysteme mit dem höchsten Gesamtranking identifiziert werden. Für alle kritischen Arbeitssysteme kann jeweils die physische Belastungsart mit der höchsten Bewertung identifiziert werden und damit Optimierungsansätze identifiziert werden. Anschließend können Problemstellungen bis auf die Ebene der Tätigkeiten nachvollzogen werden.

Die Potenzialauswertung wurde bereits für die neue 2019er-Generation der überarbeitenden und neuen Leitmerkmalmethoden vorbereitet.

Die Initiierung und Dokumentation von betrieblichen Optimierungsprojekten erfolgt durch vorgangsbezogene Zuweisung von Gestaltungsmaßnahmen sowie gleichzeitige Festlegung von Verantwortlichkeiten (Betroffene, Verantwortliche, Ausführende) und von Fristen und Gestaltungszielen. Die im Instrument enthaltenen Einzelverfahren, Belastungsübersichten und Informationen zur Arbeitsgestaltung (Informationsfelder) liefern hierfür konkrete Hinweise zu Optimierungspotenzialen. Die Wirksamkeitsüberprüfung kann ebenfalls durch Festlegung von **Verantwortlichkeiten und Fristen** sowie durch Dokumentation der Ergebnisse und des Abnahmestatus organisiert, eskaliert und dokumentiert werden (Abb. 4.48).

Abb. 4.48 Initiierung von Optimierungsprojekten inkl. automatischer Kennung-Generierung
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Das **Monitoring**, die Auswertung sowie Erinnerungsfunktionen im Verzögerungsfall werden durch Listenübersicht, automatische E-Mail-Benachrichtigungen und Wiedervorlage im System direkt beim Programmstart vor dem Erreichen des Dashboards gewährleistet. So erfolgen automatisierte Benachrichtigungen bei Überfälligkeit von Maßnahmen und fehlender Durchführung der Wirksamkeitsüberprüfung. Eine **Maßnahmenübersicht** liefert einen Gesamtüberblick über alle Maßnahmen der Organisationseinheit (Abb. 4.49).

Kennung	Arbeitsplatz	Maßnahme	Arbeitsvorgang (Kennung)
1145556	Sonnenschutz bei geschweißten VGS4	Änderung der Leiterschleife "mani	2
1145556			1
1			7
1			2
2			2
3			9
61231/C			3
61231/02			3b

Abb. 4.49 Übersicht über aktuelle Optimierungsprojekte in der Organisationseinheit
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

4.1.11.8 Erfolge

Im Themenbereich Erfolge kann der **Implementierungsfortschritt** zum Instrument in der eigenen Organisationseinheit überwacht werden. Hiermit kann nachverfolgt werden, inwieweit die strukturellen Voraussetzungen zur Anwendung des Instruments ausgeprägt sind und die Sicherheits- und Gesundheitskultur sich weiterentwickelt hat. Hierzu zählt insbesondere auch, inwieweit fachthematische Audits hierzu erfolgen, inwieweit an firmeninternen Netzwerken teilgenommen wird, inwieweit Qualifizierungen und Beurteilungen durchgeführt wurden und ob das Werk bereits **interne Zertifikate** erworben und eventuell darüber hinaus auch interne und **externe Auszeichnungen** erworben werden konnten.

Auch der Themenbereich Erfolge bietet sich für ein individuelles Customizing nach den Bedürfnissen der Organisation an. Als Hilfestellung sind zu mehreren Themengebieten neue Kennzahlen zur Quantifizierung der eigenen **Erfolge** entwickelt worden (Tab. 4.32).

Tab. 4.32 Neu entwickeltes Kennzahlensystem zum aktuellen Implementierungserfolg

Themengebiet	Kennzahlen / Aussage
Audit	Wie viele Audits sind erfolgt? Wie viele Queraudits sind erfolgt?
Aufbaustruktur	Wie viele Ergonomie-Teams gibt es? Wer ist beteiligt? Wie viele Spezialisten können mit dem Instrument optimieren?
Netzwerk und Wettbewerbe	An wie vielen Netzwerktreffen wurde teilgenommen? Wie viele Auszeichnungen / Awards wurden gewonnen?
Beurteilungstiefe	Wie hoch ist der Anteil fertig gestellter Beurteilungen? Für welchen Anteil der Beschäftigten gelten diese Beurteilungen?
Qualifizierung	Wie viele Fachleute wurden geschult? Wie viele Werke wurden geschult? Wie viele Grundlagenseminare wurden durchgeführt? Wie viele Spezialseminare wurden durchgeführt?
Zertifikat	Hat das Werk Silber, Gold oder Platin-Standard? Wie schneidet das Werk im Konzernverbund ab? <i>Präsentation: z.B. als gerahmtes Bild / ggf. Poster im Eingangsbereich- /Kundenempfang/Treppenhaus als konkreter Nachweis für die Umsetzung der Unternehmenswerte/-kultur</i>
...	...

4.1.11.9 Inklusion

Die interaktiven Belastungs- und Gefährdungsprofile enthalten eine grafische Übersicht über die 7-stufigen Bewertungsergebnisse aller Belastungsarten (Abb. 4.50).

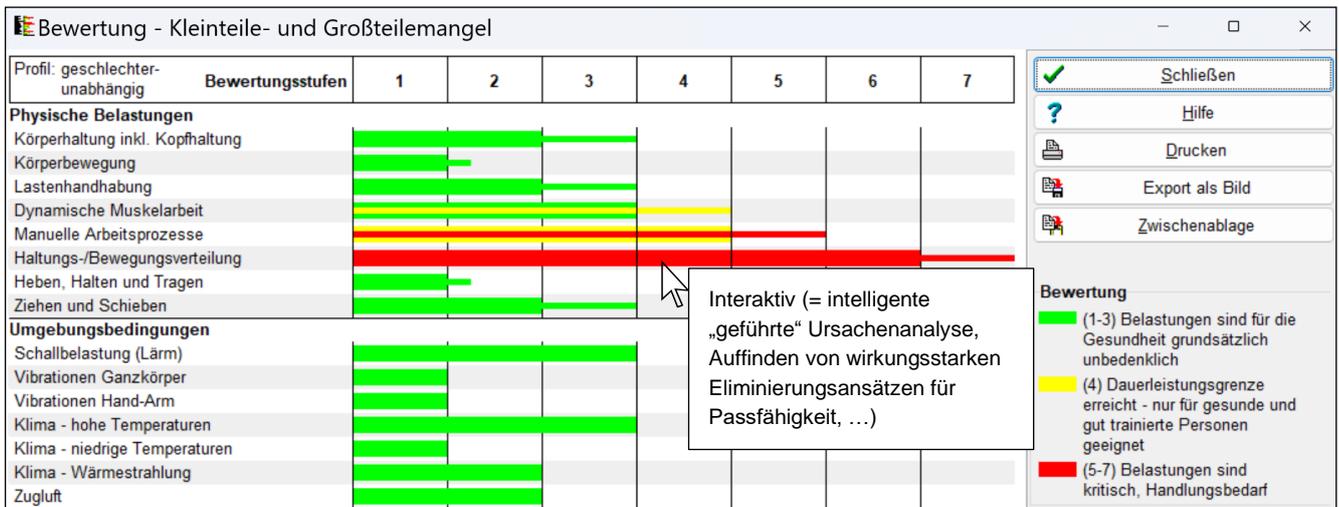


Abb. 4.50 Belastungs- und Gefährdungsprofil für Inklusion (Ausschnitt)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Das **professionelle Anforderungsprofil** ergänzt das Arbeitssystemprofil um visuelle und numerische Aspekte der Belastungsarten, aus denen auch die Wirkweise der Belastungen auf die Zielorgane der Beschäftigten ermittelt werden kann (Abb. 4.51).

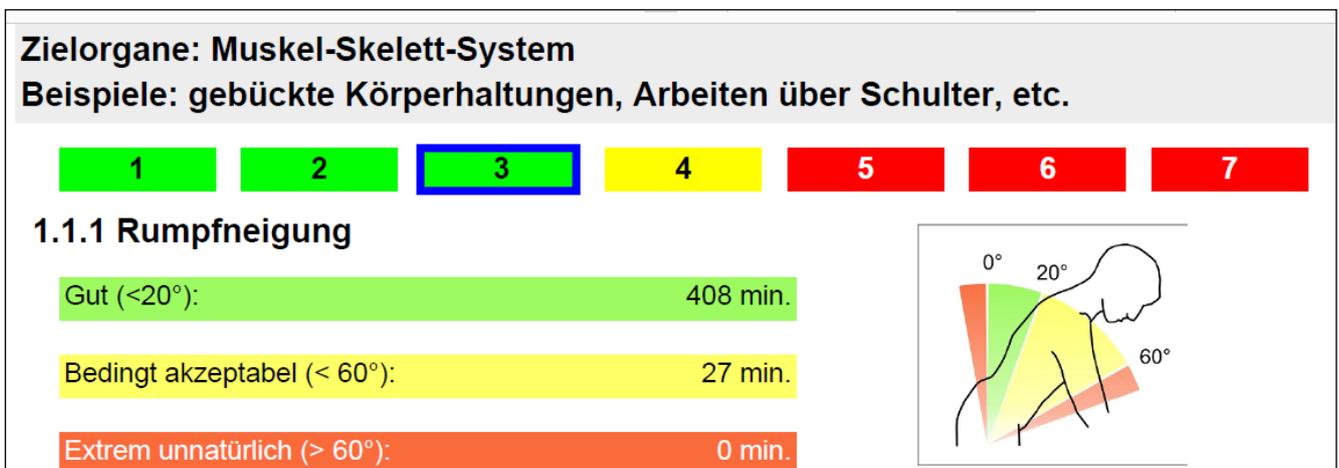


Abb. 4.51 Professionelles Anforderungsprofil für Inklusion (Ausschnitt)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Die detaillierte Datenanalyse ermöglicht das Management anspruchsvoller Eingliederungsfälle bei Einschränkung mehrerer Organsysteme, indem komplexe Verknüpfungen von Ausschlusskriterien festgelegt werden können.

Ergebnisse der Konzeption eines neuen Dashboards (Business Intelligence)

Mit der **Matching-Schnittstelle** können die von den Betriebsärzten oder der Rehabilitationseinrichtung zur Verfügung gestellten Leistungsprofile der Beschäftigten anonym integriert und in zulässige Bewertungsstufen umgewandelt werden. Mit detaillierter Anwendung transferiert die Matching-Schnittstelle auch die aus der Sportwissenschaft bekannte Belastungssteuerung in das Berufsleben (Abb. 4.52).

Arbeitsplatz Kennung	Arbeitsplatz	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Zahl der Mitarbeiter	Geschlecht (gemäß Erfassung)	Geschlecht (gemäß Auswahlkriterium)	Körperhaltung	Körperbewegung	Lastenhandhabung	Dynamische Muskelarbeit	Manuelle Arbeitsprozesse	Haltungs-/Bewegungsverteilung	Schallbelastung (Lärm)	Vibrationen Ganzkörper	Vibrationen Hand-Arm	Klima - hohe Temperaturen	Klima - niedrige Temperaturen	Klima - Wärmestrahlung	Zugluft	Witterungsanfälligkeit	
ausgewählte maximale BDS-Stufe								2														
Anzahl ausgewählter individueller Kriterien																						
Demo H07	Montage von Elektromotoren 4	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	8,00	m/w	w	2	1	4	3	4	3	3	1	1	3	1	1	2	1	
Demo H11	Montage von Elektromotoren 1	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 2	8,00	m/w	w	2	1	3	3	4	4	3	1	1	3	1	1	2	1	
Demo H14	Statorfertigung 2	Elektromotoren	Vorfertigung	Wickelei	6,00	m/w	w	2	1	1	3	4	4	3	1	1	3	1	1	2	1	
Demo H10	Zentrieren 1	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 3	1,00	m	w	2	1	3	3	4	4	1	1	2	1	1	2	1	1	
Demo H08	Montage von Elektromotoren 3	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	8,00	m/w	w	2	1	3	3	4	4	3	1	1	3	1	1	2	1	
Demo H06	Montage von Elektromotoren 5	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	8,00	m/w	w	2	1	3	3	4	4	3	1	1	3	1	1	2	1	
Demo H05	Spindelantriebe 2	Elektromotoren	Endmontage	Montagelinie 1	3,00	m/w	w	2	1	3	3	4	4	3	1	1	4	1	1	1	1	
Demo T04	Kleinteile- und Großsteilmangel	Wascherei A	Reinbereich		6,00	m/w	w	2	1	2	3	4	4	3	1	1	3	1	2	2	3	
Demo T05	Kittel	Wascherei A	Reinbereich		3,00	m/w	w	2	1	1	3	4	4	2	1	1	3	1	2	2	2	
Demo T18	Kittel	Wascherei B	Reinbereich		3,00	m/w	w	2	1	1	3	4	4	2	1	1	3	1	2	2	2	
Demo T14	Aufbügeln am Tunnelfinisher	Wascherei B	Reinbereich		3,00	w	w	2	1	2	3	3	2	2	1	1	3	1	2	2	4	

Abb. 4.52 Anonymes Matching und Belastungssteuerung (Ergebnisdarstellung)
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB; Demonstrationsdatensatz)

Die **Umbaupotenziale** wurden als KI-fähige Anwendung speziell für Einheiten von Organisationen entwickelt, die aufgrund ihrer aktuellen Belastungssituation über keine geeigneten Arbeitssysteme verfügen. In diesem Fall ist von größeren Organisationen die Ausgleichsabgabe nach SGB IX (2016) zu zahlen. Die Anwendung Umbaupotenziale hilft dabei, die Ausgleichsabgabe in die Modernisierung der eigenen Organisation zu investieren. Hierzu kann die Anwendung automatisch den gesamten Fachdatenbestand der Organisation scannen und mit den individuell auftretenden Einschränkungen verknüpfen. Bei umfangreichen Datensätzen mit mehreren tausend Arbeitssystemen werden so auch aus **Millionen von möglichen Kombinationen** intelligent diejenigen Arbeitssysteme identifiziert, die das benötigte Belastungsniveau nur möglichst knapp verfehlen. Die zugelassenen Spannweiten (10%, 20% und 30%) können hierfür individuell festgelegt werden (Abb. 4.53).

Abb. 4.53 Intelligente Identifizierung sinnvoller Investitionsvorhaben
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Mit der Übersicht über alle Leichtarbeitsplätze identifiziert das Instrument alle Arbeitssysteme, bei denen die Belastungshöhe aller physischen Belastungsfaktoren unterhalb der Akzeptanzschwelle liegt. Diese Arbeitssysteme eignen sich in der Regel für die **Eingliederung** von Beschäftigten mit Muskel-Skelett-Beschwerden besonders gut.

4.1.11.10 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Das Monitoring der arbeitsmedizinischen **Angebots- und Pflichtvorsorge** ermöglicht eine auf den Ergebnissen der Belastungsbewertung aufbauende Prävention zum Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit. Das Monitoring erstreckt sich über die fünf Belastungsgruppen und Belastungsarten Erhöhte körperliche Belastungen, Lärm, Vibrationen, Hitzebelastung, Feuchtarbeit und Atemschutz (Abb. 4.54).

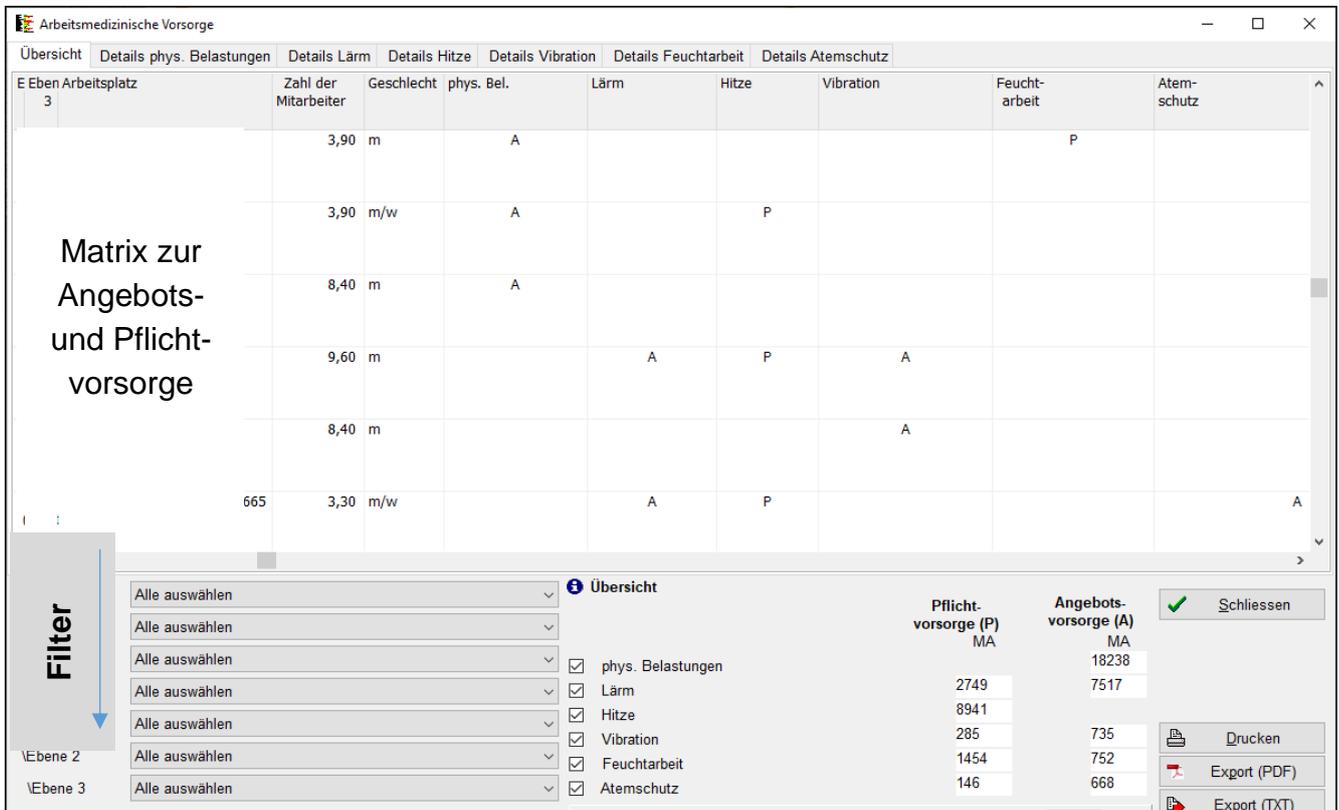


Abb. 4.54 Monitoring der arbeitsmedizinischen Angebots- und Pflichtvorsorge

4.1.11.11 Mutterschutz

Mit der Anwendung Mutterschutz kann geprüft werden, ob die Vorschriften des Mutterschutzgesetzes eingehalten werden. Es kann beurteilt werden, ob Frauen ihre beruflichen Tätigkeiten während der Schwangerschaft ohne Gefährdung ihrer Gesundheit und ihrer Kinder fortsetzen können. Ermittelt werden können **geeignete Arbeitssysteme für schwangere und stillende Frauen** (Abb. 4.55)

Gefährdungen	Schwangere Frauen	Stillende Frauen
<input type="checkbox"/> Physische Belastungen	3	
Heben, Tragen, Bewegen oder Befördern von Lasten		
Ständiges Stehen, länger als 4 Stunden täglich		
Strecken, Beugen, Hocken, Bücken oder sonstige Zwangshaltungen		
Erhöhung des Drucks im Bauchraum insbesondere bei besonderer Fußbeanspruc...		
Unverantwortbare Gefährdung durch Beschäftigung auf Fahrzeugen		

Abb. 4.55 Eignung von Arbeitssystemen für schwangere und stillende Frauen (Ausschnitt)

4.1.11.12 Kennzahlensystem

Das Instrument stellt Organisationen ein Kennzahlensystem zur Verfügung. Es hilft bei der praktischen Umsetzung ihrer Visionen auf der Grundlage einer evidenzbasierten Umsetzungsstrategie. Das Kennzahlensystem dient hierbei als Entscheidungsgrundlage für die Festlegung von weitergehenden Optimierungsbedarf sowie der Überwachung der Optimierungserfolge auf der Basis von aussagekräftigen Kennzahlen. Ermöglicht wird ein kontinuierliches Monitoring der bisherigen Zielerreichung. Damit werden zu jedem Zeitpunkt die notwendigen Soll-Ist-Abgleiche möglich. Organisationsübergreifend kann das Kennzahlensystem zur **Harmonisierung und Koordinierung** von und zwischen verschiedenen Organisationseinheiten (Standorte, Werke, Abteilungen) genutzt werden.

Mit einer demografiefesten Personalpolitik sollen die Gesundheit, Kompetenz und Motivation der älteren Beschäftigten erhalten werden, deren Fachwissen und Erfahrungen länger zur Verfügung stehen und die Chancen älterer Bewerber*innen bei der Einstellung erhöht werden. Hierzu sind altersgerechte Arbeitsbedingungen erforderlich, die mit den Kennzahlen zur Demografie und Altersstabilität überwacht werden können. Diese streben eine altersgerechte Arbeitsgestaltung an, bei der die Beschäftigungsmöglichkeiten für Ältere gemäß der Anzahl der älteren Beschäftigten in den Organisationseinheiten (Altersstrukturanalyse) an deren Leistungsvermögen angepasst werden und die **Altersstabilitätsrate** nach eigenem Bedarf festgelegt wird. Hiermit kann betrachtet werden, welche relevanten Organisationsbereiche von einer Überalterung bedroht sind. Die Demografieauswertung gibt Auskunft über die in den Organisationsbereichen zur Verfügung stehende Anzahl an altersstabilen Arbeitssystemen und deren Beschäftigtenanzahl. Hieraus wird der Anteil an altersstabilen Arbeitsplätzen ermittelt, was die Grundlage für die Ermittlung der Altersstabilitätsrate als Gesamt-Kennzahl (KPI) und wahlweise bis in die untersten Organisationseinheiten hinein bildet. Die Altersstabilitätsrate gibt hierzu Auskunft über den Beschäftigtenanteil, der an altersstabilen Arbeitssystemen eingesetzt werden kann und ermöglicht die Verfolgung der Entwicklung der ergonomisch altersstabilen Arbeitssystemqualität in Form der Verbreitung altersstabiler Arbeitssysteme. Dies bildet in Verbindung mit der Altersstrukturanalyse der Organisation ein weiteres Werkzeug zur Festlegung des Handlungsbedarfs im Hinblick auf den Demografischen Wandel und die damit einhergehenden Problemstellungen.

Die Kennzahlen werden unter Berücksichtigung der **Demografiefilter** (BDS 5) ermittelt und umfassen die physischen Belastungen Körper- und Kopfhaltung, Körperbewegung, Lastenhandhabung, Dynamische Muskelarbeit, Manuelle Arbeitsprozesse und Haltungs-Bewegungs-Verteilung in Verbindung mit der Einbeziehung aller Arbeitssysteme einer oder mehrerer ausgewählter Organisationseinheiten durch Verknüpfung der nicht altersstabilen Arbeitssystem- und Beschäftigtenanzahl mit der Gesamtanzahl der Beschäftigten. Generell wird die Altersstabilitätsrate immer auch für den gesamten Datenbestand berechnet. Darüber hinaus ist eine zusätzliche Verknüpfung von Alter und Geschlechts-Stabilität ebenfalls möglich und können für weitergehende Betrachtungen in tabellarischer Form für Arbeitssysteme die Belastungsarten mit demografischer Relevanz gesondert ausgewertet werden. Für alle Arbeitssysteme werden die Altersstabilität der Arbeitssysteme und etwaige verfehlte demografische Kriterien ausgewiesen. Hierbei wird zwischen physischen Belastungsarten und Belastungsarten mit leistungsbegrenzenden Kriterien unterschieden.

Aufbauend auf der altersgerechten Arbeitsgestaltung streben viele Organisationen auch eine alternsgerechte Arbeitsgestaltung an. Hierbei geht es um die gleichrangige Gesunderhaltung von jungen Beschäftigten über ein gesamtes Erwerbsleben durch Gewährleistung von Belastungshöhen unterhalb der Dauerleistungsgrenze (Filter Normperson). Um dieses Ziel zu erreichen, steht die Physische Belastungsrate zur Verfügung, die über langfristige Sicht kontinuierlich gesenkt wird, um sukzessive der Vision Physische Belastungsrate = 0 näher zu kommen. Die Physische Belastungsrate ermöglicht hierzu die Verfolgung der Entwicklung der ergonomischen Arbeitssystemqualität in Organisationseinheiten im Verlauf (Tage, Monate, Jahre). Sie gibt einen Überblick über die **(Gesamt-)Wahrscheinlichkeit von Outcomes** (Beschwerden, Erkrankungen, dauerhafter Ausfall) in Organisationseinheiten. Unter Einbeziehung aller Arbeitssysteme einer oder mehrerer Organisationseinheiten erfolgt hierfür eine Verknüpfung der Physischen Belastungsarten mit der Gesamtanzahl der Beschäftigten. Hiermit wird die Zielfestlegung und -verfolgung zur sukzessiven Verringerung der Anzahl der Beschäftigten, die an Arbeitsplätzen mit physischer Überbelastung arbeiten, ermöglicht. Eine konkrete Zielstellung könnte beispielsweise eine Verringerung von 20 Prozent innerhalb der den nächsten fünf Jahre sein (Abb. 4.56).

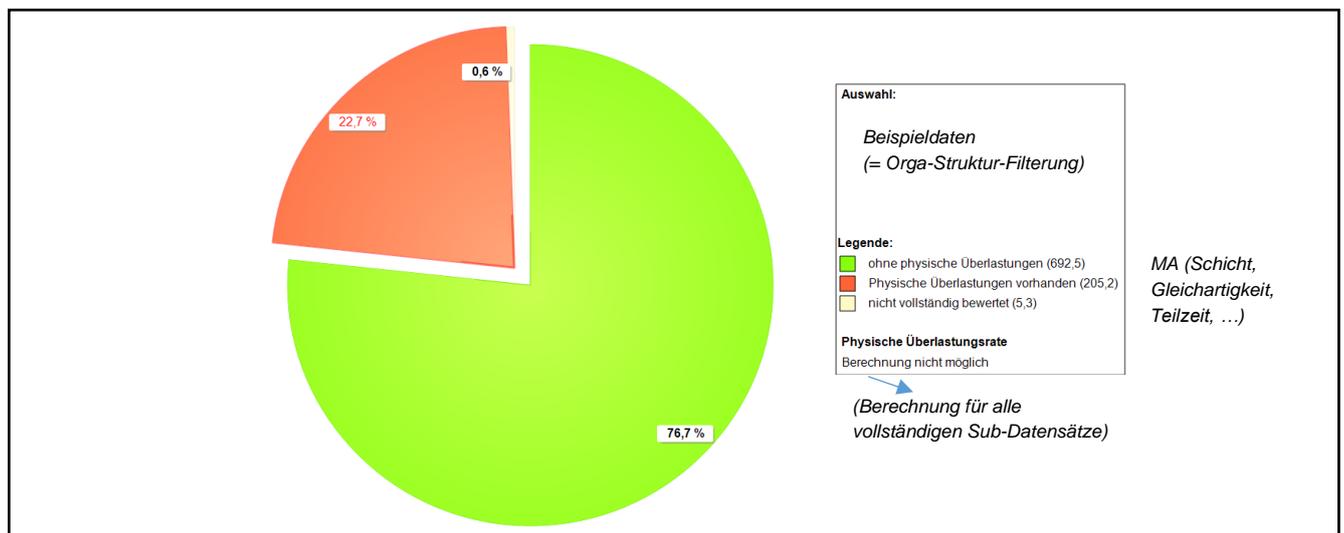


Abb. 4.56 Statusdarstellung von Kennzahlen im BDS-Instrument (Quelle: GEWITEB)

Der Physischen Belastungsrate liegt der **physische Belastungsfaktor** zu Grunde. Der physische Belastungsfaktor ist ein Kennwert, der ein Arbeitssystem charakterisiert. Mit dem physischen Belastungsfaktor wird die Maßnahmenpriorisierung in Abhängigkeit zu erwartender Überbeanspruchungsfolgen in Organisationseinheiten ermöglicht. Unter Einbeziehung aller physischen Belastungsarten (Körperhaltung, Körperbewegung, Lastenhandhabung, Dynamische Muskelarbeit, Manuelle Arbeitsprozesse, Haltungsbewegungs-Verteilung) erfolgt eine gemeinsame Betrachtung der resultierenden Überbelastungshöhe eines Arbeitssystems mit der Anzahl der in diesem Arbeitssystem arbeitenden Beschäftigten. Die physische Belastungsrate setzt sich aus der Summe der physischen Überbelastungen pro Arbeitsplatz multipliziert mit dem Verhältnis aus der Anzahl der jeweils betroffenen Beschäftigten und der Anzahl aller Beschäftigten zusammen. Die physische Belastungsrate kann damit Werte von 0 (nicht vorhanden) bis 18 (höchste Belastungsrate) einnehmen und wird in der Regel Organisations-spezifisch verwendet, da die Interpretation in Bezug auf die Gesamtanzahl einer Organisationseinheit erfolgt.

Der **psychische Belastungsfaktor** ist ein Kennwert für ein Arbeitssystem, der die Maßnahmenpriorisierung in Abhängigkeit der Höhe der Wahrscheinlichkeit psychischer Überbelastungsfolgen (Beschwerden, Erkrankungen, dauerhafter Ausfall) in Organisationseinheiten ermöglicht. Unter Einbeziehung der psychischen Belastungsarten Wiederholung der Tätigkeitsabläufe Bindung an den technischen Prozess, Verantwortung für andere Personen, Verantwortung für den Prozess, Konzentrationsanforderungen, Belastung durch Unterforderung, Kontakte zu Mitarbeitern und der Umgebungsbedingungen Schallbelastung (Lärm), Vibration, Arbeitsstoffe, Wärmestrahlung, Witterungseinfluss, Nassarbeit, Schmutz, Beleuchtung und Blendung erfolgt eine Verknüpfung der Überlastungshöhe eines Arbeitssystems mit der Anzahl der in diesem Arbeitssystem arbeitenden Beschäftigten.

Für Organisationen mit mehr als einem Werkstandort wird mit der **Metaauswertung** eine neue Auswertungsform der Echtzeit-Transparenz ermöglicht. Hierzu kann auf die wichtigsten Leistungskennzahlen der Produktionsergonomie, das heißt auf mehrere Key-Performance-Indicators (KPIs) zugegriffen werden (Abb. 4.57).

	Zahl der Mitarbeiter	Zahl der Mitarbeiter NICHT vollständig bewertet	MA Altersstabil ja	Altersstabilitätsfaktor ja	MA Altersstabil nein	Altersstabilitätsfaktor nein	Zahl der Mitarbeiter NICHT vollständig bewertet physisch	Mitarbeiter mit Überbelastungen	Anteil Mitarbeiter mit Gefährdungen	Physische Überlastungsrate	Mitarbeiter mit Grenzlasterüberschreitung	Anteil Mitarbeiter an Arbeitsplätzen mit Grenzlasterüberschreitung
interrace (HMI)	120,0	0,0	12,0	0,100	108,0	0,900	0	64,0	53,3 %	1,13	36,0	30,0 %
	1,1	0,0	0,0	0,000	1,1	1,000	0	1,1	100,0 %	2,00	0,0	0,0 %
	60,6	29,4	0,0	0,000	31,2	0,515	0	60,6	100,0 %	4,54	0,0	0,0 %
	313,6	0,0	241,5	0,770	72,1	0,230	0	6,3	2,0 %	0,03	0,0	0,0 %
	7,8	0,0	7,8	1,000	0,0	0,000	0	0,0	0,0 %	0,00	0,0	0,0 %
	54,3	0,0	7,5	0,138	46,8	0,862	0	0,0	0,0 %	0,00	0,0	0,0 %
	42,7	0,0	0,0	0,000	42,7	1,000	0	0,0	0,0 %	0,00	0,0	0,0 %

Abb. 4.57 Metaauswertung von Kennzahlen zur detaillierten Auswertung des aktuellen Gestaltungszustands (Echtzeit-Transparenz)
 Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB; Beispieldatensatz)

Damit steht eine weitere Möglichkeit zur Organisations-übergreifenden **Priorisierung von Optimierungsmaßnahmen** zur Verfügung. Angefangen von der Zahl der Beschäftigten, über den Anteil nicht vollständiger Beurteilungen, sind hierzu unter anderem Informationen integriert worden zu den Altersstabilitätsraten, zu Überlastungen, zum Anteil der Beschäftigten, die Gefahren ausgesetzt sind sowie zum Anteil der Beschäftigten, die Tätigkeiten mit Grenzlasterüberschreitungen ausüben müssen.

Die Metaauswertung kann **im zeitlichen Verlauf** erfolgen. Die gewünschten Verlaufs-inhalte und die Visualisierungsart können hierbei individuell festgelegt werden. Alle Funktionalitäten sind mit Exportmöglichkeiten versehen. Damit können die Verlaufsdaten auch in andere Plattformen wie Microsoft Power BI und Microsoft Office integriert werden (Abb. 4.58).

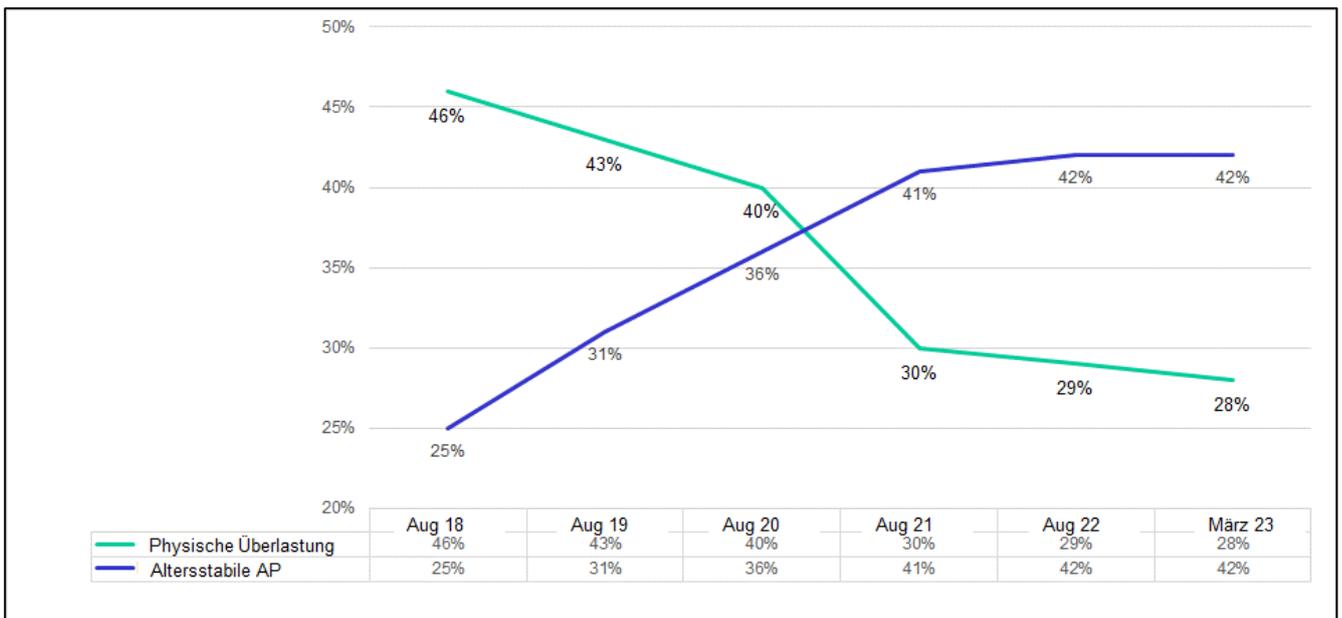


Abb. 4.58 Metaauswertung von Kennzahlen zur vergleichenden Betrachtung der zeitlichen Entwicklung des Gestaltungszustands (Verlaufs-Transparenz; Beispieldaten)
Quelle: BDS-Foliensatz (GEWITEB)

Die **Archivierung** ermöglicht eine Datensicherung aller Kennzahlen aller Organisationseinheiten, die über mindestens ein Arbeitssystem auf der Ebene des produktiven Datensatzes verfügen, zu einem festgelegten Zeitpunkt. Anschließend kann der Status der Kennzahlen zu diesem Zeitpunkt jederzeit später wieder aufgerufen und eingesehen werden. Damit wird es ermöglicht, individuelle Zeitspannen für Verlaufs-darstellungen oder interessante Ereignisse wie die **Errichtung einer neuen Werkhalle** oder der Produktionsstart mit neuen Produktionslinien festzulegen, zu denen dann fachlich sinnvolle Abfragepunkte für die spätere Daten-Interpretation gesetzt werden.

4.1.12 Zusammenführung der Weiterentwicklungen zum BDS 10.0

Nachhaltiges Wachstum erfordert interdisziplinäre Optimierungsprozesse. Hierfür vernetzt das Instrument die Fach- und Methodenkompetenz mehrerer angewandter Wissenschaftsdisziplinen wie der Anthropometrie, Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie, Arbeitswissenschaft, Biomechanik, Ergonomie und Sicherheitswissenschaft.

Damit lassen sich die Beschaffenheit von Produkten (Anlagen, Maschinen, Betriebsmittel) sicher und ergonomisch gestalten, **Arbeitsbedingungen und Effizienz der Arbeitswelt** (Baustellen, Handwerk, Fertigung, Produktion) optimieren, um damit Kosten und Risiken (Abwesenheit, Audit-Abweichungen, Ausfallkosten, Sicherheits- und Gesundheitsgefahren, Rechtsverstöße etc.) zu minimieren.

Das Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung ermöglicht die ganzheitliche Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Produkten und Arbeitsbedingungen. Die **Körperstrukturen und Systeme des Menschen** werden in vier Belastungsgruppen abgebildet und mit der Fokussierung auf 31 Belastungsarten mit hoher Wirkungsstärke wird Verfahrensökonomie sichergestellt. In Abhängigkeit der erforderlichen Genauigkeit ist die Analyse auf Tätigkeits- oder Arbeitssystem-Ebene und mit oder ohne technische Messung sowie der Zugriff auf vier Bewertungsfilter möglich (Abb. 4.59).

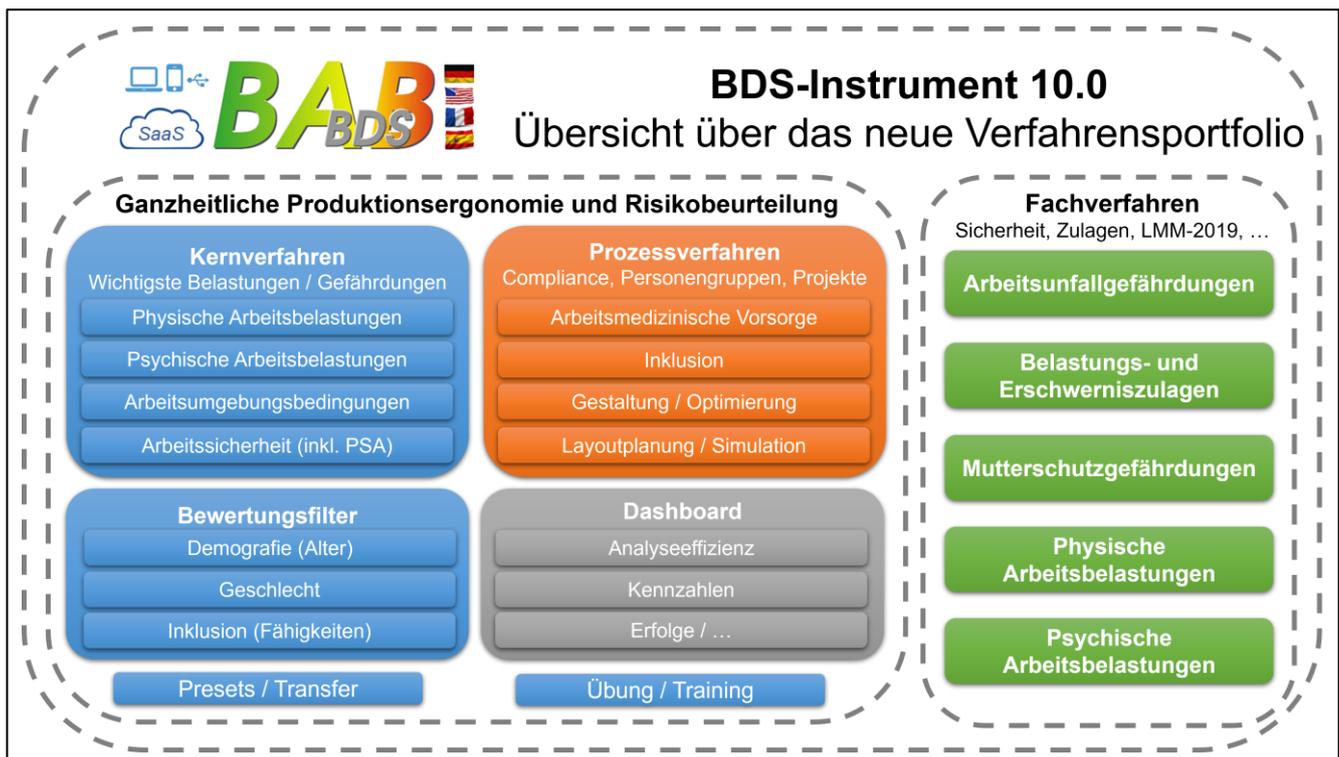


Abb. 4.59 Wissenschaftliches Verfahrensportfolio im zukünftigen Instrument v10.0

Mit der Dissertation wurden vier neue Fachverfahren und vier neue Prozessverfahren entwickelt, die anschließend von der Softwareentwicklung in das Instrument integriert worden sind. Für die sich hieran anschließende Weiterentwicklung stehen mit der Dissertation auch neue Konzepte (Atenschutz, Bewertungsmodelle und -filter, Dashboard etc.) zur Verfügung.

Zusammen mit dem von den Wissenschaftler*innen entwickelten Fachverfahren Physische Arbeitsbelastungen, das den wissenschaftlichen Entwicklungsstand bei den physischen Belastungen (MEGAPHYS; BAuA, 20019) abbildet, ergibt sich ein **erweitertes wissenschaftliches Verfahrensportfolio**.

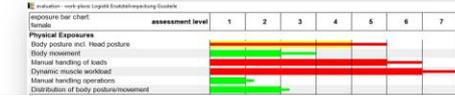
Mit den **vier Bewertungsfilttern** Normperson, Geschlecht, Demografie (Alter) und Inklusion (Fähigkeiten) wird die Beanspruchung von gesunden und besonders schutzbedürftigen Beschäftigtengruppen ausgewiesen. Im Dashboard werden die wichtigsten Funktionalitäten (Kennzahlen, Verlaufsstatistik, Reporting) für die Optimierungsprozesse zusammengeführt. Die verschiedenen Sprach- und Maßeinheitensysteme dienen der internationalen Anwendung. Risiko- und Gefährdungsbeurteilungen können weltweit einheitlich erstellt und geteilt werden. Die klassische, auf Haus-eigenen Servern und die dezentrale Implementierung in der Cloud ermöglicht die flexible IT-Architektur. Die Belastungs- und Gefährdungsprofile werden automatisch erstellt und können im Instrument interaktiv genutzt werden. Die Förderung der **Zusammenarbeit der betrieblichen Akteure** und konsequente Durchführung der Optimierungsprojekte wird von den Prozessverfahren unterstützt (Abb. 4.60).

BDS-Instrument: ganzheitlich, digital, cloudbasiert, modular, mehrsprachig



Anwendungen und Lösungen für das Industrial Engineering und die betrieblichen Akteure

Belastungsprofile



Optimierung & Simulation



Statistiken, KPIs, Reports, Expertenanalysen, Kataster



Abb. 4.60 Cloud- und Mehrsprachfunktionen für internationale Anwendung des Instruments
Quelle: Foliensatz der GEWITEB zum BDS-Instrument

Der Wissenstransfer (Methodenkompetenz, Erfahrungswissen etc.) erfolgt mehrstufig und unterstützt die Analyse, Beurteilung und Gestaltung nach persönlichem Bedarf. Die arbeitswissenschaftlichen Einzelverfahren enthalten erste Optimierungsansätze. Diese werden Kontext-abhängig ergänzt mit praxisbewährten Lösungen und betrieblichen Beispielen. Besonders effektive Ansätze (deutliche Belastungsreduktion etc.) können mit den Kalkulatoren identifiziert werden. Individuelle Verweise auf weitere Methoden (Personalabteilung, Einkauf etc.) und weiterführende Hilfestellungen können über Verknüpfungen erfolgen. Praktische Übungen und vertiefende Spezialisten-Fachthemen werden in den interaktiven Seminaren durchgeführt und vermittelt.

Zusammenführung der Weiterentwicklungen zum BDS 10.0

Mit dem im BDS-Instrument integrierten mehrstufigen Wissenstransfer wird eine hohe **Rohdatenqualität bei hoher Analyseeffizienz** ermöglicht (Abb. 4.61).

Mehrstufiger Wissenstransfer mit Integration der wichtigsten Informationen für die Analysephase:

1. Analyse nach arb.-wiss. Verfahren
2. Kontextsensitive Informationen
3. Belastungsparameter-Kalkulatoren
4. Verlinkung (z. B. Firmen-Intranet)
5. Experten-Seminare (Übungen)

Abb. 4.61 Mehrstufiger Wissenstransfer für hohe Rohdatenqualität und Analyseeffizienz
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Die Analyse erfolgt hierbei Schritt-für-Schritt mit zur Verfügung stehenden weitergehenden Hilfestellungen, realisiert über Kontext-abhängige Informationen (Abb. 4.62).

Abb. 4.62 Kontextsensitive Hilfestellungen für die Schritt-für-Schritt-Analyse
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

Das Vorgehen wurde beibehalten bei den neuen Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen, Belastungs- und Erschwerniszulagen, Mutterschutzgefährdungen und Psychische Arbeitsbelastungen. Damit kann nun ein verstärkter Fokus gelegt werden auf die Analyse der Arbeitsunfallgefährdungen (Gefährdungskatalog), neue Vorgaben zum Mutterschutz, Gemeinsame Erklärungen der Sozialpartner bei psychischen Arbeitsbelastungen sowie die Ermittlung von Belastungs- und Erschwerniszulagen nach aktuellen arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen (Belästigung, Tarifrecht, Betriebsvereinbarungen etc.).

Das gilt auch für die Vereinfachungen, die mit der digitalen Arbeitsweise des Instruments einhergehen wie die Datenbanken für Schulungen, Simulation, Transfer, Vorlagen etc. sowie für Vereinfachungen beim Handling (Kopieren, Duplizieren, Schnell-Änderungs-Modus etc.). Damit können nun auch **Zykluszeiten und Stückzahlen in Montagelinien** einfacher und schneller auf einer übergeordneten Ebene aktualisiert werden (Abb. 4.63).

16,12	77,40	0,43	180	MA
31,12	149,40	0,83	180	MA
12,00	57,60	0,32	180	MA
5,62	27,00	0,15	180	MA
11,25	54,00	0,30	180	HH

Übersicht über die Belastungsabschnitte

Export (TXT)

Export (Excel)

Arbeitsvorgang

Beschreibung

Belastung

Vorgang drucken

Maßnahmen

Übersicht

Anteilige Bewertung

Anmerkungen zum Arbeitsvorgang

Schnelle Aktualisierung von Taktzeiten und Stückzahlen, falls z.B. eine Produktionsumstellung erfolgt.

Zeitanteil

Vorgangsdauer 36,00 min

Vorgangszahl pro Schicht 1

Abb. 4.63 Schnelle Aktualisierung von Taktzeit und Stückzahl bei Produktionsumstellung
Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)

4.1.13 Praxisanwendung des Instruments im Smart-Factory-Kontext

Mit **neuen Technologien** entwickeln sich auch die Arbeitssysteme in den Organisationen weiter (Smart-Factory etc.). Daher ist eine kontinuierliche Praxiserprobung sinnvoll, inwieweit mit dem Instrument neben klassischen Arbeitssystemen auch neuartige Arbeitssysteme analysiert, beurteilt und gestaltet werden können. Ist eine universelle Anwendung des Instruments unabhängig von Entwicklungen, Trends und Hypes möglich? Aktuell ist die Praxiserprobung an einem **kollaborativen Robotik-Arbeitssystem (Cobot)** interessant, da die grundlegenden sicherheitstechnischen Anforderungen mittlerweile geklärt sind, der Prototyp-Status für die ersten Anwendungen überwunden ist und sich ein immer stärkerer Einsatz auch in der Serienproduktion abzeichnet.

Kollaborierende Roboter sind nach DIN EN ISO 10218-1 (2011) automatisch gesteuerte, frei programmierbare Mehrzweck-Manipulatoren, die innerhalb eines festgelegten Arbeitsraums direkt mit dem Menschen zusammen arbeiten. Bei der Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) entfällt der Schutzzaun. Ohne Trennung werden manuelle Bearbeitungsschritte von den Beschäftigten und automatisierte Bearbeitungsschritte durch die Roboter ausgeführt. Die Arbeitsbereiche überlappen sich dabei zu einem gemeinsamen Arbeitsraum. Die Klassifizierung der Zusammenarbeitsform von Beschäftigten und Robotern erfolgt von Zelle und Koexistenz (klassische MRK) über synchronisiert (gemeinsamer Arbeitsraum, aber nicht gleichzeitig) und Kooperation (gleichzeitig im gemeinsamen Arbeitsraum) bis hin zur „echten“ Kollaboration mit einem gleichzeitigen Aufenthalt im gemeinsamen Arbeitsraum und gleichzeitiger Arbeit am gleichen Bauteil (Tab. 4.33; Bauer et al., 2016).

Tab. 4.33 Zusammenarbeitsformen von Beschäftigten mit Robotern

Zelle	Koexistenz	Synchronisiert	Kooperation	Kollaboration
Klassischer Schutzzaun	„nebeneinander“ und <u>kein</u> gemeinsamer Arbeitsraum	Gemeinsamer Arbeitsraum, aber nicht gleichzeitig am selben Produkt/Bauteil	Gemeinsamer Arbeitsraum, gleichzeitig aber nicht gleichzeitig am selben Produkt/Bauteil	Gemeinsamer Arbeitsraum, gleichzeitig und gleichzeitig am selben Produkt/Bauteil

Neben der direkten Zusammenarbeit mit den Beschäftigten sollen kollaborierende Roboter auch die Flexibilität der Fertigungs- und Produktionsprozesse verbessern. Die Zusammenarbeit von Beschäftigten mit kollaborieren Robotern bietet neue Chancen zur Minimierung von Gesundheitsrisiken. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage: **Wie verändert sich die Belastungs- und Gefährdungssituation der Beschäftigten wirklich?** Aus dem örtlichen und zeitlichen Aufeinandertreffen resultieren Auswirkungen auf die Eintrittswahrscheinlichkeiten und das mögliche Schadensausmaß. Wie ist darüber hinaus aber auch der Einfluss auf die Takt- und Bearbeitungsfrequenzen? In diesem Kontext sollte überprüft werden, ob das Instrument für Smart-Factory-Arbeitssysteme angewendet werden kann. Andererseits waren anhand des Praxisbeispiels Rückschlüsse auf den Umsetzungsstand in der Praxis zu ziehen: Welcher Einfluss auf die Entwicklung der menschengerechten Arbeit ergibt sich? Wie verändern sich die Arbeitssysteme? Welche gesundheitlichen Auswirkungen sind aufgrund der neuen Abläufe zu erwarten?

4.1.13.1 Charakterisierung des untersuchten Arbeitssystems

Untersucht wurde ein Smart-Factory-Arbeitssystem in der Kosmetikbranche, bei dem ein **Sawyer Leichtbauroboter** (LBR) von der damaligen Rethink Robotics aus Boston mit einem Gelenkarm und einem Display mit stilisierten Augen eingesetzt wird.

In einem Industriehallen-Lager erfolgt die Umverpackung von Tuben am Fließband in einem 3 Schichtsystem. Es ergibt sich die folgende Charakterisierung des Arbeitssystems nach DIN EN ISO 6385 (2016) und TRBS 1151 (2015): Arbeitsgegenstände sind kleine Tuben. Die Arbeitsumgebung befindet sich in einem Lager im Innenbereich einer Industriehalle. Als Input werden unverpackte Tuben in Kartons seitlich von der Beschäftigten bereitgestellt. Output ist die mit Folie versehene Zielverpackung, in der sich die Tube befindet. Hierzu werden von der Beschäftigten keine Arbeitsmittel eingesetzt. Der Cobot öffnet den Deckel und legt ihn auf dem Transportband ab. Die Arbeit ist als ortsgebundene Einzelarbeit mit einer 8-Stunden-Schicht bei einer 5-Tage Woche organisiert (Abb. 4.64).



Abb. 4.64 Smart-Factory-Arbeitssystem – Sawyer-Einsatz in der Kosmetikbranche
Quelle: HumaRobotics

4.1.13.2 Anwendung des Instruments

Die Analyse und Beurteilung des Cobot-Arbeitssystems erfolgte mit dem Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung. Die **Beobachtungsanalyse** erfolgte durch mehrfach-wiederholte Analyse der zur Verfügung gestellten Videoaufzeichnungen. Hiermit wurde die vorgangsbezogene Analyse der physischen und psychischen Arbeitsbelastungen durchgeführt. Die Arbeitsschichtaggregation der Belastungsabschnitte wurde zunächst für die Kollaborationsvariante auf der Grundlage der Videoaufzeichnungen durchgeführt und anschließend auch für die rein manuelle Variante ohne Cobot durch **Rücksimulation** simuliert. Mit Hilfe der Zwischenergebnisse konnten die Beurteilungsergebnisse gegenübergestellt und das arbeitswissenschaftliche Fazit mit Optimierungsansätzen erarbeitet werden.

4.1.13.3 Untersuchungsergebnisse der Praxisanwendung

Bei dem durch Rückwärtssimulation analysierten rein manuellen Arbeitssystem werden zur Verpackung der Tuben knapp 54.000 Handbewegungen pro Schicht ausgeführt. Bei der Arbeit ist statisches Stehen über sieben Stunden und eine permanente Rumpftorsion nach links und rechts von mehr als 10° erforderlich. Dagegen sind beim Cobot-Arbeitssystem pro Schicht etwa 5.000 zusätzliche Handbewegungen pro Hand auszuführen. Damit ergibt sich ein Anstieg der Bewertungsergebnisse der manuellen Arbeitsprozesse nach der korrespondierenden Leitmerkmalmethode (Version 2012) um etwa 7 Prozent von 50,3 auf 53,6 Punkte. Für drei von sechs physischen Belastungsfaktoren liegen in beiden Arbeitssystemvarianten kritische Bewertungen bereits für Normalpersonen vor (Abb. 4.65).

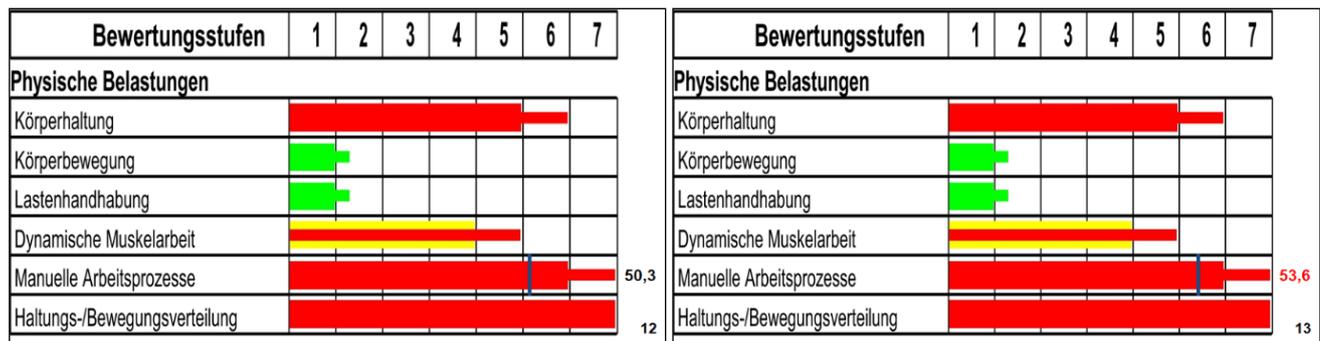


Abb. 4.65 Physische Arbeitsbelastungen – Manuell (links) vs. Cobot (rechts)

Beim rein manuellen Arbeitssystem erfolgt die Verpackung einer Tube innerhalb von sieben Sekunden Zyklusdauer. Es liegt Aufgabenarmut vor, da der Arbeitsinhalt lediglich die Entnahme von Teilen durch die Beschäftigte umfasst. Der vorgegebene Takt enthält keinen Puffer. Im Vergleich dazu reduziert sich die Zyklusdauer beim Cobot-Arbeitssystem auf **fünf Sekunden Zyklusdauer**. Die Taktbindung wird dabei stärker, die Freiheitsgrade nehmen weiter ab, da eine Vertretung nur mit größerer zeitlicher Verzögerung notwendig ist und die Kontaktmöglichkeiten zu den Kollegen*innen verschlechtern sich. Die Anzahl der Bewertungsergebnisse in der Belastungsgruppe der psychischen Belastung oberhalb der Toleranzschwelle erhöht sich beim Cobot-Arbeitssystem auf drei Belastungsarten (Abb. 4.66).

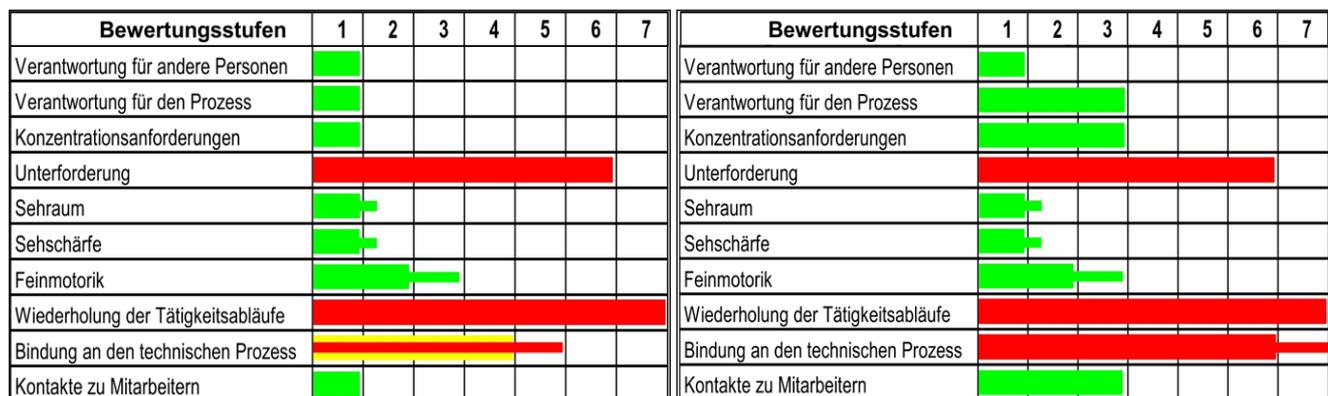


Abb. 4.66 Psychische Arbeitsbelastungen – Manuell (links) vs. Cobot (rechts)

Die Physische Überbelastungsrate, welche die Bewertungsergebnisse der physischen Belastungsarten ab Bewertungsstufe 5 für Normalperson einbezieht, beträgt bei beiden Arbeitssystemvarianten 6. Beide Arbeitssystemvarianten weisen **keine Altersstabilität** auf, da der Demografiefilter (Alter) Bewertungen der Stufe 5 und höher ermittelt hat.

Die Psychische Überbelastungsrate beträgt beim manuellen Arbeitssystem 6, beim Cobot-Arbeitssystem 7. Da jeweils mehr als 25 Punkte nach Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (LASI, 2013) erreicht werden, sind beide Arbeitssystemvarianten auch nach der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) in Verbindung mit der arbeitsmedizinischen Regel (AMR) 13.2 (2014) mit einer Gesundheitsgefährdung für das Muskel-Skelett-System verbunden. Nach dem Mutterschutzgesetz (MuSchG) handelt es sich bei beiden Arbeitssystemen um eine **unverantwortbare Gefährdung** (MuSchG §9). Denn es treffen mehrere der unverantwortbaren Belastungs- und Gefährungskriterien zu, unter anderem da es sich um Fließarbeit und getaktete Arbeit mit vorgeschriebenem Arbeitstempo handelt. Insgesamt können damit beide Arbeitssystemvarianten in der umgesetzten Ausführung auch nicht für einen mittel- und langfristigen Einsatz empfohlen werden, wobei das resultierende Belastungsprofil beim Cobot-Arbeitssystem im Vergleich zur rein manuellen Arbeitssystemvariante bezüglich mehrerer Kriterien kritischer ist (Tab. 4.34).

Tab. 4.34 BDS-Reporting: Arbeitswissenschaftliche Bewertung der Arbeitssystemvarianten (Rote Markierungen: Schlechtere Arbeitsbedingungen als Ausgangszustand)

BDS-Kennzahlen / Reporting (siehe Dashboard) (Ausschnitt)	Arbeitssystemvarianten	
	100%-Manuell <i>Rücksimulation</i>	Cobot
Physische Überbelastungsrate (/Beschäftigten)	6	6
Altersstabilität (ASER)	Nein	Nein
Psychische Überbelastungsrate (/Beschäftigten)	6	7
MSE-Gesundheitsgefährdung (AMR 13.2)	Ja	Ja
Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (2012)	50,3	53,6
Arbeitsmedizinische Vorsorge (ArbMedVV § 5)	Angebot	Angebot
Unverantwortbare Gefährdung (MuSchG § 9)	Ja	Ja
Rang Produktionsergonomie	1	2

4.1.13.4 Fazit der Praxisanwendung

Aktuell befindet sich die kollaborative Robotik noch in einer relativ frühen Wachstumsphase mit großen Investitionssummen. Hiermit gehen auch ein teils intensives Marketing und eine Vielzahl der im Vorfeld der Praxisimplementierung absolut formulierten Hersteller- und Händlerversprechen einher. Insbesondere bei noch unerfahrenen betrieblichen Akteuren können davon zu hohe Erwartungen an die „4.0“-Transformation und damit einhergehende Entlastung der Beschäftigten ausgehen. Im Praxisbeispiel wurden beim Cobot-Arbeitssystem mehrere kritische Aspekte wie die MSE-Gesundheitsgefährdung nach AMR 13.2 ermittelt.

Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass die Belastungssituation der Beschäftigten sich mit der Implementierung neuer Technologien nicht „automatisch“ verbessert, sondern sich auch verschlechtern kann. Die betriebliche Implementierung sollte interdisziplinär geplant und umgesetzt werden und arbeitswissenschaftliche Methoden insbesondere auch bei derartigen teilautomatisierten Arbeitssystemen bereits in der Planungsphase zum Einsatz kommen.

Mit diesen Gestaltungsdefiziten steigt die Wahrscheinlichkeit von Schmerzempfindungen und Funktionseinschränkungen bei den Beschäftigten durch direkte **Fehl- und Überbeanspruchung der Muskeln, Sehnen, Sehnengleitgewebe, Gelenkstrukturen und Nerven** im Bereich der Hände, der Unterarme und Ellenbogen, der Schultern und indirekte Wirkungen, wie Verspannungen in der Schulter-Nackenmuskulatur werden wahrscheinlicher (Sluiter et al., 2001) auch bei Smart-Factory-Arbeitssystemen.

Das Praxisbeispiel zeigte auch, wie sinnvoll es ist, die betrieblichen Transformationsprozesse zur Verbesserung von Effizienz und Flexibilität, den vermehrten Robotik-Einsatz, intralogistische Nachrüstungen der Be-/Entladung und zum Transport sowie neue Formen der Montage und Handhabung mittels Simulation im Vorfeld umfassend auf damit einhergehende Vor- und Nachteile zu prüfen.

Mit der Praxisanwendung der im Instrument integrierten arbeitswissenschaftlichen Verfahren war es möglich, die von den beiden Arbeitssystemvarianten ausgehenden Risiken evidenzbasiert zu beurteilen. Mit Hilfe der arbeitswissenschaftlichen Grundlagen können betriebliche Akteure die wichtigsten Erkenntnisse in die Abläufe und Entscheidungen ihrer Organisation (**Business Cases**) einbringen (Abb. 4.67).

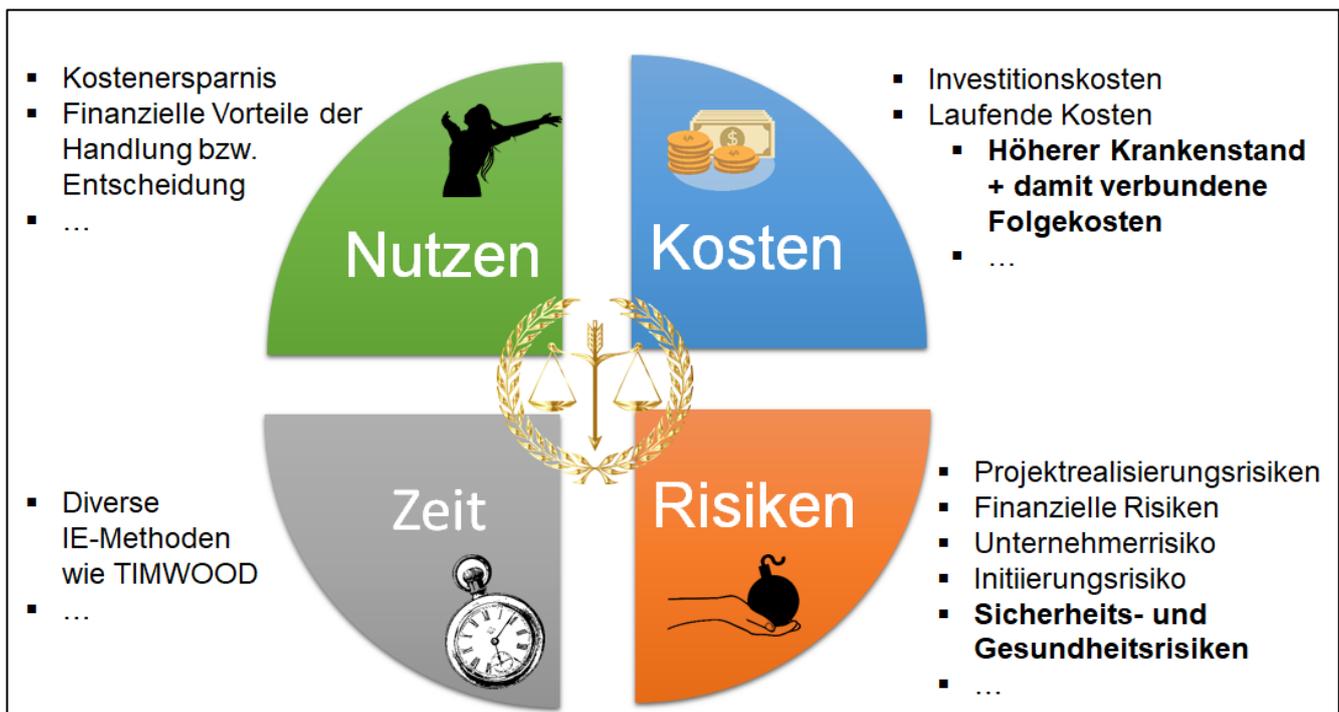


Abb. 4.67 Ganzheitlicher Business-Case für nachhaltiges Wachstum

Quelle: Eigene Darstellung. Piktogramme: Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

Die Standardwerke (siehe Ausgangslage) weisen auf die große Bedeutung der frühen Phase des Lebenszyklus von Arbeitssystemen hin. Denn in der Planungsphase können besonders betriebswirtschaftliche und gesunde Arbeitsbedingungen mit verhältnismäßig geringen Investitionen gestaltet werden. Die im Praxisbeispiel analysierten Problemstellungen könnten aus fehlender Methodenkompetenz und Praxiserfahrung der beteiligten Akteure resultieren. Die Prozessverfahren des Instruments und deren (möglichst interaktive) Qualifizierung anhand von Praxisbeispielen soll in diesem Zusammenhang betrieblichen Akteuren aufzeigen, wie die eigene Organisation nachhaltig modernisiert werden kann.

4.1.14 Erweitertes Implementierungskonzept des Instruments

Im Rahmen der Dissertation wurde das Implementierungskonzept des Instruments zu einer stufenweisen Implementierung erweitert. Mit dem Instrument erhalten Organisationen den Zugriff auf anwendungsorientierte wissenschaftliche Methoden und Verfahren um damit die Fach- und Methodenkompetenz innerhalb der Organisation auszubauen. Qualifizierungen ermöglichen hohe Rohdatenqualität und Analyseeffizienz. Das ist die Grundlage für **hochwertige Risikobeurteilungen und Gefährdungsbeurteilungen**. Auf dieser Basis ist es sinnvoll, die Prävention immer stärker in die Planungsphase der Arbeitssysteme einzubinden. Hierbei werden die Akteure auch besser mit den Auswertungen, Kennzahlen und dem Reporting des Instruments vertraut. Es wird normal, die Ergebnisse des Instruments zu interpretieren und in die Aushänge an den Arbeitssystemen vor Ort zu integrieren. Spezifische **arbeitsmedizinische Zusammenhänge** in der Abteilung können erkannt und technische Inspirationen zum Übertrag auf weitere Arbeitssysteme gewonnen werden (Abb. 4.68).



Abb. 4.68 Verbesserung der Sicherheits- und Gesundheitskultur mit dem Instrument

4.1.14.1 Ablauf der stufenweisen Implementierung

Im ersten Schritt werden die Verantwortlichkeiten zur Optimierung der Arbeitsbedingungen in der Aufbaustruktur der Organisation festgelegt. Dabei ist das Organisationssetting (Branche, Problemstellungen) zu berücksichtigen und hiernach die Anzahl, Zusammensetzung und Größe der benötigten Teams festzulegen. Zeitparallel wird das Instrument auf die gewünschte Art und Weise in die **IT-Infrastruktur** der Organisation integriert und bei Bedarf sinnvoll mit weiteren Instrumenten (Bifra-Instrument etc.) ergänzt.

Sind die verantwortlichen Akteure benannt (Aufbaustruktur), zu den Anwenderkreisen zugeordnet (Rollenkonzept) und der Qualifizierungsbedarf (Vorkenntnisse) ermittelt, können im zweiten Schritt Qualifizierungen durchgeführt werden. Die im Vorfeld abgeschlossene Installation des Instruments ermöglicht es, das Instrument an eigenen Praxisbeispielen interaktiv mit steiler Lernkurve anwenden zu können. Hintergründe, wissenschaftliche Grundlagen, Fach-/Methodenkompetenz und **praxisnahe Optimierung** kann innerhalb einer Qualifizierung kombiniert werden durch einen im Zeitverlauf der Lerninhalte flexiblen Teilnehmerkreis.

Sind Erfahrungen mit der Erstellung der Risikobeurteilungen und Gefährdungsbeurteilungen gesammelt sowie erste Gestaltungsansätze entwickelt und Simulationen zur Optimierung der eigenen Arbeitssysteme durchgeführt, bieten sich im dritten Schritt insbesondere für größere Organisationen mit mehreren Standorten der **Aufbau standortübergreifender Netzwerke** an. Erfahrungsgemäß helfen hierbei die Einbindung vorhandener Intranet-Plattformen und die Einführung von Fachkonferenzen und sollte auf die üblichen Kommunikationswerkzeuge für den regelmäßigen Austausch zurückgegriffen werden. Für die Kommunikation stellt das Instrument die gemeinsame Fachsprache zur Verfügung. Die Netzwerkaktivitäten sind essentiell um zu ermitteln, welche Fachthemen zu vertiefen sind, ob messtechnische Analyse und Feldforschung unterstützend sinnvoll sind, wie die **Schnittstellen zum Industrial Engineering (IE)** wie Kaizen (Imai, 1998) funktionieren und welche Erkenntnisse (Budget, Lieferanten, Projektdauer, beteiligte Akteure, Ansprechpartner, Übertragungsmöglichkeiten) die Optimierungsprozesse hervorgebracht haben. Die Netzwerkaktivitäten bilden auch die Grundlage für Wettbewerbe zur Würdigung, Motivation und Inspiration aller an den Prozessen beteiligten Akteure und verfolgen einen positiven Rückkopplungseffekt auf die Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen in der Organisation (Abb. 4.69).

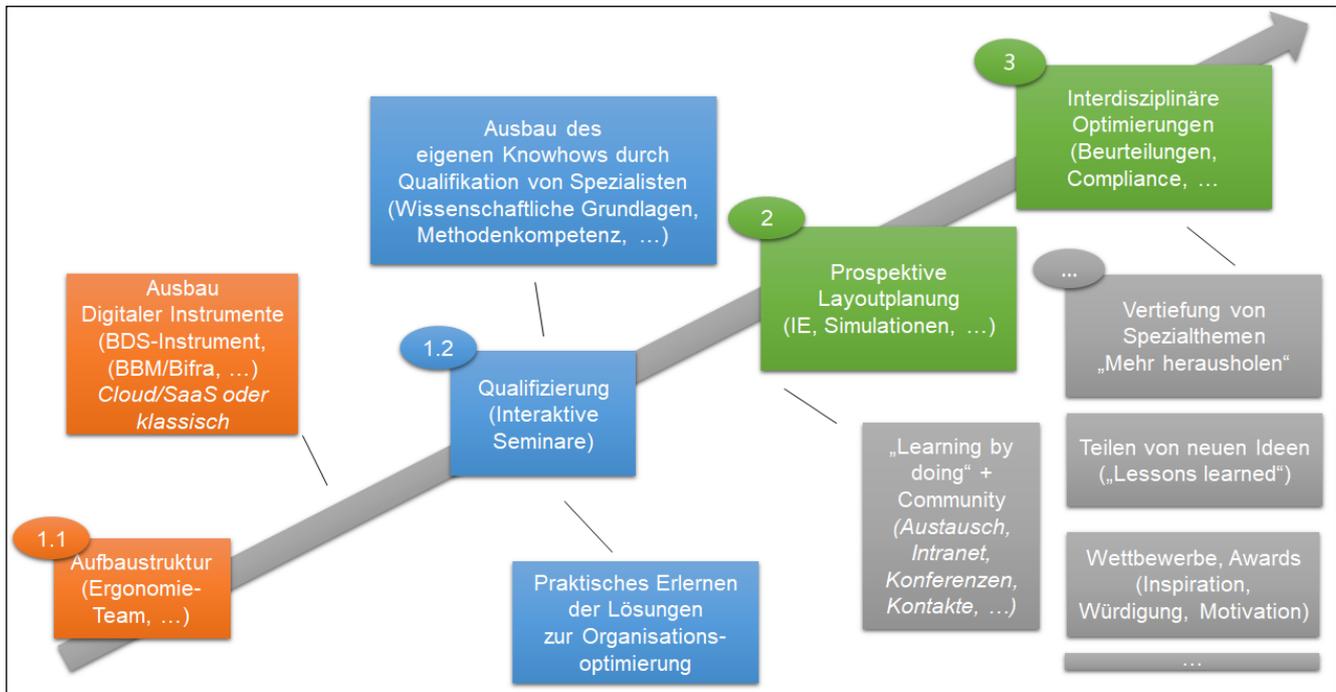


Abb. 4.69 Beispiel für eine schrittweise Implementierung des Instruments

4.1.14.2 Erweiterte Aufbaustruktur und Handlungskompetenz

Aus den Anforderungen der Stakeholder und den Selbstverpflichtungen (Werte) ergibt sich die Gesamtheit der Verpflichtungen der Organisation. Zu deren Erfüllung sind Organisationen auf Akteure mit entsprechender Fach- und Methodenkompetenz angewiesen. Damit können Fürsorgepflichten richtig umgesetzt, die Möglichkeiten zur Übertragung von gesetzlich verankerten Arbeitgeberpflichten wahrgenommen und ein geeigneter Rahmen für Verantwortungsübernahme innerhalb der Organisation geschaffen werden. Hierzu ist es notwendig, die Stellung und die Aufgaben der verschiedenen Akteure in der Organisation klar festzulegen (Schliephacke, 2008).

Die Klarheit über hierarchische Beziehungen, das Verhältnis von Linien- und Stabstellen, die Kommunikationsregeln und Bedeutung von internen Kontrollen sind auch deshalb so wichtig, da sie wesentlich zu einer gerichtsfesten Organisation beitragen. Denn eine moderne Organisationsstruktur ermöglicht das nachhaltige Steuern und Lenken der Effizienz und Qualität unter Berücksichtigung der Risiken für Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten (Schliephacke, 2008). Bei der Implementierung des Instruments in der Organisation erfolgt daher eine klare **Festlegung eines Kernteams** (auch sog. Ergonomie-Team), das sich vorzugsweise aus Vertretern der Personalabteilung, dem Industrial Engineering, Sicherheitsfachkräften, den Betriebsärzten und den Betriebsräten zusammensetzt. Das Kernteam informiert die Werkleitung fortlaufend über die Ergebnisse (Abb. 4.70).

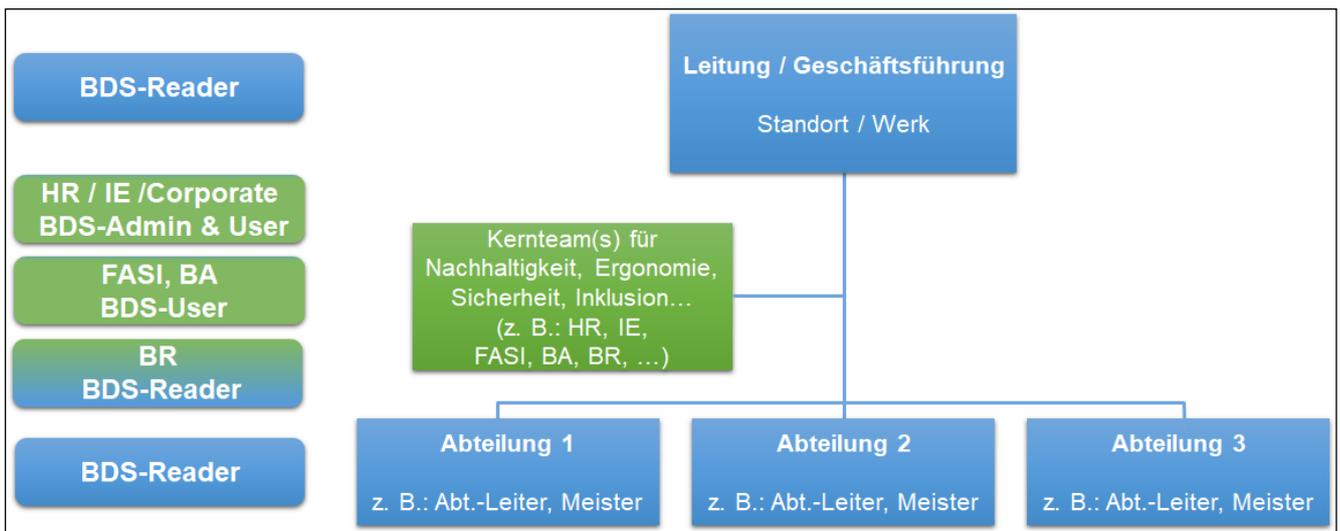


Abb. 4.70 Verknüpfung von Organisationsstruktur und Rollenkonzept (Beispiel)

Das Reporting ist die objektive Gesprächs- und Argumentationsgrundlage für die Optimierungsprojekte. Die Anwendung erstreckt sich von der Veranschaulichung der arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen sowie arbeitswirtschaftlichen Problemstellungen bis hin zur **Budgetfreigabe** durch die Geschäftsführung. Von den Abteilungen werden die Arbeitsbedingungen vor Ort beurteilt und die Analysen regelmäßig aktualisiert. Die Ergebnisse liegen standardisiert vor und können von allen Beteiligten in der Organisation eingesehen werden (Sozialpartner etc.). Diese Transparenz in Echtzeit ermöglicht es Organisationen, interdisziplinär und zeitparallel an ihren Problemstellungen zu arbeiten. Die Modularität der Fachverfahren ermöglicht eine Organisations-spezifische Fokussierung auf Schwerpunkte. Das Instrument gewährleistet dabei eine einheitliche und systematische Analyse am „Ort“ der Wertschöpfung (Tätigkeit an Produkt, Dienstleistung, Anlage etc.).

Im Kernverfahren des Instruments sind die wichtigsten Prozessverfahren integriert, sodass alle wichtigen Fachabteilungen (Personal, Industrial Engineering etc.) direkt in die Prozesse einbezogen werden können, ohne auf IT-Pilotprojekte angewiesen zu sein und sofort mit der Optimierung starten können. Alle Fachabteilungen sollen von Anfang an beteiligt werden und ihren fachlichen Input zur Optimierung der Arbeitssysteme geben können. So lassen sich die verschiedenen Blickwinkel versachlichen, Fach- und Methodenkompetenzen integrieren sowie die Budgetfreigabe und Kontrollmechanismen steuern.

4.1.14.3 Bereitstellung nachhaltiger Arbeitssysteme

Zur Bereitstellung nachhaltiger Arbeitssysteme sind die Arbeitsbedingungen beim Betrieb bereits in der Planungsphase (Layout etc.) nachhaltig zu konzipieren. Denn dabei werden die Anlagenbeschaffenheit, Arbeitsgestaltung, benötigte Arbeits- und Betriebsmittel, der Material- und Informationsfluss etc. festgelegt und der **Handlungsspielraum** zur Gewährleistung von Effizienz, Ergonomie, Gesundheit, Qualität und Sicherheit ist noch groß. Mit steigender Arbeitssystemkomplexität wird die Bereitstellung nachhaltiger Arbeitssysteme auf iterative Prozesse und interdisziplinäres Fachwissen angewiesen sein. Mit der Etablierung derartiger Abläufe in der Organisation sollen aufwändige Nachbesserungen und Verzögerungen bei der Freigabe von Arbeitssystemen minimiert werden (Abb. 4.71).

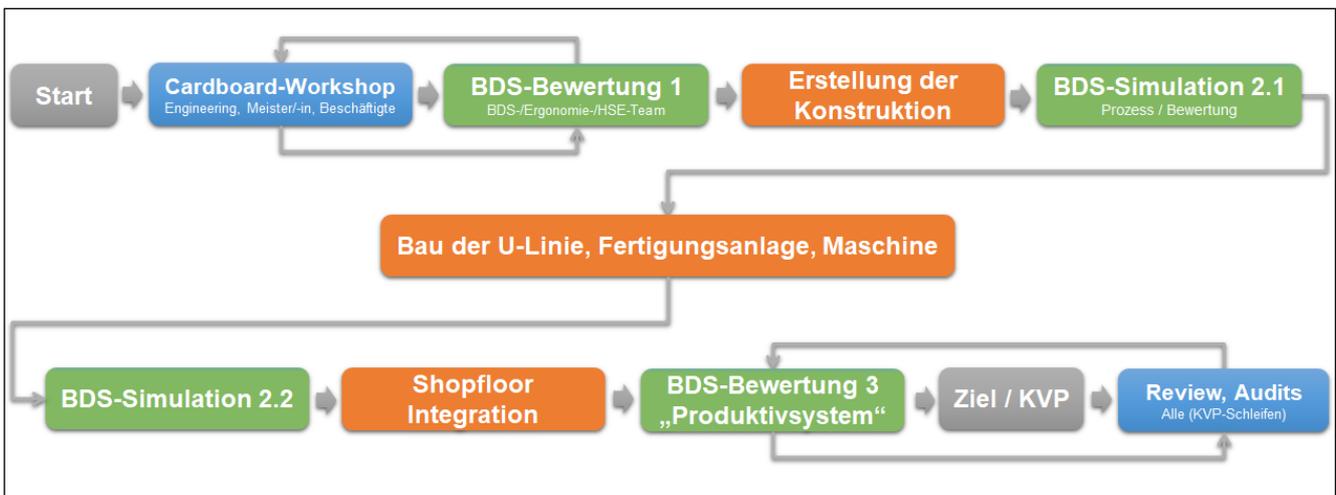


Abb. 4.71 Bereitstellung nachhaltiger Arbeitssysteme

Bei einfacheren Arbeitssystemen ist von einer eigenständigen Realisierung bei komplexen Arbeitssystemen (Fertigungsstraßen, U-Linien etc.) von einer engen Zusammenarbeit mit Anlagenlieferanten und Beratern auszugehen. Mit zunehmender Komplexität bieten sich **Cardboard-Workshops** an, die vom Industrial Engineering mit Abteilungsmeistern, Beschäftigten und bei schwierigen Fragestellungen auch mit Beratern und Lieferanten durchgeführt werden sollten. Nachdem das Anlagenmodell aufgebaut ist, können gute Simulationen mit dem Instrument durchgeführt werden. Werden dabei keine unzulässigen Abweichungen festgestellt, können die Konstruktionsvorgaben fertiggestellt und bei Bedarf auch die Simulation aktualisiert werden. Nach Freigabe, Bau und Auslieferung wird die umgesetzte Version beurteilt. Abweichungen von der Spezifikation und Optimierungen können mit dem Anlagenlieferant objektiv besprochen und falls notwendig eskaliert werden.

Mit der Integration der Anlage in die Fertigung wird die umgesetzte Interaktion mit den Beschäftigten real. Mit der bereits vorliegenden Simulation kann die Beurteilung der Arbeitsbedingungen kurzfristig fertiggestellt werden, in das Produktivsystem des Instruments transferiert werden und steht dort allen Beteiligten zur Verfügung.

Insgesamt wird damit die integrale Umsetzung gesetzlicher Verpflichtungen und eigener Werte (Informationsfluss, Digitaler Zwilling etc.) möglich. Die Rückkopplungen nach Fertigstellung (Lessons learned) dienen der Eliminierung vorheriger Konstruktionsfehler und der optimierten Planung der **nächsten Generation der Arbeitssysteme** (Abb. 4.71; Verbindungspfeil zwischen den BDS-Bewertungen 3 und 1) der Organisation.

4.1.14.5 Ausbau der Sicherheits- und Gesundheitskultur

Die Sicherheits- und Gesundheitskultur von Organisationen stellt die Handlungs- und Wertorientierungen für den Umgang mit Risiken im betrieblichen Alltag dar. Die Regeln und Strukturen als Rahmen für ein erfolgreiches und allgemein anerkanntes Vorgehen der Risikokontrolle sind das Ergebnis betrieblicher und gesellschaftlicher Prozesse (Elke, 2001).

Hierbei wird es mit der sich immer schneller wandelnden Arbeitswelt immer schwieriger, betriebliche Strukturen und Regeln in Organisationen in das Alltagshandeln zu integrieren und zur Norm werden zu lassen. Abweichungen zwischen den offiziell eingeführten und dokumentierten Regeln und den im betrieblichen Alltag tatsächlich gelebten Spielregeln können immer größer werden.

Die Erweiterung der Aufbau- und Ablaufstruktur für mehr Handlungskompetenz, der Bereitstellung nachhaltiger Arbeitssysteme und der Optimierung im Tagesgeschäft soll dem entgegenwirken und zum Ausbau der Sicherheits- und Gesundheitskultur beitragen. Die Erweiterung der Methodenkompetenz in der Organisation sollte sich positiv auf die Planung der Arbeitssysteme und ein gemeinsames Verständnis bei der interdisziplinären Optimierung vor Ort auswirken. Um das notwendige Knowhow sinnvoll in die Organisation zu integrieren, wurde ein stufenweises Implementierungskonzept für das Instrument entwickelt. Es bedient sich der zuvor im Instrument gebündelten anwendungsorientierten wissenschaftlichen Methoden und Verfahren, damit Organisationen auch komplexe Problemstellungen in Organisationen **systematisch erkennen und lösen** können.

Die Anwendung des Instruments sollte daher als kontinuierliches Konzept verstanden werden, um Handlungskompetenz über Organisationsteilstrukturen hinweg auszubauen und damit die Grundlagen für die (in der Literatur oft beschriebene) gewinnbringende Integration von Erkenntnissen der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften in die Organisation zu schaffen. Das Instrument hilft dabei, allgemein formulierte Zielvorgaben aus Selbstverpflichtungen und Rechtsvorschriften in der Organisation umzusetzen und über Fachabteilungen hinweg in den betrieblichen Alltag zu integrieren.

4.2 Evaluierung des Instruments

Im Rahmen der Dissertation war das Instrument zu evaluieren. Um zunächst die Fragestellung einzugrenzen und zu konkretisieren, wurde die Literatur zur Evaluierungsforschung analysiert. Für aussagekräftige Ergebnisse wurden die **wissenschaftlichen Hauptgütekriterien** des Kernverfahrens untersucht.

Für die weiterführende Konkretisierung der Untersuchung wurden die wissenschaftlichen Hauptgütekriterien nach den Standardwerken der Evaluierungsforschung (u. a. Lienert & Raatz, 1994; Wirtz, 2020) differenziert. Auf dieser Grundlage wurde die Evaluierungsstruktur entwickelt und auf das **Konstrukt** des Schließens von Beanspruchungsreaktionen in Abhängigkeit der Art und Höhe der Belastung zugeschnitten. Damit sollen die Aussagen zu den Stärken und Schwächen der Messbarmachung von Beanspruchungsreaktionen (Operationalisierung) mit dem Instrument abgeleitet werden können (Abb. 4.73).

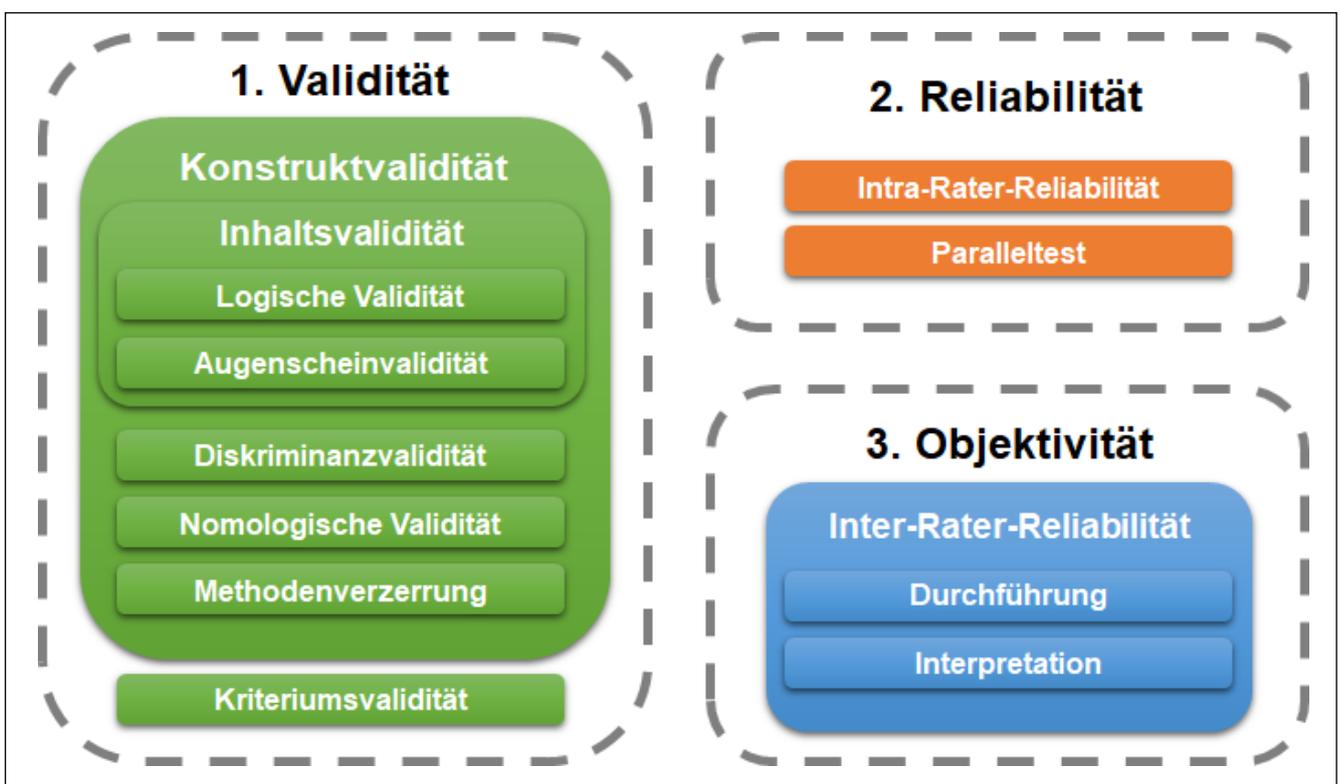


Abb. 4.73 Entwickelte Evaluierungsstruktur zur Festlegung der Untersuchungen

Die wissenschaftlichen Hauptgütekriterien sind die Validität, Reliabilität und Objektivität. Zur Evaluierung der **Validität** sieht die entwickelte Evaluierungsstruktur die Untersuchung der Konstruktvalidität und der Kriteriumsvalidität vor. Die Konstruktvalidität wird durch Untersuchung der Inhaltsvalidität, Diskriminanzvalidität, Nomologischen Validität und der Prüfung auf Freiheit von Methodenverzerrung überprüft. Dabei wird die Inhaltsvalidität durch Untersuchung der logischen Validität und Augenscheinvalidität überprüft.

Die Evaluierung der **Reliabilität** erfolgt durch Untersuchung der Intra-Rater-Reliabilität und mit einem Paralleltest zur Durchführung von Konvergenzbetrachtungen.

Die Evaluierung der **Objektivität** erfolgt durch Untersuchung der Inter-Rater-Reliabilität bei der Analyse mit dem Instrument sowie zur Interpretation der Ergebnisse des Instruments.

Die Ergebnisse werden jeweils getrennt in drei separaten Teilkapiteln vorgestellt.

4.2.1 Evaluierung der Validität

Validität ist neben Reliabilität und Objektivität eines der drei Hauptgütekriterien für Modelle, Methoden, Mess- und Testverfahren und Instrumente (hier BDS-Instrument) und lässt sich in Inhaltsvalidität, Konvergenzvalidität, Diskriminanzvalidität, Nomologische Validität und Freiheit von Methodenverzerrung (zusammen auch als Konstruktvalidität bezeichnet) sowie in Kriteriumsvalidität untergliedern (Lienert & Raatz, 1998; Wirtz, 2020). Kriteriumsvalidität setzt einen **erwartungs- oder theoriekonformen Zusammenhang** (Korrelation) mit praktisch bedeutsamen Außenkriterien voraus und lässt sich auch in innere (Fragebogen etc.) und äußere Kriteriumsvalidität (Klinische Diagnose, Expertenurteil etc.) unterteilen (Wirtz, 2020).

Das Instrument vereint das Kernverfahren Risikobeurteilung und Produktionsergonomie mit mehreren Fach- und Prozessverfahren zu verschiedenen Wissenschafts- und Fachdisziplinen und setzt sich aus mehreren, weitgehend unabhängigen Belastungs- und Gefährdungsarten zusammen. Daher ist zu beachten, ob jeweils eine separate Überprüfung der Aspekte der Validität getrennt für einzelne Belastungs- und Gefährdungsarten sinnvoll ist (Peters, 1986).

Da das Kernverfahren weltweit stark verbreitet ist und daher aktuell am häufigsten in der betrieblichen Praxis angewendet wird, ergibt sich der Nutzen einer regelmäßigen Überprüfung des Kernverfahrens. Die Untersuchung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien basiert auf dem Verständnis des zugrunde liegenden Konstrukts (Abb. 4.74).

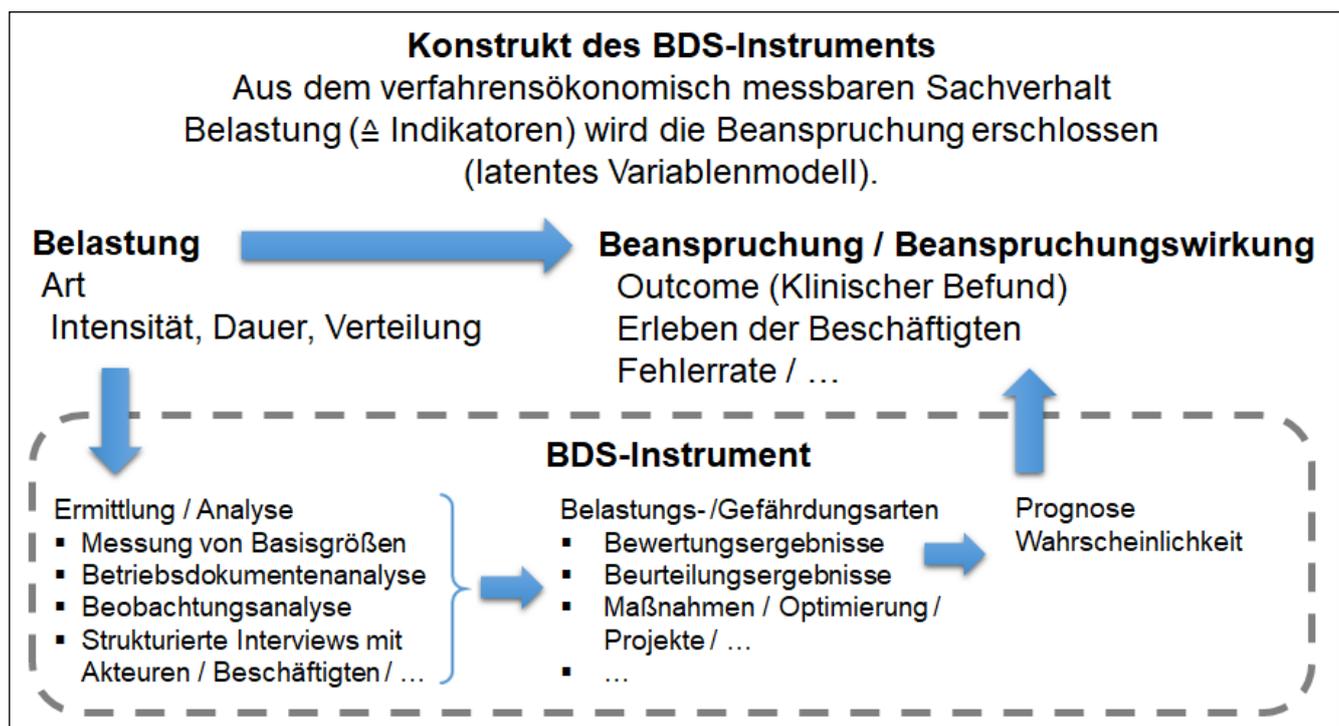


Abb. 4.74 Wissenschaftliche Arbeitsweise des Instruments (Konstrukt / Operationalisierung)

Das Instrument ermöglicht es, aus dem **verfahrenswirtschaftlich messbaren Sachverhalt Belastung** die Beanspruchung zu erschließen. Auf der Grundlage von Ermittlungsmethoden wie der Messung der Basisgrößen, der Belastungsintensität und der Expositionsdauer und Beobachtungsanalysen ermöglicht das wissenschaftliche Verfahrensportfolio die Bewertung und Beurteilung der Belastungs- und Gefährdungsarten. Das ist die Grundlage zur Prognose (Wahrscheinlichkeit) der **Outcomes (Beschwerden, Erkrankungen)** bei den Beschäftigten.

4.2.2 Inhaltsvalidität

Inhaltsvalidität als Teilaspekt der Konstruktvalidität liegt vor, sofern die Messung eines Konstrukts dessen Inhalt vollständig erfasst. Zur Überprüfung von Inhaltsvalidität wird untersucht, ob zwischen dem gedanklich theoretischen Konstrukt, das sind beim Instrument die relevanten Aspekte der Belastungs- und Gefährdungsarten und deren Zusammenwirken, und der **Überführung in Skalen**, beim Instrument die Bewertungsskalen der Belastungs- und Gefährdungsarten mit den zugrunde liegenden Algorithmen, Abwertungsregeln etc. eine Übereinstimmung besteht (Moosbrugger & Kelava, 2012).

Die Untersuchung folgte einem zwei-stufigen Forschungsansatz bei dem zunächst die logische Validität qualitativ und anschließend Augenscheinvalidität quantitativ untersucht wurde. Nachfolgend werden die Ergebnisse im Einzelnen beschrieben.

4.2.2.1 Logische Validität

Den Entwicklern des Kernverfahrens ging es vor allem darum, eine ökonomische Analyse der Anforderungen und Bedingungen von überwiegend manuell ausgeführten Arbeitssystemen zu ermöglichen. Bereits in der Entwicklungsphase gab es die Erkenntnis, dass ein Kombinationsverfahren mit mehreren hundert Items die Anforderungen der Praxis an die Praktikabilität im betrieblichen Setting nur schwer erfüllen kann. Bei den Überlegungen in der Entwicklungsphase stand daher weniger der Gesichtspunkt der Vollständigkeit im Vordergrund als vielmehr der Gedanke, ein Instrumentarium bereitzustellen, das es ermöglichen sollte, die Beurteilung der wesentlichen Aspekte von Arbeitssystemen zu ermöglichen und bei Bedarf auch eine Teilmenge der Aspekte flexibel auswählen zu können. Unbedingt sollte ein mehrtägiger Analyseaufwand pro Arbeitssystem vermieden werden. Um dies ohne große Abstriche bei der Genauigkeit gewährleisten zu können, wurde der Zusammenhang von Belastung und Beanspruchung letztlich mit 32 Belastungs- und gefährdungsarten auf einer **normierten 7-stufigen Skala** umgesetzt (Unterkapitel 2.1). Eine Analysedauer durch qualifizierter Anwender*innen im Bereich von 30 Minuten unterstreicht den damaligen Entwicklungserfolg eines effizienten Kombinationsverfahrens (Peters, 1982).

Die vier gezielt ausgewählten Belastungs- und Gefährdungsgruppen Physische Belastungen, Umgebungsbedingungen, Psychische Belastungen und Aspekte der Arbeitssicherheit des Instruments weisen eine gute **Passfähigkeit zum Genfer Schema** (u. a. REFA, 1989) auf, das auf die Einteilung Körperliche Anforderungen, Geistige Anforderungen, Verantwortung und Arbeitsbedingungen zurückgreift. Vor dem Hintergrund der Entwicklungszielstellung der Hauptanwendung des Instruments für überwiegend manuell ausgeführte Arbeitssysteme lässt sich die Entwicklung und anschließende kontinuierliche Weiterentwicklung zur Adaptierung aller sechs physischen Belastungsarten erklären. Gepaart mit den zwölf Belastungsarten der Umgebungsbedingungen und den zwölf Belastungsarten der Psychischen Belastungen, ergänzt um vier Aspekte der Arbeitssicherheit wurde die Abdeckung der wesentlichen Aspekte von Arbeitssystemen sichergestellt und gleichzeitig **konstruktionsbedingte Itemhäufungen vermieden** (Peters, 1982).

Wesentliche Anforderungen von Arbeitssystemen resultieren beispielsweise aus den umzusetzenden Lasten, dem Lärmpegel, der prozessbedingten Klimabelastung, der Wärmestrahlung von wärmeerzeugenden Aggregaten und den zu verarbeitenden Informationen. Dabei handelt es sich um ganz verschiedene Belastungsarten. Dieses Spektrum wird im Instrument wie folgt berücksichtigt: Mit den Physischen Belastungen können einerseits muskuläre Belastungen beispielsweise als Folge beziehungsweise in Form von Körperzwangshaltungen, erforderlicher Körperbewegung, statischer und dynamischer Muskelarbeit (Ganzkörperkräfte) und einseitiger dynamischen Muskelarbeit (Manuelle Arbeitsprozesse) berücksichtigt werden. Erholungsmöglichkeiten werden generell mit der Expositionsdauer pro Schicht (Wiederholungshäufigkeit) und im Speziellen beispielsweise bei einer niedrigeren Ausführungsfrequenz bei den manuellen Arbeitsprozessen berücksichtigt. Die Belastungen aus der Arbeitsumgebung werden durch physikalische Parameter der Arbeitsumgebung erfasst. Das sind beispielsweise mechanische Einwirkungen wie Lärm und Vibrationen, Klimaeinflüsse (Temperatur, Strahlung, Zugluft, Witterungseinfluss) sowie Belastungsarten, die nur auf den ersten Blick unkritischere Komfortbeeinträchtigung wie Nassarbeit abbilden bis hin zu Belastungen durch „ernsthaft“ gesundheitsgefährdende Arbeitsstoffe. Darüber hinaus werden die wichtigsten Über- und Unterforderungsaspekte mit zwölf integrierten psychischen Belastungsarten berücksichtigt.

Die Entwicklung der evidenzbasierten Kausalitäten zwischen Belastung und Beanspruchung erfolgte auf der Grundlage der Belastungs-Beanspruchungs-Modelle (früher Person-Umwelt-Konzept) (u. a. Rohmert, 1962). Hiervon ausgehend wurden mit den integrierten Belastungen und Gefährdungen die physiologischen und psychologischen Wechselwirkungen von Mensch und Arbeitsumwelt abgebildet (u. a. Lehmann, 1962; Rubinstein, 1971; Grandjean, 1979) und erfolgte die Entwicklung der Bewertungsskalen anhand der spezifischen wissenschaftlichen Bewertungskriterien. Grundlage hierfür waren die Ergebnisse internationaler Studien und eigene Labor- und Feldforschung zur von unterschiedlicher Belastungshöhe ausgehenden Beanspruchung. In verschiedensten Belastungskonstellationen konnte physische Beanspruchung mit der Arbeitspulsfrequenz etc. und psychische Beanspruchung mit dem subjektiven Anstrengungsempfinden etc. nachgewiesen und erneut bestätigt werden. So konnten als Kriterien für die Festlegung von Grenzwertbereichen auch die Kenntnisse über **adverse Gesundheitseffekte** (chronische, irreversible Erkrankungen) bei häufiger Überschreitung von Dauerbelastungsgrenzwerten herangezogen werden. Die Stufengrenzen beim Arbeitsenergieumsatz wurden beispielsweise aufbauend auf den Untersuchungen zur erforderlichen Schweißabgabe als Index der Wärmebelastung (Vogt, 1978) und den Untersuchungen der Belastungsgrenzen bei Hitzearbeit (Eissing & Hettinger, 1979) erarbeitet. Insgesamt ermöglichten die Untersuchungen, arbeitsphysiologisch begründete Grenzbereiche festzulegen, dieser liegt beispielsweise beim Arbeitsenergieumsatz für Männer mit der Bewertungsstufe 4 im Bereich von 17 kJ/min beim energetischen Dauerleistungsgrenzwert.

Die Akribie bei der Durchführung der zugrunde liegenden arbeitswissenschaftlich-ergonomischen Felduntersuchungen zeigt unter anderem die nachfolgend dargestellte **Ganzschichtanalyse** eines Schmelzers mit synchroner Messung von Temperatur (°C), Wärmestrahlungsdichte (W/m²), Arbeitsenergieumsatz (kJ/min), Pulsfrequenz (min⁻¹), Anstrengungsempfinden und thermischer Behaglichkeit (Abb. 4.75; Müller & Hettinger, 1981).

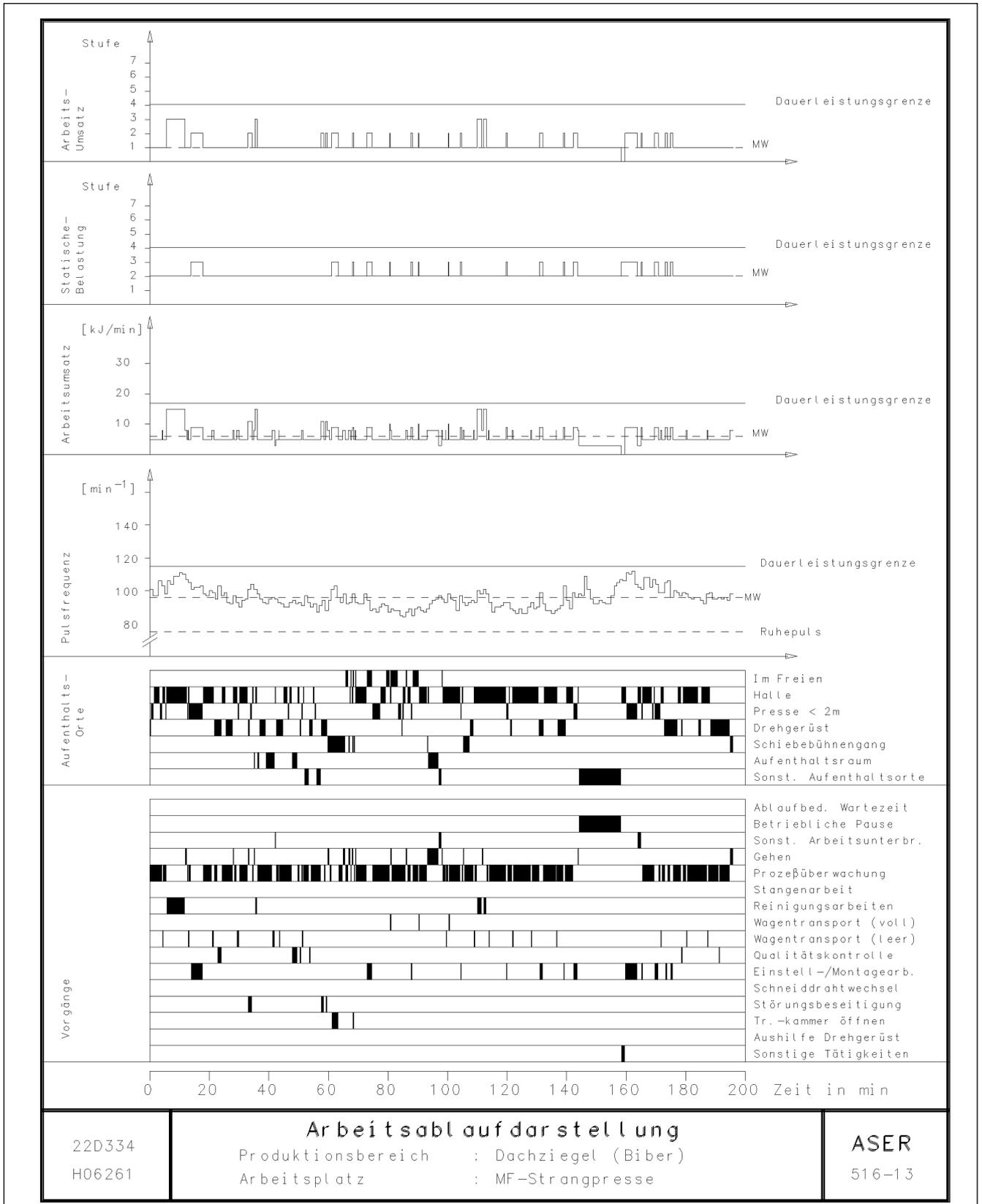


Abb. 4.75 Grundlagenforschung zum Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhang
Quelle: Müller & Hettinger, 1981

Die Literaturlauswertung erlaubte eine detaillierte Auswertung der wissenschaftlichen Grundlagen und Ergebnisse der dem Instrument zugrunde liegenden theoretischen Modelle, Labor- und Feldstudien. Die Rechercheergebnisse konnten neben der Untersuchung der logischen Validität auch für die Aufbereitung der Ausgangslage (Unterkapitel 2.1) verwendet werden. Die zitierten Studienergebnisse sind auch in den Forschungsberichten des Institut ASER e. V. aufgeführt. Eine vollständige Übersicht findet sich im **ASER-Schriftenverzeichnis** und ist im Internet jederzeit frei und transparent verfügbar⁵⁰. Hierin können auch hierauf aufbauende wissenschaftliche Grundlagen der Weiterentwicklung des Instruments und Veröffentlichungen zum Praxiseinsatz des Instruments eingesehen und nachvollzogen werden.

Mit den transparent zur Verfügung stehenden Entwicklungsgrundlagen kann zum einen für die Struktur und Bewertungsmodelle des Instruments die Berücksichtigung der aus Labor- und Feldstudien belegten **Beanspruchungszunahme bei Belastungssteigerung** bestätigt werden (Peters, 1986). Zum anderen gewährleistet die gezielte Auswahl von Belastungsarten, die auch in Gesetzgebung und Standardwerke eingeflossen sind, die Analyse, Beurteilung und Gestaltung von unmittelbar belastungsrelevanten Merkmalen von Arbeitssystemen, weshalb für das Kernverfahren ein inhaltlich-logisch valides Vorgehen bestätigt wird.

Die Voraussetzungen für inhaltlich-logische Validität wurden insbesondere bei der zur Entwicklung und Weiterentwicklung der Struktur der Belastungsarten durchgeführten Labor- und Feldstudien zur Ermittlung der Belastung und Beanspruchung geschaffen. Hierbei konnte mit dem **Forschungsprogramm zur Humanisierung des Arbeitslebens** eine Vielzahl an industriellen Settings in den Feldstudien wie beispielsweise in der Eisen- und Stahlindustrie realisiert und der Fokus auf die Übertragbarkeit wissenschaftlicher Ergebnisse in die betriebliche Praxis gelegt werden (Hettinger & Müller, 1986).

Im weiteren Verlauf wurden die Wissenschaftsdisziplinen immer weiter verknüpft. Weiterführende arbeitsmedizinische Grundlagen wurden in diesem Rahmen mit den **medizinischen Aspekten der Sicherheitstechnik** (Hettinger, 1986) neu zusammengestellt und im Standardwerk zur Medizin in der Arbeitswissenschaft (Schmitz & Hettinger, 1986) dargelegt. In Verbindung mit der Grundlagenforschung zu arbeitswissenschaftlichen Felduntersuchungen und der Bewertung von Informationen aus arbeitsplatzanalytischen Erhebungen (Müller & Tielsch, 1986) ergab sich eine immer umfangreichere Datenbasis. Die einzelnen Weiterentwicklungen wurden immer wieder zusammengeführt, unter anderem mit der Veröffentlichung des Verfahrens zur Ableitung von Humanisierungsmaßnahmen auf der Basis arbeitswissenschaftlicher Felduntersuchungen (Averkamp & Hettinger, 1986). Diese Erfahrungen standen dann in den einzelnen Entwicklungsphasen des Instruments immer auch zur kontinuierlichen Überprüfung der inhaltlich-logischen Validität zur Verfügung.

⁵⁰ Das jeweils aktuelle ASER-Schriftenverzeichnis ist permanent auch unter der nachfolgenden Internetadresse zugänglich. Darin ist unter anderem auch die wissenschaftliche Entwicklungshistorie des Instruments transparent nachvollziehbar. Die Internetadresse für das ASER-Schriftenverzeichnis ist: www.institut-aser.de/out.php?idart=269

4.2.2.2 Augenscheinvalidität

Als zweiter zentraler Aspekt inhaltlicher Validität ist Augenscheinvalidität zu untersuchen. Hierbei wird geprüft, ob sich eine **unmittelbare Evidenz** der Passung der Inhalte zum erfassten Konstrukt erkennen lässt (u. a. Wirtz, 2020). Übertragen auf das Instrument ist daher zu untersuchen, ob neben dem Entwicklerteam auch für die Anwender*innen und darüber hinaus auch für Laien eine augenscheinliche Plausibilität erkennbar ist. Als Voraussetzung vor der Prüfung der Augenscheinvalidität konnte logische Validität mit der erfolgreichen Konstruktionsprüfung des Kernverfahrens und durch Nachweis der Aufrechterhaltung durch kontinuierliche Integration neuer Erkenntnisse (Grenzwertsetzung, Evaluierete Einzel- und Kombinationsverfahren, Risikokonzepte etc.) bestätigt werden (Unterkapitel 2.1 und 4.2.2.1).

Die Datenbanken und Rückmeldungen geben Aufschluss zur Praxisanwendung seit der Veröffentlichung des BAB-Kombinationsverfahrens im Jahr 1976 bis zum heutigen BDS-Instrument. Im Verlauf sind basierend auf der Analyse von mehreren hunderttausend Belastungsabschnitten mehrere zehntausend Arbeitssysteme beurteilt und gestaltet worden. Anwendungsschwerpunkte waren die autarke Anwendung durch mehr als tausend betriebliche Akteure (Industriedatenbanken) in Organisationen unterschiedlicher Branchen sowie Feldforschung durch mehr als hundert Wissenschaftler*innen (ASER- Schriftenverzeichnis). Die Anwendung erfolgt Organisationsgrößen- und Wirtschaftssektoren-übergreifend bis in die 2000er Jahre vor allem im gesamten Bundesgebiet. Seit den 2010er Jahren erfolgt die **internationale Anwendung** (Unterkapitel 2.1). Die Versachlichung von Grundsatzdiskussionen der Interessenvertretungen (Sozialpartner), die Erarbeitung und Lösung arbeitswissenschaftlicher Forschungsfragen und die unabhängige Erstellung von Gutachten (Konvergenzbetrachtungen) sind weitere wichtige Anwendungsgebiete.

Zum Instrument werden Grundlagen- und Expertenqualifizierungen durchgeführt und spezifische Weiterentwicklungen (Auswertungen etc.) in enger Zusammenarbeit mit den Organisationen realisiert. Die Qualifizierungsrückmeldungen zum **Erstkontakt mit dem Instrument** sind überwiegend positiv (Wissenszuwachs, Nützlichkeit). Zu Grundsatzdiskussionen kommt es nicht, auch nicht im internationalen Kontext (Aussagen der Trainer*innen im Anschluss an die Qualifizierungen), im Gegenteil hier wird es aufgrund methodischer Nachholbedarfe als noch nützlicher erachtet.

Die Recherche zu den Entwicklungsgrundlagen des Instruments und der Anwendungspraxis weisen neben den Prüfungen und Auszeichnungen durch unabhängige Institutionen wie die EU-OSHA bereits mittelbar auf Augenscheinvalidität hin. Im weiteren Verlauf dieser Dissertation erfolgte aufgrund der Bedeutung des Gütekriteriums dennoch eine weitergehende Untersuchung hierzu.

Die weitergehende Untersuchung erfolgte in der Belastungsgruppe der Physischen Arbeitsbelastungen anhand der Belastungsart Heben, Halten, Tragen als Teilaspekt der Lastenhandhabung auf der Grundlage eines aktuellen Datensatzes. Hierzu wurde die Verteilung bedeutender Aspekte der Belastung als aussagekräftige, besonders relevante Indikatoren späterer Outcomes untersucht. Das heißt, es wurden gezielt Analyseparameter (Leitmerkmale), die so genannte **hohe Wichtungen** (Punktwerte) in Einzelverfahren erreichen, betrachtet und deren Zusammenspiel und Effekte (Auswirkung) auf die resultierende Bewertungsstufe im Instrument untersucht, um damit die Plausibilität des Instruments augenscheinlich zu überprüfen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Laien bei zunehmendem Lastgewicht von einer positiven Korrelation zur resultierenden Bewertungsstufe (steigend) ausgehen („wenn mehr, dann mehr“).

Die internen Forschungsdatenbanken (Unterkapitel 2.1) ermöglichten die Untersuchung an einem heterogenen Datensatz mit Arbeitssystemen aus mehreren Branchen, bei denen die Arbeitssysteme anhand mehrerer Belastungsabschnitte analysiert wurden und damit eine sehr detaillierte Analyse der Expositionsdauer und Belastungsintensität erfolgte. Einbezogen werden konnten zur Untersuchung der Augenscheininvalidität alle Arbeitssysteme, bei denen bei mindestens einem Belastungsabschnitt Lasten von mehr als fünf Kilogramm manuell gehoben, gehalten oder getragen werden müssen. Das waren nach Ausschluss insgesamt 2.053 Arbeitssysteme, die anschließend auch nach ihrer Bewertungsstufe gruppiert wurden, um Auswertungen innerhalb der einzelnen Bewertungsstufen vornehmen zu können.

Zunächst wurde der arithmetische Mittelwert der maximalen Last pro Schicht über die Arbeitssysteme in der Bewertungsstufe 1 gebildet, der 9 kg beträgt. Das ist augenscheinlich plausibel, da die Belastungsart Heben, Halten und Tragen von Lasten definitionsgemäß nach der korrespondierenden Leitmerkmalmethode zum manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten (LASI, 2001) für Tätigkeiten mit zu handhabenden Lasten ab einem Lastgewicht von fünf Kilogramm eingesetzt wird und der arithmetische Mittelwert damit vier Kilogramm über dem Minimalgewicht liegt. Bis zur Bewertungsstufe 4 und anschließend wieder mit den Bewertungsstufen 6 und 7 steigt der arithmetische Mittelwert des maximalen Lastgewicht pro Schicht an, was ebenfalls augenscheinlich plausibel ist.

Das Stagnieren des maximalen Lastgewichts pro Schicht zwischen den Bewertungsstufen 3 und 6 sollte auf den ersten Blick für Laien merkwürdig erscheinen. Die Erklärung hierfür liefert die Betrachtung des arithmetischen Mittelwerts der bewegten Masse pro Schicht. Denn die resultierende Belastungshöhe wird zu einem hohen Anteil von der Kombination aus maximalem Lastgewicht und Hubanzahl, das heißt der insgesamt bewegten Masse pro Schicht bestimmt. Diese steigt in dem Bereich der Bewertungsstufen 3 bis 6 und zusätzlich insgesamt von Bewertungsstufe 1 bis 6 kontinuierlich an. Insgesamt ermöglicht das Instrument damit die kombinierte Berücksichtigung von Aspekten der **Belastungsintensität** und der **Expositionsdauer**, was augenscheinlich plausibel ist, sofern die Operationalisierung von Beanspruchungsreaktionen oder das Belastungs-Beanspruchungsmodell bekannt ist.

Bei noch weitergehender Auswertung der Untersuchungsergebnisse verwundert die ermittelte Abnahme des arithmetischen Mittelwerts der bewegten Masse pro Schicht in der Bewertungsstufe 7 und scheint für Laien nicht auf den ersten Blick erklärlich zu sein.

Werden die Arbeitsbedingungen der betreffenden Arbeitssysteme mit Bewertungsstufe 7 untersucht, zeigt sich einerseits, dass alle **Grenzlasterüberschreitungen** in dieser Gruppe der Arbeitssysteme (und definitionsgemäß in keiner der anderen Gruppe) auftreten. Denn Arbeitssysteme, die ein manuelles Heben, Halten oder Tragen extrem hoher Lastgewichte über den empfohlenen Grenzwerten von 25 Kilogramm für Frauen und 40 Kilogramm für Männer erfordern, benötigen eine **deutlich geringere Expositionsdauer** (hier Laststrecke), um mit Bewertungsstufe 7 bewertet zu werden. Mit Hilfe dieser Erläuterungen lässt sich auch dieser Effekt erklären und wird augenscheinlich plausibel (Abb. 4.76).

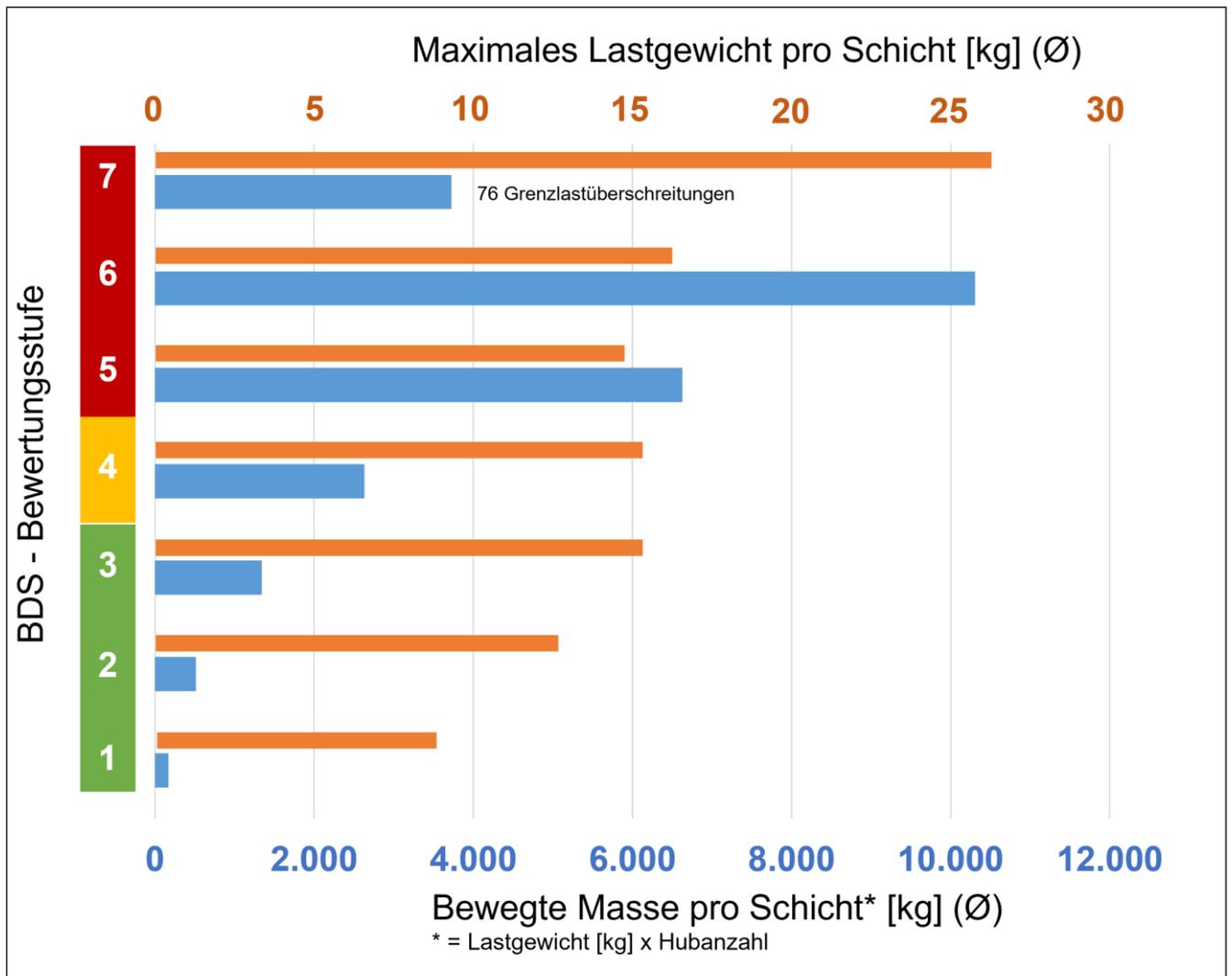


Abb. 4.76 Überprüfung der Augenscheinvalidität des Instruments mit Untersuchungen anhand der Belastungsart Heben, Halten, Tragen (2.053 Arbeitssysteme)

Bei der Untersuchung der Bewertungsmechanismen des Instruments wurde ein mehrdimensionaler Zugang zur Belastungsbewertung vorgefunden und wird auf dieser Grundlage Augenscheinvalidität bestätigt. Das Instrument stellt Mechanismen zur Verfügung, die mehrstufig auf die Haupteinflussgrößen reagieren. Die sensiblen Abwertungsalgorithmen gewährleisten, dass auch **kurz auftretende, aber extreme Belastungsintensitäten** beispielsweise aufgrund ausschließlicher arithmetischer Mittelwertbildung bei der Ermittlung der Tagesdosis **nicht vernachlässigt** werden.

4.2.3 Diskriminanzvalidität

Diskriminanzvalidität wird in der Regel als Teilaspekt der Konstruktvalidität angesehen und liegt vor, sofern sich die Messungen verschiedener Konstrukte unterscheiden. Um Diskriminanzvalidität untersuchen zu können, muss es daher Messwerte geben, die sich auf verschiedene, sich gegenseitig nicht beeinflussende Konstrukte beziehen. Dann kann mit theoriegeleiteten Hypothesen auch eine Unabhängigkeit vorausgesagt werden (Campbell & Fiske, 1959). Diese theoretischen Überlegungen der Evaluierungsforschung zur Diskriminanzvalidität lassen sich auf das Instrument übertragen und machen daher die Untersuchung möglich. Untersuchungen hierzu wurden auch bereits mit der Untersuchung der **differenzierten Belastungsermittlung** anhand der **formula 20**⁵¹ nach Kuder-Richardson (Kuder & Richardson, 1937) überprüft und nachgewiesen (Formel 4.2).

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} \cdot \left(\frac{s_X^2 - \sum_{i=1}^n p_i q_i}{s_X^2} \right)$$

Formel 4.2

Bei der formula 20 handelt es sich um einen Vorläufer der Maßzahl **Cronbachs Alpha**⁵² (Schmidt-Atzert et al., 2012). Bei einer **internen Konsistenz von $r_{tt} = 0,85$** und einer **mittleren Inter-Item-Korrelation von $r_{it} = 0,17$** wurde in einer vorausgegangenen Untersuchung der Diskriminanzvalidität eine gute Leistungsfähigkeit des dem Kernverfahren des Instruments zugrunde liegenden BAB-Kombinationsverfahrens ermittelt und aufgrund der **niedrigen Korrelation** sowie **Trennschärfekoeffizienten bis $r_{it} = 0,70$** die Homogenität und die Bereitstellung eines **mehrdimensionalen Zugangs zur Belastungsermittlung** zwar bereits nachgewiesen (Peters, 1986).

Es war jedoch sinnvoll, erneute Untersuchungen zur Diskriminanzvalidität im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchzuführen. Zum einen liegen weiterentwickelte statistische Auswertungsverfahren und Maßzahlen vor. Zum anderen kann aufgrund der kontinuierlichen Praxisanwendung des Instruments (Unterkapitel 2.1) auch bei der Evaluierung der Diskriminanzvalidität auf größere Datensätze zurückgegriffen werden. Nach Bereinigung um nicht ausreichend⁵³ vollständig analysierte Datensätze war die Überprüfung anhand von **3.897 Arbeitssystemen** möglich. Es musste keine Untermenge mit zutreffenden Belastungsarten gebildet werden und konnten daher noch einmal 1.844 Arbeitssysteme mehr in die Untersuchungen einbezogen werden als bei der Überprüfung der Augenscheinvalidität.

⁵¹ Die Formel 4.2 zeigt die formula 20 mit den Variablen r_{tt} : Ergebnis der K-R-Formel, als durchschnittliche Korrelation; n : Anzahl der Fragen; S_X^2 : Varianz der Testrohwerter; p : Schwierigkeit $P/100$; q : $1-p$; r_{it} : Trennschärfe

⁵² Das Maß *Cronbachs Alpha* für die interne Konsistenz einer Skala wird auch *Cronbachs α* und teilweise auch lediglich als α bezeichnet.

⁵³ Beim Instrument muss das 90%-Kriterium erfüllt sein, das heißt mindestens 90% der Schichtdauer der Arbeitssysteme ist für Bewertungsergebnisse erforderlich.

Als Arbeitshypothese wurde formuliert, dass die nach evidenzbasierten Kriterien ausgewählten Belastungsarten einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen ermöglichen. Hierzu wird erwartet, dass die Belastungsarten nach wie vor unabhängig voneinander sind. Besonders deutlich sollte sich dies zeigen bei Paaren von Belastungsarten mit **inversen Zusammenhang**. Das sollte insbesondere der Fall sein beim Belastungspaar der Belastungsarten Klima - Hohe Temperaturen und Klima - Niedrige Temperaturen. Eine eher abnehmende Tendenz der Diskrepanz, das heißt positiv zunehmende Korrelation, sollte sich auf der anderen Seite zeigen bei Paaren von Belastungsarten, die sich in der Praxis eher bedingen, wie das beispielsweise beim Belastungspaar der Belastungsarten Schmutz und Lärm in der Praxis häufiger der Fall ist.

Die Diskriminanzvalidität wurde anhand der linearen zweiseitigen Pearson-Korrelation (Galton, 1894; Pearson, 1896; Stanton et al., 2001) der Paare der Belastungsarten untersucht (Belastungspaare). Die Interpretation erfolgte anhand der von Cohen (Cohen, 1988) vorgeschlagenen Skala mit geringer statistischer Korrelation für $r \geq 0,1$; mittlerer statistischer Korrelation für $r \geq 0,3$ und hoher statistischer Korrelation für $r \geq 0,5$.

Die höchste zwei-seitige Pearson-Korrelation mit $r = 0,33$ ergibt sich im Datensatz bei dem Belastungspaar der Belastungsarten **Lärm und Schmutz**, was die konzeptionellen Überlegungen hierzu bestätigt. Auch die niedrigste zwei-seitige Pearson-Korrelation mit $r = -0,04$ ist wie in den Vorüberlegungen erwartet bei dem Belastungspaar **Niedrige vs. Hohe Temperaturen** aufgetreten. Darüber hinaus konnten ausschließlich Korrelationen $< 0,1$ ermittelt werden.

Die überwiegend auftretenden Korrelationen $< 0,1$ bestätigen die Verwendung sich voneinander abgrenzender Belastungsarten auf deren Grundlage ein mehrdimensionaler Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen bereitgestellt wird. Insgesamt konnte Diskriminanzvalidität erneut bestätigt werden, in diesem Fall anhand eines erweiterten Datensatzes mit 3.897 Arbeitssystemen.

4.2.4 Nomologische Validität

Werden die verschiedenen Konstrukte zusammen mit den zur Operationalisierung verwendeten Indikatoren zu einem gemeinsamen Theoriegebilde zusammengefügt, so dass ein umfassendes, testbares Begriffsgefüge entsteht, so existiert ein **nomologisches Netzwerk**. Voraussetzung hierfür ist es, dass die Konstrukte in dem nomologischen Netzwerk verankert sind. Hierzu zählen Aussagen und Gesetze, die die Beziehung zwischen beobachtbaren Merkmalen, theoretischen Konstrukten und Beobachtbarem oder verschiedenen theoretischen Konstrukten beschreiben. Sofern ein nomologisches Netzwerk Aussagen über Beziehungen zwischen beobachtbaren Merkmalen enthält, kann auch eine Konstruktvalidierung erfolgen (Moosbrugger & Augustin, 2012).

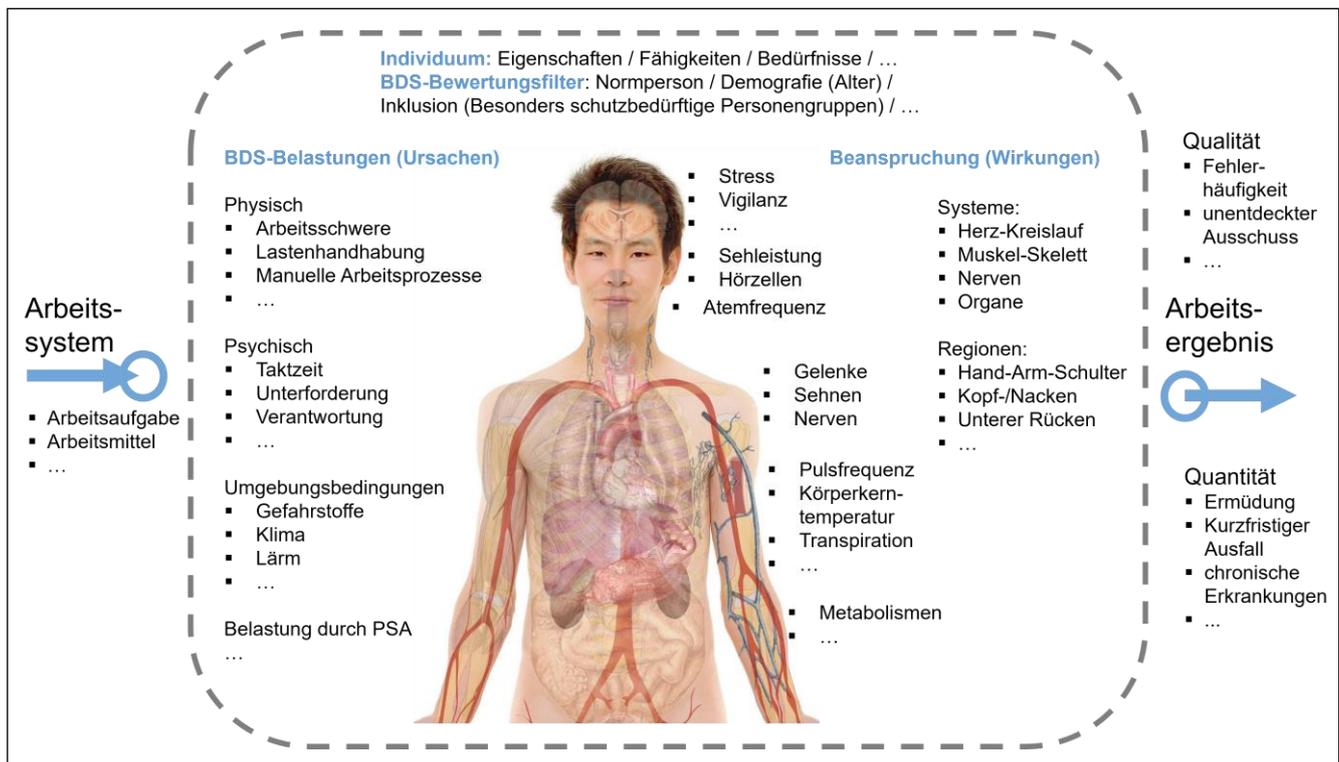


Abb. 4.77 Nomologisches Netzwerk (Gemeinsames Theoriegebilde) des Instruments
Quelle: Eigene Darstellung mit Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

Auch diese theoretischen Überlegungen zur nomologischen Validität lassen sich auf das Instrument übertragen und untersuchen. Denn Ziel der im Instrument zusammengeführten wissenschaftlichen Einzel- und Kombinationsverfahren ist es, nach den gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen⁵⁴ Beanspruchungen zu prognostizieren und damit die **Risiken der Outcomes zu quantifizieren** (Abb. 4.77).

Die Bewertungs- und Beurteilungsergebnisse des nomologischen Netzwerks des Instruments werden mit den Belastungs- und Gefährdungsprofilen, den Fachthemen-spezifischen Auswertungen und Kennzahlen und nach der Gliederung nach menschlichen Körpersystemen und Regionen mit **Avataren** für die Anwender*innen visualisiert. Damit können die betrieblichen Akteure in Abhängigkeit ihrer spezifischen Belastungssituation das Risiko gesundheitlicher Schäden bei ihren Beschäftigten **Körperregionen-spezifisch lokalisieren**.

⁵⁴ Zum Begriff der gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse: vgl. u. a. Kiel et al., 2018

Die Ableitung von Wahrscheinlichkeitsaussagen von Beanspruchungswirkungen von Mischbelastungen ist ein komplexes Forschungsfeld. Physiologisch begründet werden muss unter anderem die Wirkung auf die Belastungs-abhängig jeweils beteiligten Muskelgruppen und Knochenstrukturen (**Gelenke, Knorpel, Sehnen, Bänder, Faszien**). Ermöglicht wird dies durch Berücksichtigung der zeitlichen Gesamtdauer in einer Schicht, den Wechsel zwischen Belastung und unterbrechungsbedingter Entlastung sowie der Kumulation der Wirkungen unterschiedlicher Belastungsarten und -abschnitte in den Körperstrukturen (BAuA, 2019). Da es mit dem Instrument möglich ist, in Abhängigkeit der **Wirkungsstärke** von Belastungsarten die Beanspruchung auf Zielregionen zu **aggregieren**, kann nomologische Validität für physische Belastungen bestätigt werden (Abb. 4.78).

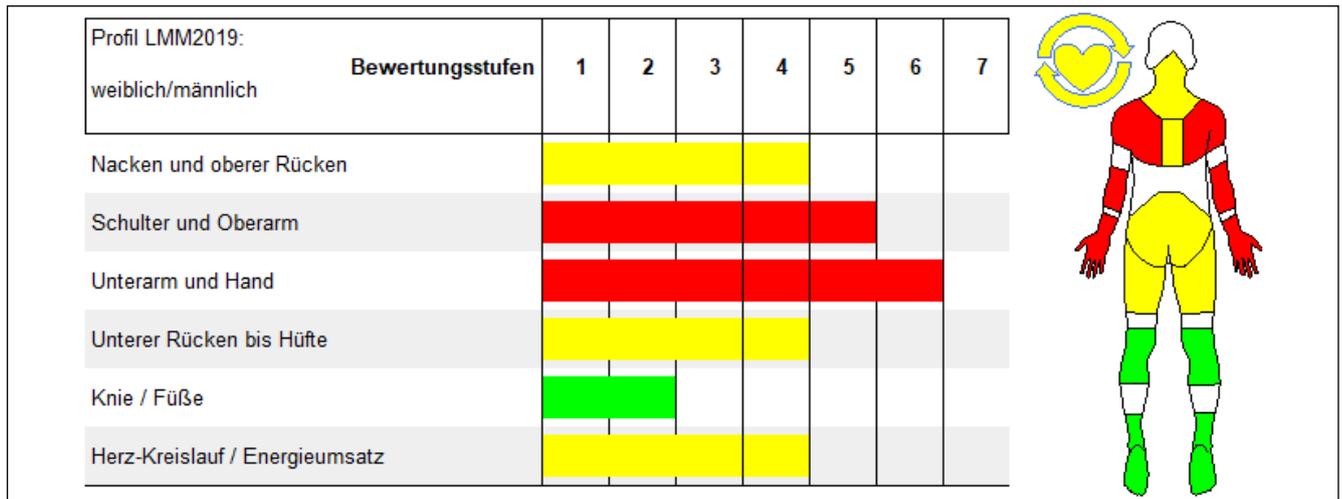


Abb. 4.78 Aggregation der Wirkungsstärke von Belastungsarten auf Zielregionen (Avatar)
Quelle: Fachverfahren Physische Arbeitsbelastungen im BDS (GEWITEB)

Um das nomologische Netzwerk weiter auszubauen und die Wahrscheinlichkeitsaussagen zu präzisieren, werden auf unabsehbare Zeit kontinuierlich weiterzuentwickelnde wissenschaftlich begründete Gesamtbeurteilungen erforderlich sein. Denn hierfür benötigt es experimentell physiologisch begründete sowie auch Belastungsart-übergreifende epidemiologische Erkenntnisse. Das nomologische Netzwerk des Instruments, das unter anderem mit der Zielregionen-Ergebnisdarstellung Avatar zur Verfügung gestellt wird, sollte daher grundsätzlich als ein kontinuierlicher wissenschaftlicher Optimierungsprozess verstanden werden. Sofern möglich und sinnvoll, bietet es sich daher vor allem im Besorgnisbereich (Bewertungsstufe 4) an, weitere Daten (**arbeitsmedizinische Befunde** etc.) für eine Gesamtbeurteilung hinzuzuziehen.

4.2.5 Methodenverzerrung

Methodenverzerrung⁵⁵ bezeichnet in der Empirie eine Verzerrung von Messergebnissen, die auftreten kann, wenn Befragte gleichzeitig Quelle für die **exogene und endogene Variable** sind. Methodenverzerrung kann beispielsweise entstehen, wenn Befragungsteilnehmer*innen Schlussfolgerungen auf die zugrunde liegenden Hypothesen treffen und ihr Antwortverhalten dahingehend anpassen (Podaskoff et al., 2003; Sharma et al., 2009).

⁵⁵ Methodenverzerrung: Common Method Bias oder die sog. Variance (Einheitsmethodenvarianz).

Übertragen auf das Instrument würde das bedeuten, dass die Beschäftigten (in den Arbeitssystemen) ihre eigenen Arbeitssysteme mit einer bestimmten Absicht verzerrt analysieren, um die Bewertungs- und Beurteilungsergebnisse in ihrem Sinne zu beeinflussen. Das läge beispielsweise aufgrund monetärer Motive vor allem beim Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen nahe. Die Analyse basiert jedoch nicht auf einem Fragebogenprinzip und ist nicht durch die Beschäftigten selbst vorgesehen. Die **Manipulation des subjektiven Empfindens** über bewusste und unbewusste Falschangaben aufgrund von Ursachen und Motiven wie Antwortverhalten nach (angenommener) sozialer Erwünschtheit, Unvermögen, Selbstdarstellung, Taktik, Aversion gegenüber der/dem Interviewer*in sowie spezielle Einflüsse der Situation und aktuelle Konzentrationsfähigkeit der Interviewten (Bogner & Landrock, 2015) treffen daher in diesem klassischen psychologischen Kontext beim Instrument nicht zu.

Beim Instrument werden die Belastungsaspekte auf der Basis von Ermittlungsmethoden wie der **Messung der Basisgrößen** der Belastungsintensität und der Expositionsdauer sowie der Durchführung von Beobachtungsanalysen erhoben. Die messtechnische Ermittlung der Analyseparameter (Lastgewichte, Wegstrecken, Lärmpegel etc.) und die **Analyse der Betriebsdokumente** beugt Methodenverzerrung vor. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Art und Weise der Implementierung und Anwendung des Instruments (4.1.14), die eine Analyse der Arbeitssysteme durch qualifizierte Anwender*innen und sofern möglich immer auch unter Einbeziehung des Fachwissens der in den Arbeitssystemen arbeitenden Beschäftigten, aber nicht durch die jeweiligen dort arbeitenden Beschäftigten selbst vorsieht. Mit diesem Setting kann ein positiver Einfluss auf die Rohdatenqualität erzielt werden, denn es schließt die im Fragebogenkontext auftretende Methodenverzerrung aus. Soll im (begründeten) Einzelfall die Implementierung und Anwendung des Instruments durch Beschäftigte selbst erfolgen, kann dies nur in Verbindung mit der Nutzung dem im Instrument integrierten Review empfohlen werden. Denn mit einem Review kann in diesen Sonderfällen potenzielle Methodenverzerrung bei der Analyse des „eigenen“ Arbeitssystems durch die Beschäftigten selbst von Dritten mithilfe nachgeschalteter Qualitätssicherung (**Vier-Augen-Prinzip**) überprüft werden.

Eine 100%-Prüfung aller Rohdaten aller Industriedatensätze ist spätestens seit der internationalen Anwendung nicht mehr möglich und Methodenverzerrung kann grundsätzlich nicht generell ausgeschlossen werden. Mit einzelnen befangenen Anwender*innen, bösen Willen und parteiischer Fehlanwendung durch Sozialpartner muss im Ernstfall gerechnet werden. Aber es ist für jede Organisation ein professioneller Umgang hiermit möglich und es hat sich beim Instrument auch bereits eine Reihe an Maßnahmen etabliert. Generell wird eine stichprobenartige Plausibilitätsprüfung der Datensätze anhand der Kontrolle des zugrunde liegenden Bild- und Videomaterials, der Stückzahlen und der erweiterten Dokumentation in einem gemeinsamen Netzwerkordner der Organisation empfohlen. Dazu gehören auch die Analyse in einem qualifizierten Team, an dem die Sozialpartner vollständig zumindest informierend beteiligt sind, die Durchführung interner (Quer-)Audits (z. B. Werk X auditiert Werk Y oder Abteilung A auditiert Abteilung B) und festgelegte zu dokumentierende **Revisionsprozesse** (Name, Datum). Diese Aspekte sind zu betonen bei der Qualifizierung des Instruments als gute Praxis autarker Anwendung und gewährleisten eine Branchenübergreifende fach- und sachgerechte Anwendung des Instruments in den Organisationen.

4.2.6 Schlussfolgerungen zur Konstruktvalidität

Als Konstrukt wird ein nicht empirisch erkennbarer Sachverhalt innerhalb einer wissenschaftlichen Theorie bezeichnet. Der betreffende Sachverhalt wird aus anderen, messbaren Sachverhalten (Indikatoren) durch Operationalisierung erschlossen. Als Teilaspekt der Validität liegt Konstruktvalidität vor, sofern die Messung eines Konstrukts weder durch systematische Fehler noch durch andere Konstrukte verfälscht ist. Konstruktvalidität wird durch Überprüfung von Inhaltsvalidität, Konvergenzvalidität, Diskriminanzvalidität, nomologischer Validität und Ausschluss von Methodenverzerrung festgestellt (Cronbach & Meehl, 1955; Lienert & Raatz, 1998).

Bei der Überprüfung zeigte sich Inhaltsvalidität (Teilkapitel 4.2.2) aufgrund der Untersuchungen zur logischen Validität (4.2.2.1) und der Untersuchungen zur Augenscheinvalidität (4.2.2.2) am Beispiel der mehrstufigen Tests der Bewertungsalgorithmen der Belastungsart Lastenhandhabung.

Konvergenzvalidität (Paralleltest) konnte an einem komplexen Arbeitssystem durch Ergebnisvergleich zwischen BDS-Instrument mit Humantech-Kombinationsverfahren untersucht werden und aufgrund vergleichbarer Ergebnisse für das Praxisbeispiel bestätigt werden (siehe nachfolgend in 4.2.7.2).

Bereits durchgeführte Untersuchungen zur Diskriminanzvalidität konnten anhand eines mittlerweile erweiterten Datensatzes mit 3.897 Arbeitssystemen anhand der berechneten Korrelationen der Belastungspaare erneut bestätigt werden (Teilkapitel 4.2.3).

Das nomologische Netzwerk des Instruments ist aufgrund der Komplexität der Operationalisierung als kontinuierlich laufender wissenschaftlicher Optimierungsprozess zu verstehen und steht den Anwender*innen unter anderem als Avatar (Zielregionen-Ergebnisdarstellung) in einem Fachverfahren im Instrument zur Verfügung, der nach aktuellen wissenschaftlichen Kenntnissen umgesetzt ist (BAuA, 2019) und weshalb hierfür nach aktuellen Erkenntnissen nomologische Validität bestätigt werden konnte (Teilkapitel 4.2.4).

Mit der Untersuchung zur Art und Weise der Implementierung und Anwendung des Instruments sowie die Darstellung zur Anwendungsabgrenzung zum Fragebogenkontext können eine Vielzahl an Maßnahmen zur Vorbeugung von Methodenverzerrung gebündelt und in die Praxis weitergegeben werden (Teilkapitel 4.2.5).

Auf der Grundlage der vorliegenden Informationen und der **Überprüfungsergebnisse** wird für das Instrument als intellektuelles Ganzes Konstruktvalidität bestätigt. Wie bei allen anderen Methoden, Verfahren und Instrumenten besteht für aktuelle und zukünftige Forscher*innen die Verantwortung, die wissenschaftlichen Qualitätsstandards bei Weiterentwicklungen, hier im Speziellen die wissenschaftlichen Gütekriterien der Validität, zu sichern und im Falle neuer Erkenntnisse weiter auszubauen. Bei der Anwendung des Instruments besteht dann analog auch für jede(n) Wissenschaftler*in, jede(n) autark anwendenden betriebliche(n) Akteur*in und jede Organisation durch Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen und Sicherstellung der neutralen Anwendung des Instruments die Verantwortung, Methodenverzerrung von Anfang an (auch organisatorisch) vorzubeugen.

4.2.7 Kriteriumsvalidität

Die Überprüfung der Kriteriumsvalidität basiert auf einer erfolgreich abgeschlossenen betriebsepidemiologischen Querschnittsstudie mit interner Kontrollgruppe (BAuA, 2019) nach im Vorfeld entwickelten Studienprotokoll und Datenschutzkonzept (Klußmann et al., 2017), in deren Rahmen unter Mitarbeit des Autors insgesamt 183 Arbeitssysteme analysiert, beurteilt und dokumentiert sowie 807 Beschäftigte körperlich untersucht und interviewt worden sind.

Für 368 Probanden*innen lagen pseudonymisiert gleichzeitig die Ergebnisse der Belastungssituation der Arbeitssysteme durch Beurteilung der Arbeitsbedingungen mit dem Instrument in Form von **arbeitswissenschaftlichen Ganzschichtanalysen** zu 32 verschiedenen Belastungsarten sowie deren Gesundheitszustand (Beschwerden, Krankheiten) auf der Grundlage klinischer Untersuchungen und Interviewdurchführungen durch Ärzte nach standardisiertem Vorgehen (Studienprotokoll) der betriebsepidemiologischen Querschnittsstudie vor (Abb. 4.79).

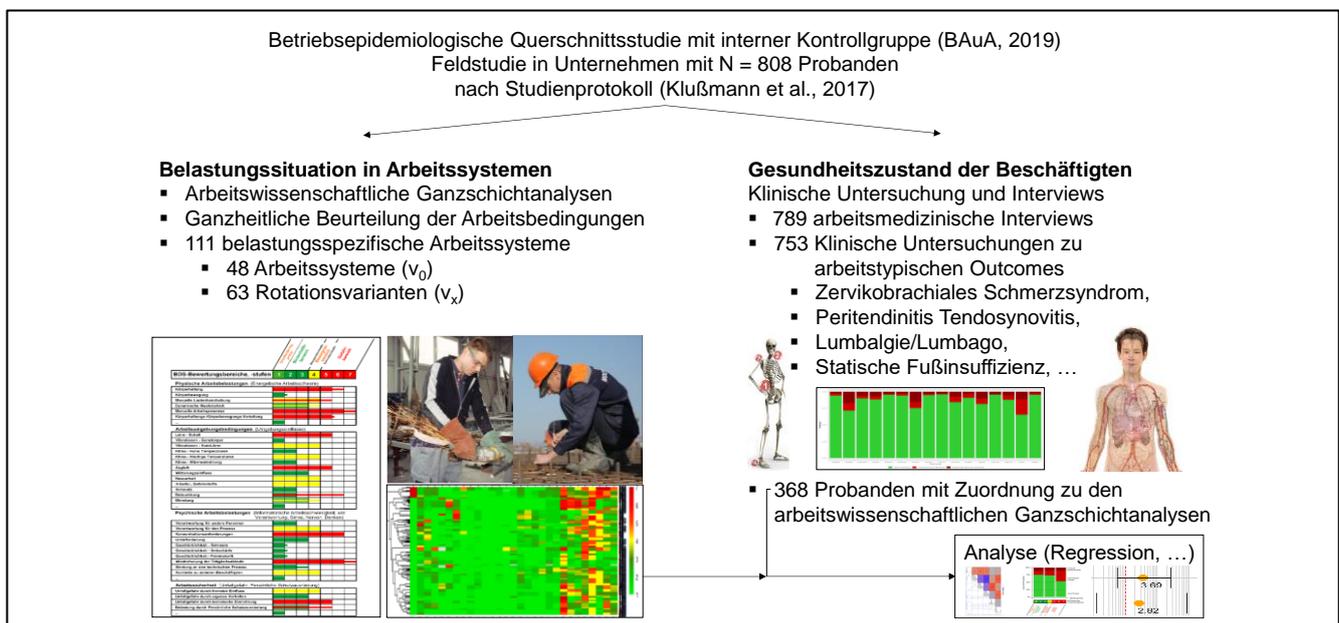


Abb. 4.79 Datengrundlage der epidemiologischen Statistik zur Kriteriumsvaliditätsprüfung
Quelle: Eigene Darstellung mit Übersicht vom Institut ASER e.V. sowie
Abbildungen mit Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

Die **relativen Risiken** zwischen arbeitsbedingter Belastung und Gesundheitszustand der Beschäftigten wurden durch Verknüpfung der Belastungs- mit den Beanspruchungs- und Beanspruchungsfolgendaten auf der Grundlage deskriptiver und explorativer Vorabanalysen mit Regressionsanalysen und Confounderprüfung berechnet.

Untersucht wurden dabei die Effekte verschiedener Belastungsarten auf **assoziierte Outcomes** bei ausreichend vorliegendem Datenmaterial. Hierbei kamen fünf unterschiedlich adjustierte Modelle zum Einsatz. Damit konnten Einflussgrößen wie Alter, Geschlecht, BMI, Arbeitszeit, das Auftreten additiver Belastungen auch über Belastungsgruppen hinweg (psychische Belastungen wie kognitive Anforderungen, Einfluss, soziale Unterstützung und soziale Beziehungen) bei der Berechnung der Odds Ratio berücksichtigt werden.

Für die mathematisch-statistischen Berechnungen wurde ein eigenes Skript mit RStudio und offiziell veröffentlichten Facherweiterungen geschrieben und der Quellcode archiviert, sodass dieser für einen schnellen Einstieg in Anschlussforschung zur Verfügung zu steht.

4.2.7.1 Belastungssituation in den Arbeitssystemen

Während einer repräsentativen Arbeitsschicht ist von den Beschäftigten immer mindestens eine charakteristische Körperhaltung einzunehmen, weshalb für alle 368 Arbeitssysteme Bewertungsergebnisse zur Belastungsart Körperhaltung vorliegen. Über den gesamten Schichtverlauf waren ausschließlich **dynamisch neutrale Körperhaltungen oder ausschließlich Körperzwangshaltungen** nach Prüfung von Intensität, Expositionsdauer und Abwertungen nicht einzunehmen, weshalb die BDS-Bewertungsstufen 1 und 7 im Datensatz als Ganzschichtergebnis nicht vorliegen (Tab. 4.35).

Tab. 4.35 Belastung durch Körper(zwangs)haltung in den Arbeitssystemen (BDS, n = 368)

Belastungsart Körperhaltung	BDS-Bewertungsstufen								Gesamt
	NA	1	2	3	4	5	6	7	
Anzahl	0	0	31	165	43	114	15	0	368
Anzahl als Zeilen (%)	0	0	8,42	44,84	11,68	30,98	4,08	0	100
Mittelwert			2,23	3,00	3,75	4,97	5,81		3,77
Standardabweichung			0,09	0,28	0,24	0,18	0,13		1,06
Minimum			2,10	2,50	3,50	4,50	5,60		2,10
Median			2,20	2,90	3,70	5,00	5,80		3,40
Maximum			2,40	3,40	4,40	5,40	6,00		6,00

Die Häufigkeitsverteilung der 368 Arbeitssystem-Schichtbewertungen in der Belastungsart Körper(zwangs)haltung visualisiert das Säulendiagramm. Bei 196 (53,26 %) der Arbeitssysteme resultieren für Normpersonen gesundheitlich unbedenkliche (hier BDS 2 & 3) Beanspruchungsfolgen. 43 (11,68 %) Arbeitssysteme liegen im Besorgnisbereich (Dauerleistungsgrenze) zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle (BDS 4) und sollten daher mittel- und langfristig nur von gesunden und gut trainierten Beschäftigten ausgeführt werden. Bei 129 (35,06 %) Arbeitssystemen liegen kritische Belastungen im Risikobereich (Gesundheitsgefahr) vor und besteht daher **betrieblicher Handlungsbedarf** (Abb. 4.80).

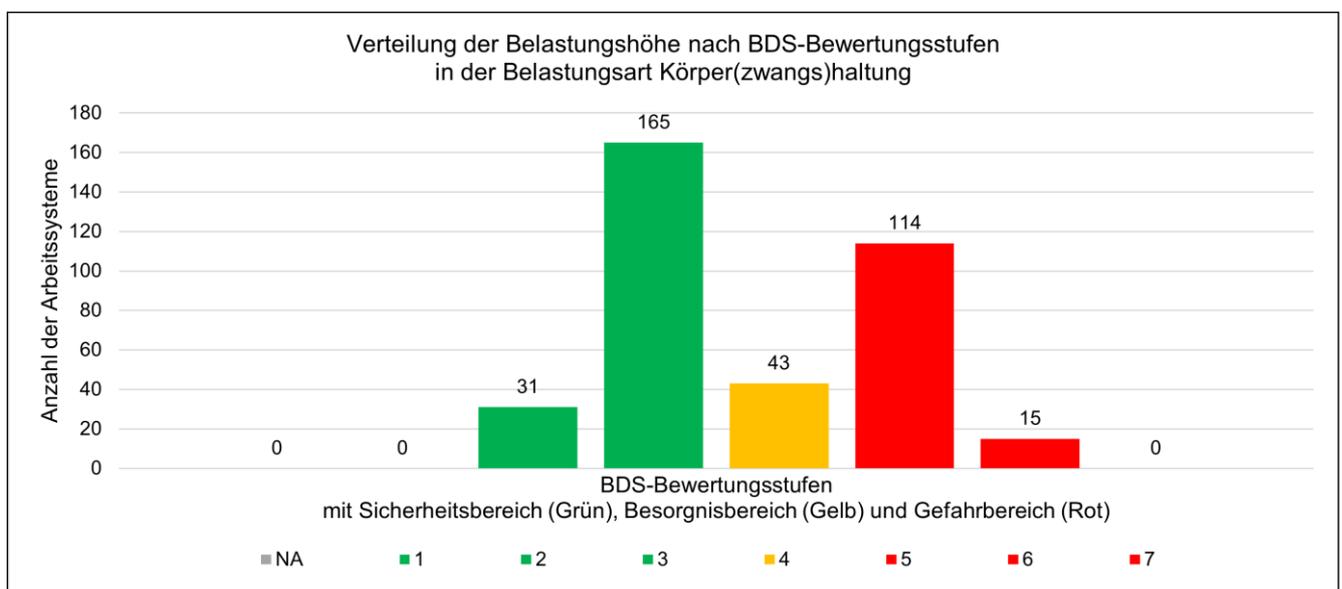


Abb. 4.80 Verteilung der Belastungshöhe bei Körper(zwangs)haltung (BDS, n = 368)

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Auch bei ortsgebundenen Arbeitssystemen bewegen sich die Beschäftigten während einer repräsentativen Arbeitsschicht in kleineren Bewegungsradien von wenigen Metern. Daher existieren auch für 100 Prozent der 368 Arbeitssysteme Bewertungen zur Belastungsart Körperbewegung. Grenzwertige (BDS 4) und kritische Belastungen (BDS 5 - 7) resultieren im Datensatz nicht, woraus sich erste Rückschlüsse auf die Arbeitsbedingungen ziehen lassen. Körperbewegungen mit hohem Energiebedarf aufgrund ungünstiger Untergründe im Freien (Sand, Schotter, Baustellen) oder ortsungebundene Arbeitssysteme mit Höhendifferenzen (Treppen, Leitern) können maximal mit geringen Zeitanteilen im Minutenbereich enthalten sein. Der Datensatz beschreibt Arbeitsbedingungen von Fertigung, Produktion, Logistik und Fahrpersonal mit Fortbewegungen auf zumeist **hindernis-/stufenfreien und waagerechten Industriehallenböden** oder mit eher statisch sitzenden Tätigkeiten (Tab. 4.36).

Tab. 4.36 Belastung durch Körper(fort)bewegung in den Arbeitssystemen (BDS, n = 368)

Körperbewegung	BDS-Bewertungsstufen								Gesamt
	NA	1	2	3	4	5	6	7	
Anzahl	0	310	42	9	0	0	0	0	368
Anzahl als Zeilen (%)	0	86,14	11,41	2,45	0	0	0	0	100
Mittelwert		1,08	1,87	2,96					1,22
Standardabweichung		0,12	0,28	0,13					0,40
Minimum		1,00	1,50	2,60					1,00
Median		1,00	2,10	3,00					1,00
Maximum		1,40	2,40	3,00					3,00

Die Häufigkeitsverteilung der 368 Arbeitssystem-Schichtbewertungen Belastungsart Körper(fort)bewegung) visualisiert das Säulendiagramm. Die 368 (100 %) Arbeitssysteme liegen im Sicherheitsbereich und sind für Normpersonen gesundheitlich unbedenklich (BDS Bewertungsstufen 1, 2, 3) ohne negative Beanspruchungsfolgen, **sofern Bewegungsmangel (Prüfung via HBV) ausgeschlossen werden kann** (Abb. 4.81).

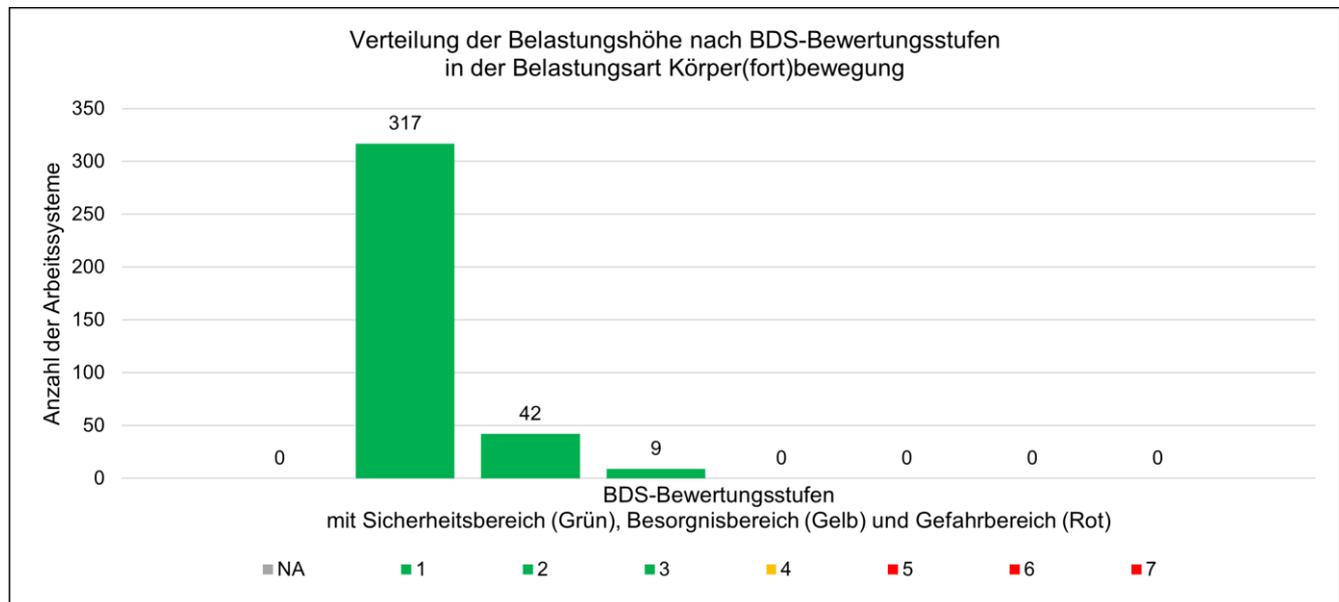


Abb. 4.81 Verteilung der Belastungshöhe bei Körper(fort)bewegung (BDS, n = 368)

In 32 Arbeitssystemen war von den Beschäftigten keine Lastenhandhabung (HHT, ZS) auszuführen. Die Belastungshöhe der 336 Arbeitssysteme mit Lastenhandhabung verteilt sich über alle Bewertungsstufen von sehr geringe (BDS 1) bis sehr hohe (BDS 7) Belastung, das heißt Arbeitssysteme mit geringen Lastgewichten (Intensität) und kurzen Wegstrecken (Expositionsdauer) sind ebenso enthalten wie **Arbeitssysteme mit hohen Lastgewichten und langen Wegstrecken**. Der Ergebnisexport der Belastungsstufen erfolgt methodenbedingt ganzzahlig, weshalb die Standardabweichung 0 resultiert. Ausnahme bildet hier BDS 1 durch manuelles Nachtragen zur Differenzierung von Bewertungsstufe 0 und 1 (Tab. 4.37).

Tab. 4.37 Belastung durch Lastenhandhabung in den Arbeitssystemen (BDS, n = 336)

Lastenhandhabung	BDS-Bewertungsstufen								Gesamt
	NA	1	2	3	4	5	6	7	
Anzahl	32	33	35	60	51	60	65	32	336/368
Anzahl als Zeilen (%)	8,70	9,82	10,42	17,86	15,18	17,86	19,35	9,52	100
Mittelwert		1,32	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	3,98
Standardabweichung		0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90
Minimum		1,20	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	1,00
Median		1,30	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	4,00
Maximum		1,40	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	7,00

Die Häufigkeitsverteilung der 336 Arbeitssystem-Schichtbewertungen und 32 NA's (8,70 %) in der Belastungsart Lastenhandhabung visualisiert das Säulendiagramm. Bei 128 (38,10 %) Arbeitssystemen resultieren für Normpersonen gesundheitlich unbedenkliche (BDS 1 - 3) Beanspruchungsfolgen. 51 (15,18 %) Arbeitssysteme liegen im Besorgnisbereich (Dauerleistungsgrenze) zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle (BDS 4) und sollten daher mittel- und langfristig nur von gesunden und gut trainierten Beschäftigten ausgeführt werden. Für 157 (46,73 %) Arbeitssysteme liegen kritische Belastungen oberhalb der Toleranzschwelle vor und besteht daher Handlungsbedarf. Da fast eine optimale Gleichverteilung vorliegt, **eignet sich der Subdatensatz zur Berechnung relativer Gesundheitsrisiken** (Abb. 4.82).

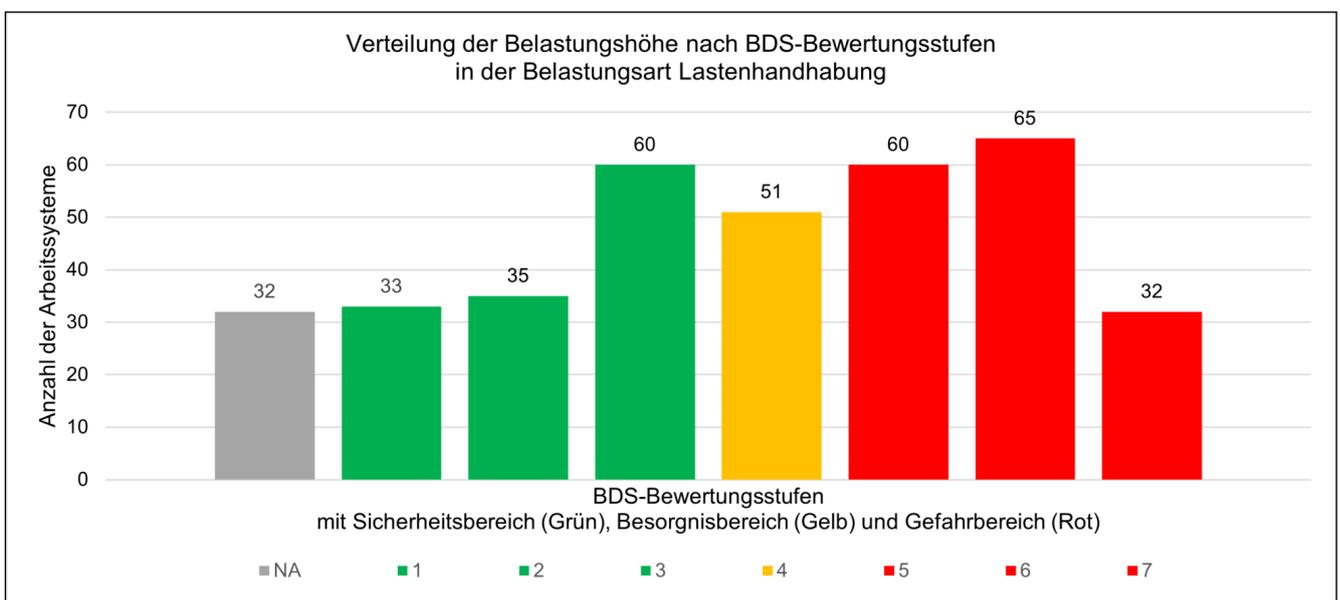


Abb. 4.82 Verteilung der Belastungshöhe bei Lastenhandhabung (BDS, n = 336)

Jedes Arbeitssystem geht mit einem spezifischen Energiebedarf einher, der sich im Falle von **überwiegend dynamischer Muskelkontraktion** anhand der Dynamischen Muskelarbeit beschreiben lässt. Insgesamt resultierten daher für 368 (100 %) Arbeitssysteme Bewertungen zur Belastungsart Dynamische Muskelarbeit. Die Belastungshöhe verteilt sich über alle Bewertungsstufen von sehr geringe (BDS 1) bis sehr hohe (BDS 7) Belastung (Tab. 4.55).

Tab. 4.38 Belastung durch dyn. Muskelarbeit in den Arbeitssystemen (BDS, n = 368)

Dynamische Muskelarbeit	BDS-Bewertungsstufen								Gesamt
	NA	1	2	3	4	5	6	7	
Anzahl	0	18	110	99	68	56	6	11	368
Anzahl als Zeilen (%)	0	4,89	29,89	26,90	18,48	15,22	1,63	2,99	100
Mittelwert		1,24	1,89	3,01	3,99	4,88	5,90	7,00	3,22
Standardabweichung		0,10	0,26	0,20	0,26	0,16	0,14	0,00	0,40
Minimum		1,10	1,50	2,60	3,50	4,50	5,70	7,00	1,00
Median		1,30	1,90	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	1,00
Maximum		1,40	2,40	3,40	4,40	5,20	6,00	7,00	3,00

Die Häufigkeitsverteilung der 368 Arbeitssystem-Schichtbewertungen in der Belastungsart Dynamische Muskelarbeit visualisiert das Säulendiagramm. Bei 227 (61,68 %) Arbeitssystemen resultieren für Normpersonen gesundheitlich unbedenkliche (BDS 1, 2, 3) Beanspruchungsfolgen. 68 (18,48 %) Arbeitssysteme liegen im Besorgnisbereich (Dauerleistungsgrenze) zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle (BDS 4) und sollten daher langfristig nur von gesunden und gut trainierten Beschäftigten ausgeführt werden. Bei 73 (19,84 %) Arbeitssystemen liegen kritische Belastungen oberhalb der Toleranzschwelle vor und besteht daher Handlungsbedarf. Sehr geringe Belastungen kommen nur zu 4,89 % vor (Beispiel: **8 Stunden sitzen ohne Ausübung von Kräften**), noch seltener sind die BDS-Bewertungsstufen 6 (1,63 %) und 7 (2,99 %), was bei schwerer Ganzkörperarbeit für kurze Ausführungsdauern und/oder das Vorhandensein regelmäßiger Erholungspausen und **Unterbrechungen (Anfahren, Stillstände, Dokumentationsphasen)** spricht (Abb. 4.83).

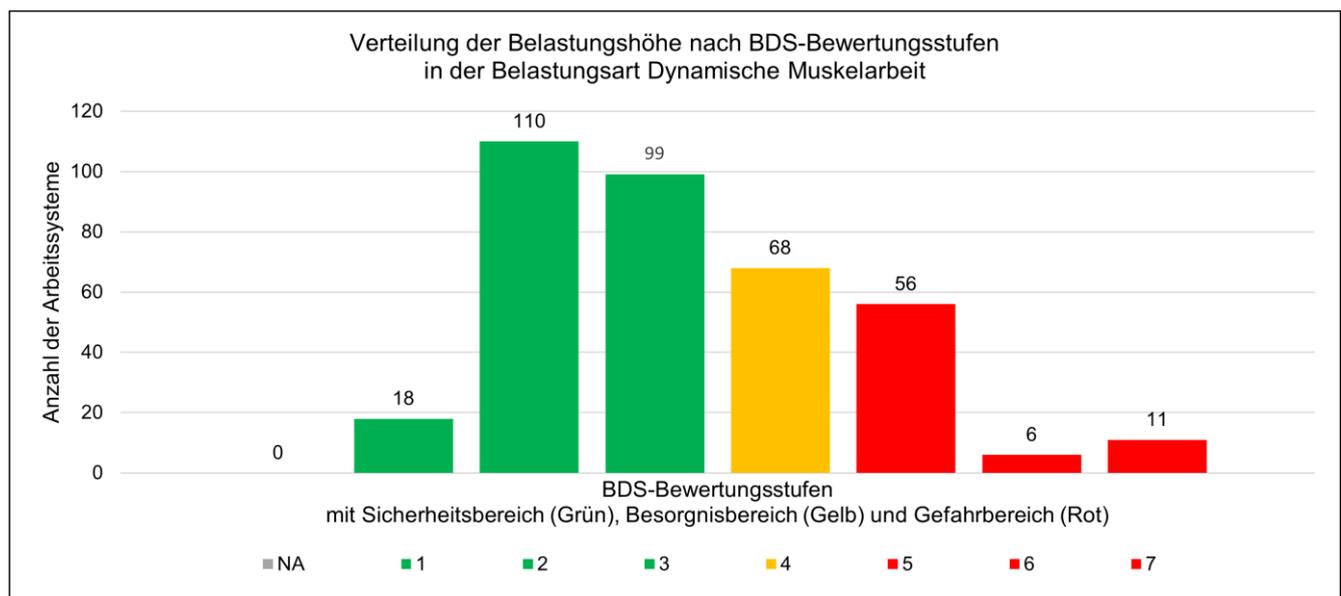


Abb. 4.83 Verteilung der Belastungshöhe bei dynamischer Muskelarbeit (BDS, n = 368)

An 90 Arbeitssystemen waren von den Beschäftigten keine Manuellen Arbeitsprozesse auszuführen. Die Belastung der **278 Arbeitssysteme mit Manuellen Arbeitsprozessen** verteilt sich über alle Bewertungsstufen von sehr geringe (BDS 1) bis sehr hohe (BDS 7) Belastung, das heißt Arbeitssysteme mit geringen Hand-Arm-Kräften (Intensität) und kurzer Handhabungsdauer (Expositionsdauer) sind ebenso enthalten wie Arbeitssysteme mit hohen Hand-Arm-Kräften (Intensität) und langer Handhabungsdauer. Die Ausgabe der Belastungsstufen erfolgt hier ganzzahlig, weshalb die Standardabweichung 0 resultiert, außer durch manuelle Differenzierung (siehe Körperbewegung) bei BDS 1 (Tab. 4.39).

Tab. 4.39 Belastung durch man. Arbeitsprozesse in den Arbeitssystemen (BDS, n = 278)

Manuelle Arbeitsprozesse	BDS-Bewertungsstufen								Gesamt
	NA	1	2	3	4	5	6	7	
Anzahl	90	24	36	31	114	43	22	8	278/368
Anzahl als Zeilen (%)	24,46	8,63	12,95	11,15	41,01	15,47	7,91	2,88	100
Mittelwert		1,35	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	3,12
Standardabweichung		0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70
Minimum		1,20	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	1,00
Median		1,40	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	4,00
Maximum		1,40	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	7,00

Die Häufigkeitsverteilung der 278 Arbeitssystem-Schichtbewertungen und 90 NA's (24,46 %) in der Belastungsart Manuelle Arbeitsprozesse visualisiert das Säulendiagramm. In 91 (32,73 %) Arbeitssystemen resultieren für Normpersonen gesundheitlich unbedenkliche Beanspruchungsfolgen. 114 (41,01 %) Arbeitssysteme liegen im Besorgnisbereich (Dauerleistungsgrenze) zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle (BDS 4) und sollten daher mittel- und langfristig nur von gesunden und gut trainierten Beschäftigten ausgeführt werden. Bei 73 (26,26 %) Arbeitssysteme liegen kritische Belastungen oberhalb der Toleranzschwelle vor und besteht daher **betrieblicher Handlungsbedarf** (Abb. 4.84).

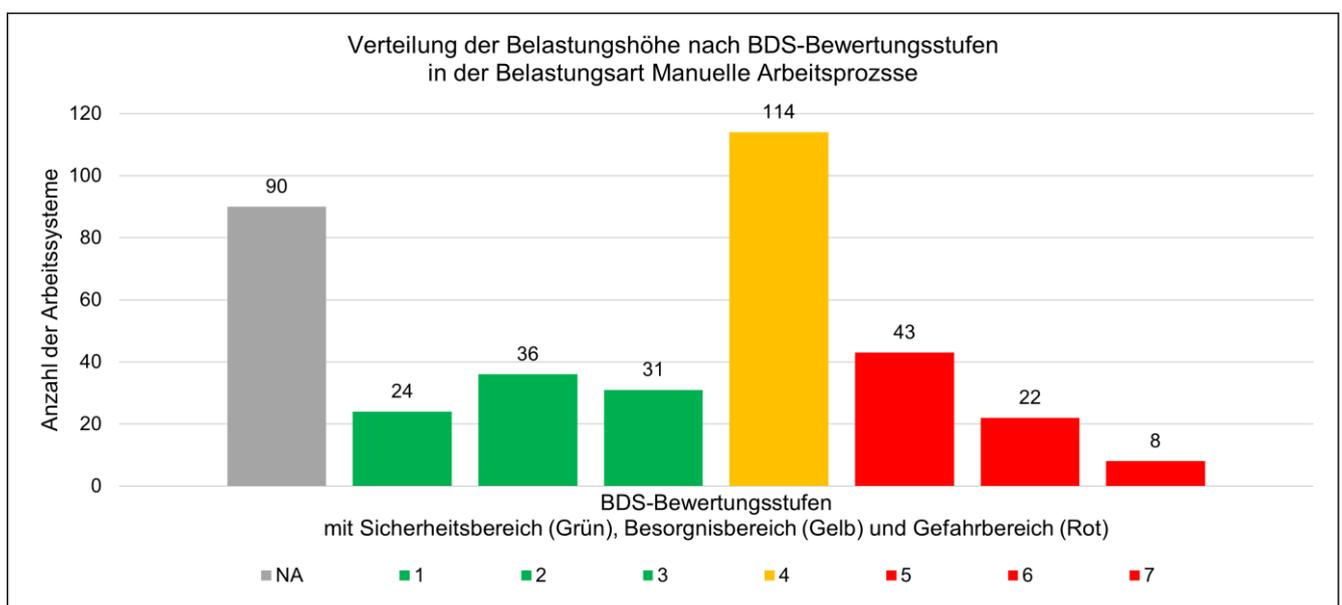


Abb. 4.84 Verteilung der Belastungshöhe bei manuellen Arbeitsprozessen (BDS, n = 278)

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Alle Arbeitssysteme können durch ihre Haltungsbewegungsverteilung charakterisiert werden. Insgesamt resultierten daher für 368 (100 %) Arbeitssysteme Bewertungen zur Belastungsart Haltungsbewegungsverteilung. Deren Belastungshöhe verteilt sich über die sieben Bewertungsstufen von sehr geringe (BDS 1) bis sehr hohe (BDS 7) Belastung, das heißt Arbeitssysteme mit **ausgewogener Verteilung von Sitzen, Stehen und Gehen** sind ebenso enthalten wie Arbeitssysteme einseitiger Verteilung. Die Ausgabe der Belastungsstufen erfolgt hier ganzzahlig, weshalb die Standardabweichung 0 resultiert (Tab. 4.40).

Tab. 4.40 Belastung durch Haltungsbewegungsverteilung in den Arbeitssystemen (BDS, n = 368)

Haltungsbewegungsverteilung	BDS-Bewertungsstufen								Gesamt
	NA	1	2	3	4	5	6	7	
Anzahl	0	24	30	29	149	92	39	5	368
Anzahl als Zeilen (%)	0	6,52	8,15	7,88	40,49	25,00	10,60	1,36	100
Mittelwert		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	4,14
Standardabweichung		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28
Minimum		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	1,00
Median		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	4,00
Maximum		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	7,00

Die Häufigkeitsverteilung der 368 Arbeitssystem-Schichtbewertungen in der Belastungsart Haltungsbewegungsverteilung visualisiert das Säulendiagramm. In 83 (22,55 %) Arbeitssystemen resultieren für Normpersonen gesundheitlich unbedenkliche (BDS 1, 2, 3) Beanspruchungsfolgen. 149 (40,49 %) Arbeitssysteme liegen im Besorgnisbereich der Dauerleistungsgrenze zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle (BDS 4) und sollten daher langfristig **nur von gesunden und gut trainierten Beschäftigten** ausgeführt werden. Bei 136 (36,96 %) Arbeitssystemen liegen kritische Belastungen oberhalb der Toleranzschwelle vor und besteht daher (betrieblicher) Handlungsbedarf (Abb. 4.85).

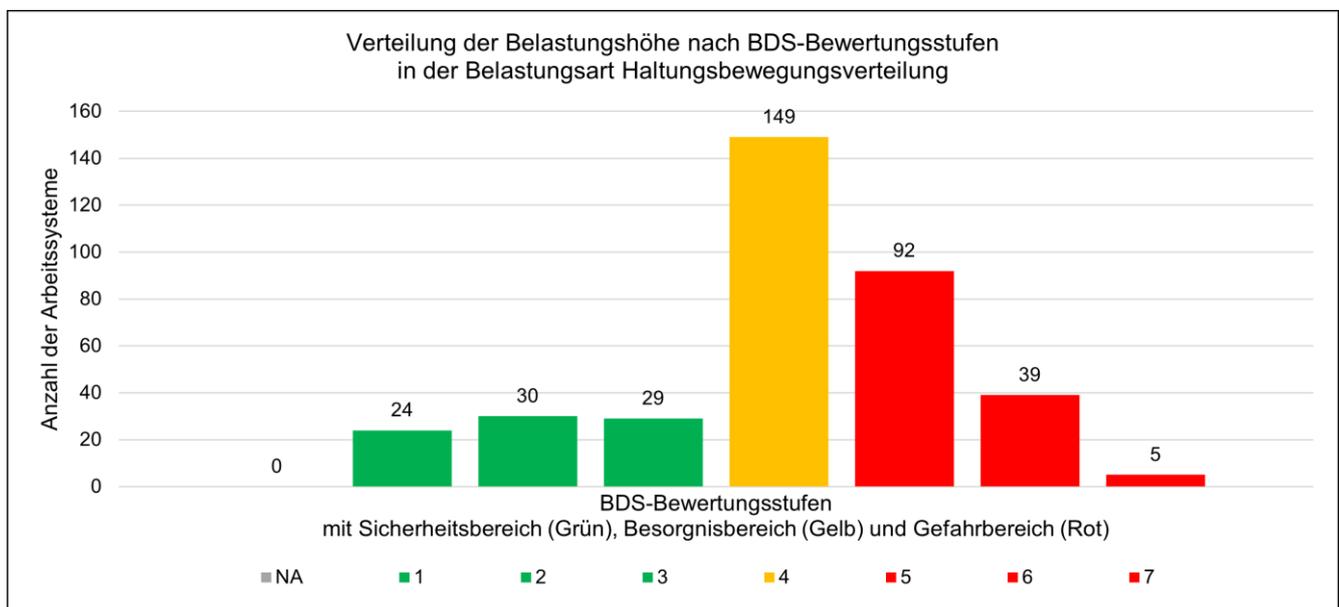


Abb. 4.85 Verteilung der Belastungshöhe bei Haltungsbewegungsverteilung (BDS, n = 368)

Insgesamt lassen sich aus den deskriptiven Datensatzanalysen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen: Etwaige arbeitsbedingte Outcomes in den Körperregionen Knie und Sprunggelenk/Füße sollten nicht auf schlechte Untergründe (Sand, Schotter, Baustellen) oder ortsungebundene Arbeitssysteme mit Höhendifferenzen (Treppen, Leitern) zurückzuführen sein, sondern auf die dominierende Belastungsart (z. B. Lastenhandhabung) gegebenenfalls in Verbindung mit einer dabei erforderlichen schlechten Körperhaltung (Knien, Hocken). Die verhältnismäßig gleich verteilten Bewertungsstufen in der Belastungsart **Lastenhandhabung** versprechen die aussagekräftigsten Ergebnisse bei der Berechnung der Zusammenhänge zwischen den Risikokategorien und adversen Gesundheitseffekten.

In der Belastungsart Manuelle Arbeitsprozesse mit typischen Outcomes in den Körperregionen Ellbogen/Unterarm und Handgelenk sollten die knapp 120 Arbeitssysteme in der Bewertungsstufe 4 mit leicht erhöhten Outcome-Prävalenzen einhergehen. Einen zusätzlichen explorativen Überblick über die mit dem Instrument beurteilten Arbeitsbedingungen liefert die mit der RStudio Facherweiterung pheatmap programmierte und auf die BDS-Farbskalen angepasste **hierarchische Clusterung der Belastungen** mittels Heatmap (Abb. 4.86).

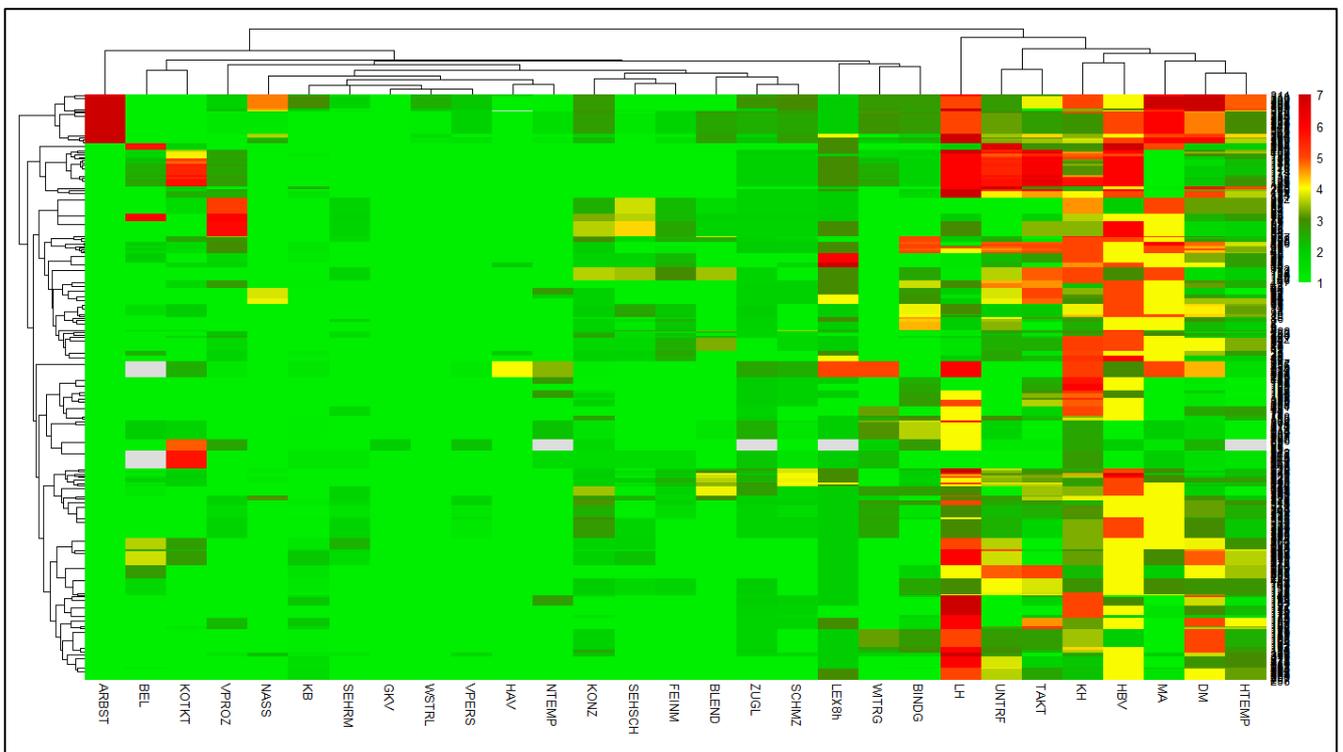


Abb. 4.86 Heatmap mit hierarchischer Clusterung der Belastungsarten, n = 368

Erkennbar wird so auch der Erhebungsfokus auf den physischen Belastungen mit einer starken Differenzierung über die 368 Arbeitssysteme. Belastungen durch Arbeitsstoffe, Ganzkörpervibrationen, Hand-Arm-Vibrationen und Wärmestrahlung, die über das **BAPPU_{evo}**-Kombinationsmessgerät hinausgehendes Messequipment und Detailanalysen erfordern, wurden nachrangig analysiert und sollten daher von den nachfolgenden Interpretationen ausgeschlossen werden. Die hierarchischen Beziehungen von hohen Temperaturen mit dynamischer Muskelarbeit und weitere weisen auf eine hohe Datensatzgüte hin (Erhebung von Arbeitswissenschaftler*innen, Mehrstufige Bewertungsalgorithmen).

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Aus den deskriptiven Datensatzanalysen konnte ein Erhebungsfokus auf den physischen Belastungsarten bestätigt werden, der insbesondere detaillierte Untersuchungen hierzu als sinnvoll erscheinen lässt. Die physischen Belastungsarten wurden daher zunächst paarweise miteinander korreliert und die Ergebnisse in einer **Korrelationsmatrix** visualisiert.

Die Korrelationsmatrix zeigt die resultierenden Korrelationskoeffizienten oberhalb der Diagonalen mit abhängiger Schriftgröße und Farbgebung (stark rot $\rightarrow r = -1,0$; stark blau $\rightarrow r = +1,0$). Die Diagonale zeigt die Verteilungen der Bewertungsstufen der physischen Belastungsarten und der Bereich unterhalb der Diagonale zeigt die **Streudiagramme** „bivariate scatter plots“ anhand der (blauen) Kurven bester Anpassung (Abb. 4.87).

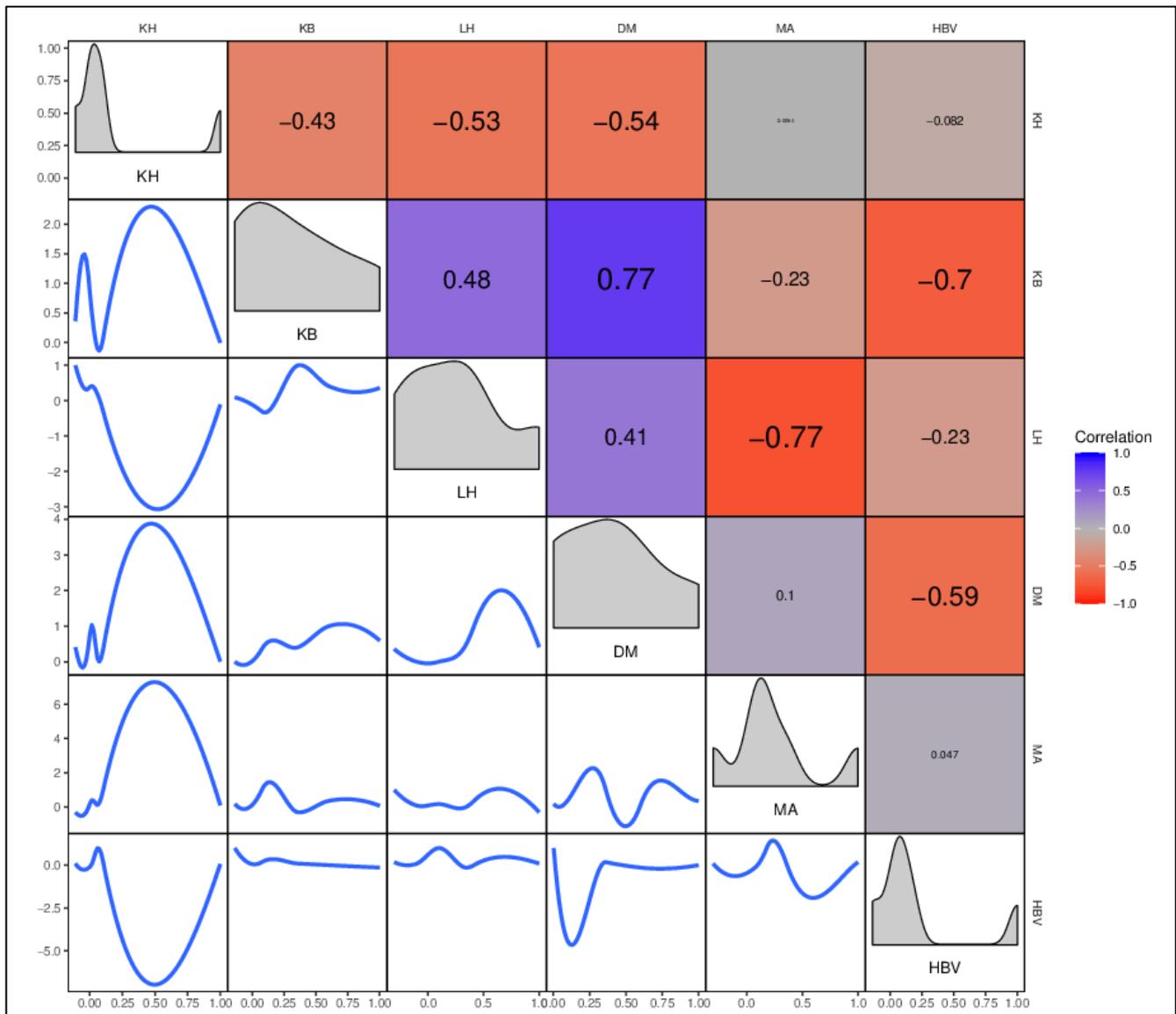


Abb. 4.87 Matrix zur paarweisen Korrelation physischer Belastungsarten, $n = 361$

Die stärksten positiven **Zusammenhänge** im Datensatz bestehen zwischen Körperbewegung (KB) und Dynamischer Muskelarbeit (DM) mit $r = 0,77$ sowie zwischen Lastenhandhabung (LH) und Körperbewegung (KB) mit $r = 0,52$. Die stärksten inversen Zusammenhänge bestehen mit $r = -0,76$ zwischen Manuellen Arbeitsprozessen (MA) und Lastenhandhabung („entweder Logistik oder Fertigung“) sowie mit $r = -0,69$ zwischen Körperbewegung und Haltungsbewegungsverteilung (HBV); was plausibel ist, denn wenig Bewegung bedeutet Statik (Stehen) und damit hohe Bewertungsstufen bei der Haltungsbewegungsverteilung.

4.2.7.2 Studienkollektiv – Zusammensetzung und Gesundheitszustand

In der Bundesrepublik Deutschland lebten zum Jahresabschluss 2021 nach der amtlichen Fortschreibung des Bevölkerungsstandes 83,2 Millionen Bürger*innen (41,9 Millionen Erwerbstätige, vgl. Kap. 1) bei einem Frauenanteil von 50,4% und einem Durchschnittsalter von 44,6 Jahren (Statistisches Bundesamt, 2022). In die Validierung konnte nach Datenausschluss ein Studienkollektiv von **368 Probanden*innen** im Alter von 19 bis 63 Jahren ($\bar{x} = 40,1$) einbezogen werden (Tab. 4.41). Die Altersverteilung im erwerbsfähigen Alter ergibt sich aus der Akquise der Probanden*innen innerhalb von Unternehmen. Die Gesamtausübungsdauer des aktuellen Berufs beträgt null bis 45 Jahre ($\bar{x} = 9,1$).

Tab. 4.41 Verteilung von Alter und Berufsausübung im Studienkollektiv (n = 368)

Var	n	miss	p.miss	mean	sd	median	p25	p75	min	max	skew	kurt
Alter	368	3	0,8	40,1	11,4	39	30	50	19	63	0,14	-1
Beruf Ges	368	221	60,1	9,1	9	6	2	12	0	45	1,63	2

Über das gesamte Studienkollektiv liegt das 25. Perzentil bei der **Altersverteilung** bei 30 Jahren und das 75. Perzentil bei 50 Jahren. Im Datensatz liegen 365 Altersangaben vor; bei den Männern von 19 bis 63 Jahren und bei den Frauen von 21 bis 63 Jahren (Abb. 4.88).

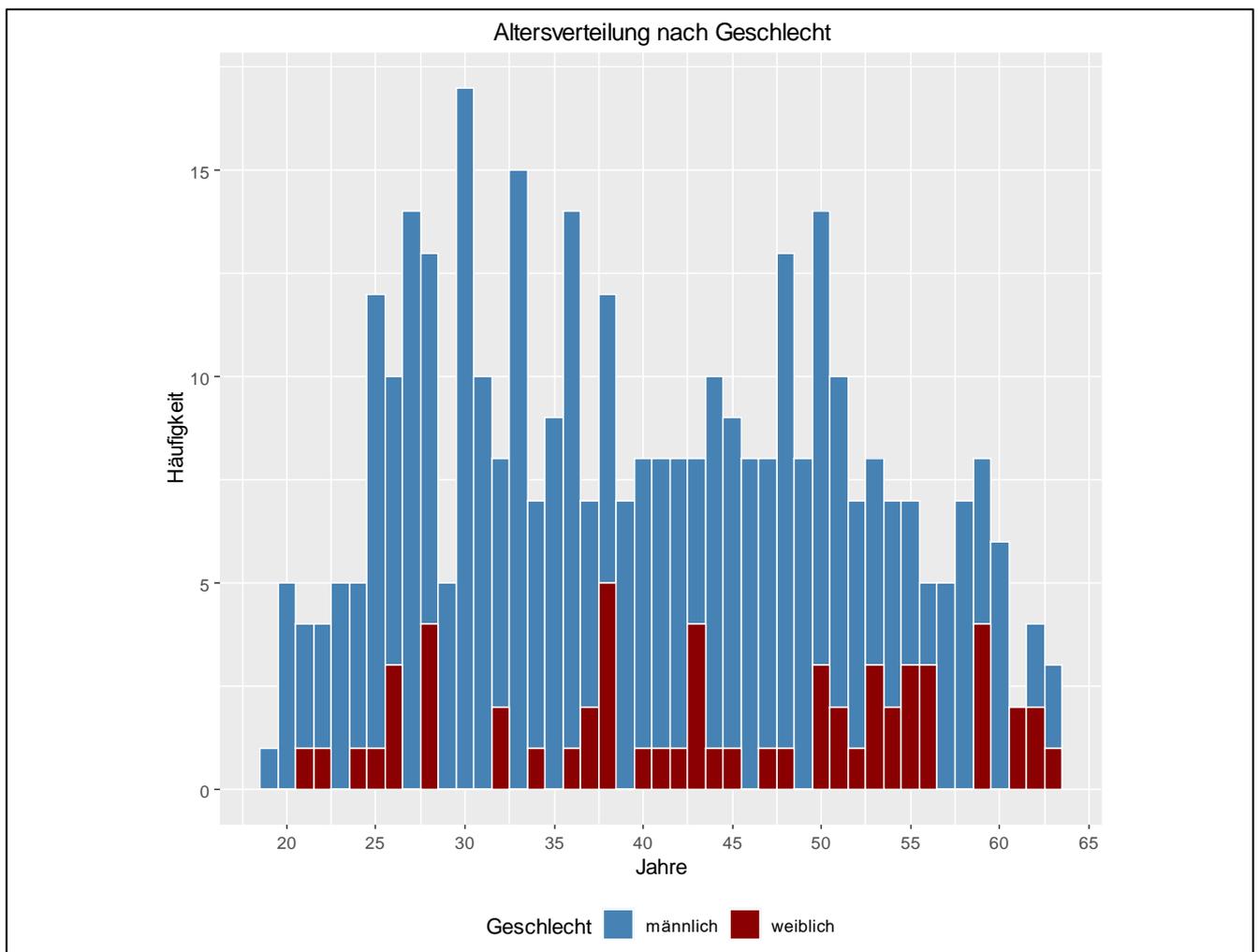


Abb. 4.88 Altersverteilung (Jahre) nach Geschlecht im Studienkollektiv (n =365; miss = 3)

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Das Studienkollektiv setzt sich aus 309 Probanden und 59 Probandinnen zusammen. Bei den Frauen ist die Angabe der **Körpermasse** von 55 Kilogramm (kg) und bei den Männern die Körpermassenangabe 80 kg im Datensatz am häufigsten. Über das Studienkollektiv ist die leichteste Person eine Frau mit 50 kg und die schwerste Person ein Mann mit 132,5 kg; beide Verteilungen sind leicht rechtsschief (Abb. 4.89).

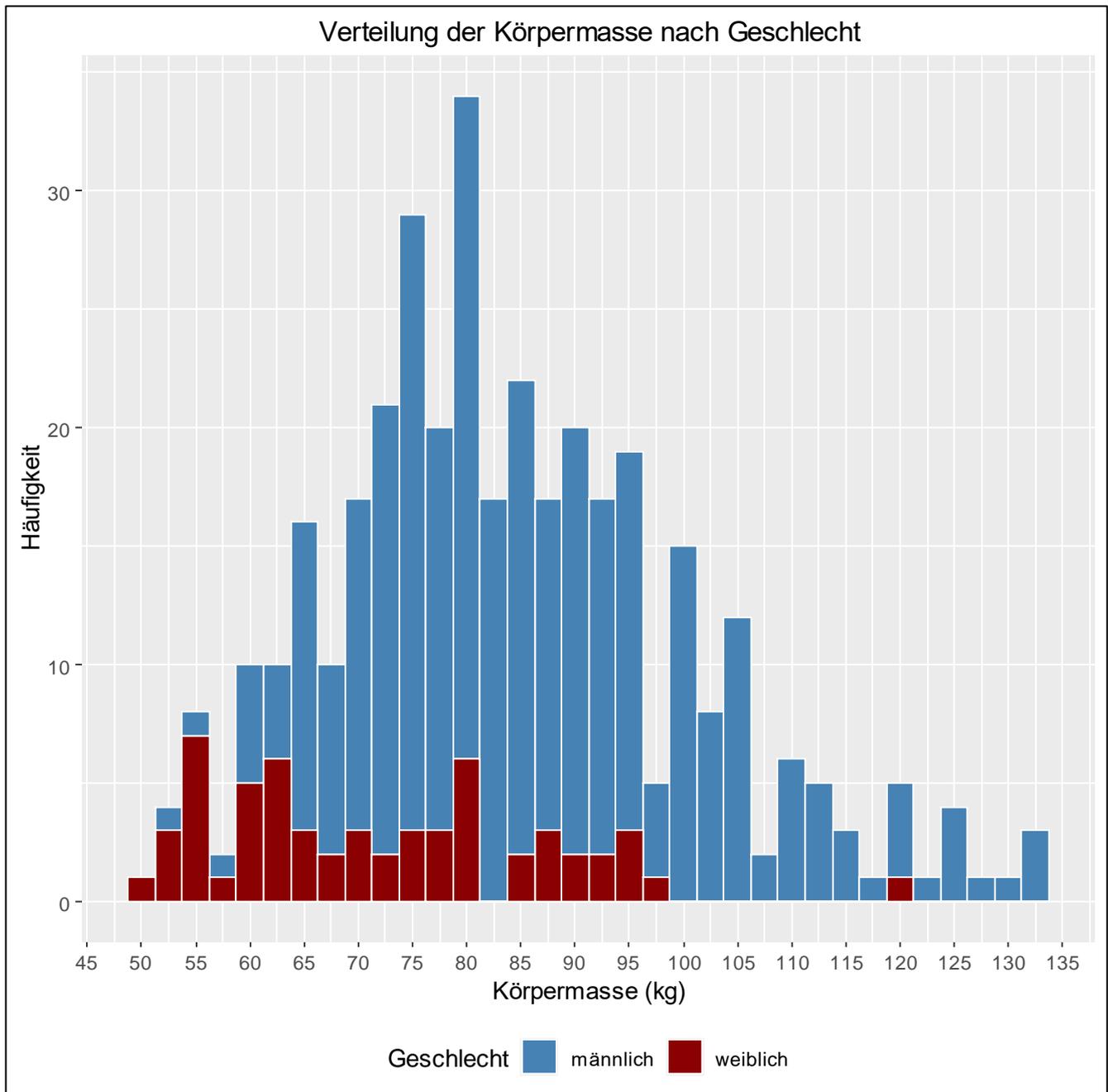


Abb. 4.89 Verteilung der Körpermasse (kg) je Geschlecht im Studienkollektiv

Unter den insgesamt 368 Beschäftigten verteilt sich die **Händigkeit** auf 91,2% Rechtshändiger und 8,8% Linkshändiger. Zum Vergleich: Der Anteil Linkshändiger in der Bevölkerung ist nicht exakt geklärt. Neuere Untersuchungen durch Beobachtungen bei Kindern und eine zunehmende Akzeptanz deuten auf steigende Raten zwischen 10 und 15% oder gar bis größer 20% hin (Sattler et al., 2020). Die Raucherquote im Studienkollektiv liegt bei 47,7 Prozent. Zum Vergleich: Deutschlandweit rauchen 23,8% der über 18-Jährigen (BMG, 2021).

Zu **sportlichen Aktivitäten** gab es im Studienkollektiv die folgenden Angaben: 37,9% der Probanden*innen treiben keinen, 27% gelegentlich und 35,1% regelmäßig Sport (Tab. 4.42).

Tab. 4.42 Verteilung von Geschlecht, Händigkeit, Raucherstatus und sportlichen Aktivitäten im Studienkollektiv (n = 368)

Var	n	miss	p.miss	level	freq	percent	cum.percent
Geschlecht	368	0	0,0	männlich	309	84,0	84,0
				weiblich	59	16,0	100,0
Händigkeit	368	15	3,9	Rechtshändiger	322	91,2	91,2
				Linkshändiger	31	8,8	100,0
Raucherstatus	368	3	0,8	Raucher	174	47,7	74,7
				Nichtraucher	191	52,3	100,0
Sport	368	2	0,6	Kein Sport	136	37,9	43,0
				Gelegentlich Sport	97	27,0	68,6
				Regelmäßig Sport	126	35,1	100,0

Die beiden Beziehungen jeweils zwischen dem Alter der Probanden (blau) sowie dem Alter der Probandinnen (rot) und der **Ausübungsdauer des aktuellen Berufs** zeigen plausible Verläufe. Mit zunehmendem Alter steigt die mittlere Ausübungsdauer an. Das dritte Quartil (Q3) der Ausübungsdauer des aktuellen Berufs liegt im gesamten Studienkollektiv bei 11 Jahren, was bei der späteren Interpretation der Untersuchung der Kriteriumsvalidität zu berücksichtigen ist (Abb. 4.90).

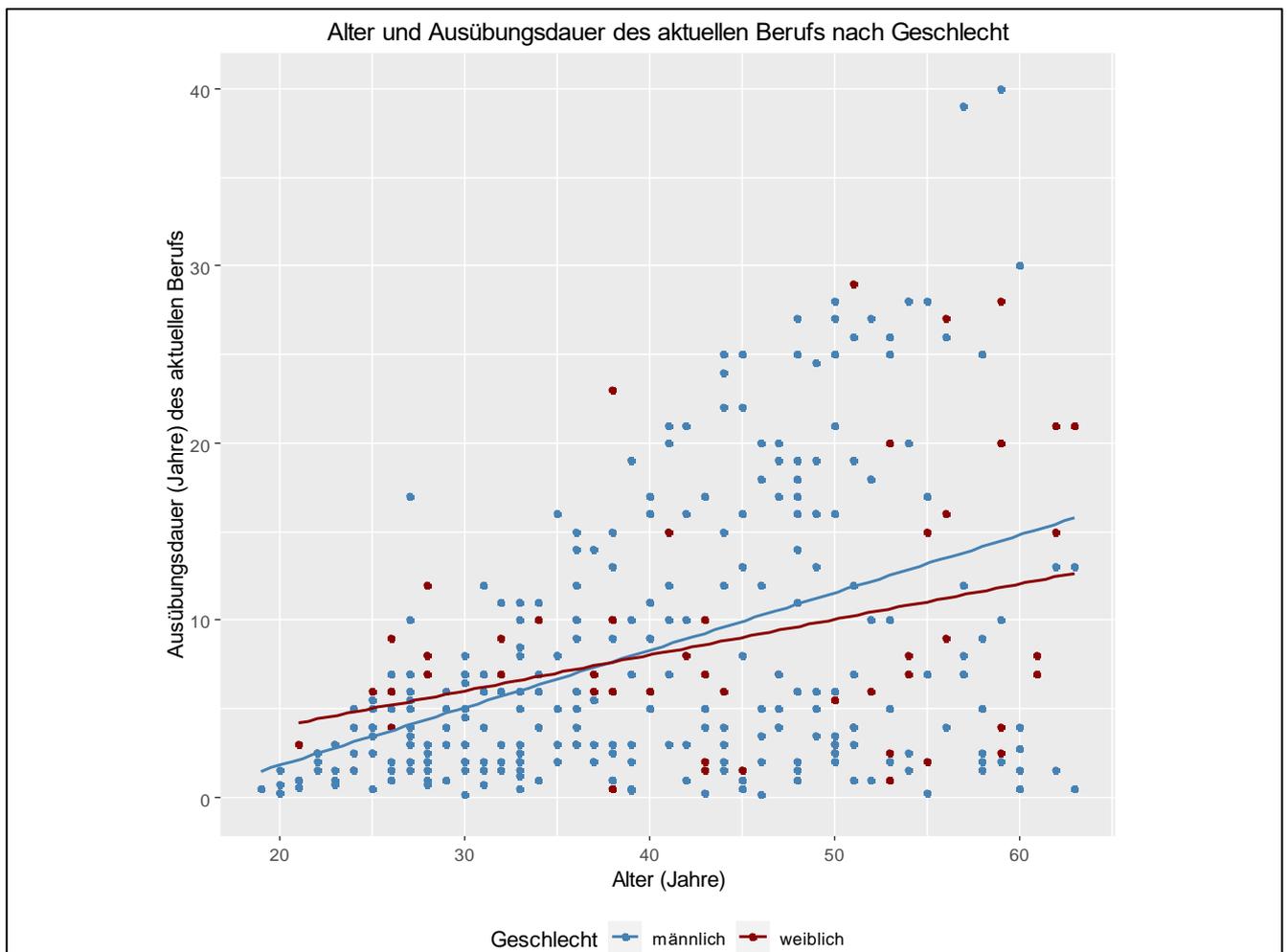


Abb. 4.90 Alter und Ausführungsdauer des aktuellen Berufs nach Geschlecht

Im Studienkollektiv sind die **Raucher*innen** etwas jünger als die Nichtraucher*innen. Der Interquartilbereich (IQR) der Raucher*innen liegt von 30 bis 48 Jahren um knapp zwei Jahre versetzt niedriger als der Interquartilbereich der Nichtraucher*innen. Die Daten decken sich mit den Rauchgewohnheiten nach Altersgruppen und Geschlecht nach dem **Mikrozensus** (Statistisches Bundesamt, 2019), nach denen die meisten Raucher*innen in der Altersgruppe von 30 bis 40 Jahren (vgl. Median der Raucher*innen) zu finden sind und die Nichtraucher*innen-Quoten in den höheren Altersgruppen tendenziell höher sind.

Auch die **Beziehung von Körpermasse (kg) und Körpergröße (cm)** zeigt einen plausiblen Verlauf und entspricht den nach Geschlecht verschobenen Normalverteilungen anthropometrischer Datensätze (DIN EN ISO 7250-1:2017). Mit einer Zunahme der Körpergröße um 30 Zentimeter nimmt das Körpergewicht im Studienkollektiv im Mittel um etwa 20 Kilogramm zu, wobei dieser Effekt hier bei den Männern (blaue Punkte und blaue Linie) etwas deutlicher ausgeprägt ist (Abb. 4.91).

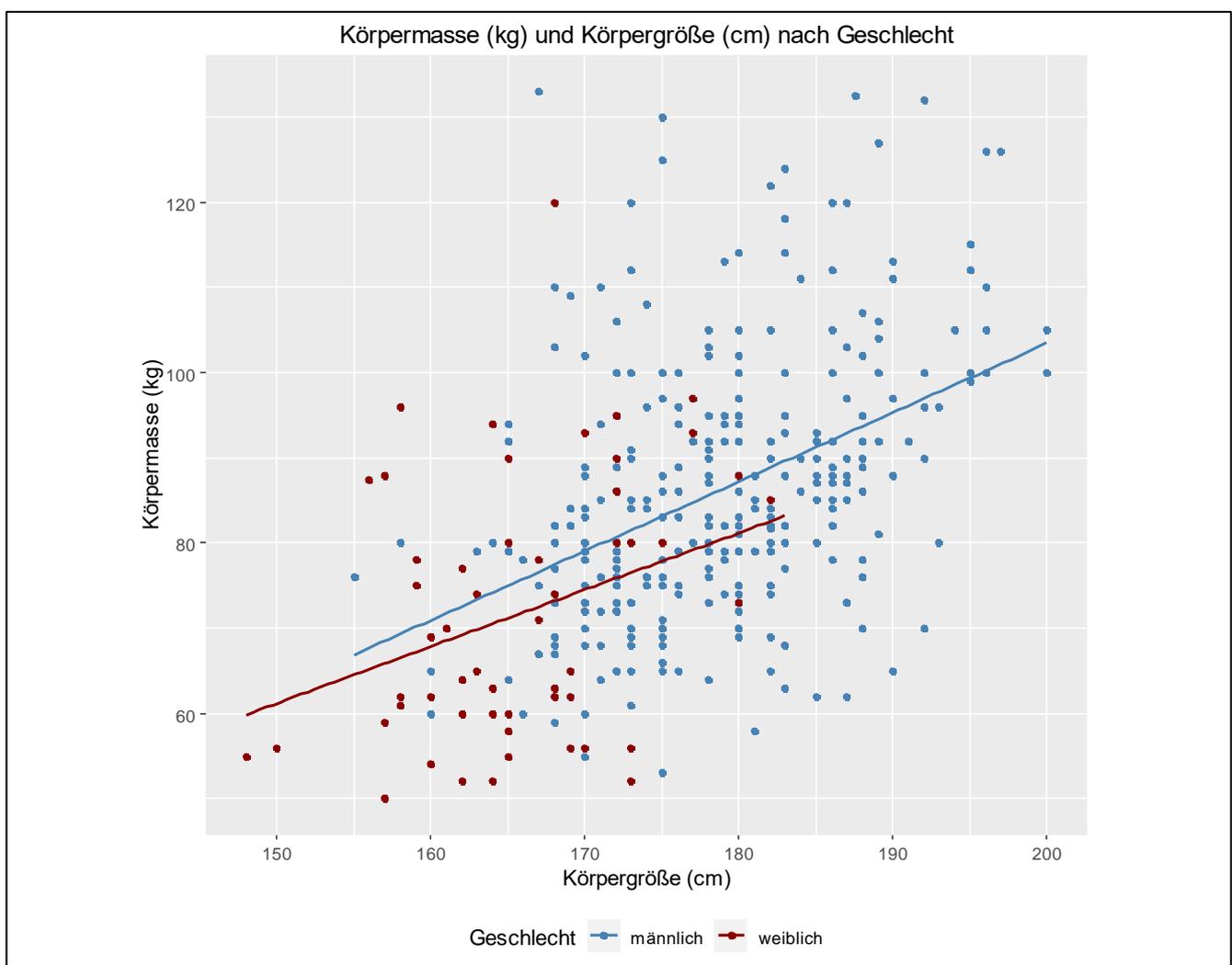


Abb. 4.91 Körpermasse (kg) und Körpergröße (cm) nach Geschlecht

Auf der Grundlage dieser Daten kann der Body-Mass-Index als eine schnelle und einfache Methode zur Einordnung der Körpermassenverteilung im Studienkollektiv verwendet werden. Denn größere und häufig auftretende Abweichungen vom Normalgewicht können sich auf den Gesundheitszustand des exponierten Studienkollektivs auswirken und sind daher beim **Confounding** zu berücksichtigen.

Der **Body-Mass-Index** (BMI) (kg/m^2) wird häufig zur Bewertung des Körpergewichts verwendet und ergibt sich aus dem Verhältnis von Körpermasse (kg) und Körpergröße (m). Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) unterscheidet in der Auswertung die fünf Kategorien Untergewicht, Normalgewicht, Übergewicht, extremes Übergewicht (Adipositas) und massive Adipositas (Adipositas Grad 2).

Die Verteilung des auf der Grundlage der Rohdaten berechneten **Body-Mass-Index** (BMI) zeigt, dass die Klassen Normalgewicht ($18,5 - 24,9 \text{ kg}/\text{m}^2$) und Übergewicht ($25,0 - 29,9 \text{ kg}/\text{m}^2$) am häufigsten auftreten. Die Klassen Adipositas Grad 1 ($30,0 - 34,9 \text{ kg}/\text{m}^2$) und Adipositas Grad 2 ($35,0 - 39,9 \text{ kg}/\text{m}^2$) kommen häufiger vor als Untergewicht ($< 18,5 \text{ kg}/\text{m}^2$) (Abb. 4.92).

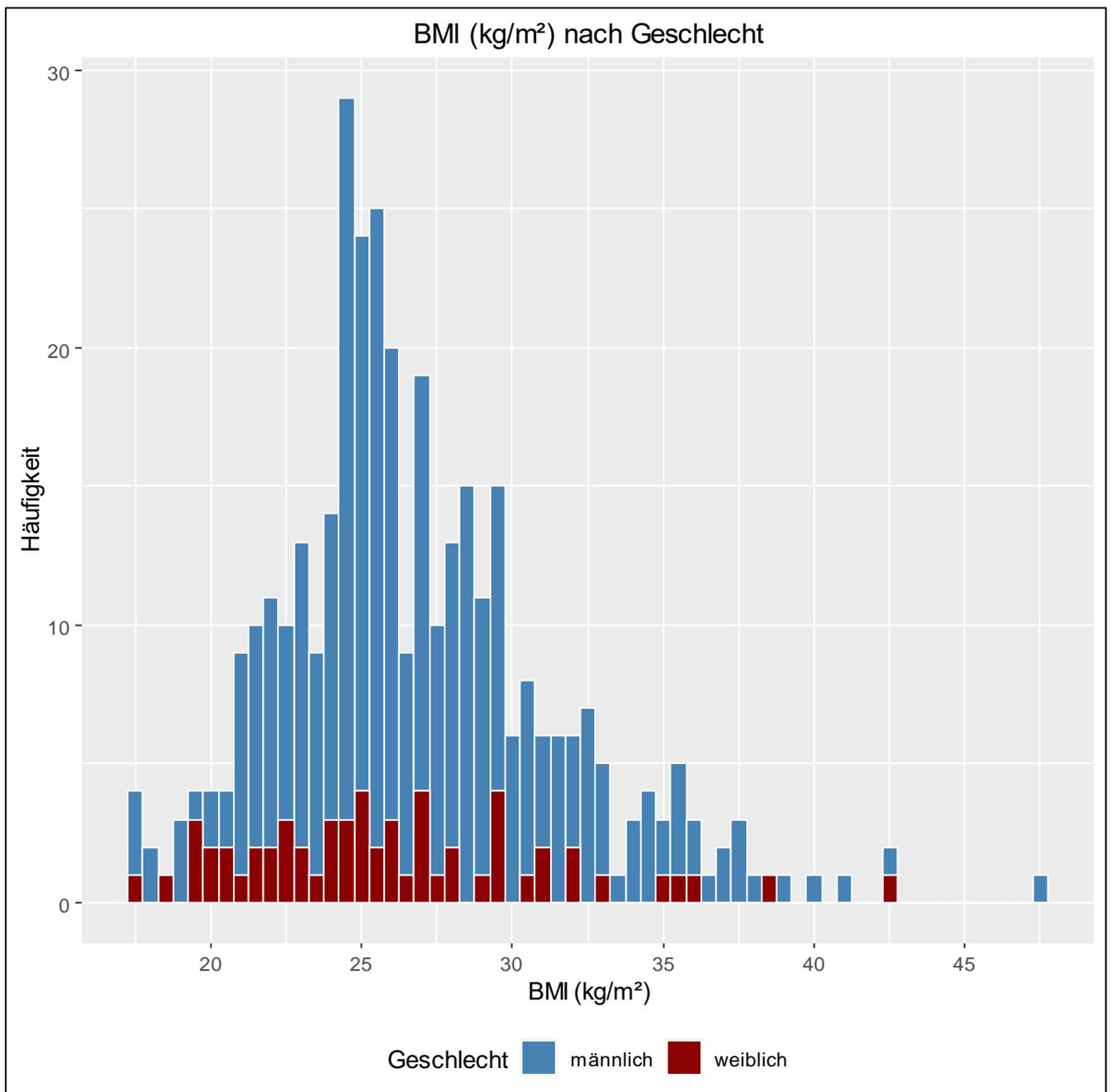


Abb. 4.92 Body-Mass-Index (kg/m^2) nach Geschlecht

Der Body-Mass-Index ist als **Richtwert** zu verstehen, da lediglich die Körpermasse als Indikator für die Gesundheit zugrunde gelegt wird. Alter, Geschlecht und sportliche Betätigung werden jedoch nicht berücksichtigt.

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Das heißt, dass es unter anderem bei hoher sportlicher Betätigung aufgrund der schweren Muskelmasse zur Fehlinterpretation des Body-Mass-Index kommen kann, da nicht zwischen **Fett- und Muskelmasse** unterschieden wird. Dieser BMI-Zuwachseffekt (Muskelmasse) tritt auch im untersuchten Studienkollektiv bei den regelmäßigen Sportler*innen gegenüber den gelegentlichen Sportler*innen auf (Abb. 4.93).

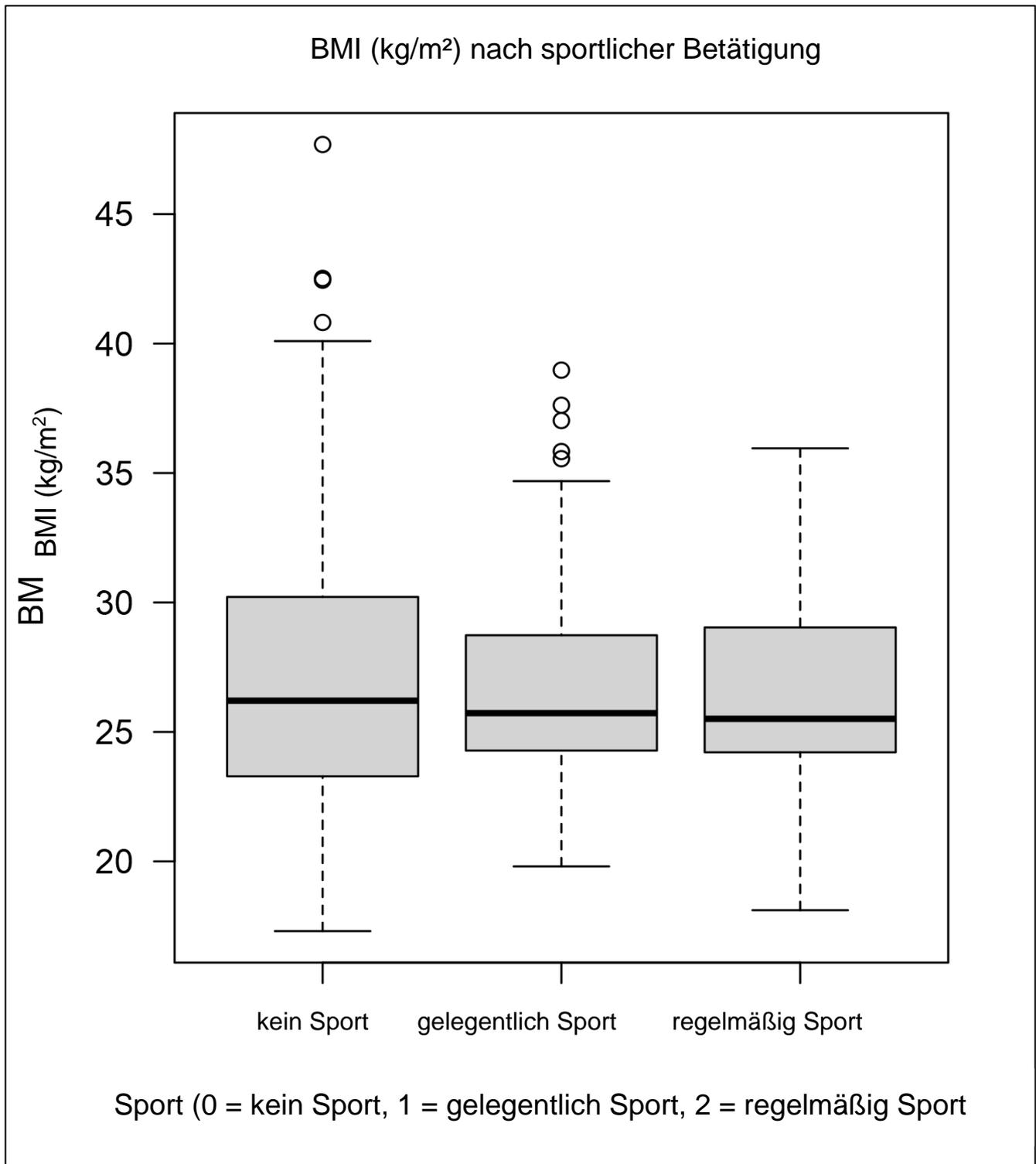


Abb. 4.93 BMI (kg/m²) nach sportlicher Betätigung

Bis auf die fünf **milden Ausreißer** oberhalb des oberen Whiskers im mittleren vertikalen Box-Plot sind alle Probanden*innen mit Adipositas Grad 2 ($\geq 35,0$ kg/m²) im Studienkollektiv Nicht-Sportler*innen.

Im Studienkollektiv steigt mit zunehmendem Alter der Nicht-Sportler-Anteil (Abb. 4.94).

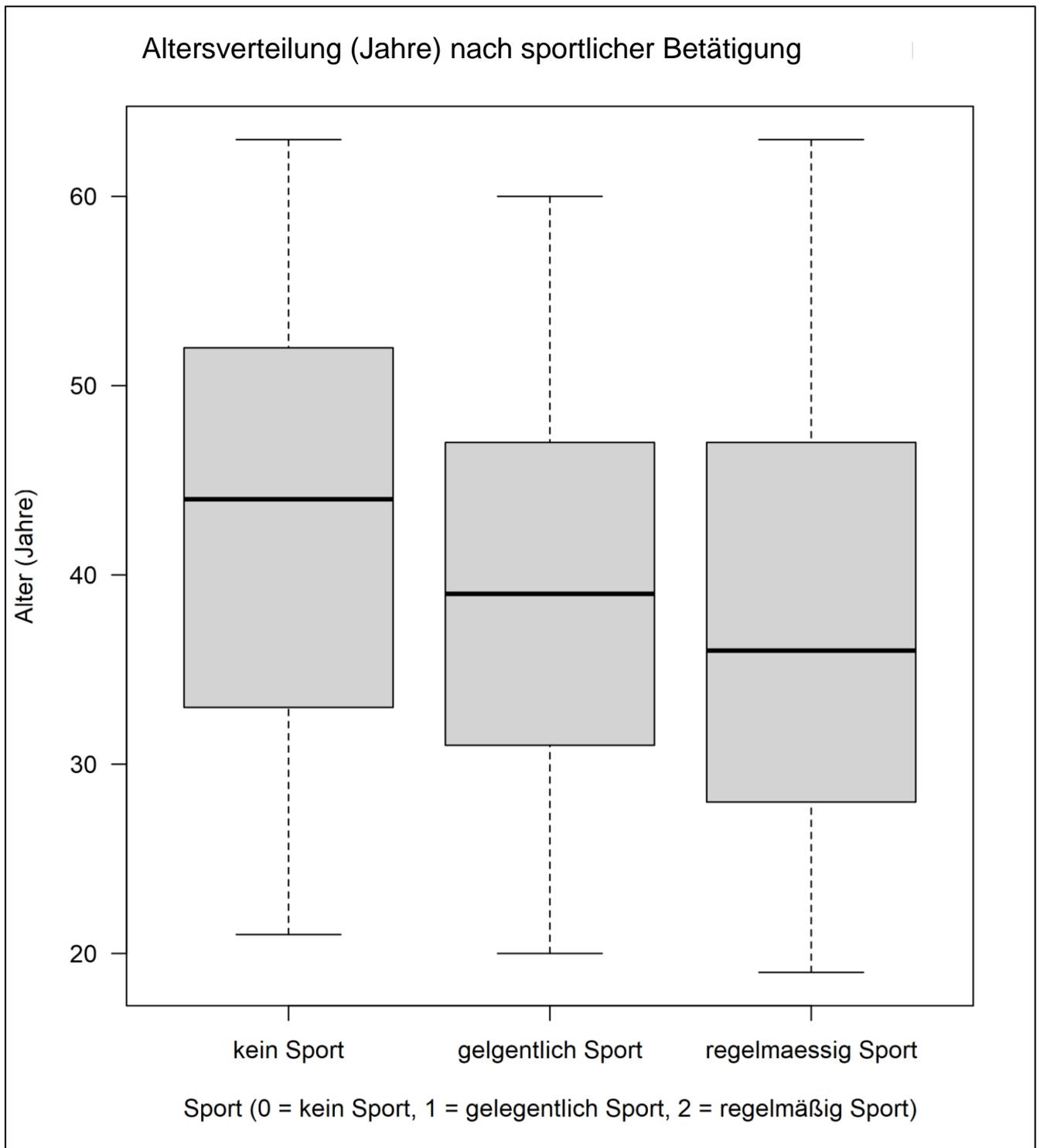


Abb. 4.94 Altersverteilung (Jahre) nach sportlicher Betätigung

Insgesamt lassen die im Rahmen der medizinischen Untersuchung (orientierende Anamnese und klinische Untersuchung) erfassten Parameter zum Studienkollektiv neben der Betrachtung zum Gesundheitszustand (Muskel-Skelett-System, Lunge, Herz, Abdomen, Gefäßstatus) damit auch die Betrachtung relevanter **Confounder** (Blutdruck, Ruheherzschlagfrequenz, Körpergewicht, Körpergröße, BMI, Körperfettanteil, Hip-to-Waist-Ratio) zu.

Mit einer **medizinischen Untersuchung** durch geschulte Studienärzte (Anamneseerhebung und funktionell klinische Untersuchungen) wurden zuordnungsfähige körperliche Beschwerdekomplexe und Erkrankungen der Beschäftigten im vorgestellten Studienkollektiv nach festgelegten diagnostischen Kriterien (Mehrstufendiagnostik nach Grifka et al., 2005 sowie Spallek und Kuhn, 2009) spezifiziert. Hierzu wurde ein nach der SALTSA-Studie (Sluiter et al., 2001) weiterentwickelter Erhebungs- und Dokumentationsbogen mit einer Liste von Standarddiagnosen verwendet, für die arbeitsbezogene Faktoren im Ursachenspektrum angenommen werden müssen. Eine weitere Absicherung der Untersuchung erfolgte durch Einsatz eines Mitarbeiterfragebogens (BAuA, 2019). Nachfolgend werden zunächst zentrale Ergebnisse der medizinischen Untersuchung visualisiert und anschließend deren Zusammenhang mit den vorgestellten Bewertungs- und Beurteilungswerten des BDS-Instruments untersucht, um zu klären, ob sich spezifische Hinweise der Vorhersage finden lassen.

Die klinische Untersuchung und anamnestischen Informationen mündeten im Ergebnis in einer vom untersuchenden Studienarzt erstellten Zusammenfassung über belastungstypische Erkrankungen und charakteristische anamnestische oder funktionell klinische Befundkonstellationen. Je **Krankheitsbild** war dabei vom Arzt zu unterscheiden, ob der Verdacht auf das Vorliegen der jeweiligen Erkrankung besteht (0 = nein, 1 = ja, anamnestische Hinweise aus den letzten 12 Monaten liegen vor, 2 = klinische Hinweise auf Erkrankung wie typische Befundkonstellationen oder funktionelle Einschränkungen liegen vor). Anatomisch lassen sich die Krankheitsbilder nach den Körperregionen obere Extremitäten, Nacken, Rücken, untere Extremitäten wie folgt differenzieren.

- Erkrankungen der **oberen Extremitäten**:
 - Zervikales/Zervikozephalisches Schmerzsyndrom,
 - Zervikobrachiales Schmerzsyndrom,
 - Periarthritis humeroscapularis,
 - Epicondylitis lateralis,
 - Epicondylitis medialis,
 - Peritendinitis/Tendosynovitis der Unterarm und Handgelenks-Flexoren/Extensoren,
 - Karpaltunnelsyndrom und
 - Arthrose der distalen Gelenke der oberen Extremitäten.
- Erkrankungen im **unteren Rücken**:
 - Lumbalgie/Lumbago,
 - Lumbales Facettensyndrom – Pseudoradikuläres Syndrom und
 - Lumbales Radikulärsyndrom
- Erkrankungen der **unteren Extremitäten**:
 - Coxarthrose/Coxalgie,
 - Gonarthrose inklusive Chondropathia patellae,
 - Meniskusläsion,
 - Varikosis der Beinvenen und
 - Statische Fußinsuffizienz.

Für die **statistische Auswertung pro Krankheitsbild** wurde vorrangig die zusammenfassende ärztliche Einschätzung verwendet, ob typische anamnestische oder funktionell klinische Befunde vorliegen oder nicht. Dabei wurde im unteren Rücken das allgemein und plötzlich auftretende Krankheitsbild **Lumbalgie/Lumbago** (LL/D09), in den oberen Extremitäten die Krankheitsbilder **zervikales/zervikozepales Schmerzsyndrom** der Halsstruktur und Halswirbelsäule (ZZS/D01) sowie **Periarthritis humeroscapularis** im Schultergürtel (PT/D06) sowie in den unteren Extremitäten das Krankheitsbild **statische Fußinsuffizienz** im Vor-, Mittel- und Rückfuß (SFI/D15) in absteigender Reihenfolge am häufigsten diagnostiziert (Tab. 4.43 in Verbindung mit Abb. 4.95).

Tab. 4.43 Diagnoseverteilung der Erkrankungen mit arbeitsbezogenen Faktoren im Ursachenspektrum im Studienkollektiv (Prob. an Arb.sys. mit BDS-Beurteilung)

Erkrankungen mit arbeitsbezogenen Faktoren im Ursachenspektrum (nach Körperregion)	Diagnose		
	fun klin	anamn	keine
Obere Extremitäten			
<u>Zervikales/Zervikozepales Schmerzsyndrom</u>	59 (16,4%)	44 (12,3%)	256 (71,3%)
Zervikobrachiales Schmerzsyndrom	11	13	333
<u>Periarthritis humeroscapularis</u>	47 (13,2%)	34 (9,6%)	275 (77,2%)
Epicondylitis lateralis	23	13	322
Epicondylitis medialis	10	4	345
Peritendinitis/Tendosynovitis	15	9	335
Karpaltunnelsyndrom	9	13	337
Arthrose der distalen Gelenke	18	22	322
Unterer Rücken			
<u>Lumbalgie/Lumbago</u>	33 (9,3)	91 (25,6)	232 (65,1)
Lumbales Facetten-/Pseudoradikuläres Syndrom	24	26	308
Lumbales Radikulärsyndrom	10	12	336
Untere Extremitäten			
Coxarthrose/Coxalgie	15	4	338
Gonarthrose inklusive Chondropathia patellae	25	28	305
Meniskusläsion	16	23	318
Varikosis der Beinvenen	17	2	337
<u>Statische Fußinsuffizienz</u>	34 (9,6%)	31 (8,8%)	289 (81,6%)

Die hier dargestellten **Ergebnisse der medizinischen Untersuchungen** beziehen sich auf den Anteil der Beschäftigten aus dem Studienkollektiv, die ihre Tätigkeiten in Arbeitssystemen ausführen, zu denen parallel auch die Belastungssituation durch Beurteilungsergebnisse mit dem BDS-Instrument vorliegen⁵⁶.

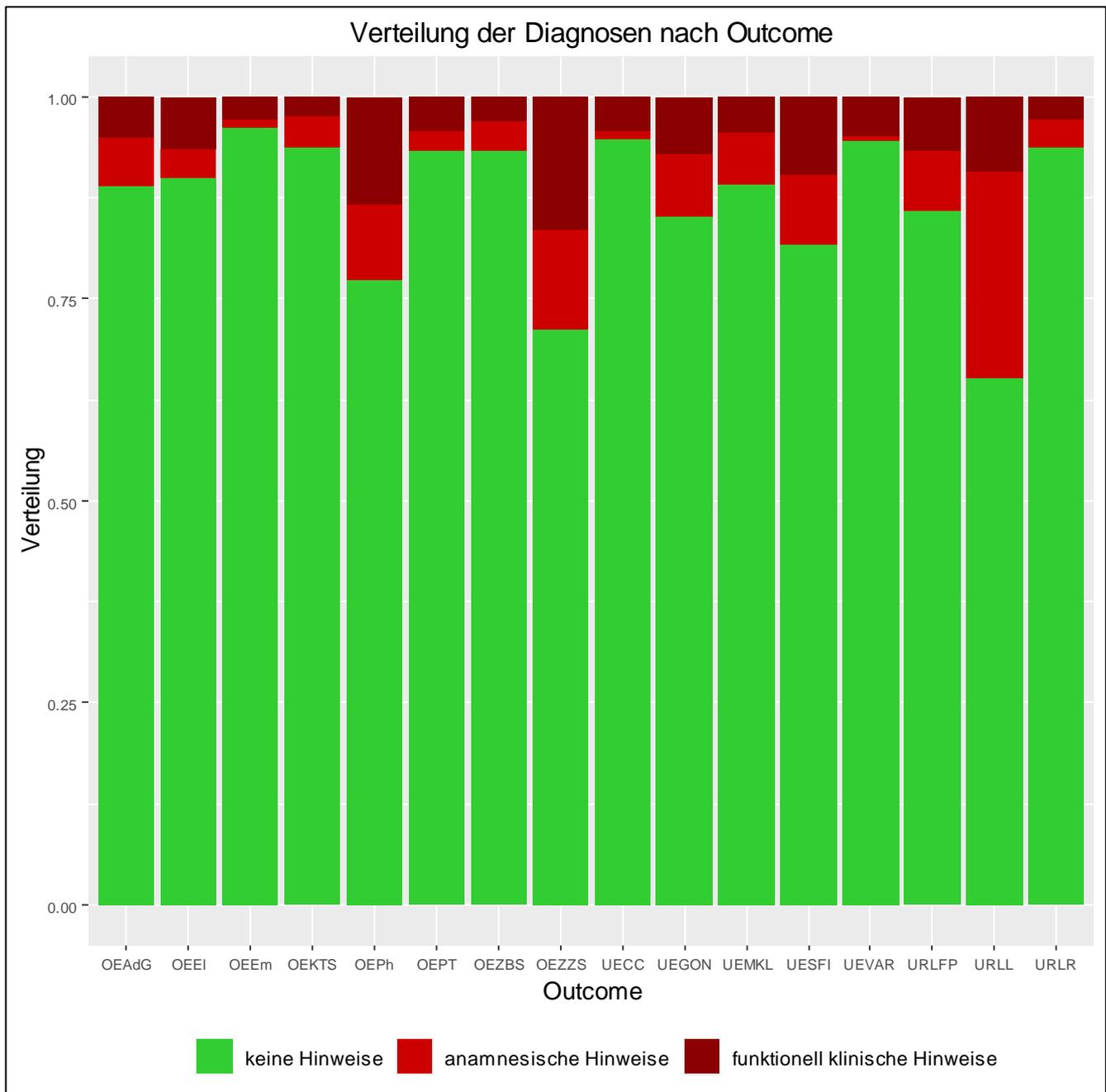


Abb. 4.95 Verteilung der Diagnosen nach Outcome (Krankheitsbild) im Detail

Die Auswertung der Diagnoseverteilung kann nun mit den Ergebnissen des BDS-Instruments zur Belastungssituation der Beschäftigten **mathematisch-statistisch verknüpft** werden nun die Beziehungen zu den Belastungen in den korrespondierenden Arbeitssystemen untersucht werden.

⁵⁶ Die hierzu erforderlichen deutschlandweiten vor-Ort-Analysen (Beobachtungsanalyse, Analyse der Betriebsdokumentation wie Stückzahlen, Zykluszeiten etc., technische Messungen mit BAPPU_{evo}) wurden in Teilen vom Autor als Mitglied des MEGAPHYS-Forschungsteams durchgeführt.

Damit werden Zusammenhänge entlang der Kausalkette zwischen den Ursachen (biomechanische Belastung des Muskel-Skelett-Systems durch Kraftaufwendungen und Krafteinwirkungen, Körperhaltungen, Körperbewegungen etc.) und den Wirkungen (Outcomes) untersucht. Mit zunehmenden Belastungshöhen wird dabei von einer **zunehmenden Wahrscheinlichkeit adverser Gesundheitseffekte** ausgegangen, die sich auf die Prävalenz an adversen Gesundheitseffekten in einem exponierten Kollektiv beziehen. Wichtig ist daher auch, dass die Beschäftigten gegenüber der Belastungsart regelmäßig und längerfristig (≥ 3 Monate) exponiert waren. Insbesondere die in den drei Körperregionen obere Extremitäten, unterer Rücken und untere Extremitäten häufig gestellten Diagnosen eignen sich aufgrund der höheren Fallzahl besonders für eine detaillierte Untersuchung (Abb. 4.96).

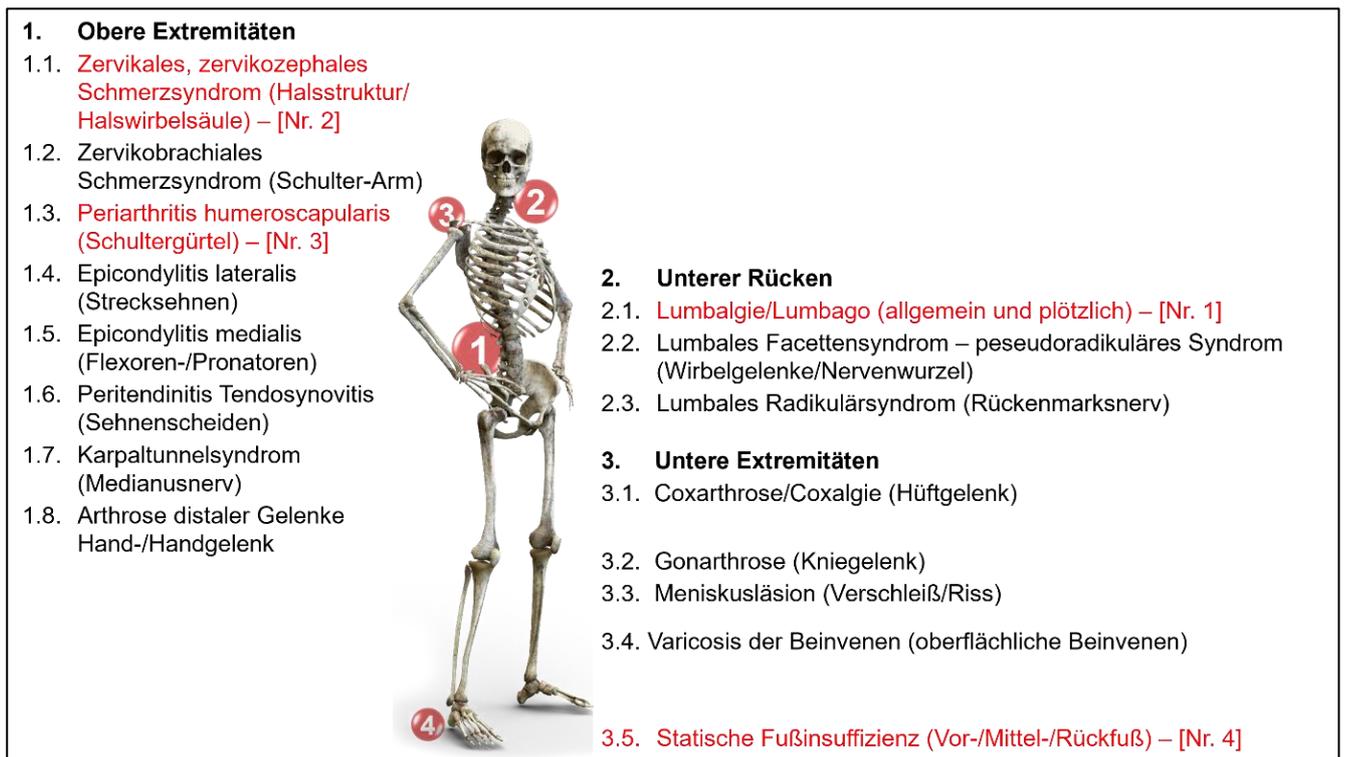


Abb. 4.96 Lokalisation der arbeitsspezifischen Krankheitsbilder
(Die roten Diagnosen stellen die vier Hauptdiagnosen im Studienkollektiv dar und wurden im Skelett den Körperregionen zugeordnet und absteigend nummeriert)
Abbildungsquelle Skelett: Pixabay-Lizenz (Creative Commons)

Anzumerken ist, dass in der betriebsepidemiologischen Querschnittsstudie mit interner Kontrollgruppe die Erhebung von weiteren, aber seltenen Erkrankungen sowie nicht im Zusammenhang mit beruflichen Belastungen stehenden Erkrankungen zwar erfolgte; dies jedoch nicht systematisch⁵⁷. Aufgrund der geringen Wahrscheinlichkeit der statistischen Erkennung von Wirkungen dieser Belastungen wurde auf deren Dokumentation im Untersuchungsdesign verzichtet, womit letztlich auch die Zahl der Outcomes der Evaluierung auf eine statistisch rational beherrschbare Menge eingegrenzt werden sollte (BAuA, 2019). Diese Fälle wurden daher aufgrund mangelnder Eignung auch von den nachfolgenden Untersuchungen ausgeschlossen.

⁵⁷ D.h. die Dokumentation erfolgte in Freitextfeldern und bei Feststellung auffälliger Befunde und Verdachtsdiagnosen erfolgte nach Absprache und im Interesse der ärztlichen Sorgfaltspflicht bspw. eine Empfehlung zur weiteren Abklärung im Rahmen der kassenärztlichen Versorgung.

4.2.7.3 Vorhersage von Beanspruchungsfolgen mit dem Instrument

Aufbauend auf den Erkenntnissen der deskriptiven und explorativen Analysen wurden die Zusammenhänge zwischen der mit dem Instrument beurteilten Belastung der Arbeitssysteme (Belastungs-/Gefährdungsprofile -> Belastungsarten -> Risikoklassen) und den Outcomes (Studienärzte -> zusammenfassender Befund) der in diesen Arbeitssystemen arbeitenden Beschäftigten untersucht.

4.2.7.3.1 Vorhersage von Lumbalgie/Lumbago mit Lastenhandhabung

Im Studienkollektiv wurden 91-mal anamnestische Hinweise, 33-mal funktionell klinische Hinweise und 232-mal keine Hinweise auf Lumbalgie/Lumbago gefunden. Bei zwölf Probanden*innen ist keine Untersuchung von den Studienärzten durchgeführt worden (NA's). Im Sicherheitsbereich des Instruments hatten knapp 74,1 Prozent der untersuchten Beschäftigten eine **gesunde Lendenwirbelstruktur**. Im Vergleich dazu hatten im Besorgnisbereich nur noch 61,2 Prozent und im Gefahrenbereich nur noch 57,0 Prozent der Beschäftigten eine gesunde Lendenwirbelstruktur (Abb. 4.97).

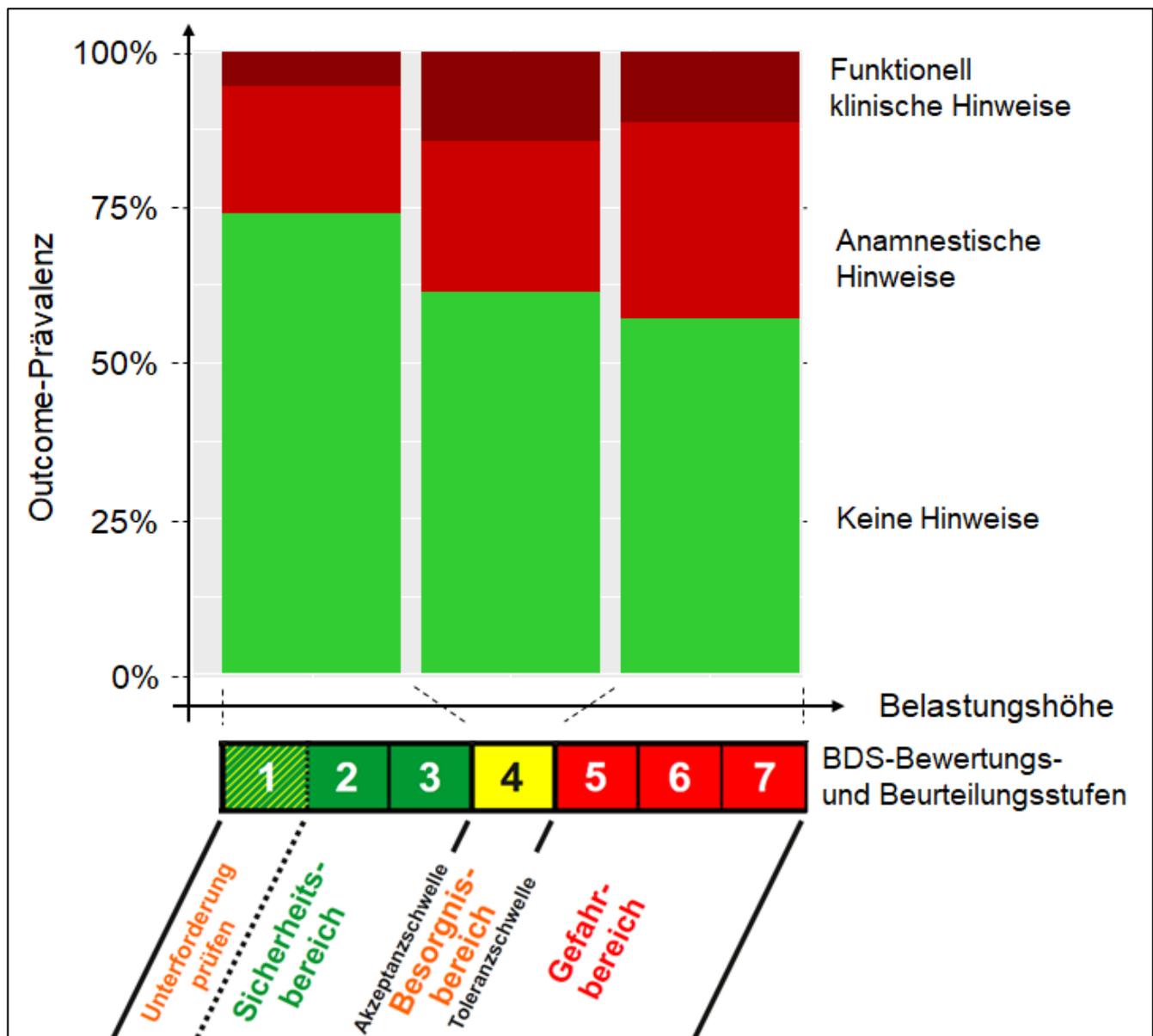


Abb. 4.97 Vorhersage von Lumbalgie/Lumbago mit BDS-Lastenhandhabung

Hiervon ausgehend wurden die Zusammenhänge zwischen Arbeitsbelastung und Prävalenz der Outcomes mit Regressionsanalysen zur a priori definierten Arbeitshypothese 7 zur **Ermittlung und Visualisierung der Risikoverhältnisse (Odds Ratio)** detailliert untersucht. Einflussgrößen waren die Risikobereiche der Belastungsarten auf Arbeitssystemebene nach dem Risikokonzept des Instruments, sofern ausreichend vorliegend (vgl. 4.2.7.1). Die Auswahl betrachteter Zielgrößen (Outcomes) erfolgte konzeptionell und ebenfalls nur bei ausreichender Datenlage. Für die Abschätzung und den Vergleich der Effekte der Einflussgrößen auf die Zielgrößen wurden Odds Ratio und deren 95 %-Konfidenzintervalle bestimmt und ausgewiesen (blaue Punkte). Die jeweilige Referenzkategorie bildete dabei der Sicherheitsbereich des Instruments (BDS-Bewertungsstufen 1 - 3). Die mathematisch-statistischen Regressionsmodelle wurden in der Statistik-Programmiersprache R errechnet und hierfür R Studio um epidemiologische Fachpakete erweitert. In der BDS-Belastungsart Lastenhandhabung zeigte sich mit einem Odds Ratio im Gefahrenbereich von 2,15 (95%-KI: 1,33 bis 3,50) ein etwas mehr als doppelt so hohes Erkrankungsrisiko für Lumbalgie/Lumbago im Vergleich zum BDS-Sicherheitsbereich (Tab. 4.44).

Tab. 4.44 Odds-Ratio mit 95%-KI und Signifikanzniveau für Lumbalgie/Lumbago

Lumbago/Lumbalgie	OR	95%-KI	p-value
Lastenhandhabung			
Sicherheitsbereich	—	—	—
Grenzbereich	1,81	0,91 - 3,54	0,086
Gefahrenbereich	2,15**	1,33 - 3,50	0,002

OR = Odds Ratio, KI = Konfidenzintervall, p-value = Signifikanzwert

Da hierbei auch das 95 %-Konfidenzintervall die **Cut-Off-Linie** (OR = 1; rot) im Vergleich zum Grenzbereich nicht berührt, ist der Wert zusätzlich statistisch abgesichert (Abb. 4.98).

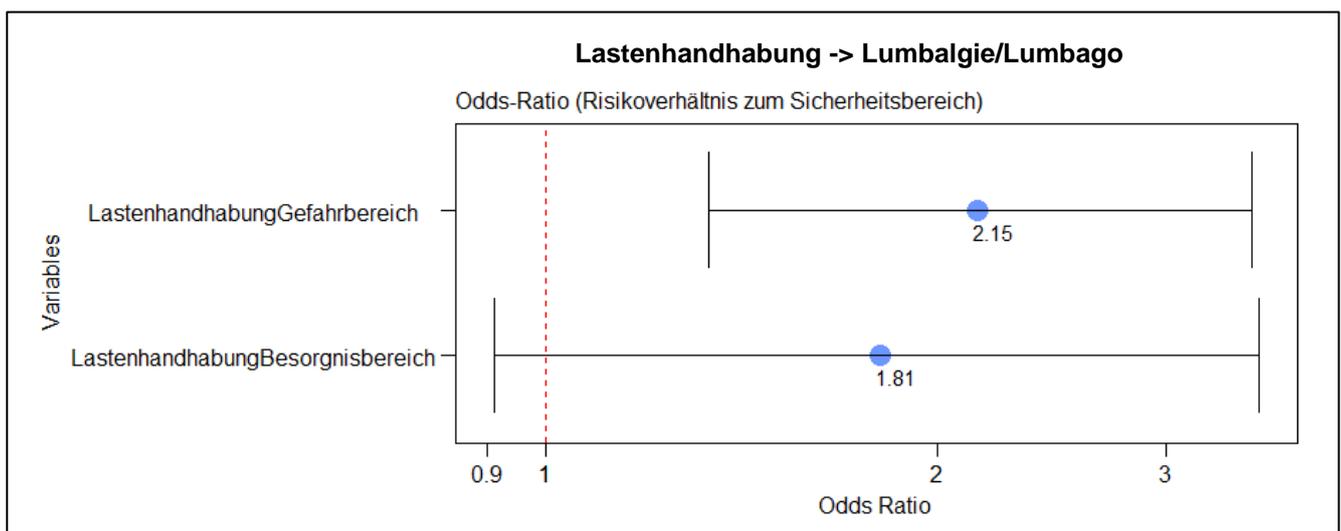


Abb. 4.98 Odds-Ratio für Lumbalgie/Lumbago ($1 \triangleq$ BDS-LH-Sicherheitsbereich)

Insgesamt ließ sich damit im Studienkollektiv ein positiver Zusammenhang zwischen Lastenhandhabung mit Belastungshöhen oberhalb der BDS-Toleranzschwelle und einer Häufung von adversen Gesundheitseffekten im unteren Wirbelsäulenbereich des Muskel-Skelett-Systems nachweisen.

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Die Basisconfounder Alter, Geschlecht, BMI und Sport haben keinen Einfluss. Alle Kategorien berühren die Cut-Off-Linie und ohne Signifikanz, das heißt die Werte sind zufällig verteilt über Probanden*innen mit und ohne Diagnose. Deren Effekt muss daher auch nachfolgend daher nicht beim Confounding berücksichtigt werden. Ein Effekt zeigt sich dagegen bei der Berufsausführungsdauer bei **Ausführungsdauern größer 30 Jahre**. Beachtet werden muss, dass diese Gruppe mit einem $n = 10$ eine kleine Gruppengröße besitzt (Tab. 4.45).

Tab. 4.45 Confounderprüfung im Studienkollektiv

Confounderprüfung	OR	95%-KI	p	n	Plots
Geschlecht				356	
weiblich	—	—			
männlich	1,72	0,91 - 3,06	0,064		
BMI				349	
Normalgewicht	—	—			
Adipositas Grad 1	1,08	0,55 - 2,15	0,818		
Präadipositas	0,98	0,60 - 1,61	0,941		
Adipositas Grad 2&3	0,66	0,24 - 1,79	0,413		
Alterskohorten				355	
35 - 44	—	—			
25 - 34	0,87	0,49 - 1,57	0,653		
55 - 67	0,85	0,40 - 1,78	0,662		
45 - 54	0,78	0,42 - 1,44	0,429		
15 - 24	0,44	0,15 - 1,30	0,137		
Sport				353	
kein Sport	—	—			
regelmäßig Sport	1,63	0,97 - 2,72	0,063		
gelegentlich Sport	1,41	0,81 - 2,46	0,228		
Raucherstatus				355	
Nichtraucher	—	—			
Raucher	0,66	0,43 - 1,03	0,066		
Berufsausführung				141	
0 - 10	—	—			
> 30	5,14	1,2 - 21,99	0,027		
21 -30	0,73	0,14 - 3,75	0,711		
11 -20	0,71	0,24 - 2,11	0,542		
Körperhaltung				356	
Sicherheitsbereich	—	—			
Besorgnisbereich	1,85	0,74 - 1,93	0,463		
Gefahrbereich	1,20	0,94 - 3,98	0,077		
Quant. Anforderungen				354	
mittel	—	—			
hoch	1,76	0,96 - 3,21	0,066		
gering	1,05	0,63 - 7,74	0,855		

Komplettierend ist nachfolgend das dazugehörige adjustierte Modell aufgeführt, das die Odds Ratio mit den 95%-Konfidenzintervallen und Signifikanzniveau enthält. Im Gegensatz zu den **rohen („crude“) Odds Ratio** sind die adjustierten Odds Ratio mit 1,82 und 6,59 höher. Auch bei diesen Berechnungen berührt das 95%-KI im BDS-Gefahrbereich die Cut-Off-Linie nicht (Tab. 4.46).

Tab. 4.46 Modell 1 und adjustiertes Modell im Vergleich

Lumbago/Lumbalgie	crude OR (95%-KI)	adj. OR (95%-KI)	p(Wald's test)	p(LR-test)
Lastenhandhabung				<0,001
Sicherheitsbereich	—	—		
Grenzbereich	1,10 (0,27 - 4,45)	1,82 (0,41 - 8,05)	0,086	
Gefahrbereich	4,12 (1,82 - 9,30)	6,59 (2,53 - 17,60)	0,002	

OR = Odds Ratio, KI = Konfidenzintervall, p-value = Signifikanzwert

4.2.7.3.2 Übereinstimmung mit SLESINA und COPSOQ

Die prozentualen Verteilungen der Slesina-Einschätzungen der Beschäftigten entlang der sieben aus den Analysen der Arbeitswissenschaftler*innen resultierenden BDS-Bewertungsstufen sind aufgrund der beiden ordinalen Variablen im nachfolgenden **Mosaikdiagramm** dargestellt. Konzeptionell zeigen die Mosaikdiagramme⁵⁸ mit ihren Formatierungen die **empirischen relativen Häufigkeiten**⁵⁹.

Als Erweiterung zum gestapelten Histogramm entsprechen die Balkenhöhen den bedingten relativen Häufigkeiten der Antworten von den Beschäftigten (SLESINA, COPSOQ) über die sieben Bewertungsstufen des BDS-Instruments (Identische Arbeitssysteme, ganzheitliche Körperzielregionen-/Organ-bezogene Auswahl der Belastungsart nach Belastungs-Beanspruchungs-Beanspruchungsfolgenmodell). Die Mosaikdiagramme basieren damit auf **Kreuztabellen**. Visualisiert wird die prozentuale Verteilung der Antwortverteilung je BDS-Belastungsstufe (7 Stufen) oder je BDS-Beurteilungsstufe (3 Stufen). Die prozentuale Verteilung ist dabei auf einer Skala von 0 bis 1 mit $0 \triangleq 0\%$ und $1 \triangleq 100\%$ dargestellt.

⁵⁸ Das Mosaikdiagramm wird auch als Spinogramm oder Spinoplot bezeichnet.

⁵⁹ Hier zugrunde liegend ist die Annäherung von $P(y | x)P(y|x)$ gegen $P(x)P(x)$.

Ergebnisse der Überprüfung der Validität

Bei der Slesina-Antwortverteilung zur Fragestellung 22 zum Heben, Halten oder Tragen (Männer > 20 kg, Frauen > 10 kg) schwerer Lasten (**Slesina HHT**) fällt auf, dass der Anteil der Angaben „manchmal“ und „häufig“ mit ansteigenden BDS-Bewertungsstufen zunimmt und in Arbeitssystemen mit der BDS-Bewertungsstufe 7 in der Belastungsart Lastenhandhabung (**BDS LH**) die Antwort „nie“ von den Beschäftigten nicht mehr vergeben wurde (Abb. 4.99).

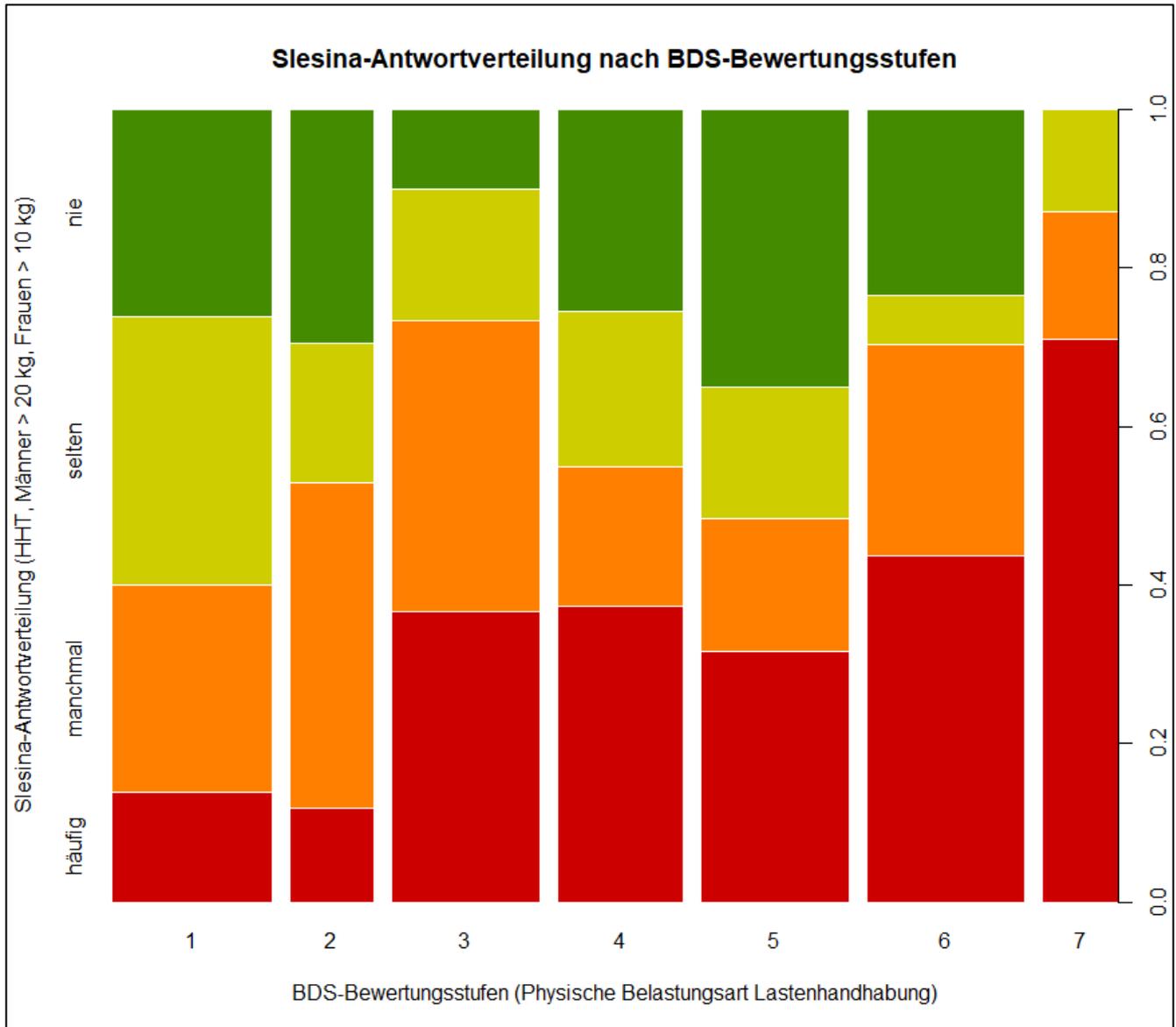


Abb. 4.99 Slesina-Antwortverteilung (Slesina HHT) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS LH)

Der Anteil der Slesina-Angaben „manchmal“ und „häufig“ steigt dabei von 40,0 % (BDS 1) auf 54,9 % (BDS 4) und 87,1 % (BDS 7) an (Tab. 4.47).

Tab. 4.47 Slesina-Antwortverteilung (Slesina HHT) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS LH)

BDS LH Slesina HHT	1	2	3	4	5	6	7
nie	0,2615	0,2941	0,1000	0,2549	0,3500	0,2344	0
selten	0,3385	0,1765	0,1667	0,1961	0,1667	0,0625	0,1290
manchmal	0,2615	0,4118	0,3667	0,1765	0,1667	0,2656	0,1613
häufig	0,1385	0,1176	0,3667	0,3725	0,3167	0,4375	0,7097

Auch bei der Slesina-Antwortverteilung zur Fragestellung 1 zu schwerer körperlicher Arbeit (**Slesina skA**) fällt auf, dass der Anteil der Angaben „manchmal“ und „häufig“ mit ansteigenden BDS-Bewertungsstufen vor allem entlang der BDS-Bewertungsstufen 1, 4, 5, 6 und 7 und hierbei besonders deutlich im Risikobereich zunimmt und in Arbeitssystemen mit BDS 7 in der Belastungsart Dynamische Muskelarbeit (**BDS DM**) die Antwort „nie“ sowie die Antwort „selten“ von den Beschäftigten nicht mehr vergeben wurden (Abb. 4.100).

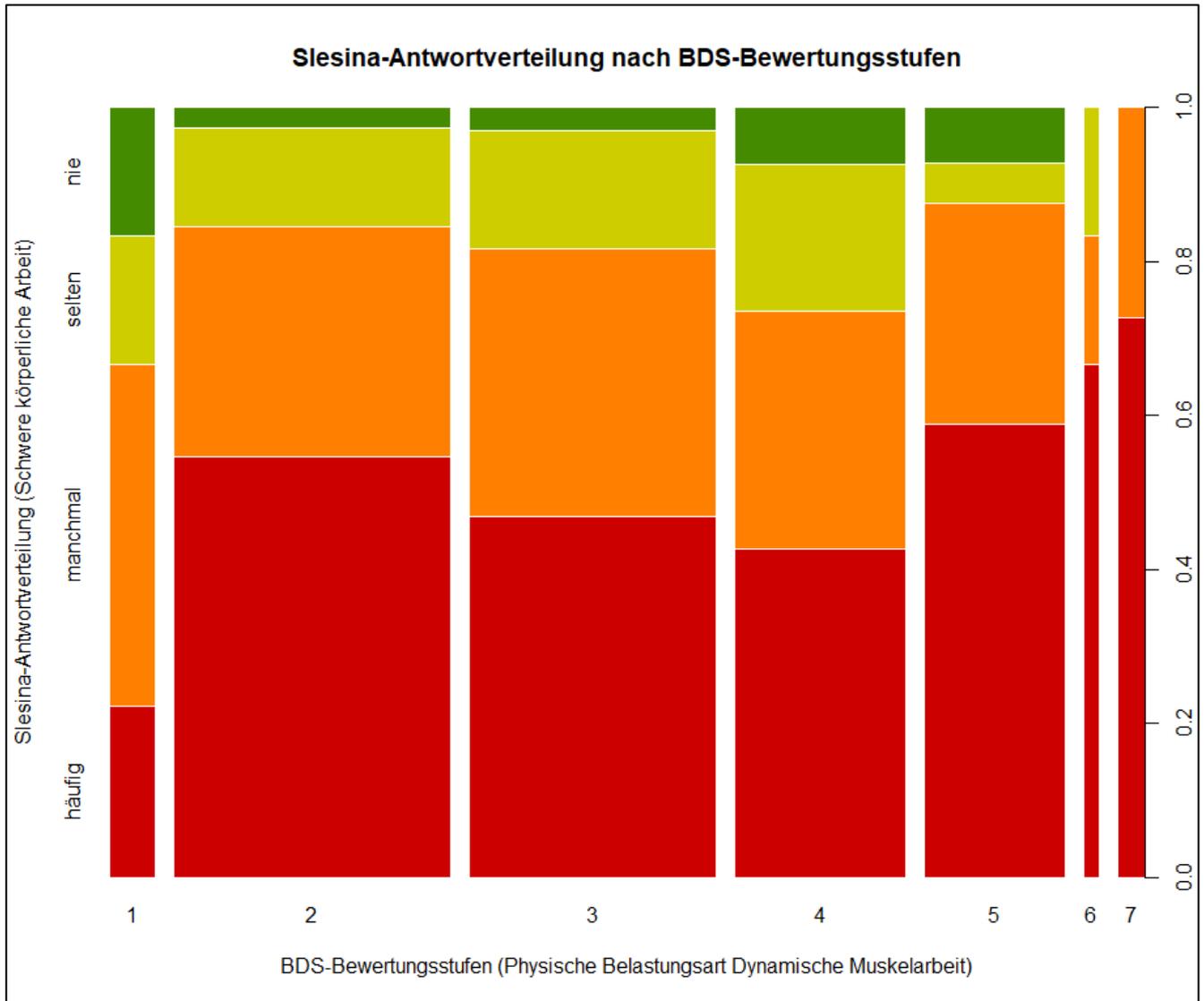


Abb. 4.100 Slesina-Antwortverteilung (Slesina skA) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS DM)

Hier steigt der Anteil der Slesina-Angaben „häufig“ von 22,2 % (BDS 1) auf 42,6 % (BDS 4) und 72,7 % (BDS 7) an. Bei der Interpretation zu beachten sind die noch relativ wenigen Fälle in den Bewertungsstufen 1, 6 und 7 (Tab. 4.48).

Tab. 4.48 Slesina-Antwortverteilung (Slesina skA) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS DM)

BDS DM Slesina skA	1	2	3	4	5	6	7
nie	0,1667	0,0273	0,0306	0,0735	0,0714	0	0
selten	0,1667	0,1273	0,1531	0,1912	0,0538	0,1667	0
manchmal	0,4444	0,3000	0,3469	0,3088	0,2857	0,1667	0,2727
häufig	0,2222	0,5454	0,4694	0,4265	0,5893	0,6667	0,7273

Ergänzend wurden Auswertungen der Slesina-Antwortverteilung entlang der drei **BDS-Beurteilungsstufen** durchgeführt. Hierbei fällt bei der Slesina-Antwortverteilung zur Fragestellung 3 zur Steharbeit (**Slesina Stehen**) auf, dass der Anteil der Angaben „manchmal“ und „häufig“ mit ansteigenden BDS-Beurteilungsstufen zunimmt und in allen Arbeitssystemen im gesamten Gefahrenbereich in der Belastungsart Haltungsbewegungsverteilung (**BDS HBV**) die Antwort „nie“ von den Beschäftigten nicht mehr vergeben wurde (Abb. 4.101).

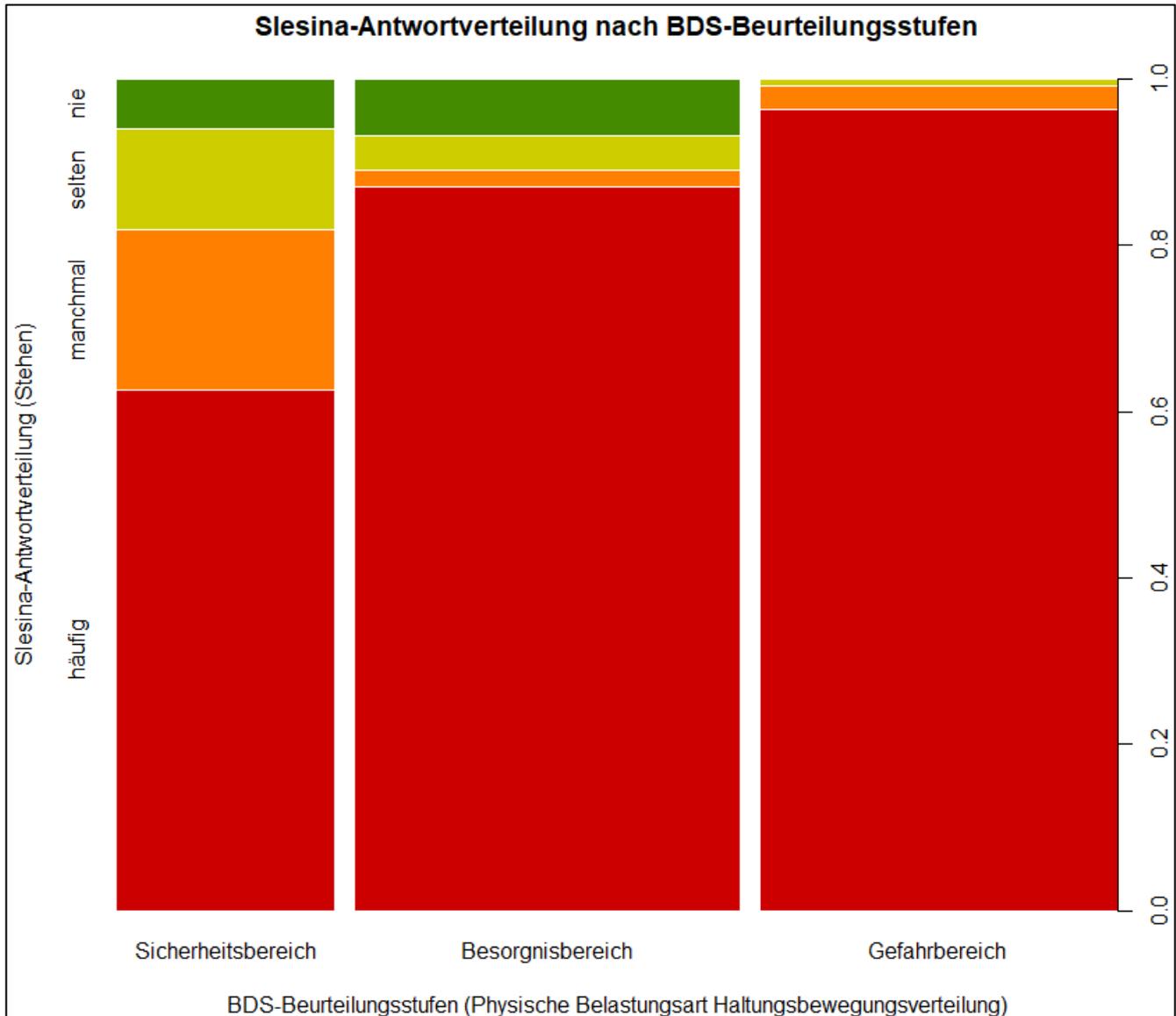


Abb. 4.101 Slesina-Antwortverteilung (Stehen) nach BDS-Beurteilungsstufen (BDS HBV)

Der Anteil der Angabe „häufig“ steigt dabei von 62,7 % (Sicherheitsbereich) auf 87,0 % (Besorgnisbereich) und 96,3 % (Gefahrbereich) an (Tab. 4.49).

Tab. 4.49 Slesina-Antwortverteilung (Stehen) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS HBV)

BDS HBV Slesina Stehen	Sicherheitsbereich	Besorgnisbereich	Gefahrbereich
nie	0,0602	0,0685	0
selten	0,1205	0,0411	0,0074
manchmal	0,1928	0,0205	0,0294
häufig	0,6265	0,8699	0,9632

Die Slesina-Antwortverteilung entlang der drei BDS-Beurteilungsstufen in der Belastungsart Lärm-Schall und damit in der Belastungsgruppe der **Arbeitsumgebungsbedingungen (Umgebungseinflüsse)** wurden ebenfalls ausgewertet. Hierbei fällt bei der Slesina-Antwortverteilung zur Fragestellung 16 zum Lärm (**Slesina Lärm**) auf, dass der Anteil der Angaben „manchmal“ und „häufig“ mit ansteigenden BDS-Beurteilungsstufen zunimmt und in allen Arbeitssystemen im gesamten Gefahrenbereich in der Belastungsart Lärm-Schall (**BDS Lärm**) – beurteilt auf der Grundlage von Messungen des Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ [dB(A)] und des Spitzenschalldruckpegel L_{Cpeak} [dB(C)] – die Antworten „nie“ und „selten“ von den Beschäftigten nicht mehr vergeben wurden (Abb. 4.102).

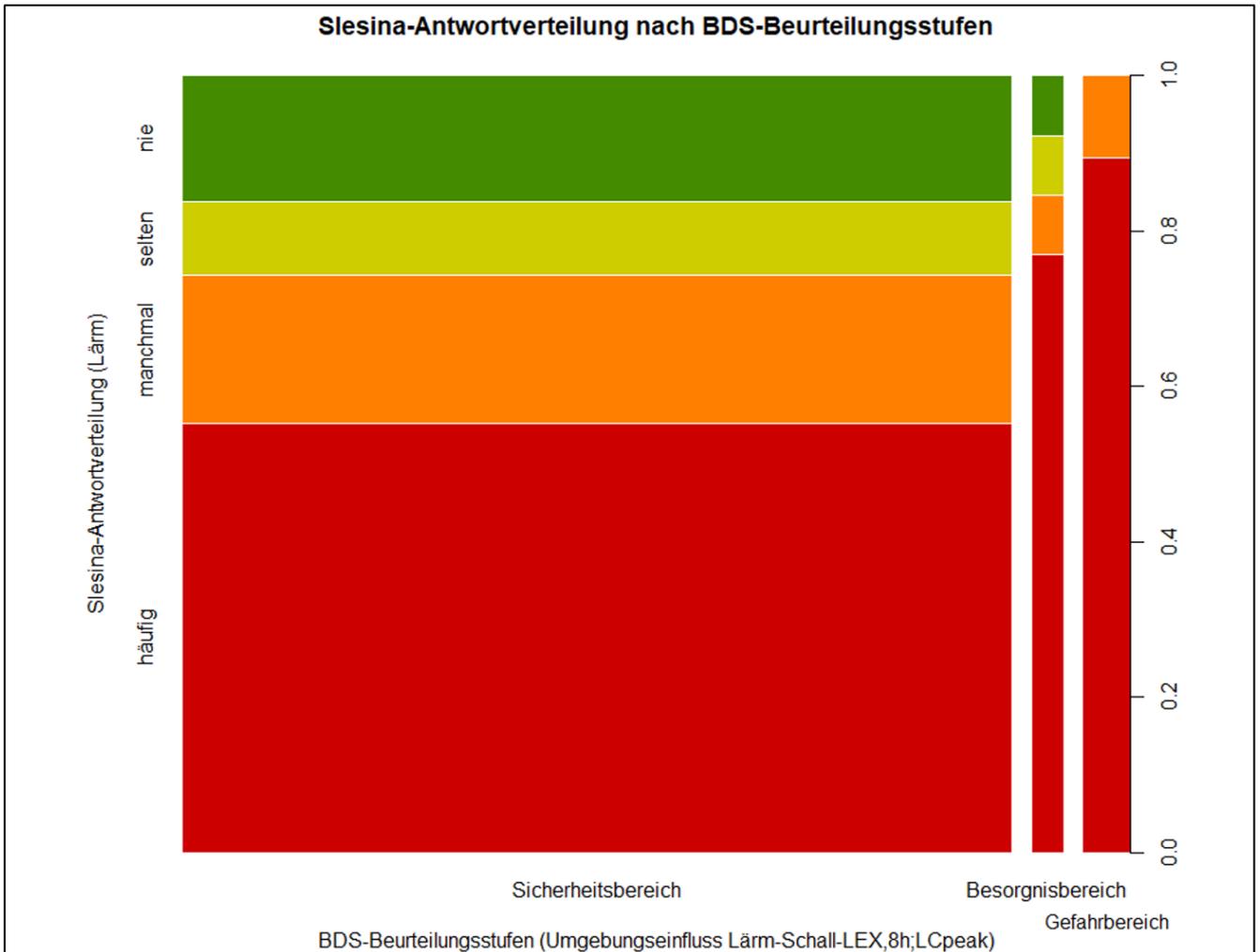


Abb. 4.102 Slesina-Antwortverteilung (Lärm) nach BDS-Beurteilungsstufen (BDS Lärm)

Der Anteil der Angabe „häufig“ steigt dabei von 55,2 % (Sicherheitsbereich) auf 76,9 % (Besorgnisbereich) und 89,4 % (Gefahrbereich) an (Tab. 4.50).

Tab. 4.50 Slesina-Antwortverteilung (Lärm) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS Lärm)

BDS Lärm Slesina Lärm	Sicherheitsbereich	Besorgnisbereich	Gefahrbereich
nie	0,1626	0,0769	0
selten	0,0951	0,0769	0
manchmal	0,1902	0,0769	0,1053
häufig	0,5521	0,7692	0,8947

In der **BDS-Belastungsgruppe der Psychische Arbeitsbelastungen** (Informatrische Arbeitsschwierigkeit, wie Verantwortung, Sinne, Nerven, Denken) wurde die **COPSOQ-Antwortverteilung** in der Gruppe 2 zu kognitiven Anforderungen (**COPSOQ kog Anf**) ausgewertet und fällt auf, dass der Anteil der Angabe „hoch“ entlang der Bewertungsstufen 2 bis 4 in der psychischen Belastungsart Konzentrationsanforderungen (**Konz**) zunimmt. Anzumerken ist, dass der Datensatz diesbezüglich lediglich die Bewertungsstufen 1 bis 4 enthält (Abb. 4.103).

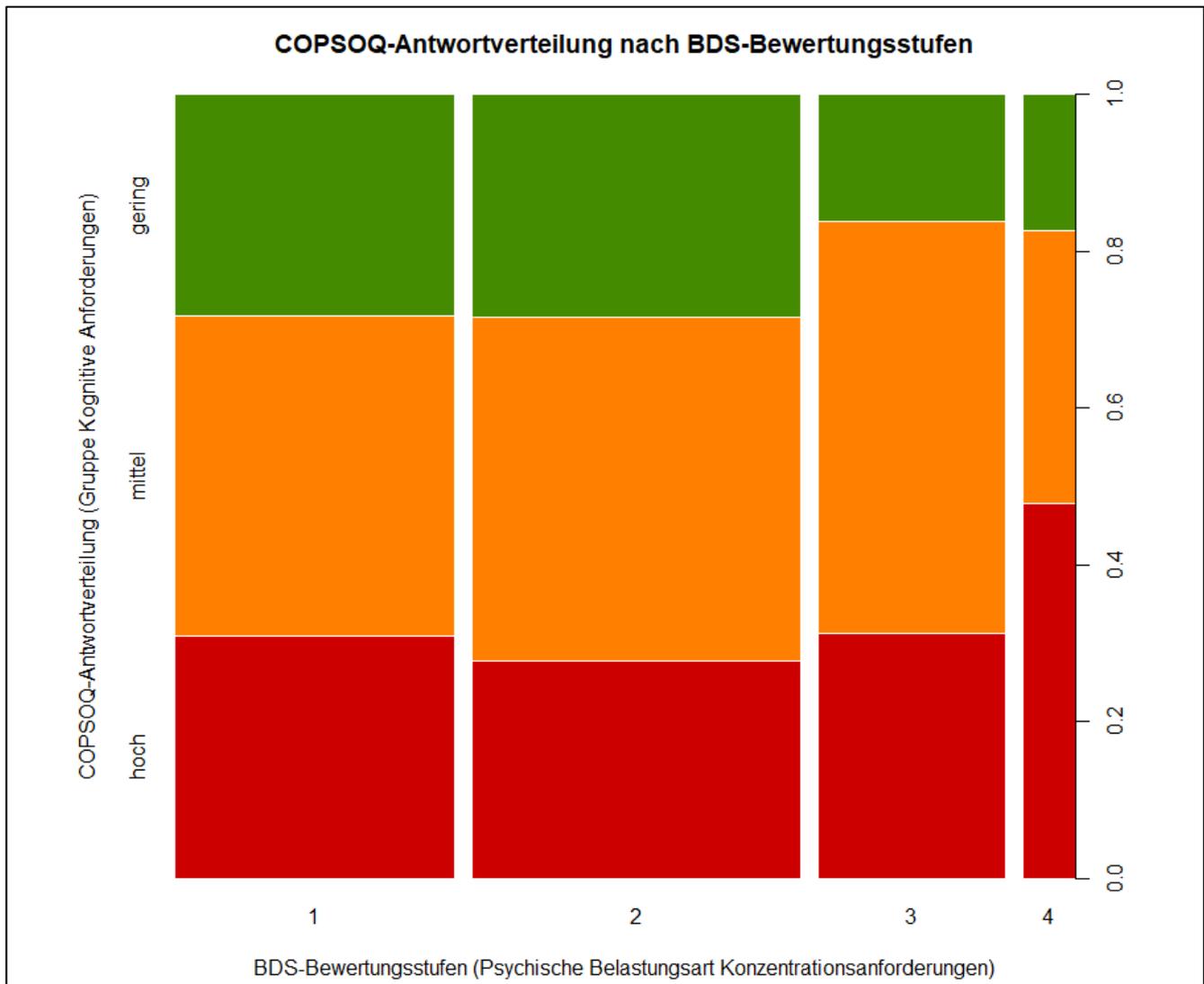


Abb. 4.103 COPSOQ-Antwortverteilung (Kog Anf) nach den BDS-Bewertungsstufen (Konz)

Der Anteil der COPSOQ-Angabe „hoch“ steigt dabei von 27,7 % (BDS 2) auf 31,3 % (BDS 3) und 47,8 % (BDS 4) an (Tab. 4.51).

Tab. 4.51 COPSOQ-Antwortverteilung (Kog Anf) nach den BDS-Bewertungsstufen (Konz)

BDS Konz CPOSOQ Kog Anf	1	2	3	4	5	6	7
gering	0,2833	0,2837	0,1625	0,1739	0	0	0
mittel	0,4083	0,4397	0,5250	0,3478	0	0	0
hoch	0,3083	0,2766	0,3125	0,4783	0	0	0

4.2.8 Evaluierung der Reliabilität

Aus Untersuchungen zur Reliabilität können durch wiederholende Messungen bei identischen Bedingungen Zuverlässigkeitsaussagen abgeleitet werden (Wirtz & Caspar, 2002). Übertragen auf das Instrument können Prognosen getroffen werden, mit welcher Zuverlässigkeit das Instrument in der Betriebspraxis eingesetzt werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Untersuchung der Reliabilität anhand der Intra-Rater-Reliabilität durchgeführt. Das heißt durch eine Ausgangsuntersuchung und deren Wiederholung zu einem späteren Zeitpunkt jeweils durch einen (identischen) Rater. Zur weiteren Absicherung wurde zusätzlich ein Paralleltest durchgeführt. Hierzu wurden Untersuchungen auch mit einem anderen, gleichwertigen Verfahren durchgeführt und die Ergebnisse verglichen (Wirtz & Caspar, 2002). Bei Reliabilitätsuntersuchungen im arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Kontext sind zeitliche Schwankungen bei den Arbeitsbedingungen einzuplanen.

4.2.8.1 Intra-Rater-Reliabilität

Zur Untersuchung der Intra-Rater-Reliabilität erfolgt ein paarweiser Abgleich der Analyse- und Beurteilungsergebnisse des Instruments bei Anwendung durch einen Arbeitswissenschaftler zu zwei verschiedenen Untersuchungszeitpunkten. Ein **komplexeres Arbeitssystem** wird hierzu zum Zeitpunkt t_0 analysiert und die Analyse nach einem längerfristigen Zeitraum zum Zeitpunkt t_1 , in diesem Fall knapp 1,5 Jahre später, wiederholt.

Arbeitsvorgänge	Zeitanteil [%]	Gesamt-Vorgangsdauer [min]	Vorgangsdauer [min]	Vorgangszahl pro Schicht	Belastungsart	Kennung	Arbeitsvorgang
3						100	
3						110	
3						120	
2						130	
15						140	
2						200	
4						210	
4						220	
5						230	
1						240	
2						300	
5						310	
13						320	
20						400	
6						Y	
>>>	9,29	66,80	66,80	1	k.A.	Z	sonstige Tätigkeiten

Abb. 4.104 Entwicklung der repräsentativen Tätigkeitsstruktur des Arbeitssystems (t_0)

Zum Zeitpunkt t_0 wurde das Arbeitssystem auf der Grundlage der Messdaten, einer Beobachtungsanalyse vor Ort, mit Hilfe der Betriebsdokumente sowie durch nachträgliches mehrmaliges Videostudium analysiert. Aus diesem Vorgehen entwickelte der Arbeitswissenschaftler die repräsentative Tätigkeits-, Dauer- und Wiederholungsstruktur des Arbeitssystems, die aus insgesamt 15 Belastungsabschnitten besteht (Abb. 4.104).

Nach anderthalb Jahren wurde die Analyse des komplexen Arbeitssystems durch den Arbeitswissenschaftler mit Hilfe der vor Ort aufgenommen Betriebsdaten und anhand einer erneuten Beobachtungsanalyse des aufgezeichneten Videomaterials mit leerem Datensatz wiederholt. Dann wurde der **Paarvergleich der Analyse- und Bewertungsergebnisse** der generierten Datensätze zu den Zeitpunkten t_0 und t_1 durchgeführt.

Zunächst konnte dabei festgestellt werden, dass anhand der zum Zeitpunkt t_0 vor Ort aufgenommen Betriebsdaten auch zum Zeitpunkt t_1 eine identische Systemabgrenzung vorgenommen und dies zur Verwendung identischer Vorgänge und Wiederholhäufigkeiten führte. Abweichungen wurden aber bei der Bezeichnung und Kurzbezeichnungen einiger Tätigkeiten festgestellt.

Im Anschluss konnten identische Belastungsprofile zu den Zeitpunkten t_0 und t_1 festgestellt werden, da alle Belastungsarten einheitliche Bewertungsstufen aufweisen. Daher wurden in einem dritten Schritt alle Tätigkeiten untersucht, um festzustellen, ob auch die Bewertungen auf der Ebene der Tätigkeiten identisch waren (Abb. 4.107).

Magazin01		220	230	240	300	310	320	400	Y	Z
Physische Belastungen										
5	Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	5	3	5	2	5	2	1	1	0
1	Körperbewegung	1	1	1	2	2	1	1	1	0
6	Lastenhandhabung	7	1	1	6	4	1	1	1	0
3	Dynamische Muskelarbeit	7	1	2	7	4	1	1	1	0
2	Manuelle Arbeitsprozesse	1	3	5	1	4	1	1	1	0
Umgebungsbedingungen										
2	Schallbelastung (Lärm)	2	2	2	2	2	2	2	1	0
1	Vibrationen Ganzkörper	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	Vibrationen Hand-Arm	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	Klima - hohe Temperaturen	6	2	2	6	3	2	2	2	0
1	Klima - niedrige Temperaturen	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	Klima - Wärmestrahlung	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	Zugluft	4	4	4	4	4	4	4	2	0

Abb. 4.107 Ergebnis der Vorgangsbewertungen (t_0 ; Ausschnitt)

Dabei wurde festgestellt, dass die vorgangsbezogene Bewertung für eine Tätigkeit, bei der ein Trolley von der Beschäftigten manuell in einen Abstellbereich geschoben wurde (Vorgang mit der **Kennung 300**) zum Zeitpunkt t_1 vom Zeitpunkt t_0 in der Belastungsart Lastenhandhabung voneinander abwich (Abb. 4.108).

Magazin01		140	200	210	220	230	240	300	310	320
Physische Belastungen										
5	Körperhaltung inkl. Kopfhaltung	3	3	5	5	3	5	2	5	2
1	Körperbewegung	1	1	1	1	1	1	2	2	1
6	Lastenhandhabung	1	6	7	7	1	1	7	4	1
3	Dynamische Muskelarbeit	4	5	5	7	1	2	7	4	1
2	Manuelle Arbeitsprozesse	4	1	1	1	3	5	1	4	1
Umgebungsbedingungen										
2	Schallbelastung (Lärm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	Vibrationen Ganzkörper	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	Vibrationen Hand-Arm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Klima - hohe Temperaturen	3	5	5	6	2	2	6	3	2
1	Klima - niedrige Temperaturen	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	Klima - Wärmestrahlung	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Zugluft	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Abb. 4.108 Ergebnis der Vorgangsbewertungen (t_1 ; Ausschnitt)

Ergebnisse der Überprüfung der Reliabilität

Zur weitergehenden Ursachenanalyse erfolgte daraufhin ein exakter Vergleich der analysierten Aspekte der Belastung für die Transporttätigkeit zum Zeitpunkt t_0 und zum Zeitpunkt t_1 . Hierbei wurden insgesamt drei Abweichungen festgestellt. Einerseits wurde zum Zeitpunkt t_0 **Greifen über Schulterhöhe** nicht identifiziert und beim **körperfernen Greifen** nur ein seltener Zeitanteil erkannt (Abb. 4.109).

Eingabefenster für Ziehen/Schieben grösserer Lasten (> 5 kg)

Hilfsmittel (Bild auswählen)

1	2	3
4 nur Lenkrollen	5 Lenk- u. Bockrollen	4/5 elektrisch
6	7	9

Arbeitsaufgabe

bewegte Masse: 65,0 kg
Anzahl je Vorgang: 1
Einzelstrecke: 8,0 m

Ausführungsbedingungen

Boden: gut: ebener, fester Boden ohne Hindernisse
Rollen: gut: Rollen/Räder leichtgängig, kein erkennbarer \

Greifbedingungen

Kraftübertragung/Greifbedingungen: Eingeschränkte Kraftübertragung/-einleitung

Greifen über Schulterhöhe erforderlich
 Nie Selten Gelegentlich Häufig Ständig

Körperfernes Greifen erforderlich
 Nie Selten Gelegentlich Häufig Ständig

Angehobene Arme/angezogene Schulter erforderlich
 Nie Selten Gelegentlich Häufig Ständig

Abb. 4.109 Detailanalyse der Abweichungen bei der Transporttätigkeit (t_0 ; Ausschnitt)

Bei der Wiederholungsuntersuchung zum Zeitpunkt t_1 wurde dann Greifen über Schulterhöhe mit einem seltenen Zeitanteil und körperfernes Greifen mit einem gelegentlichen Zeitanteil richtig erkannt (Abb. 4.110).

Eingabefenster für Ziehen/Schieben grösserer Lasten (> 5 kg)

Hilfsmittel (Bild auswählen)

1	2	3
4 nur Lenkrollen	5 Lenk- u. Bockrollen	4/5 elektrisch
6	7	9

Arbeitsaufgabe

bewegte Masse: 65,0 kg
Anzahl je Vorgang: 1
Einzelstrecke: 8,0 m

Ausführungsbedingungen

Boden: gut: ebener, fester Boden ohne Hindernisse
Rollen: gut: Rollen/Räder leichtgängig, kein erkennbarer \

Greifbedingungen

Kraftübertragung/Greifbedingungen: Eingeschränkte Kraftübertragung/-einleitung

Greifen über Schulterhöhe erforderlich
 Nie Selten Gelegentlich Häufig Ständig

Körperfernes Greifen erforderlich
 Nie Selten Gelegentlich Häufig Ständig

Angehobene Arme/angezogene Schulter erforderlich
 Nie Selten Gelegentlich Häufig Ständig

Abb. 4.110 Detailanalyse der Abweichungen bei der Transporttätigkeit (t_1 ; Ausschnitt)

Die dritte Abweichung ergab sich in Bezug auf die Analyse der Körperhaltung der Transporttätigkeit. Diesbezüglich wurde zum Zeitpunkt t_0 zunächst eine aufrechte Körperhaltung analysiert (Abb. 4.111).

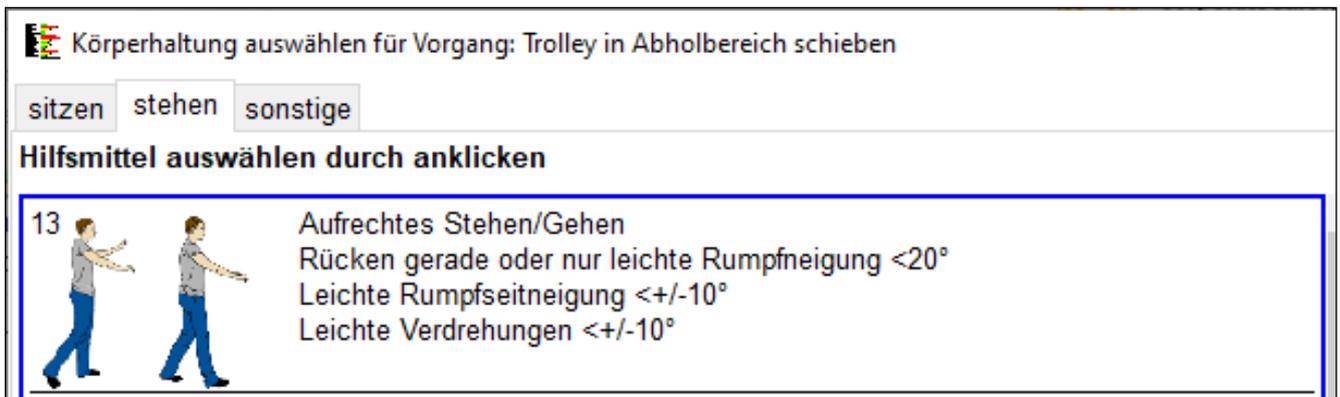


Abb. 4.111 Detailanalyse der Abweichungen bei der Transporttätigkeit (t_0 ; Ausschnitt)

Bei der Wiederholungsuntersuchung zum Zeitpunkt t_1 wurde davon abweichend eine leicht geneigte Körperhaltung identifiziert (Abb. 4.112).



Abb. 4.112 Analyse der Transporttätigkeit zum Zeitpunkt t_1 (Teil 2 von 2; Ausschnitt)

Aus diesen Ergebnissen kann eine Reihe nützlicher Erkenntnisse gezogen werden. Zur Interpretation der Ergebnisse und Ableitung der darauf aufbauenden Schlussfolgerungen ist eine intensive Interpretation erforderlich, die im **Diskussionskapitel** erfolgt.

4.2.8.2 Paralleltest („Konvergenzvalidität“)

Ergänzend wurde mit Hilfe eines Paralleltests untersucht, ob sich mit dem Instrument und mit dem **Humantech-Kombinationsverfahren** vergleichbare Ergebnisse erzielen lassen. Das übergeordnete Ziel war dabei die Untersuchung, ob das Instrument im Vergleich zu anderen, vergleichbaren Instrumenten valide ist, was häufig auch als Konvergenzvalidität bezeichnet wird. Die Konvergenzvalidität wird mit vergleichenden Analysen bestimmt und zur Überprüfung ist im Kern vorgesehen, dass identische Rater*innen zwei oder mehrere einander stark ähnelnde Verfahren testen (Campbell & Fiske, 1959).

Damit geht es letztlich um die **Äquivalenz**, das heißt um die Gleichwertigkeit von Messungen. Konvergenzvalidität wird daher in der entwickelten Evaluierungsstruktur unter diesem Aspekt der Paralleltest(-Reliabilität) überprüft (Lienert & Raatz, 1998; Wirtz & Caspar, 2002).

Im Vorfeld des Paralleltests waren zunächst die vergleichbaren Merkmale zu identifizieren. Im Instrument sind Alleinstellungsmerkmale (Filterbasierte Bewertungs- und Abwertungsmodelle; Ganzheitliche, Belastungsabschnitt-basierte Arbeitsschichtaggregation; Modularität; Auswerteroutinen und Reporting etc.) integriert, die in anderen Instrumenten nicht umgesetzt sind und ein diesbezüglicher Paralleltest naturgemäß nicht durchführbar ist. Die über einen langen Zeitraum geringe Nachfrage (Unterkapitel 2.1) nach derartigen Methoden, Verfahren und Instrumenten kann eine Ursache sein, dass diese zwischenzeitlich eingestellt worden sind oder nicht mehr öffentlich zugänglich sind.

Letztlich konnte der Paralleltest durch die Realisierung zweier Voraussetzungen durchgeführt werden und damit die Konvergenz des Instruments zu anderen wissenschaftlichen Ansätzen untersucht werden. Zum einen wurden untersuchbare Aspekte identifiziert und zum anderen der Paralleltest fokussiert auf vergleichsweise eher einfach zu analysierende, repetitive Arbeitssysteme die durch wenige, am besten nur durch einen oder zwei, sich immer wieder wiederholende(n) Belastungsabschnitt(e) charakterisiert sind. Denn damit stehen auch Verfahren für den Paralleltest zur Verfügung, die keine Schichtaggregation ermöglichen und kann die Konvergenz von Teilaspekten der Bewertungsergebnisse untersucht werden, die sich auf Aspekte beziehen, die von beiden Vergleichspartnern abgedeckt werden. Das können die Bewertungsergebnisse gleicher Belastungsarten und Schlussfolgerungen in Auswertungen, Reporting oder Ähnlichem mit gleicher Zielstellung sein.

Auf dieser Grundlage wurde a priori das Humantech-Kombinationsverfahren⁶⁰ zur Durchführung des Paralleltests ausgewählt. Für die Auswahl des Konvergenzverfahrens gab es mehrere Gründe. Das Konvergenzverfahren wurde gewählt, da es auch nachvollziehbare Bewertungsmodelle enthält und auf anerkannte arbeitswissenschaftliche Einzelverfahren hoher Validierungsgüte wie hier auf die **NIOSH Revised Lifting Equation** (Waters et al., 1993) zurückgreift, ebenfalls weit verbreitet⁶¹ ist und wie das Instrument neben der Analyse und Beurteilung auch auf Maßnahmen und Optimierung fokussiert. Ein entscheidender Aspekt für die Auswahl des Konvergenzverfahrens war auch die Qualifizierungstätigkeit des Autors. Das Humantech-Kombinationsverfahren wurde im Jahr 2019 vom Autor deutschlandweit in mehreren Organisationen geschult. Daher konnte ein gleichrangiger Erfahrungslevel zu den wissenschaftlichen Grundlagen und zur Anwendung in der betrieblichen Praxis verschiedener Wirtschaftssektoren gewährleistet werden⁶².

Damit ergab sich für dem Paralleltest die folgende Ausgangssituation: aufgrund der unterschiedlichen Struktur von Instrument und Humantech-Kombinationsverfahren wurden die vergleichbaren Teilaspekte identifiziert. Das ist insbesondere der Avatar, mit dem die Körperzielregionen-spezifischen Risiken für das Muskel-Skelett-System beim Instrument und beim Humantech-Kombinationsverfahren ermittelt und visualisiert werden können.

⁶⁰ Humantech Industrial Ergonomics a VelocityEHS solution. Internet: <https://www.humantech.com>

⁶¹ Das Kombinationsverfahren ist vor allem im US-amerikanischen Raum verbreitet.

⁶² Werden Paralleltests (Konvergenzbetrachtungen) kritisch hinterfragt, ist der jeweilige Erfahrungslevel nach Auffassung des Autors ein besonders wichtiger Aspekt. Denn besteht bei der/dem Rater*in ein stark unterschiedliches Erfahrungslevel zu den zu untersuchenden Konvergenzverfahren, sind Ergebnisverzerrungen bei der Anwendung wahrscheinlich und infolgedessen eine verminderte Aussagekraft vorgezeichnet.

Die sehr unterschiedlichen wissenschaftlichen Ansätze zur Risikovisualisierung machten den Untersuchungsverlauf so spannend. Das Instrument basiert auf den Grundlagen der **Forschung und Entwicklung zur Mischbelastung** auf der Basis des mehrstufigen Leitmerkmalmethodeninventars. Im Kern wird hierbei die Wirkungsstärke von Belastungsarten auf die Beanspruchung der Körperzielregionen aggregiert (BAuA, 2019). Auf der anderen Seite stellt das Humantech-Kombinationsverfahren den Avatar auf der Basis des **Baseline Risk Identification of Ergonomic Factors survey** dar (BRIEF survey; Radwin, 2018).

Bei der Durchführung wurden die beiden wissenschaftlichen Ansätze durch jeweilige Analyse eines identischen Arbeitssystems untersucht. Auf der Grundlage der Vorüberlegungen wurde hierzu ein Arbeitssystem ausgewählt, das durch zwei Belastungsabschnitte (1. Manuelle Arbeitsprozesse und 2. Umsetzen von Lasten) charakterisiert ist. Bei dem Arbeitssystem wurden aus einer Gitterbox bei stark vorgeneigter Rumpfbeugung **Metallrohlinge** zunächst in einen auf dem Boden stehenden Kleinladungsträger umgepackt und anschließend auf einen Transportwagen gestellt. Das Füllen des Kleinladungsträgers erfolgte durch paralleles Umsetzen mehrerer Metallrohlinge. Im Durchschnitt war die Kiste nach drei Wiederholungen gefüllt, sodass insgesamt durchschnittlich etwa 1.050 Füllvorgänge pro Schicht durchgeführt wurden. Der volle Kleinladungsträger hatte dabei ein Gewicht (arithmetischer Mittelwert) von 7,7 Kilogramm. Damit ergab sich für die einzelnen Füllvorgänge ein durchschnittliches Gewicht von etwa 2,6 Kilogramm und lag damit definitionsgemäß die physische Belastungsart Manuelle Arbeitsprozesse vor.

LMM2019 - Arbeitsvorgänge: Paralleltest							
Neuer Vorgang		Kopieren (aus DB)		Vorgang löschen		Vorgang duplizieren	
Arbeitsvorgänge 3			verteilte Zeit / Schichtdauer 112,0 / 480 min				
	Zeitanteil [%]	Gesamt-Vorgangsdauer [min]	Vorgangsdauer [min]	Vorgangszahl pro Schicht	Belastungsart	Kennung	
	17,50	84,00	0,08	1050	MA/KH	1	Füllen der KLT'S
	5,83	28,00	0,08	350	HHT/KH	2	Umsetzen der KLT's
>>>	76,67	368,00	368,00	1	ohne	Z	sonstige Tätigkeiten

Abb. 4.113 Paralleltest (I-A₁): Analysephase mit dem Instrument (Ausschnitt 1)

Zunächst erfolgte die Analyse der beiden Belastungsabschnitte (Vorgänge/Tätigkeiten) mit dem Instrument. Im ersten Schritt (Systemabgrenzung) wurden hierbei die jeweilige Expositionsdauer und Wiederholhäufigkeit der Belastungsabschnitte ermittelt (Abb. 4.113).

Ergebnisse der Überprüfung der Reliabilität

Da bei beiden Belastungsabschnitten über hohe Zeitanteile mäßig und stark vorgeneigte Körperhaltungen einzunehmen waren, generierte das Instrument bereits in der Analysephase einen automatisierten **Warnhinweis** zur parallelen (mitlaufenden) Anwendung der neuen Leitmerkalmethode Körperzwangshaltung (LMM-KH, 2019). Daher wurden vom Autor **zwei Leitmerkalmethoden pro Belastungsabschnitt** zur Analyse der verschiedenen Belastungsaspekte angewendet (Abb. 4.114).

Belastungsart		LMM MA	LMM KH
A: Rückenbelastungen		B: Schulter- und Oberarmbelastungen	C: Knie- / Beinbelastungen
<input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> Keine Rückenbelastungen / Belastung durch Rumpfhaltung			
22		Aufrechte Rückenhaltung im Stehen, Hocken oder Knien, auch unterbrochen von Schritten um einen Arbeitsbereich oder von Körperbewegungen (Vorneigung bis 20° möglich) z. B. Verkaufspersonal, Maschinenbediener	Zeit-Anteil an (Teil-)Tätigkeit 20 %
23		Oberkörper mäßig vorgeneigt (> 20-60°) im Stehen, Hocken oder Knien ¹) oder nach hinten geneigt z. B. Sortierbänder für Backwaren	Zeit-Anteil an (Teil-)Tätigkeit 40 %
24		Oberkörper stark vorgeneigt (> 60°) im Stehen, Hocken oder Knien) - z. B. Eisenflechter	Zeit-Anteil an (Teil-)Tätigkeit 40 %
25		Sitzen in erzwungener Haltung, Oberkörper mäßig bis stark vorgeneigt, meist mit dauernder Blickzuwendung - z. B. Mikroskopieren, Kranfahren, Endoskopie (Medizin), auch Sitzen auf dem Boden	Zeit-Anteil an (Teil-)Tätigkeit <input type="text"/> %
26		Sitzen in variabler Sitzhaltung z. B. Büroarbeit (Sachbearbeitung)	Zeit-Anteil an (Teil-)Tätigkeit <input type="text"/> %
Wechsel zu Stehen / Gehen ist <input type="radio"/> Nicht möglich <input type="radio"/> Möglich			
<input checked="" type="checkbox"/> Ungünstige Ausführungsbedingungen (gültig für A, B und C - nur angeben, wenn zutreffend)			
<input type="checkbox"/> Keine ungünstigen Ausführungsbedingungen			
Rumpfvordrehung bzw. -seitneigung <input type="radio"/> Nie <input type="radio"/> Gelegentlich <input checked="" type="radio"/> Häufig bis ständig (auch weniger als 10 Sekunden) erkennbar			

Abb. 4.114 Paralleltest (I-A₂): Analysephase mit dem Instrument (Ausschnitt 2)

Im Vergleich hierzu ist die Analyse mit dem **BRIEF-Survey** (Humantech) mit einem geringeren Detaillierungsgrad auf Arbeitssystem-Ebene vorgesehen. Daher erfolgte die Analyse der Belastungsaspekte kumuliert für beide Belastungsabschnitte in einem einzigen Formular. Mit dem Formular des BRIEF-Survey wurden die Belastungsaspekte entlang der Zuordnung zu Körperregionen analysiert und anschließend mit Hilfe der Angaben die Körperregionenspezifische Risikobewertung durchgeführt.

Je Körperregion wurde dabei analysiert, ob die vom BRIEF-Survey als zulässig eingestuft **Gelenkwinkel** und/oder die als zulässig eingestuft **Krafthöhen** überschritten waren. Sofern mindestens eines von beidem der Fall war, wurde analysiert, ob dies dann auch entsprechend bei hohen Handhabungsfrequenzen und/oder langen Ausführungsdauern erforderlich war. Diese Zwischenergebnisse wurden dann Spalten-weise addiert und das Ergebnis zur Darstellung des Avatars im (gewohnten) Ampelschema genutzt (Abb. 4.115).

	Hände und Handgelenke		Ellbogen		Schultern		Hals	Rücken	Beine	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts				
	Beugung $\geq 45^\circ$	Beugung $\geq 45^\circ$			Arm gehoben $\geq 45^\circ$	Arm gehoben $\geq 45^\circ$	Nach vorne gebeugt $\geq 30^\circ$	Nach vorne gebeugt $\geq 20^\circ$	Hocken $\leq 45^\circ$	
	Streckung $\geq 45^\circ$	Streckung $\geq 45^\circ$	Gedrehter Unterarm	Gedrehter Unterarm	Arm hinter dem Körper	Arm hinter dem Körper	Nach hinten gebeugt	Nach hinten gebeugt	Knieen	
	Radiale Abweichung	Radiale Abweichung	Durchgestreckt $\geq 135^\circ$	Durchgestreckt $\geq 135^\circ$	Schultern hochgezogen	Schultern hochgezogen	Seitwärts geneigt	Seitwärts geneigt	Ohne Fußstütze	
	Ulnare Abweichung	Ulnare Abweichung					Verdreht $\geq 20^\circ$	Ohne Rückenlehne		
Kraftaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
A. Kneifgriff										
B. Fingerdruck			$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg				
C. Kraftgriff							$\geq 0,9$ kg	$\geq 11,3$ kg	Fußpedal $\geq 4,5$ kg	
	$\geq 0,9$ kg	$\geq 0,9$ kg	Beide Ellbogen $\geq 6,8$ kg		Beide Schultern $\geq 6,8$ kg					
	$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg								
Schritt 3. Für Körperteile, bei denen Haltung oder Kraftaufwand zutreffen, Kästchen für Dauer und/oder Häufigkeit ankreuzen, wenn Grenzwerte überschritten sind.										
Dauer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	$\geq 30\%$ des tages	
Häufigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	≥ 30 /Min.	≥ 30 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	
Schritt 4. Tragen Sie die Gesamtzahl der Kreuze ein, die Sie bei Haltung, Kraftaufwand, Dauer und Häufigkeit gesetzt haben, und kreisen Sie die Risikostufe (niedrig = 0 oder 1, mittel = 2, hoch = 3 oder 4).										
Wert (0-4)										
Risikobewertung	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	
Schritt 5. Identifizieren Sie physische Stressfaktoren.										
Beobachtete physische Stressfaktoren ankreuzen. Verwenden Sie die entsprechenden Buchstaben, um die Stelle der Stressfaktoren auf dem Körperbild anzugeben.										
<input type="checkbox"/>	Schwingungen (V)		<input type="checkbox"/>	Schlagbelastung (S)						
<input type="checkbox"/>	Niedrige Temperaturen (T)		<input type="checkbox"/>	Handschuhprobleme (H)						
<input type="checkbox"/>	Kompression der Weichteile (K)									

Abb. 4.115 Paralleltest (I-B): Analysephase basierend auf dem BRIEF-Survey

Nachdem die beiden Analysephasen des Paralleltests fertig gestellt waren, konnten die Ergebnisse des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens ausführlich untersucht werden. Als offensichtlicher Unterschied fiel dabei zunächst auf, dass die Ergebnisse beim Instrument für die Anwender*innen automatisch in zwei verschiedenen **Ergebniskategorien** aufbereitet werden.

Ergebnisse der Überprüfung der Reliabilität

Zum einen werden die Bewertungsergebnisse der verschiedenen physischen Belastungsarten zusammen mit dem Avatar visualisiert. Ermittelt werden kann so unter anderem die Hauptursache der Belastung der Beschäftigten im Arbeitssystem als Ausgangspunkt für Optimierungen. Bei dem analysierten Praxisbeispiel war das eindeutig die Belastungsart Heben, Halten, Tragen aufgrund der Bewertungsstufe 6 und damit einer Belastungshöhe oberhalb der Toleranzgrenze (Abb. 4.116).

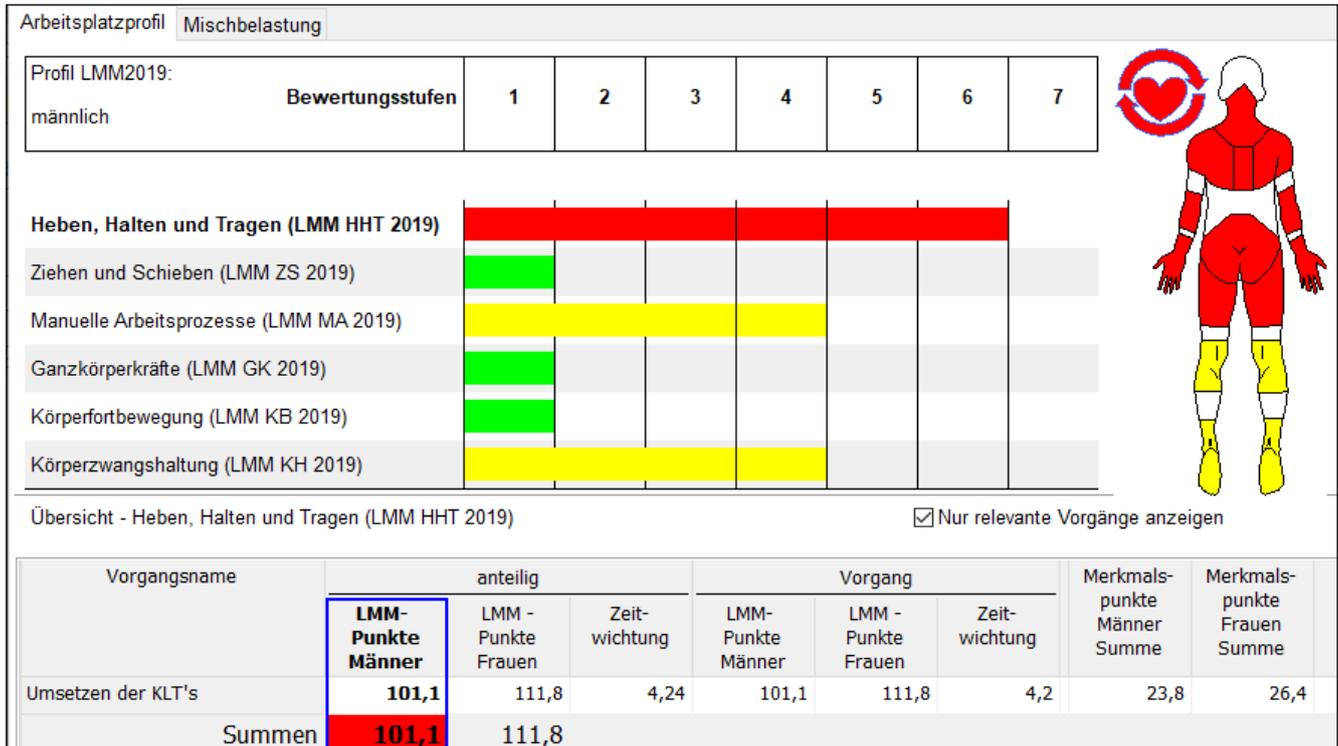


Abb. 4.116 Paralleltest (II-A₁) - Ergebnisse des Instruments (Ausschnitt 1)

Andererseits wird der Avatar im Instrument mit dem Ergebnis der Risiken für die Körperzielregionen dargestellt. Daran zeigt sich, was die Ausführung der beiden Belastungsabschnitte (Umsetzen der Metallrohlinge und der Kisten) aufgrund der schlechten Körperhaltung und hohen Wiederholhäufigkeiten nach aktuellen arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen langfristig bewirken wird. Bis auf die Knie und Füße ist in allen Körperregionen von **Beanspruchungen oberhalb der Toleranzschwelle** auszugehen. Anzumerken ist, dass beim Instrument in Kopfhöhe des Avatars eine zusätzliche Visualisierung der resultierenden Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems erfolgt (Abb. 4.117).

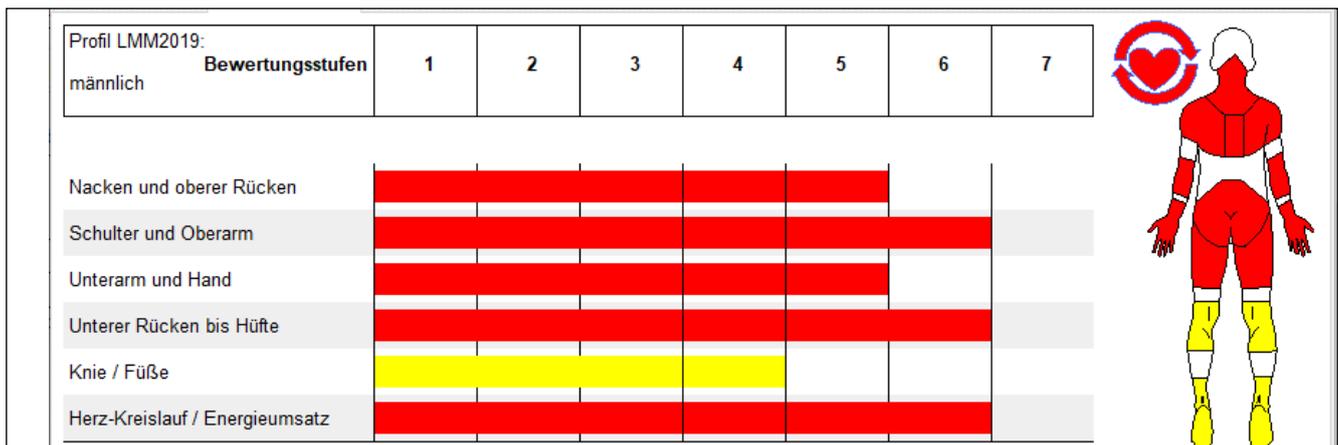


Abb. 4.117 Paralleltest (II-A₂) - Ergebnisse des Instruments (Ausschnitt 2)

Bei der Analyse von Körperhaltung, Kraftaufwand, Dauer und Häufigkeiten mit dem BRIEF-Survey, wurde festgestellt, dass **30 der 61 integrierten Belastungsaspekte (49,2 %)** für das Arbeitssystem zutrifft. In der Risikobewertung wird für die Körperregionen Hände und Handgelenke, Ellenbogen, Schultern sowie Hals und Rücken jeweils der Wert 3 erreicht. Für die Beine wird der Wert 2 erreicht (Abb. 4.118).

	Hände und Handgelenke		Ellbogen		Schultern		Hals	Rücken	Beine
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts			
Kraftaufwand	<input type="checkbox"/>								
A. Kneifgriff B. Fingerdruck C. Kraftgriff									
	≥ 0,9 kg ≥ 4,5 kg	≥ 0,9 kg ≥ 4,5 kg	≥ 4,5 kg	≥ 4,5 kg	≥ 4,5 kg	≥ 4,5 kg	≥ 0,9 kg	≥ 11,3 kg	Fußpedal ≥ 4,5 kg
Schritt 3. Für Körperteile, bei denen Haltung oder Kraftaufwand zutreffen, Kästchen für Dauer und/oder Häufigkeit ankreuzen, wenn Grenzwerte überschritten sind.									
Dauer	<input type="checkbox"/>								
	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 30% des tages
Häufigkeit	<input type="checkbox"/>								
	≥ 30/Min.	≥ 30/Min.	≥ 2/Min.	≥ 2/Min.	≥ 2/Min.	≥ 2/Min.	≥ 2/Min.	≥ 2/Min.	≥ 2/Min.
Schritt 4. Tragen Sie die Gesamtzahl der Kreuze ein, die Sie bei Haltung, Kraftaufwand, Dauer und Häufigkeit gesetzt haben, und kreisen Sie die Risikostufe (niedrig = 0 oder 1, mittel = 2, hoch = 3 oder 4).									
Wert (0-4)	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Risiko- bewertung	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H
Schritt 5. Identifizieren Sie physische Stressfaktoren.									
Beobachtete physische Stressfaktoren ankreuzen. Verwenden Sie die entsprechenden Buchstaben, um die Stelle der Stressfaktoren auf dem Körperbild anzugeben.									
<input type="checkbox"/> Schwingungen (V) <input type="checkbox"/> Schlagbelastung (S) <input type="checkbox"/> Niedrige Temperaturen (T) <input type="checkbox"/> Handschuhprobleme (H) <input type="checkbox"/> Kompression der Weichteile (K)									

Abb. 4.118 Ergebnisse des Paralleltests (II-B) – BRIEF-Survey

Damit konnten alle benötigten Analyseparameter für die Konvergenzbetrachtung erhoben werden und anschließend die Untersuchung der beiden Avatare durchgeführt werden. Wie auch die Abbildungen zeigen, führen die beiden Herangehensweisen zu einer identischen **Avatar-Darstellung**. Mit Instrument und BRIEF-Survey werden die Beanspruchungen bis auf die Körperregion der Knie und Füße als kritisch (Ampelschema Rot) ausgewiesen. Die Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems ist hier nicht integriert und konnte daher im Rahmen des Paralleltests nicht paarweise verglichen werden.

4.2.9 Evaluierung der Objektivität

Nach Validität und Reliabilität wurde mit der Objektivität das dritte wissenschaftliche Hauptgütekriterium beim Instrument untersucht. Untersuchungen zur Objektivität können ermitteln, inwieweit Ergebnisse unabhängig von den Anwender*innen (Rater*innen) sind. Damit kann bestimmt werden, inwieweit ein Instrument unabhängig von einem individuellen Urteil ist und **quantitative Aussagen zur Übereinstimmung** (Konkordanz etc.) ermittelt werden (Cohen, 1960; Fleiss 1971; Shrout & Fleiss, 1979).

Im Rahmen der Dissertation wurde ermittelt, inwieweit die Beurteilungsergebnisse mehrerer Anwender*innen des Instruments übereinstimmen und hierfür auf die Inter-Rater-Reliabilität zurückgegriffen. Sie wird in der Regel separat zur Durchführung und zur Interpretation (eines Instruments) ermittelt und ausgewertet. Da die Interpretation beim Instrument direkt im Belastungsprofil abgelesen werden kann, wurde der Fokus auf quantitative Untersuchungen zur Durchführungsobjektivität gelegt und die Untersuchungen anschließend ergänzt durch eine qualitative Untersuchung zur Interpretationsobjektivität.

4.2.9.1 Inter-Rater-Reliabilität - Durchführung

Im ersten Schritt wurde die Durchführungsobjektivität quantitativ untersucht. Hierzu wurde untersucht, inwieweit die Analyseergebnisse der einzelnen Belastungsaspekte bei den verschiedenen Anwender*innen übereinstimmen, um zu ermitteln, inwieweit vergleichbare Analysen und damit auch vergleichbare Bewertungsergebnisse (Belastungshöhen, Risiken) erzielt werden. Die korrekte Lösung (Exp) bildete das gemeinsame geheime Votum mehrerer Experten*innen, das erst nach Untersuchungsende vorgestellt wurde.

Aufgrund der Abgrenzung zwischen den einzelnen Belastungsarten bot sich auch bei der Untersuchung der Objektivität eine selektive Überprüfung anhand einzelner Belastungs- und Gefährdungsarten an (Peters, 1986). Um möglichst viele Erkenntnisse gewinnen zu können, wurden für die Untersuchung drei physische **Belastungsarten mit unterschiedlicher Analysekomplexität** ausgewählt. Zu diesen drei Belastungsarten wurde jeweils eine auf Video aufgezeichnete Tätigkeit durch **zehn Rater*innen** analysiert. Im Vorfeld der Untersuchung wurden sie zu den theoretischen Grundlagen (Ebenen der Arbeitsgestaltung etc.) der drei Belastungsarten **geschult** und die Struktur der zugrunde liegenden Leitmerkmalmethoden kurz erläutert. Um ein möglichst praxisnahes Setting der Beobachtungsanalyse nachzustellen, hatten die Rater*innen zunächst das Formblatt der Leitmerkmalmethode, das bei der vor Ort-Analyse der Arbeitssysteme in der Praxis auf einem Klemmbrett mitgeführt und mit Informationen gefüllt wird, auszufüllen und anschließend die Ergebnisse in das Instrument zu übertragen.

Bei der **Versuchsreihe 1** handelte es sich um ein Umsetzen von Säcken und damit um die Belastungsart Manuelles Heben, Halten, Tragen von Lasten. Dabei war die folgende Tätigkeit zu analysieren und zu bewerten: Ein männlicher Beschäftigter setzt 60 Säcke pro Schicht mit einem Gewicht von 25 Kilogramm von einer Palette auf einen nahegelegenen Container um. Die einfache Distanz mit Ladung beträgt kleiner fünf Meter, womit es sich um ein Umsetzen handelt. Der Boden ist uneben. Als zusätzlichen Hinweis wurde vermerkt: Denken Sie später bitte immer an die verschiedenen Ebenen, wenn Sie nur mit zugeschnittenen Videoaufzeichnungen arbeiten, die nicht die gesamte Tätigkeit repräsentieren.

Die zehn Rater*innen (**d = 10 Rater**) hatten mit der Leitmerkmalmethode zum Heben, Halten und Tragen von Lasten vier Aspekte der Belastung zu analysieren und die Bewertung in der resultierenden Risikokategorie vorzunehmen (**N = 5 Fälle**). Die Skalenkategorien sind dabei über die fünf Fälle variabel mit drei bis 18 möglichen Kategorien (**z = 3 bis 18 Kategorien**). Bei der Tätigkeit 1 zum Umsetzen von Säcken wählten alle zehn Rater*innen im ersten Schritt der Bestimmung der Zeitwichtung die richtige Spalte der Hebe- und Umsetzvorgänge und entschieden sich für die richtige Häufigkeitskategorie zwischen 40 bis kleiner 200 Hebe- und Umsetzvorgänge, was bei der Anwendung der Papierversion (**ohne Interpolation**) der Zeitwichtung 4 entspricht. Im zweiten Schritt der Bestimmung der wirksamen Last wählten alle zehn Rater*innen die richtige Spalte der wirksamen Last für Männer und die richtige Lastkategorie zwischen 20 und kleiner 30 Kilogramm und damit die Lastwichtung 4 aus. Im dritten Schritt der Bestimmung der Körperhaltung und Position der Last wählten alle zehn Rater*innen die richtige Kategorie des geringen Vorneigens oder Verdrehens des Oberkörpers und damit die Haltungswichtung 2 aus. Im vierten Schritt der Bestimmung der Ausführungsbedingungen wählten alle zehn Rater*innen die richtige Kategorie der eingeschränkten Bewegungsfreiheit und ungünstigen ergonomischen Bedingungen und damit die Wichtung der Ausführungsbedingungen⁶³ mit 1 aus. Nach der darauf folgenden Addition der Zwischenergebnisse 2 bis 4 und anschließender Multiplikation mit dem Zwischenergebnis 1 wählten alle zehn Rater*innen schließlich den Risikobereich 3.

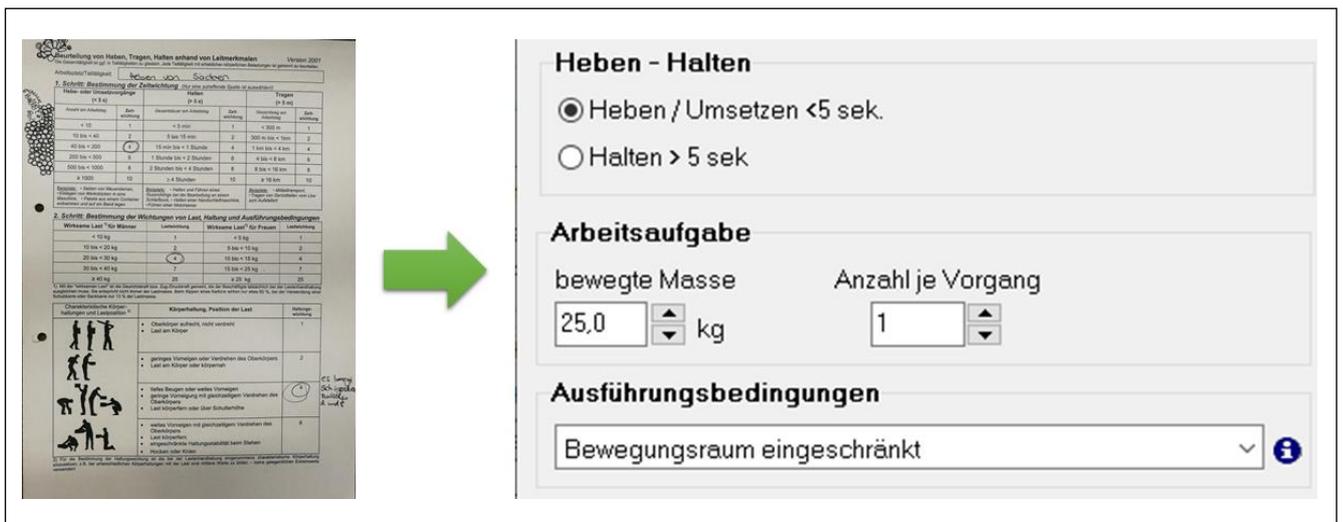


Abb. 4.119 Übertrag in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments (T-I)

Im nächsten Schritt erfolgte der Übertrag der auf den Formblättern der Leitmerkmalmethode markierten Analyseparameter in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments. Für Tätigkeit 1 entsprach das aufgrund der kennzeichnenden Belastungsart dem im Instrument adaptierten Verfahren zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten (Abb. 4.119).

⁶³ Die Skala „Ausführungsbedingungen“ hat ihre untere Grenze bei 0 Punkten.

Ergebnisse der Überprüfung der Objektivität

Auf der Grundlage dieser Analyseparameter wurde schließlich vom Instrument das resultierende Bewertungsergebnis auf der 7-stufigen Bewertungsskala automatisch ermittelt und im Belastungsprofil in der Gruppe der physischen Belastungen in der Belastungsart Lastenhandhabung den Rater*innen visualisiert (Abb. 4.120).



Abb. 4.120 Resultierende Bewertungsergebnisse des Instruments (T-I)

Mit dem Vorliegen der Analyse- und Bewertungsergebnisse konnte nun die Ergebnistafel zur Untersuchung der Durchführungsobjektivität bei Versuchsreihe 1, in einem Zwischenschritt zunächst bezogen auf die Papierversion der Leitmerkmalmethode zum manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten, erstellt werden (Tab. 4.52).

Tab. 4.52 Ergebnistafel zur Inter-Rater-Reliabilität (T-I; Ausschnitt)

Aspekte der Belastung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	18
1. Anzahl, Dauer, Weg			10								
2. Wirksame Last			10								
3. Körperhaltung			10								
4. Ausführungsbedingungen		10									
Ergebnis											
5. Risikobereich			10								

Anschließend wurden die in das Instrument übertragenen Ergebnisse der zehn Rater*innen überprüft und die Abweichungen und Verhältnisse zwischen der korrekten Lösung (Exp) und den jeweiligen Ergebnissen der Rater*innen (Delta) zusammengeführt. Errechnet wurden hierbei jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (s) sowie der maximale Wert und minimale Wert der Rater*innen (Tab. 4.53).

Tab. 4.53 Hauptergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität (T-I)

Aspekte der Belastung	Exp	Anw MW	s	Min	Max	Delta Exp-MW	%
1. Anzahl, Dauer, Weg	3,20	3,20	0	3,20	3,20	0	0
2. Wirksame Last	4,25	4,25	0	4,25	4,25	0	0
3. Körperhaltung	4,00	4,00	0	4,00	4,00	0	0
4. Ausführungsbedingungen	1,00	1,00	0	1,00	1,00	0	0
Ergebnis							
5. BDS - Bewertungsstufe <i>Normperson / (Demografiefilter)</i>	4 (5)	4 (5)	0	4 (5)	4 (5)	0	0
<i>Anteil korrekt</i>		10/10					

Mit identischem Vorgehen erfolgte die Untersuchung der Inter-Rater-Reliabilität zur zweiten Belastungsart. Bei der **Versuchsreihe 2** handelte es sich dabei um den Transport mit einem Handwagen und damit um die Belastungsart Manuelles Ziehen und Schieben von Lasten. Dabei war die folgende Tätigkeit zu analysieren und zu bewerten: Ein Beschäftigter schiebt einen Handwagen mit einem Leergewicht von 50 Kilogramm und einem Gewicht der Ladung von 300 Kilogramm über eine einfache Distanz von 15 Metern bei einer Dauer von 22 Sekunden, was einer Geschwindigkeit von 0,7 m/s entspricht. Diese Tätigkeit wird 40 Mal pro Schicht ausgeführt. Dabei ist der Boden eben und trocken. Als Rollen am Handwagen wurden zwei Bock- und zwei Lenkrollen in einem sauberen Zustand verwendet. Als Rollenmaterial kam ein Standard-Gummi für geringe Gewichte zum Einsatz. Griffe waren am Transportwagen mit geeigneten Abmaßen und in einer festen Position verfügbar.

Die zehn Anwender*innen (**d = 10 Rater**) hatten mit der Leitmerkmalmethode zum Ziehen und Schieben von Lasten fünf Aspekte der Belastung zu analysieren und die Bewertung in der resultierenden Risikokategorie vorzunehmen (**N = 6 Fälle**). Die Skalenkategorien waren dabei über die sechs Fälle **variabel** mit vier bis 31 möglichen Kategorien (**z = 4 bis 31 Kategorien**). Bei der Tätigkeit 2 zum Transport eines Handwagens wählten alle zehn Anwender*innen im ersten Schritt der Bestimmung der Zeitwichtung die richtige Spalte des Ziehens und Schiebens über längere Distanzen mit Einzelwegen über fünf Meter aus und entschieden sich für die richtige Gesamtweg-Kategorie zwischen 1 und 4 Kilometer, was der Zeitwichtung 4 entspricht. Im zweiten Schritt der Bestimmung des richtigen Hilfsmittels und der zu bewegenden Masse wählten acht von zehn Anwender*innen die richtige Spalte der Kombination aus Handwagen mit Bockrollen und Lastgewicht zwischen 300 bis kleiner 400 kg und damit die Lastwichtung 4 aus. Einmal wurde das falsche Hilfsmittel (Wagen ohne Bockrollen) und einmal die falsche Lastkategorie (200 bis < 300 kg) gewählt. Im dritten Schritt der Bestimmung der Positioniergenauigkeit wählten neun von zehn Anwender*innen die richtige Kategorie der langsamen Bewegungsgeschwindigkeit bei geringer Positioniergenauigkeit und damit die Haltungswichtung 2 aus. Einmal wurde eine davon abweichende hohe Positioniergenauigkeit ausgewählt. Im vierten Schritt der Bestimmung der Körperhaltung wählten neun von zehn Anwender*innen die richtige Kategorie der leicht vorgeneigten Körperhaltung aus und damit die Wichtung der Körperhaltung mit 1 aus. Einmal wurde eine stärkere Neigung des Körpers in Bewegungsrichtung ausgewählt. Im fünften Schritt wählten alle zehn Anwender*innen die richtige Kategorie der guten Ausführungsbedingungen aus. Durch Addition der Zwischenergebnisse 2 bis 5 und anschließende Multiplikation mit dem Zwischenergebnis 1 kamen neun von zehn Anwender*innen im sechsten Schritt auf den Risikobereich 3, einmal resultierte der Risikobereich 2.

Anschließend erfolgte der Übertrag der auf den Formblättern der Leitmerkmalmethode markierten Analyseparameter in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments, aufgrund der Belastung handelte es sich um das adaptierte Verfahren zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Ziehen und Schieben von Lasten (Abb. 4.121).

Ergebnisse der Überprüfung der Objektivität



Abb. 4.121 Übertrag in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments (T-II)

Auf der Grundlage der Analyseparameter wurde auch bei dieser Versuchsreihe anschließend vom Instrument automatisch das resultierende Bewertungsergebnis auf der 7-stufigen Bewertungsskala ermittelt und im Belastungsprofil in der Gruppe der physischen Belastungen in der Belastungsart Lastenhandhabung den Anwender*innen visualisiert (Abb. 4.122).

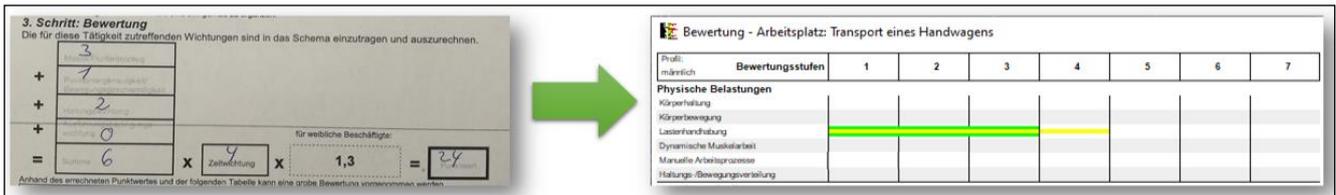


Abb. 4.122 Resultierende Bewertungsergebnisse im Instrument (T-II)

Mit dem Vorliegen der Analyse- und Bewertungsergebnisse konnte nun die Ergebnistafel zur Untersuchung der Durchführungsobjektivität bei Versuchsreihe 2, in einem Zwischenschritt zunächst bezogen auf die Papierversion der Leitmerkmalermethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten (> 5kg; Papierversion 2002), erstellt werden (Tab. 4.54).

Tab. 4.54 Ergebnistafel zur Inter-Rater-Reliabilität (T-II; Ausschnitt)

Aspekte der Belastung	1	2	3	4	9	12	16	21	22	31
1. Anzahl, Strecke					10					
2. Last-Hilfsmittel							1	1	8	
3. Positioniergenauigkeit	9	1								
4. Körperhaltung		9	1							
5. Ausführungsbedingungen	10									
Ergebnis										
6. Risikokategorie		10								

Anschließend wurden die in das Instrument übertragenen Ergebnisse der zehn Rater*innen überprüft und die Abweichungen und Verhältnisse zwischen der korrekten Lösung (Exp) und den jeweiligen Ergebnissen der Rater*innen (Delta) zusammengeführt. Errechnet wurden hierbei jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (s) sowie der maximale Wert und minimale Wert der Rater*innen (Tab. 4.55).

Tab. 4.55 Hauptergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität (T-II)

Aspekte der Belastung	Exp	Anw MW	s	Min	Max	Delta Exp-MW	%
1. Anzahl, Strecke	3,10	3,10	0	3,10	3,10	0	0
2. Last-Hilfsmittel	3,00	3,176	0,51	2,50	3,88	-0,04	-1
3. Positionier- genauigkeit	1,00	1,10	0,50	1,00	2,00	-0,10	-10
4. Körperhaltung	2,00	2,20	2,00	2,00	4,00	-0,20	-10
5. Ausführungsbedingungen	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0
Ergebnis							
6. BDS - Bewertungsstufe <i>Normperson / (Demografiefilter)</i>	3 (4)	3 (4)	0	3 (4)	3 (4)	0	0
<i>Anteil korrekt</i>		10/10					

Bei **Versuchsreihe 3** war an einem Bauteil Rest-Grat mit der Fingerspitze zu erfühlen (Belastungsart **Manuelle Arbeitsprozesse**) und eine direkte Sichtprüfung ohne Hilfsmittel durchzuführen. Dabei war die folgende Tätigkeit zu analysieren und zu bewerten: Eine Beschäftigte prüft acht Injektoren pro Minute. Dieser Ausschnitt wiederholt sich pro Schicht 420 Mal. Der zu prüfende Injektor wiegt etwa 400 Gramm. Über den Schichtverlauf ist kein Wechsel mit anderen Tätigkeiten möglich. Die Beleuchtung am Arbeitsort ist gut, aber es kommt vereinzelt zu Störgeräuschen.

Die zehn Anwender*innen (**d = 10 Rater**) hatten mit der Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse acht Aspekte der Belastung zu analysieren und die Bewertung in der resultierenden Risikokategorie vorzunehmen (**N = 9 Fälle**). Die Skalenkategorien waren dabei über die sechs Fälle variabel mit drei bis 63 möglichen Kategorien (**z = 3 bis 63 Kategorien**). Bei Versuchsreihe wählten alle zehn Anwender*innen im ersten Schritt der Bestimmung der Zeitwichtung die korrekte Spalte von insgesamt sieben Stunden Gesamtdauer der Ausführung pro Schicht aus, was der Zeitwichtung 4 entspricht. Im zweiten Schritt der Bestimmung der Art der Kraftausübung der rechten Hand wählten acht von zehn Anwender*innen die korrekte Spalte der Kombination aus mittlerer Krafthöhe bei 31 bis 60 Bewegungen pro Minute aus und damit die Wichtung 5 für die rechte Hand aus. Im dritten Schritt der Bestimmung der Art der Kraftausübung der linken Hand wählten acht von zehn Anwender*innen die korrekte Spalte der Kombination aus mittlerer Krafthöhe bei 16 bis 30 Bewegungen pro Minute aus und damit die Wichtung 2 für die linke Hand aus. Im vierten Schritt der Bestimmung der Kraftübertragung und Greifbedingungen wählten alle zehn Anwender*innen die korrekte Kategorie der optimalen Kraftübertragung und damit die Wichtung 0 bei Kraftübertragung und Greifbedingung aus. Im fünften Schritt der Bestimmung der Hand-/Armstellung und Bewegung wählten neun von zehn Anwender*innen die korrekte Kategorie der gelegentlichen Stellungen und Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche und damit die Wichtung 1 zu Hand-/Armstellung und -bewegung aus.

Ergebnisse der Überprüfung der Objektivität

Im sechsten Schritt der Bestimmung der Arbeitsorganisation wählten neun von zehn Anwender*innen die korrekte Kategorie Kein/kaum Belastungswechsel und damit die Wichtung 2 bei Arbeitsorganisation 2 aus. Im siebten Schritt der Bestimmung der Ausführungsbedingungen wählten 10 Anwender*innen die korrekte Kategorie Gut und damit die Wichtung der Ausführungsbedingungen mit 0 aus. Im neunten Schritt bei der Bestimmung der Körperhaltung wählten alle 10 Anwender*innen die korrekte Kategorie der ungünstigen Körperhaltung und damit die Haltungswichtung 3 aus. Durch Addition des höheren Zwischenergebnis aus den Schritten 2 und 3 mit den weiteren Zwischenergebnissen aus 4 bis 8 sowie anschließende Multiplikation mit dem Zwischenergebnis 1 kamen neun Anwender*innen im neunten Schritt auf den Risikobereich 3, bei einem Rater resultierte der Risikobereich 2.

Anschließend erfolgte der Übertrag der auf den Formblättern der Leitmerkmalmethode markierten Analyseparameter in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments, aufgrund der Belastung handelte es sich um das adaptierte Verfahren zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Manuellen Arbeitsprozessen (Abb. 4.123).

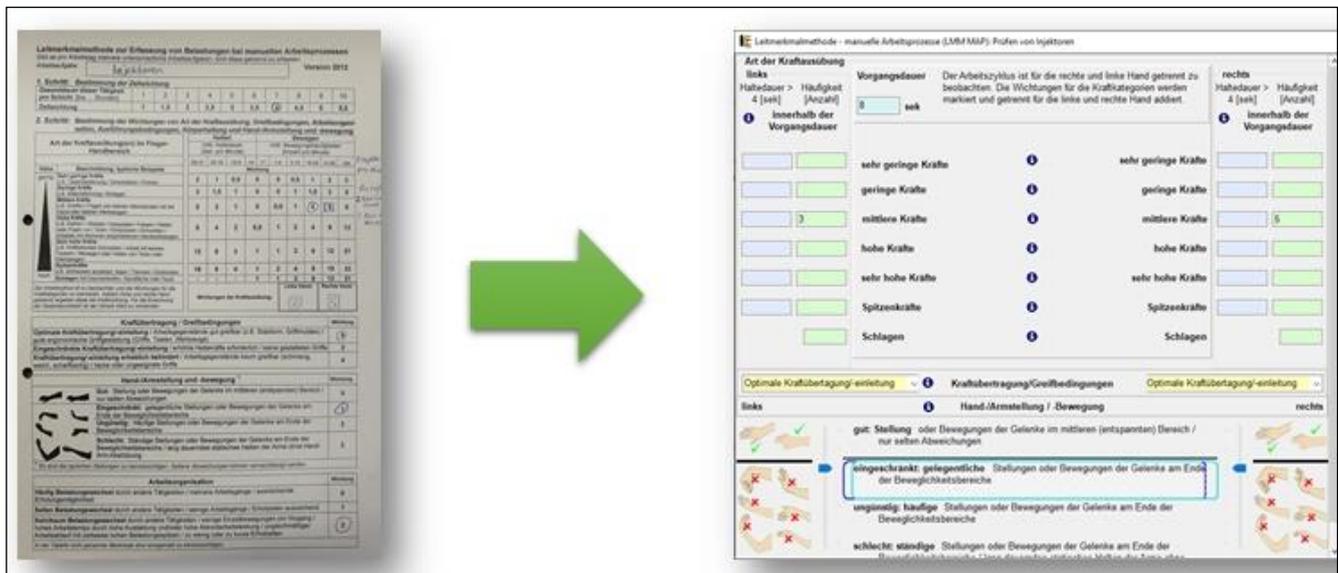


Abb. 4.123 Übertrag in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments (T-III)

Auf der Grundlage der Analyseparameter wurde auch bei dieser Versuchsreihe anschließend vom Instrument automatisch das resultierende Bewertungsergebnis auf der 7-stufigen Bewertungsskala ermittelt und im Belastungsprofil in der Gruppe der physischen Belastungen in der Belastungsart Manuelle Arbeitsprozesse den Anwender*innen visualisiert (Abb. 4.124).

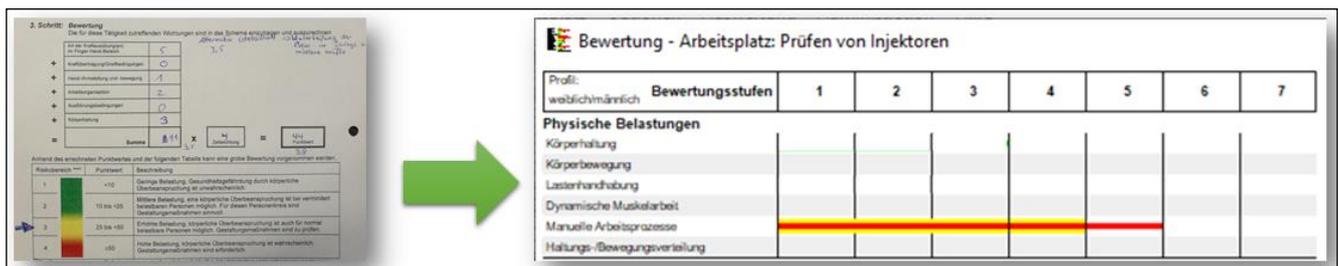


Abb. 4.124 Resultierende Bewertungsergebnisse im Instrument (T-III)

Mit dem Vorliegen der Analyse- und Bewertungsergebnisse konnte nun die Ergebnistafel zur Untersuchung der Durchführungsobjektivität bei Versuchsreihe 3, in einem Zwischenschritt zunächst bezogen auf die Papierversion der Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen (Papierversion 2012) erstellt werden (Tab. 4.56).

Tab. 4.56 Ergebnistafel zur Inter-Rater-Reliabilität (Tätigkeit III; Ausschnitt)

Aspekte der Belastung	1	2	3	4	7	10	13 20 24	25	26	63
1. Dauer					10					
2. Kraft-Frequenz re.							1		9	
3. Kraft-Frequenz li.							2	8		
4. Kraftübertr./Greifb.	10									
5. Hand-/Armstellung	2	8								
6. Arbeitsorganisation		1	9							
7. Ausführungsbed.	10									
8. Körperhaltung			10							
Ergebnis										
9. Risikobereich		1	9							

Anschließend wurden die in das Instrument übertragenen Ergebnisse der zehn Rater*innen überprüft und die Abweichungen und Verhältnisse zwischen der korrekten Lösung (Exp) und den jeweiligen Ergebnissen der Rater*innen (Delta) zusammengeführt. Errechnet wurden hierbei jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (s) sowie der maximale Wert und minimale Wert der Rater*innen (Tab. 4.57).

Tab. 4.57 Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilität (Tätigkeit III)

Aspekte der Belastung	Exp	Anw MW	s	Min	Max	Delta Exp-MW	%
1. Dauer	4,00	4,00	0	4,00	4,00	0	0
2. Kraft-Frequenz re.	3,91	3,56	0,94	1,00	3,91	0,35	9
3. Kraft-Frequenz li.	2,34	2,10	0,56	0,78	2,34	0,24	10
4. Kraftübertr./Greifb.	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0
5. Hand-/Armstellung	1,00	0,80	0,45	0,00	1,00	0,20	20
6. Arbeitsorganisation	2,00	1,90	0,32	1,00	2,00	0,10	5
7. Ausführungsbedingungen	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0
8. Körperhaltung	0,50	0,35	0,27	0,00	0,50	0,15	30
Ergebnis							
9. Risikobereich	4 (5)	3,9 (4,9)	0	3 (4)	4 (5)	0	0
<i>Normperson / (Demografiefilter)</i>							
<i>Anteil korrekt</i>	9/10						

Ergebnisse der Überprüfung der Objektivität

Die Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilität konnten nun zusammenfasst und weiterführend statistisch ausgewertet werden. Hierzu wird einerseits der Anteil der korrekten Entscheidungen bezüglich der einzelnen Aspekte der Belastung (Einzelfallentscheidungen) sowie der Bewertungsstufe je analysierter Tätigkeit (Belastungsart) gegenübergestellt. Erweiterte Berechnungen erfolgten zur **Intra-Klassen-Korrelation (ICC 3,1)** und zum **Fleiss' Kappa**. Insgesamt ergab sich die beste Inter-Rater-Reliabilität beim Heben, Halten und Tragen, gefolgt vom Ziehen, Schieben und den Manuellen Arbeitsprozessen (Tab. 4.58).

Tab. 4.58 Zusammenfassung der Überprüfungsergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität

Tätigkeit / Belastungsart	Statistisches Maß	Ergebnis	Rang
Versuchsreihe 1: Heben, Halten, Tragen	Einzelentscheidungen	40/40 (100%)	1
	Bewertungsstufe	10/10 (100%)	1
	Intra-Klassen-Korrelation	ICC (3,1) = 1	1
	Fleiss' Kappa, ungew., MW	$\kappa = 1$	1
Versuchsreihe 2: Ziehen, Schieben	Einzelentscheidungen	46/50 (92%)	2
	Bewertungsstufe	10/10 (100%)	1
	Intra-Klassen-Korrelation	ICC (3,1) = 0,935	3
	Fleiss' Kappa, ungew., MW	$\kappa = 0,82$	2
Versuchsreihe 3: Manuelle Arbeitsprozesse	Einzelentscheidungen	71/80 (89%)	3
	Bewertungsstufe	09/10 (90%)	2
	Intra-Klassen-Korrelation	ICC (3,1) = 0,931	3
	Fleiss' Kappa, ungew., MW	$\kappa = 0,83$	2

4.2.9.2 Inter-Rater-Reliabilität - Interpretation

Zur Vervollständigung der Untersuchungen zur Inter-Rater-Reliabilität wurde abschließend noch geprüft, ob die wesentlichen Ergebnisse auch einheitlich interpretiert (beurteilt) wurden. Hierzu wurde eine Verständnisfragestellung an die Anwender*innen gestellt, was das jeweilige Bewertungsergebnis ihrer Meinung nach bedeutet. Da neben der farblichen Darstellung die Interpretation direkt im Belastungsprofil neben der Balkenprofilardarstellung erläutert wird, war es allen Rater*innen möglich, das Bewertungsergebnis richtig zu interpretieren. Im Einzelfall wurde die Interpretation dort abgelesen (Abb. 4.125).

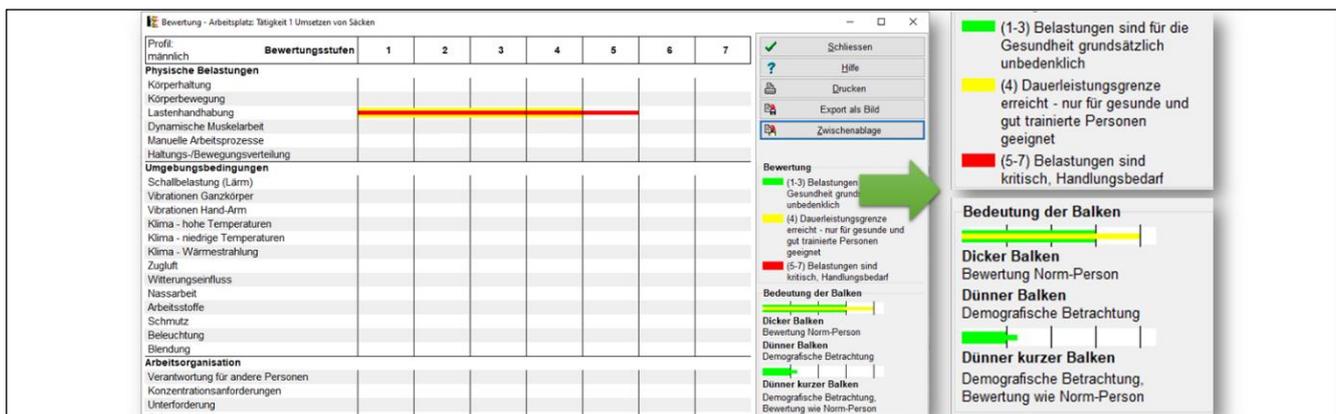


Abb. 4.125 Interpretation (Beurteilung) der Bewertungsergebnisse des Instruments

5 Diskussion

Im Hauptkapitel 5 werden die Ergebnisse zu den einzelnen Arbeitshypothesen jeweils separat diskutiert (Tab. 5.1).

Tab. 5.1 Überblick der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen

Arbeitshypothesen	Kapitel
Arbeitshypothese 1 (Praxiserprobung): Die Struktur der Belastungsarten des Instruments ist neben der Analyse, Beurteilung und Gestaltung klassischer Arbeitssysteme gleichermaßen auch für die Analyse, Beurteilung und Gestaltung von neuartigen („4.0“) Smart-Factory-Arbeitssystemen geeignet.	5.1.1
Arbeitshypothese 2 (Logische Validität): Die ganzheitliche Struktur der Belastungsarten des Instruments bildet belastungsrelevante Merkmale von Arbeitssystemen und damit eine große Bandbreite der Beanspruchung ab.	5.2.1
Arbeitshypothese 3 (Augenscheinvalidität): Bei der Belastungsart Heben, Halten und Tragen von Lasten beeinflussen jeweils das Lastgewicht, die Expositionsdauer sowie eine Kombination aus beidem die resultierende Bewertungsstufe.	5.2.2
Arbeitshypothese 4 (Diskriminanzvalidität): Die nach evidenzbasierten Kriterien ausgewählten Belastungsarten ermöglichen einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen.	5.2.3
Arbeitshypothese 5 (Nomologische Validität): Nomologische Validität ist gegeben, da Zusammenhänge über die Belastungsarten und deren Beanspruchungswirkungen bekannt sind.	5.2.4
Arbeitshypothese 6 (Methodenverzerrung): Methodenverzerrung wird ausgeschlossen, da hierzu Hilfestellungen und Praxiserfahrungen vorliegen.	5.2.5
Arbeitshypothese 7 (Kriteriumsvalidität): Bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche eingestuft werden, finden sich über die Risikokategorien hinweg ansteigend höhere Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen bzw. ein höheres subjektives Beanspruchungsempfinden als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht ausgesetzt sind (Referenzgruppe).	5.2.6
Arbeitshypothese 8 (Intra-Rater-Reliabilität): Ein Arbeitswissenschaftler bewertet eine vorgegebene Tätigkeit zu zwei Zeitpunkten. Bei der später wiederholten Anwendung des Instruments bei der Bewertung derselben Tätigkeit sind die Bewertungsergebnisse mit den Ergebnissen der ersten Bewertung vergleichbar.	5.2.7
Arbeitshypothese 9 (Paralleltest): Bei der Anwendung vergleichbarer Aspekte des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens werden vergleichbare Ergebnisse erzielt.	5.2.8
Arbeitshypothese 10 (Objektivität: Inter-Rater-Reliabilität-Durchführung): Wenden verschiedene betriebliche Akteure das Instrument auf eine bestimmte Tätigkeit an, so kommen sie zu vergleichbaren Ergebnissen.	5.2.9
Arbeitshypothese 11 (Objektivität: Inter-Rater-Reliabilität-Interpretation): Das Risikokzept des Instruments ist eindeutig formuliert sowie mit Hilfe der Signalfarben des Ampelsystems erwartungskonform ausgewiesen. Damit lässt sich das Erfordernis und die Dringlichkeit von Maßnahmen nachvollziehbar ableiten.	5.2.10

Im Rahmen der Dissertation konnten mehrere Aspekte des Instruments weiterentwickelt, erprobt und evaluiert werden. Sinnvolle Aspekte konnten mit dem Literaturreview zur Beschreibung der Ausgangslage identifiziert werden. Das Kernverfahren Produktionsergonomie und Risikobeurteilung enthält nun drei neue Prozessverfahren und drei weiterentwickelte Belastungsarten. Auch mit der Entwicklung vier neuer und eigenständig anwendbarer Fachverfahren konnte das Leistungsspektrum des Instruments weiter ausgebaut werden. Ein neu konzipiertes Dashboard soll die besten bisherigen und die neuen Funktionalitäten zukünftig im Instrument für die Anwender*innen zentral zusammenführen. Das Zusammenspiel aller Weiterentwicklungen wurde zur Konzeption der IT-Architektur der Instrumenten-Generation 10.0 zusammengeführt. Die Erprobung des Instruments an einem Smart-Factory-Arbeitssystem war durchführbar aufgrund der Möglichkeit zur Rücksimulation von Arbeitssystemen in Verbindung mit den integrierten Kennzahlen und Reportingfunktionalitäten. Das erweiterte Implementierungskonzept mit den zentralen Implementierungsstrategien und Praxiserfahrungen soll Organisationen zukünftig noch umfangreicher bei der Einführung und eigenständigen Anwendung des Instruments unterstützen. Die Evaluierung des Instruments konnte anhand der Überprüfung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität vorgenommen werden. Hierzu wurde eine Evaluierungsstruktur entwickelt, die eine stufenweise Evaluierung entlang der wissenschaftstheoretischen Überlegungen der **wissenschaftlichen Testliteratur** (Lienert & Raatz, 1998; Bortz & Döring, 2002) ermöglichte. Daher wurde die Validität am intensivsten anhand von sechs verschiedenen Subtypen untersucht. Insgesamt wurden elf Arbeitshypothesen aufgestellt, die nachfolgend kritisch diskutiert werden.

5.1 Weiterentwicklung des Instruments

Die Ausführungen zur Weiterentwicklung des Instruments können dazu beitragen, den Entwicklungs- und Weiterentwicklungsprozess von Belastungsarten bis hin zu ganzen Prozess- und Fachverfahren für das Instrument nachvollziehen zu können. Die Ausführungen stehen für Forscher*innen und Entwickler*innen zur Verfügung, damit zielgerichtet anknüpfende Lösungen für das Instrument erforscht, entwickelt und evaluiert werden können. In diesem Zusammenhang soll mit Hilfe der vorliegenden Arbeit auch ein schnellerer Einstieg in die mittlerweile fast **50-jährige Forschungs- und Entwicklungshistorie des Instruments** (siehe ASER-Schriftenverzeichnis) ermöglicht werden. Ein Großteil der beschriebenen Weiterentwicklungen konnte mit Hilfe des entwickelten standardisierten Vorgehens bereits zeitparallel im Instrument realisiert werden. Die realisierten Weiterentwicklungen müssen sich aber nun im Praxiseinsatz bewähren und nachweisen, dass sie so erfolgreich wie das international angewendete Kernverfahren Risikobewertung und Produktionsergonomie werden können. Beim neu konzipierten Dashboard wird es auf neue IT-Lösungen ankommen, mit denen die Methoden und Verfahren aus Kern- und Fachverfahren unter Berücksichtigung des Rechte- und Rollenkonzepts zusammengeführt werden können.

Bei den physischen Arbeitsbelastungen bietet das Instrument ausgehend von den Leitmerkmalmethoden (BAuA, 2019) mit erweiterten Algorithmen und Funktionalitäten bereits umfangreiche Analyse, Beurteilungs- und Gestaltungsmöglichkeiten. In der Ausgangslage konnten die Bedeutung und das Potenzial der systematischen und interdisziplinären Gestaltung physischer Belastungen hierzu aufgezeigt werden.

Die Ausgangslage zeigte die Bedeutung zur systematischen Implementierung weiterer arbeits- und sicherheitswissenschaftlicher Erkenntnisse. Mit den daraufhin entwickelten Prozess- und Fachverfahren ermöglicht es das Instrument den Organisationen nun, neue Optimierungspotenziale zu erschließen. Anhand von Erläuterungen der wissenschaftlichen Zusammenhänge sollte beispielsweise im Rahmen von Fachkolloquien auf neue Methoden und Verfahren des Instruments und deren Mehrwert für Organisationen und Wissenschaft auch durch den Autor selbst hingewiesen werden.

Am Beispiel vom neu entwickelten **Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen** erfolgt eine weitergehende Diskussion. Dysfunktionale psychische Arbeitsbelastungen können das Leistungsvermögen der betroffenen Beschäftigten bereits während eines Schichtverlaufs vermindern und im längerfristigen Verlauf psychische Erkrankungen auslösen. Psychische Erkrankungen und Verhaltensstörungen weisen in den Statistiken die mit Abstand längsten Ausfallzeiten pro Erkrankungsfall auf. Bei den Frühverrentungen stellen die psychischen und Verhaltensstörungen die häufigste Ursache dar (Grobe et al., 2018). In der Praxis ist daher auch zukünftig von längerfristigen Ausfällen der Beschäftigten aufgrund psychischer Belastungen und erhöhten Kosten auszugehen (siehe Ausgangslage). Als mögliche Ursachen kommt in Abhängigkeit des Wirtschaftszweigs, der Organisation und der Arbeitssysteme eine Vielzahl an psychischen Belastungsarten in Frage, die zunächst zu analysieren und zu beurteilen sind. Dieses kausale Vorgehen ist die Grundlage für den Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten durch Festlegung und Priorisierung Organisations-spezifischer Lösungen zur Vermeidung und Minimierung der Beschwerde- und Erkrankungsursachen. Der Handlungsbedarf zur Optimierung der Arbeitsbedingungen kann damit systematisch und konkret ausgearbeitet werden. Wie bei den physischen Belastungen ist es auch bei den psychischen Belastungen bereits frühzeitig in der Planungsphase von Arbeitssystemen möglich, positive Effekte beispielsweise auf die spätere Arbeitsmotivation und Arbeitszufriedenheit der Beschäftigten zu erzielen. Denn zu erwartende Zykluszeiten können simuliert und Puffermöglichkeiten des aktuellen Anlagen- und Maschinenkonzepts der Arbeitssysteme überprüft werden. Auch bei der Modernisierung von Arbeitssystemen ist davon auszugehen, dass Daten über die Art und Frequenz von bisherigen Störungen und Unterbrechungen vorliegen. Zudem werden Informationen über Arbeitsbereiche und Tätigkeiten vorliegen, in denen es zu Konflikten, zu aggressivem Verhalten oder disziplinären Problemen gekommen ist und inwieweit emotional belastende Tätigkeiten, bei denen beispielsweise regelmäßig traumatische Erlebnisse zu verarbeiten sind, ausgeführt werden müssen. Diese konkreten Praxisbeispiele zeigen, dass Organisationen über wertvolle, aber in der Regel auch isolierte Informationen verfügen, die durch sinnvolle Verknüpfung mit dem Instrument zu einem aussagekräftigen Gesamtergebnis der Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen aggregiert werden können. Die Qualifizierung eigener Spezialisten durch Stärkung der Methodenkompetenz zum Gestalten von Arbeitssystemen ist die Grundlage für zukünftige Arbeitsbedingungen, die einen langfristigen positiven Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Beschäftigten haben. Die Ausführungen gelten analog auch für die anderen realisierten Weiterentwicklungen des Instruments. In der nun beginnenden Anwendungsphase sollten die **Rückmeldungen der Praxis** wie gewohnt erhoben und Optimierungsbedarf (auch Usability etc.) umgesetzt werden. Erweiterte Methoden, Verfahren und Expertenfunktionen, die bereits bei den physischen Belastungen erfolgreich in der Anwendung sind, liefern weiteres Optimierungspotenzial.

Das **vorgeschlagene Konzept zur Bewertung der Maßnahmendringlichkeit** sollte mit weiteren Forschenden diskutiert werden. Denn eine Integration in das Belastungs- und Gefährdungsprofil würde hier als Ausnahme kein Gesundheitsrisiko der Beschäftigten, sondern bei Dringlichkeit und Überfälligkeit der Umsetzung von Maßnahmen warnen.

Mit der Coronavirus-Pandemie hat der Infektionsschutz der Beschäftigten an Bedeutung gewonnen. Daher wurde hierzu ein erweitertes Konzept zur Bewertung der Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung entwickelt. Die Thematik sollte weiterverfolgt werden, da Organisationen damit Potenziale bei der Beschaffung von Atemschutz erschließen können, wenn Schutzwirkung und Tragekomfort vereint und so die Akzeptanz der Anwendung bei den Beschäftigten gesteigert wird.

5.1.1 Arbeitshypothese 1 (Praxiserprobung)

Die Struktur der Belastungsarten des Instruments ist neben der Analyse, Beurteilung und Gestaltung klassischer Arbeitssysteme gleichermaßen auch für die Analyse, Beurteilung und Gestaltung von neuartigen („4.0“) Smart-Factory-Arbeitssystemen geeignet.

Zum Untersuchungszeitpunkt befanden sich bereits vollständig analysierte und beurteilte Smart-Factory-Arbeitssysteme aus anderem Kontext wie der Herstellung von Siliziumwafern in den Forschungsdatenbanken des Instruments. Auch konnten bereits andere universelle, das heißt von der Art des Arbeitssystems unabhängige Herangehensweisen wie die faktorenspezifische Beurteilung der klassischen Arbeitsunfallgefährdungen mindestens in Form von Vorlagen wie Muster-Gefährdungsbeurteilungen für Exoskelette (DGUV, 2019) erfolgreich auf den Smart-Factory-Kontext übertragen werden. Das setzte sich mit der hier durchgeführten Praxiserprobung des Instruments auf ein neuartiges Cobot-Arbeitssystem fort, mit der die Arbeitshypothese 1 an einem konkreten Praxisbeispiel bestätigt werden konnte. Eine zentrale Erkenntnis des Praxistests war dabei, dass das Kernverfahren des Instruments mit seinen vier Belastungs- und Gefährdungsgruppen die **physiologischen und psychologischen Funktionen des menschlichen Organismus unabhängig** davon **abbildet**, ob Beschäftigte in klassischen Arbeitssystemen „nur“ mit Stellteilen und Werkzeugen arbeiten oder ob sie in Smart-Factory-Arbeitssystemen zusätzlich zusammen mit Robotern interagieren. Das heißt, insgesamt erwies die Analyse- und Beurteilungsstruktur des Instruments sich als robust bezüglich dieser aktuellen Dynamik der Arbeitswelt und ermöglichte im Hinblick auf diesen Trend eine universelle Anwendung.

Die gewonnenen Vergleichsergebnisse zur menschengerechten Arbeitsgestaltung geben auch in Bezug auf Fachkräftemangel und demografischen Wandel Anlass zur Sorge. Denn die **Gesundheitsrisiken erhöhten sich** insbesondere in den oberen Extremitäten aufgrund der Umsetzungsart der Kollaboration mit kürzerer Zykluszeit, höheren Handhabungsfrequenzen und physiologisch schlechteren Hand-/Armstellungen bei insgesamt höherer Expositionsdauer im Vergleich zur vorherigen Arbeitsgestaltung (Bernard et al., 1997; Palmer et al., 2007). Bei der Cobot-Interaktion scheinen die Auswirkungen von Veränderungen weniger offensichtlich und die Ergebnisse deuten auch auf eine komplexere Prävention als beim Einsatz klassischer Manipulatoren hin. Der Implementierung von Robotern in interdisziplinären Teams sollte daher eine größere Aufmerksamkeit zukommen. Ein Muster für ein betriebliches Umsetzungskonzept wurde hierzu in Teilkapitel 4.1.14 erarbeitet.

Der technologische Wandel der Arbeitswelt scheint leider zunehmend auch mit immer stärkerem Ablenkungspotenzial einherzugehen. Zukünftig wird es zur Gewährleistung der qualitativ hochwertigen Analyse, Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen immer wichtiger, die Sichtweise der Beschäftigten und deren repräsentative Arbeitsschicht nicht aus dem Auge zu verlieren und sich nicht nur noch isoliert auf die neuen Technologien in den Arbeitssystemen zu fokussieren. In den Transformationsprozessen wird es noch stärker darauf ankommen, die bewährten arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen Vorgehensweisen auf die neuen Gegebenheiten anzuwenden, **ohne sich von der Transformation an sich** (einseitiger Fokus auf Hoffnungen und absolut formulierte Versprechen der Hersteller von Robotern, KI etc.) **ablenken zu lassen**. Ein möglichst unbeeindrucktes Vorgehen der betrieblichen Akteure bei der Gestaltung von modernen und gesunden Arbeitssystemen wird nach den hier gesammelten Erfahrungen als immer wichtiger erachtet (Teilkapitel 4.1.13).

Mit der Transformation ergeben sich aber auch neue Chancen für Organisationen, ihre vorherrschende Arbeitsgestaltung zu überdenken und die Produktionsprozesse durch Modernisierung und Optimierung auf ein höheres Sicherheits- und Gesundheitslevel zu heben. Bei diesen Transformationsprozessen unterstützt das Instrument mit Reporting und Auswertungen (Zahlen, Daten, Fakten) und ermöglicht mit seinen Simulationsfunktionalitäten aus vergangenen Fehlern zu lernen und neue Fehlgestaltung bereits in der Planungsphase von Arbeitssystemen zu eliminieren.

Limitationen und Ableitung von Themenstellungen für Anschlussuntersuchungen

Limitationen bei dieser Praxiserprobung des Instruments liegen bezüglich der Datenerhebungsart mit Videoanalyse, jedoch ohne die Möglichkeit zur Beobachtungsanalyse vor Ort. Auch mussten bei der Rücksimulation Annahmen zur Arbeitssystembeschaffenheit in der Vergangenheit getroffen werden. Da in diesem Rahmen zunächst erst eine erste Robotik-Kollaborationsform untersucht werden konnte, bieten sich in Anschlussuntersuchungen daher weitere Praxiserprobungen des Instruments zu diversen neuen Forschungsfragestellungen an. Das kann beispielsweise die Erprobung an Problemfeldern sein, welche die Akteure in der Betriebspraxis bereits seit Generationen vor besondere Schwierigkeiten stellen. Das sind unter anderem die Berufs- und Tätigkeitsgruppen der **Instandhaltung**. Allein die aus Deutschland bekannten Zahlen zu Umsetzungsstand und Detaillierungsgrad der Beurteilung der Arbeitsbedingungen (BMAS, 2018) lassen den diesbezüglichen Nachholbedarf erahnen. Als Ergebnis von Untersuchungen hierzu sollten nützliche Hilfestellungen erarbeitet werden, auf welche Art und Weise für komplexe Arbeitssysteme in der Instandhaltung zukünftig eine bessere Analyse, Beurteilung und Gestaltung ermöglicht wird. Der Untersuchungsfokus läge dann aber auch weniger auf dem Instrument an sich, sondern auf einer ergänzenden Erarbeitung von Hilfestellungen für eine qualitativ hochwertige Analyse von Rohdaten (Beobachtungsanalyse, Betriebsdokumentanalyse, Technische Messung etc.) bei diesen eher komplexen Arbeitssystemen.

Nachfolgend werden die Evaluierung des Instruments im Allgemeinen und daran anschließend die einzelnen hierzu aufgestellten Arbeitshypothesen kritisch diskutiert.

5.2 Evaluierung des Instruments

Mit der Evaluierung des Instruments anhand der Überprüfung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien **Validität, Reliabilität und Objektivität** konnte das Funktionieren der Operationalisierung zur Körperzielregionen-spezifischen Vorhersage von arbeitsbedingten Beschwerden und Erkrankungen von Beschäftigten bestätigt werden. Das ist von großer Bedeutung, da personenbezogene Messungen individueller Beanspruchungsparameter und messtechnische Detailanalysen von internen Belastungsparametern im Kontext der Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen bei > 40 Millionen Beschäftigten in Deutschland mit jeweils etwa 100 Gelenken, 200 Knochen und 650 Muskeln (Schmidt et al., 2017) verhältnismäßig viel aufwändiger sind. Vielmehr eignet sich diese detaillierte personenbezogene Beurteilungsebene ergänzend unter anderem zur individuellen Prävention im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge. Das ist zudem auch deshalb nicht zu unterschätzen, da der Aufwand einer personenbezogenen Beurteilung auch über KMU hinaus in der Praxis häufig nicht geleistet werden kann, was unter anderem auch am Praxisbeispiel der Weiterentwicklung der Situationsbeschreibungen in der Belastungsart Wärmestrahlung ausführlicher erläutert wurde. Insgesamt konnte somit anhand der im Rahmen der Dissertation durchgeführten Untersuchungen bestätigt werden, dass grundsätzlich auch ohne die relativ zeitintensive Durchführung und Auswertung von Beanspruchungsmessungen Arbeitssysteme sicher und gesund gestaltet werden können. Praxisnahe Instrumentarien lassen dabei eine ökonomische Umsetzung der Forderungen von Rechtsvorschriften (Arbeitsschutzgesetz etc.) zu, ohne Kompromisse bei der Genauigkeit der Analyse, Beurteilung und Gestaltung arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren eingehen zu müssen. Im Gegenteil, denn personenbezogene Messungen führen häufig zu Grundsatzdiskussionen, Datenschutz-Problemstellungen und können häufig nur an kurzen Abschnitten der Arbeitsschicht durchgeführt werden. Die Evaluierung des Instruments entlang der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien profitierte von der transparenten Entwicklungsgeschichte des Instruments. Klar wurde dabei: Auch das Instrument an sich profitiert von der konsequenten Beibehaltung der Entwicklungsphilosophie seit den 1970er Jahren (siehe ASER-Schriftenverzeichnis). Anstatt Einzelverfahren mit immer neuen Ansätzen herauszugeben, lag der Fokus auf der Entwicklung eines einheitlichen Instruments mit zunehmend modularem Aufbau. Positiv bewertet wird die Offenheit der Wissenschaftler*innen-Teams zur Adaption von Verfahren und Methoden (Waters et al., 1993; BAuA, 2019), die das Leistungsspektrum des Instruments sinnvoll ergänzen. Als einen essentiellen Baustein wird dabei nicht zuletzt auch die **Unabhängigkeit von Sozialpartnern und Normungsgremien** gewertet, sodass eine unabhängige wissenschaftlich-fundierte Analyse, Beurteilung und Gestaltung ermöglicht wird, die bereits bei den ganz grundsätzlichen Rahmenbedingungen anfängt.

Limitationen: Die Evaluierung des Instruments stand insgesamt vor der Herausforderung, dass die Standardwerke zur Überprüfung wissenschaftlicher Gütekriterien („Testliteratur“) überwiegend aus den Fachdisziplinen der Psychologie, Medizin und Marketing stammen, natürlich auch aufgrund der Vielzahl der Absolventen dieser Fachdisziplinen. Erkenntnisse und Auswertungsroutinen mussten daher teilweise auf den Kontext der Dissertation übertragen werden. In Anschlussuntersuchungen bietet sich in einem nächsten Entwicklungsschritt daher die weitere Standardisierung der Evaluierungsstruktur, auch anhand weiterer Subtypen der Hauptgütekriterien sowie durch die Einbeziehung von Nebengütekriterien an.

5.2.1 Arbeitshypothese 2 (Logische Validität)

Die ganzheitliche Struktur der Belastungsarten des Instruments bildet belastungsrelevante Merkmale von Arbeitssystemen und damit eine große Bandbreite der Beanspruchung ab.

Die Struktur der Belastungsarten des Instruments und deren zugrunde liegenden Bewertungsmodelle basieren auf der aus Labor- und Feldstudien belegten Beanspruchungszunahme bei Belastungssteigerung (Peters, 1986). Die unmittelbar belastungsrelevanten Merkmale von Arbeitssystemen erstrecken sich von den physischen Belastungsarten wie manuellen Arbeitsprozessen, den Arbeitsumgebungsbedingungen mit Klimasummenmaßen wie Normaleffektivtemperatur, den psychischen Belastungsarten wie Taktzeit bis hin zur Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung wie Belastung durch das Tragen von Atemschutz. Die Untersuchung von Konstrukt und Operationalisierungsfähigkeit des Instruments konnte damit die **Abdeckung einer großen Beanspruchungsbandsbreite** und daher die Arbeitshypothese 2 zur logischen Validität bestätigen.

Bei der zukünftigen Weiterentwicklung des Instruments verbleibt es wichtig, weiterhin die selbst gesteckten hohen Anforderungen an die Evidenz der Beanspruchungszunahme bei Belastungssteigerung, je nach Belastungsart nach der U-Kurve (Hartmann et al., 2013), beizubehalten. So kann auch im Falle weiterer Neu- und Weiterentwicklungen von Fachverfahren, Belastungsgruppen und Belastungsarten die inhaltlich-logische Validität weiter gewährleistet werden. In der Vergangenheit hat es sich bei anderen Verfahren als nicht zielführend erwiesen, die angebotenen Belastungsarten zu maximieren. Verfahren mit teils mehreren hundert Belastungsarten wurden in der Praxis nicht angenommen und mussten daher eingestellt werden. Neue Belastungsarten sollten daher nur aufgenommen werden, wenn das damit einhergehende **Aufwand-Nutzenverhältnis** auch gerechtfertigt ist. Überprüft werden sollte aber dennoch regelmäßig, ob neue Erkenntnisse zur Bewertung einzelner Belastungsarten vorliegen. Denn mit einer differenzierteren Einbeziehung der Aspekte von Belastungsarten lassen sich neben Effekten auf die inhaltlich-logische Validität auch neue Erkenntnisse für die Gestaltung der Arbeitssysteme ziehen. Positiv bewertet wird daher, dass zeitparallel zu dieser Dissertation die Ergebnisse der Entwicklung und Evaluierung des neuen mehrstufigen Leitmerkmalmethodeninventars (BAuA, 2019) adaptiert und in das Instrument integriert worden sind. Bei Veröffentlichung ähnlich praxisrelevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse sollte analog vorgegangen und die Forschungsergebnisse in das Instrumentarium integriert werden.

Für eine ökonomische Analyse der Belastung durch PSA stellt das Instrument wichtige Typen von Persönlicher Schutzausrüstung zur Verfügung. Auch dieser Fachthemenbereich ist von großer Dynamik geprägt. Neue Herstellungsverfahren und neuartige Materialien (Schlichting, 2022) führen zu mehr Komfort, immer sportlicheren Ausführungen und weniger Eigengewicht. Auch da öffentliche Wahrnehmung und Stellenwert mit der Coronavirus-Pandemie noch einmal deutlich gestiegen sind, sollten Weiterentwicklungen zur Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung im Fokus von Anschlussuntersuchungen bleiben. In der vorliegenden Arbeit wurde im Rahmen der Weiterentwicklung **limitierend** nur ein erstes Konzept entwickelt, wie die **Analyse und Beurteilung von Atemschutz** zukünftig beurteilt werden kann. Ergeben sich hierzu in der Folge weitere wichtige Belastungsaspekte, sollten die Bewertungsmodelle adjustiert werden, um deren inhaltlich-logische Validität weiter auszubauen.

5.2.2 Arbeitshypothese 3 (Augenscheinvalidität)

Bei der Belastungsart Heben, Halten und Tragen von Lasten beeinflussen jeweils das Lastgewicht, die Expositionsdauer sowie eine Kombination aus beidem die resultierende Bewertungsstufe.

Die Untersuchung der Augenscheinvalidität des Instruments erfolgte anhand der physischen Belastungsart zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten. Um die Untersuchung anhand von 2.053 Arbeitssystemen durchführen zu können, wurde eine **neue Rohdatenschnittstelle** für das Instrument konzipiert, um weitere Evaluierungen durch Export und verbessertes Handling bei größerem Rohdatenumfang zu ermöglichen. Die Untersuchung ergab, dass das zugrunde liegende Bewertungsmodell mit den integrierten Abwertungsmodellen neben der Beurteilung im Besorgnisbereich zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle auch die Bewertung von selten auftretenden Belastungsspitzen im Gefahrenbereich weit oberhalb der Toleranzschwelle zur Verfügung stellt. Das Funktionieren dieser **Abwertungsmodelle** ist zum einen daher so bedeutend, da kurze Belastungsabschnitte mit sehr hohen Belastungsintensitäten neben erhöhten mittel- und langfristigen Gesundheitsrisiken auch mit **unmittelbaren Verletzungsrisiken wie Wirbelkörperfrakturen** bei einmaliger Ausführung einhergehen können und die Relevanz bei älteren Beschäftigtengruppen zunimmt (Liebers & Schust, 2021). Zudem sind die Erkenntnisse wichtig, da die untersuchten Abwertungsmodelle bei vielen Belastungs- und Gefährdungsarten im Instrument automatisch angewendet werden und deren Bedeutung als **wichtige Präventionsfunktion für die Beschäftigten** klar wurde. In einer weiteren Detaillierungsstufe zeigten sich sensibel reagierende Bewertungsalgorithmen zur Abbildung der wirkungsstärksten Belastungsaspekte. Dabei zeigte sich der Einfluss von Lastgewicht, Expositionsdauer und deren Kombinationen auf die Bewertungsstufe und erfolgte bei allen untersuchten Arbeitssystemen die kombinierte Betrachtung von Belastungsintensität und Expositionsdauer. Letzteres lässt sich auch von Laien einfach nachvollziehen, womit die Arbeitshypothese 3 zur Augenscheinvalidität bestätigt werden konnte.

Limitationen der Untersuchung der Augenscheinvalidität liegen in der Fokussierung der Untersuchungen auf die Belastungsart zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten, bei der es sich um eine vergleichsweise gut erforschte Belastungsart mit vergleichsweise hoher Verfügbarkeit arbeitswissenschaftlicher Verfahren handelt. Zwar lassen sich die zentralen Erkenntnisse der mehrstufigen Untersuchung übertragen, ein Nachweis sollte aber soweit möglich immer direkt anhand der jeweiligen Belastungsart erfolgen. Für Anschlussuntersuchungen auf dieser Grundlage kann hierfür nun auf einen umfangreichen Rohdatensatz mit über 2.000 Arbeitssystemen zurückgegriffen werden, denn hierzu steht nun die neu entwickelte Rohdatenschnittstelle für weitere Evaluierungen zur Verfügung. Eine weitere zukünftige Anwendung der Rohdatenschnittstelle kann in der Durchführung von Pilotversuchen für neue, zu adaptierende Verfahren vor deren Freigabe für Forschungs- und Praxisanwendungen liegen. Denn liegen externe Testungen der wissenschaftlichen Gütekriterien vor der Aufnahme eines neuen Fachverfahrens in das Instrument im Einzelfall nicht vor, kann hiermit nun eine eigenständige Überprüfung durchgeführt werden. So kann mit einer neuen Vorgehensweise quantitativ festgestellt werden, ob der **Verfahrenskandidat** die Anforderungen des Instruments an die wissenschaftlichen Gütekriterien erfüllt.

5.2.3 Arbeitshypothese 4 (Diskriminanzvalidität)

Die nach evidenzbasierten Kriterien ausgewählten Belastungsarten ermöglichen einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Belastungen.

Während der Fokus der Untersuchung der logischen Validität auf der ganzheitlichen Auswahl von belastungsrelevanten Merkmalen von Arbeitssystemen lag, konzentrierte sich die Untersuchung der Diskriminanzvalidität darauf, inwieweit das Instrument mit den integrierten Belastungsarten unterschiedliche Bereiche des Belastungsspektrums erschließt. Untersuchungen zur so genannten differenzierten Belastungsermittlung wurden bei einer mittleren Inter-Item-Korrelation von $r_{it} = 0,17$ (Peters, 1986) in der Vergangenheit auch bereits erfolgreich durchgeführt (Ausgangslage). Ein wiederholter Test wurde dennoch als sinnvoll erachtet, da mit der neuen Rohdatenschnittstelle nun größere Datenmengen sowie zwischenzeitlich auch neue statistische Auswertungsmöglichkeiten vorliegen.

Die hier durchgeführte Untersuchung konnte die **geringen Abhängigkeiten innerhalb der Belastungspaare** aus vorherigen Untersuchungen wieder bestätigen. Ein inverser Zusammenhang wurde zwischen den Belastungsarten Belastung durch hohe Temperaturen und Belastung durch niedrige Temperaturen und der stärkste positive Zusammenhang mit einer zwei-seitigen Pearson-Korrelation von $r = 0,33$ zwischen dem Paar der Belastungsarten Schall (Lärm) und Schmutz, und damit in der Belastungsgruppe der Umgebungsbedingungen festgestellt. Beide Ergebnisse sind erwartungskonform, da Lärm und Schmutz sich in der Praxis eher bedingen und zwischen dem Belastungspaar der klimatischen Belastungsarten konzeptionell ein logischer inverser Zusammenhang besteht. Insgesamt bietet das Instrument daher nach wie vor einen mehrdimensionalen Zugang zur Analyse, Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsbedingungen auf der Grundlage von voneinander abgrenzbaren Belastungsarten. Die in den Forschungsprojekten zur Humanisierung des Arbeitslebens (ASER-Schriftenverzeichnis) bei der Grundentwicklung nach arbeits- und sicherheitswissenschaftlichen sowie arbeitsmedizinischen Kriterien **gezielt ausgewählten Belastungsarten** (Genfer Schema; REFA, 1989) sind nach wie vor unabhängig voneinander und Diskriminanzvalidität kann daher erneut bestätigt werden. Das Instrument profitiert hierbei von der gezielten, evidenzbasierten Auswahl von Belastungsarten während der Entwicklungsphase des BAB-Kombinationsverfahrens und dem sich daran anschließenden grundsätzlichen Festhalten an dieser Grundstruktur bei darauffolgenden Weiterentwicklungen in Verbindung mit einer sinnvollen punktuellen Ergänzung einzelner neuer Belastungsarten.

Limitierend war diesbezüglich insbesondere, dass diese Untersuchung in SPSS und noch nicht in R durchgeführt wurde und damit nun noch kein R Skript zur Verfügung steht. Für den weiteren **Ausbau der verfahrensmodularen Architektur** des Instruments mit variablen Verfahrensebenen lassen Anschlussuntersuchungen zur Diskriminanzvalidität wertvolle Erkenntnisse erwarten, um geeignete Belastungsarten gegebenenfalls in einem iterativen Vorgehen für gröbere, aber auch für detailliertere Verfahrensebenen auszuwählen. Dabei wird für das Grobscreening die gezielte Auswahl einiger weniger Belastungsarten mit den geringsten gegenseitigen Abhängigkeiten empfohlen. Für detailliertere Verfahrensebenen ist dann eine Aufnahme von verbleibenden zur Verfügung stehenden Belastungsarten sinnvoll, und zwar zunächst diejenigen, die sich bezüglich der Diskriminanzvalidität möglichst stark von den bis dahin integrierten Belastungsarten unterscheiden.

5.2.4 Arbeitshypothese 5 (Nomologische Validität)

Nomologische Validität ist gegeben, da Zusammenhänge über die Belastungsarten und deren Beanspruchungswirkungen bekannt sind.

In der Belastungsgruppe der physischen Belastungen wirken mehrere Belastungsarten unterschiedlich stark auf die Körperzielregionen ein. Die Körperzielregionen-spezifische Prognose der Beanspruchungswirkungen ist mit Hilfe gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse bereits verhältnismäßig gut möglich (BAuA, 2019). Das heißt, das Risiko gesundheitlicher Schäden am Muskel-Skelett-System über die verschiedenen Körperregionen lässt sich grundsätzlich quantifizieren (Hartmann et al., 2019). Die Erkenntnisse über die **Effektstärke von Belastungsarten** auf deren Beanspruchungswirkungen lassen bei einer integralen Zusammenführung ein **gemeinsames Theoriegebilde** entstehen, das vom Instrument als Gesamtergebnis unter anderem visualisiert als **Avatar** sowie in Form von Reporting, fachthematischen Kennzahlen etc. den Anwender*innen zur Verfügung gestellt wird. Da bei den physischen Belastungsarten verhältnismäßig viele Zusammenhänge zu den Beanspruchungswirkungen bereits bekannt und diese auch bereits im Instrument implementiert sind, konnte die Arbeitshypothese 5 teilweise bestätigt werden mit dem Zusatz, dass es sich hierbei um eine **kontinuierliche Forschungsthematik** („Konzeptentwürfe“) handelt. Die Praxisanwender*innen des Instruments sollten bei neuer wissenschaftlicher Erkenntnislage daher unter anderem von zukünftigen Feinjustierungen der Visualisierungen am Avatar ausgehen. Der weitere Forschungsbedarf hierzu ist vielfältig, unter anderem besteht er in interessanten Bereichen der U-Kurve des Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhanges (Hartmann et al., 2013) wie bei Unterforderung des Muskel-Skelett-Systems durch Bewegungsmangel aufgrund von statischem Stehen, aber auch bei Körperfortbewegungen wie beim Fahrradfahren etc. Hierzu ist weitere Forschung an den Belastungs-Beanspruchungs-Beanspruchungsfolgenmodellen insbesondere in Bezug auf die die einzelnen Körperstrukturen notwendig, um die **Gesundheitsrisiken besser lokalisiert in den wirkenden Körperregionen quantifizieren** zu können.

Arbeitshypothese 5 konnte auch deshalb nicht vollständig bestätigt werden, da die vorliegenden Forschungsergebnisse zu den Arbeitsumgebungsbedingungen und psychischer Belastung noch vergleichsweise gering sind. Weitere Forschungsfelder ergeben sich u. a. für die Erforschung von Avatar-Konzepten für Arbeitsumgebungsbedingungen und psychische Belastungen sowie die sich teils überschneidenden Einflüsse der Belastungsgruppen untereinander. Das bisherige Fehlen derartiger Visualisierungen verwundert nicht, unter anderem da die Veränderungsprozesse im Gehirn sowie beim Verhalten und Erleben schwieriger zu untersuchen sind als beispielsweise die Schadensbilder an der Wirbelsäule und dem Kniegelenk (Klußmann, 2009). Ein erster Ansatz kann die Untersuchung der Effektstärke psychischer Belastungsarten auf Beeinträchtigungen wie Qualifizierungs-/Motivationsverluste, psychische Ermüdung, Monotoniezustände, Psychische Sättigung und Stresserleben sein. Unter anderem die **Grundlagen zur negativen Selbstveränderung** (Hacker & Richter, 1984) sollten hierfür eine vielversprechende Ausgangslage darstellen. Andererseits werden auch weitere Untersuchungen und diesbezügliche Auswertungen zur Effektstärke psychischer Belastungsarten auf die weitere Reaktionskette wie beispielsweise auf die Veränderungen von Blutzusammensetzung, Herzfrequenz, Gefäße, Reflexe, Verdauung und Infektabwehr (Schmidtke, 1993) benötigt, was die Komplexität der Thematik verdeutlicht.

5.2.5 Arbeitshypothese 6 (Methodenverzerrung)

Methodenverzerrung wird ausgeschlossen, da hierzu Hilfestellungen und Praxiserfahrungen vorliegen.

Üblich sind Untersuchungen auf Freiheit von Methodenverzerrung verständlicherweise im Fragebogenkontext (Podaskoff et al., 2003; Sharma et al., 2009; Bogner & Landrock, 2015). Daher war das übliche Setting in der Literatur zunächst auf den belastungsorientierten Kontext des Instruments zu übertragen. Bei den Untersuchungen wurde ermittelt, dass Methodenverzerrung nicht generell ausgeschlossen werden kann und konnte daher die Arbeitshypothese 6 nicht bestätigt werden. Methodenverzerrung kann unabhängig davon auftreten, ob Hilfestellungen zur Anwendung in einem Handbuch oder wie beim Instrument in Handbuch, Hilfe, Versionsinfo, Trainingsunterlagen und als kontextabhängige Informationsfelder in die Bedienoberfläche des Instruments integriert sind. Auch zusammen gewährleistet all dies nicht, Methodenverzerrung generell auszuschließen. Denn die Ursachen für Methodenverzerrung sind weitreichender und sind diesbezüglich auch von Fachspezifika (Sozialpartnerschaft, Belastungszulagen etc.) geprägt. Methodenverzerrung ist durch **strategische Fehler von Organisationen** wie einem starken Abweichen von der empfohlenen Anwendung und Implementierungsstrategie des Instruments (Gebhardt, 1997; Klußmann et al., 2013) sowie durch Einzelfälle wie befangene Anwender*innen, durch bösen Willen, aber eben auch durch Missbrauch durch eine Seite der Sozialpartnerschaft (Arbeitgeber, Betriebsrat) möglich. Mit den neu entwickelten Fachverfahren erweitert sich das Anwendungsspektrum des Instruments. Daraus resultieren naturgemäß auch neue potenzielle Quellen für Methodenverzerrung. Kommen mehrere ungünstige Faktoren zusammen, beispielsweise bei Eigenanalyse von Arbeitssystemen beim Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen durch die Beschäftigten (Stelleninhaber*in) selbst, sind verfälschte, hier zu hohe Beurteilungen aus Eigeninteresse (monetäre Motive) vorgezeichnet.

Das neue Leistungsspektrum des Instruments hebt den Stellenwert der in der Vergangenheit etablierten Art und Weise der Anwendung des Instruments und der im Rahmen der Dissertation erweiterten Implementierungsstrategie. Das heißt, beibehalten werden sollte die Beurteilung der Arbeitssysteme durch qualifizierte Anwender*innen unter Einbeziehung des Fachwissens der in den Arbeitssystemen arbeitenden Beschäftigten, aber nicht durch die jeweiligen dort arbeitenden Beschäftigten (Stelleninhaber*innen) selbst. Essenziell ist immer die Analyse der Belastungsaspekte mit Beobachtungsanalysen, **einfachen technischen Messungen** (Lastgewichte, Wegstrecken, Geschwindigkeiten, Lärmpegel etc.) und Betriebsdokumenten (zur Betriebsbegehung siehe Schmauder & Spanner-Ulmer, 2022). Begründete Abweichungen hiervon sind möglich, sollten dann aber unter Nutzung der integrierten Review-Funktionalitäten erfolgen. Weiter lässt sich Methodenverzerrung insbesondere auch durch gemeinsame Analyse und Beurteilung von Arbeitssystemen in qualifizierten Teams und durch regelmäßige Stichprobenkontrolle des zugrunde liegenden Bild- und Videomaterials der Arbeitssysteme vorbeugen. In diesem Zusammenhang sollte die **Rolle des oberen Managements** nicht unterschätzt werden. Denn realistische Zielvorgaben und ein darauf abgestimmtes Optimierungsbudget bilden den organisatorischen Rahmen, damit Kennzahlen nicht durch Manipulation von Beurteilungen verfälscht werden, um im Vorfeld zu ambitioniert festgelegte Verlaufsmeilensteine auf dem Papier zu erfüllen (DIN ISO 45001:2018).

5.2.6 Arbeitshypothese 7 (Kriteriumsvalidität)

Bei Beschäftigten in Tätigkeitsbereichen, die anhand des Instruments in höhere Risikobereiche eingestuft werden, finden sich über die Risikokategorien hinweg ansteigend höhere Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen bzw. ein höheres subjektives Beanspruchungsempfinden als bei Beschäftigten, die derartigen Belastungen nicht ausgesetzt sind (Referenzgruppe)

Basierend auf der **betriebsepidemiologischen Querschnittsstudie** mit interner Kontrollgruppe (deutschlandweite Feldstudie; BAuA, 2019), an deren **Rohdatenerhebung** der Autor in mehreren Werken teilnehmender Unternehmen deutschlandweit beteiligt war, konnte die Kriteriumsvalidität des Instruments anhand von Außenkriterien untersucht werden. Die Untersuchungen zum mathematisch-statistischen Zusammenhang zwischen der Beurteilung der Belastungshöhe mit dem BDS-Instrument und dem Gesundheitszustand der Beschäftigten (medizinische Untersuchung) waren von Bedeutung, da damit die Genauigkeit der Anwendung des Instruments zur **Vorhersage adverser Gesundheitseffekte** der Beschäftigten und damit zur ganzheitlichen Arbeitsgestaltung, für prospektive Ergonomie, Gefährdungsbeurteilung, Simulation, Kennzahlen, arbeitsmedizinische Vorsorge etc. ermittelt werden konnte.

In die epidemiologische Statistik konnten 111 mit dem BDS-Instrument beurteilte und zeitparallel dokumentierte, belastungsspezifische Arbeitssysteme von 368 Beschäftigten einbezogen werden, die gleichzeitig auch klinisch untersucht (inkl. Anamnese) und standardisiert interviewt (COPSOQ, SLESINA, WAI) wurden (BAuA, 2019). Zur Vorbereitung der mathematisch-statistischen Analysen (Regression, Odds Ratio etc.) wurden deskriptive und explorative Analysen des Datensatzes durchgeführt, um hinreichende Verteilungen der Variablen zu prüfen. Nahezu Gleichverteilung über die Risikokategorien lag insbesondere für die Belastungsart Lastenhandhabung vor. Eine ausreichende Befundanzahl ärztlicher Diagnosen war mit 91 anamnestischen und 33 funktionell-klinischen Hinweisen insbesondere für das Outcome **Lumbalgie/Lumbago** sowie für das zervikale, zervikozepale Schmerzsyndrom (Nr. 2), die Peritendinitis humeroscapularis (Nr. 3) und die statische Fußinsuffizienz (Nr. 4) gegeben.

Im Vorfeld der Berechnung der relativen Risiken wurde der Einfluss von Confoundern im Datensatz bis hin zur subjektiven Einschätzung der Beschäftigten bezüglich der quantitativen Anforderungen und Arbeitsplatzunsicherheit geprüft. Aber weder das Geschlecht, hoher BMI (Adipositas Grad 1, 2 und 3) noch das Alter hatten im betrachteten Studienkollektiv einen verzerrenden Einfluss. Relevant war die Lebensarbeitsdosis bei Berufsausführungsdauern größer 30 Jahre mit einem Odds Ratio von 5,14 (95%-KI: 1,2 - 21,99; $p < 0,05$). Die Berechnungen zeigten Zusammenhänge zwischen erhöhter Exposition gegenüber Lastenhandhabung und dem Auftreten von Lumbago/Lumbalgie. Im adjustierten Modell ergab sich für die Belastungsart Lastenhandhabung im Gefahrenbereich des BDS-Instruments ein **adjustiertes Odds Ratio von 6,59** (95%-KI: 2,53 - 17,60; $p = 0,002$) für die Diagnose Lumbago/Lumbalgie.

Damit zeigte sich in Einstimmung mit der Literatur und als Ergänzung bisheriger Forschungsergebnisse ein vorhersagbares arbeitsspezifisch erhöhtes Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen (Bernard et al., 1997; Buckle & Devereux, 2002; van Rijn et al., 2009; Liebers et al., 2016; Klußmann et al., 2008; Klußmann et al., 2017).

Mit dem nachgewiesenen Zusammenhang zwischen Arbeitssystemen im Gefahrenbereich des Instruments und ansteigend höheren Prävalenzen an Beschwerden und Erkrankungen der Beschäftigten gegenüber der Basisprävalenz kann die formulierte Arbeitshypothese aufgrund statistisch signifikanter Ergebnisse bestätigt werden. Zusätzlich abgesichert wurden diese Ergebnisse mit den dann in den Mosaikdiagrammen visualisierten Zusammenhängen zum subjektiven Belastungsempfinden der Beschäftigten, beispielsweise zwischen der SLESINA-Antwortverteilung nach den BDS-Bewertungsstufen zu den physischen Belastungen Dynamische Muskelarbeit und Haltungsbewegungsverteilung, dem Umgebungseinfluss Lärm und dem Zusammenhang zwischen den mittels COPSOQ von den Beschäftigten bewerteten kognitiven Anforderungen und den BDS-Bewertungsergebnissen in der psychischen Belastungsart Konzentrationsanforderungen, was die Praxisanwendung des Instruments und der integrierten arbeitswissenschaftlichen Methoden als **ganzheitliches Beurteilungs- und Gestaltungsinstrument** für prospektive und korrektive Ergonomie bestätigt. Eindeutig zeigte sich das Körperregionen-spezifische Auftreten adverser Gesundheitseffekte im Datensatz beim Zusammenhang von Lastenhandhabung im Gefahrenbereich und Diagnosen im unteren Lendenwirbelbereich. Das konnte in diesem Rahmen am besten untersucht werden, worauf bereits die initialen deskriptiven und explorativen Datensatzanalysen hindeuteten.

Limitationen: Die fachlich-organisatorische Vorbereitung vom Studienprotokoll bis zum Datenschutzkonzept, die Datenerhebung mit mehreren Methoden und anschließende statistische Auswertung betriebsepidemiologischer Feldstudien sind mit großem Aufwand verbunden und auf ein professionelles Team angewiesen. Das unterstreicht deren Stellenwert bei erfolgreichem Abschluss mit Rekrutierung von mehreren hundert Probanden*innen. Die Generierung aktueller betriebsepidemiologischer Daten kann einen großen Mehrwert bedeuten, was auch die vorliegende Untersuchung verdeutlichen sollte. Weitere Studienarten wie Längsschnitt- und Fall-Kontroll-Studien sind mit einem noch höheren Aufwand und zusätzlichen Schwierigkeiten verbunden, sollten jedoch zukünftig regelmäßig auf Umsetzbarkeit geprüft werden. Denn die Limitationen von Querschnittsstudien mit dem Fokus auf die anwesenden und potenziell „eher gesunden“ Beschäftigten könnten damit überwunden werden. Der Datensatz wies unterbesetzte Risikokategorien in der Belastungsart Körperbewegung sowie bezüglich der Branchen der Alten- und Krankenpflege und der Bauberufe mit teils weniger als zehn Arbeitssystemen auf. Anschlussforschung und Evaluierung der Belastungsart Körperbewegung hierzu ist daher zu empfehlen, sobald neue Datensätze mit ausreichender Datenlage verfügbar sind, wenngleich das zugrunde liegende Sämann-Verfahren sich etabliert hat und eine neue Leitmerkmalmethode Körperfortbewegung in der Zwischenzeit von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zur Verfügung gestellt worden ist. **Anschlussforschung** soll mit dem programmierten R-Skript vereinfacht werden, potenziell auch bzgl. Auswertungen in Bezug auf den WAI (Tuomi et al., 1998). Die errechneten relativen Risiken der Beschäftigten könnten real über den hier errechneten Odds Ratio in der Stichprobe liegen. Denn unter den teilnehmenden Unternehmen waren Organisationseinheiten mit Krankenquoten über 10 Prozent vertreten. Arbeitsunfähige Beschäftigte konnten aber bei der Feldstudie nicht berücksichtigt und daher nicht in die Berechnungen einbezogen werden. Weitergehende Untersuchungen mit Probanden in Arbeitssystemen mit Belastungshöhen im Bereich der Dauerleistungsgrenze bieten sich zudem für den **Besorgungsbereich** des Instruments an, um die hier gewonnen Erkenntnisse der Zusammenhänge zu den untersuchten Outcomes weiter abzusichern.

5.2.7 Arbeitshypothese 8 (Intra-Rater-Reliabilität)

Ein Arbeitswissenschaftler bewertet eine vorgegebene Tätigkeit zu zwei Zeitpunkten. Bei der später wiederholten Anwendung des Instruments bei der Bewertung derselben Tätigkeit sind die Bewertungsergebnisse mit den Ergebnissen der ersten Bewertung vergleichbar.

Mittelbar hat die sich immer weiter beschleunigende Transformation der Arbeitswelt (BMAS, 2020) auch einen Einfluss auf Untersuchungen zur Intra-Rater-Reliabilität. Denn eine sich schnell und stark ändernde Belastungssituation an den Arbeitssystemen verhindert oft die Durchführbarkeit von Folgeuntersuchungen. Insbesondere wenn bei kontinuierlicher Anpassung von Arbeitssystemen die Arbeitsbedingungen zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten sich maßgeblich verändert haben. Wird aber der zweite Untersuchungszeitpunkt zu weit vorverlegt, muss wiederum von Verzerrungen aufgrund von Erinnerungseffekten ausgegangen werden (Madeo, 2014). Diese Problemstellungen wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit dadurch gelöst, dass zum Untersuchungszeitpunkt t_0 Videomaterial aufgenommen wurde und damit identisches Ausgangsmaterial zur Belastungskonstellation der Folgeuntersuchung nach anderthalb Jahren zur Verfügung stand. Wichtigste Erkenntnis der Untersuchung war, dass die Bewertungsstufen aller Belastungs- und Gefährdungsarten, das heißt die beiden Belastungs- und Gefährdungsprofile und damit die **für die Beschäftigten ausgewiesenen Gesundheitsrisiken identisch** waren. Die vergleichbaren Kernergebnisse zu beiden Untersuchungszeitpunkten bestätigten auch die Erkenntnisse weitergehender Untersuchungen (Serafin et al., 2020; Schust et al., 2020) und bestätigten die Arbeitshypothese 8. Der Rater profitierte hier von der Anfertigung eines hochwertigen Videomaterials zum Zeitpunkt t_0 , mit dem zum Zeitpunkt t_1 eine identische Systemabgrenzung auf der Grundlage identischer Stückzahlen (Wiederholhäufigkeiten) und Zyklusdauern für die repräsentative Schicht vorgenommen werden konnte.

Die Detailuntersuchung aller Analyserohdaten bis auf die unterste Detailebene der Belastungsabschnitte zeigte vereinzelte Abweichungen bei aufwändiger zu analysierenden Belastungsaspekten, was andere Untersuchungen bestätigt (Steinberg et al., 2012; Liebers et al., 2020). Hieraus konnten nützliche Erkenntnisse gewonnen werden. Unterschiede wurden einerseits bei der Bezeichnung und Kurzbezeichnung einiger Belastungsabschnitte festgestellt. Dies spielt in der Betriebspraxis zwar meist eine untergeordnete Rolle, da sich hieraus kein direkter Einfluss auf das Bewertungsergebnis ergibt. Es ist aber u. a. interessant für Anwendungen zur **Mustererkennung von Erkrankungsschwerpunkten**. Denn nicht standardisierte Bezeichnungen für wiederholt auftretende Tätigkeiten könnten zu Interpretationsfehlern führen. Abweichungen ergaben sich auch für einen ortsveränderlichen Belastungsabschnitt des komplexen Arbeitssystems bezüglich Belastungsaspekten mit zeitanteilsbezogener Analyse. In der Regel handelt es sich hierbei nach Rücksprache mit Anwender*innen um den schwierigsten Teil der Beobachtungsanalyse, da ortsveränderliche Tätigkeiten diese generell erschweren. Gleichzeitig war ein eher schwierig zu analysierender Belastungsaspekt, hier der Anteil der Tätigkeitsausführung mit angezogenen Schultern, zu analysieren. Und ergänzend kam hinzu, dass sich die Analyse hierbei auf einen kleinflächigen Körperbereich bezog, der **von Persönlicher Schutzausrüstung bedeckt** war. Derartige kombinierte Sonderfälle der Ergonomie sollten für die Praxis direkt in den kontextbasierten Hilfestellungen zur Verfügung stehen.

In der finalen Schichtbetrachtung lagen identische Bewertungsergebnisse zu beiden Untersuchungszeitpunkten vor. Das resultierte aus der geringen Expositionsdauer des abweichenden Belastungsabschnitts in Verbindung mit der geringen Effektstärke des Belastungsaspekts, weshalb die Hypothese im Endergebnis bestätigt werden konnte.

Die Überprüfung der Intra-Rater-Reliabilität konnte zwar erstmals an einem komplexen Arbeitssystem mit 12-Stunden-Schicht realisiert werden und mit diesem Vorgehen neue Erkenntnisse gewonnen werden. Die **Limitationen** der in diesem Rahmen durchgeführten Überprüfung liegen aber in der Durchführung durch nur einen Rater mit vergleichsweise hohen Vorkenntnissen bei lediglich zwei Vergleichszeitpunkten. **Anschlussuntersuchungen** bieten sich daher für Rater*innen aus verschiedenen Fachabteilungen, Rater*innen ohne und mit Basis-Qualifizierung und Laienstichproben (Einwohnermeldeamt) an, um zusätzlich zu den hier beschriebenen Ergebnissen auch neue Erkenntnisse zur Intra-Rater-Reliabilität insbesondere in Abhängigkeit verschiedener Qualifikationslevel von Anwender*innen zu generieren.

5.2.8 Arbeitshypothese 9 (Paralleltest)

Bei der Anwendung vergleichbarer Aspekte des Instruments und des Humantech-Kombinationsverfahrens werden vergleichbare Ergebnisse ausgewiesen.

Der Paralleltest, in der Testliteratur auch als Konvergenzvaliditätstest bezeichnet, war aufgrund der beschriebenen Alleinstellungsmerkmale des Instruments und dem Einstellen vieler anderer Verfahren, deren Grundentwicklung auch im HdA-Forschungszeitraum erfolgte, nicht einfach zu realisieren. Hierfür mussten zwei Voraussetzungen geschaffen werden. Der Vergleichsfokus wurde auf eine Untermenge im Instrument integrierter Verfahren gelegt und an einem relativ einfachen (repetitiven) Arbeitssystem durchgeführt, sodass ein Vergleich auf Arbeitssystemebene möglich war. So wurde für den Paralleltest a priori das Humantech-Kombinationsverfahren ausgewählt, da es ebenfalls auf etablierte wissenschaftliche Einzelverfahren mit hoher Validierungsgüte wie die NIOSH Revised Lifting Equation (Waters et al., 1993) setzt, in der Praxis ebenfalls weit verbreitet und wie das Instrument ebenfalls einen maßnahmenorientierten Optimierungsansatz verfolgt. Ausschlaggebend für die Auswahl des Konvergenzverfahrens waren aber auch die Qualifizierungstätigkeiten des Autors. Das Humantech-Kombinationsverfahren wird vom Autor deutschlandweit geschult. Daher besteht ein nahezu **gleichrangiger Erfahrungslevel** für das Instrument als auch für das Humantech-Kombinationsverfahren zu den wissenschaftlichen und modell-theoretischen Hintergründen sowie zur praktischen Anwendung an Arbeitssystemen vor Ort.

Zentrales Überprüfungsergebnis war, dass trotz unterschiedlicher wissenschaftlicher Vorgehensweisen zur Ermittlung der Körperzielregionen-spezifischen Risiken für das Muskel-Skelett-System, hier BDS via LMM-Mischbelastung 2018 (Hartmann et al., 2019) vs. Humantech via BRIEF-Survey (Radwin, 2018), beide Vorgehensweisen zu **identischer Risikolokalisation durch identische Avatar-Darstellung** führten und damit die Arbeitshypothese 9 bestätigt werden konnte. Die bisherigen Ergebnisse können den wissenschaftlichen Ansatz zur Visualisierung Körperzielregionen-spezifischer Risiken auf der Grundlage der LMM-Mischbelastung (BAuA, 2019) bestätigen. Künftige Veröffentlichungen des Forschungskonsortiums des mehrstufigen LMM-Methodeninventars versprechen daher interessante Ergebnisse und sollten auf Adaptierung geprüft werden.

Mit der Untersuchung konnte der hohe Stellenwert des kritischen Hinterfragens von Konvergenzbetrachtungen in Bezug auf die Gewährleistung vergleichbarer Erfahrungslevel zu den Vergleichsverfahren bestätigt werden. Wird dies im Vorfeld der Untersuchungen nicht sorgfältig berücksichtigt, sind Ergebnisverzerrungen und eine verminderte Aussagekraft der Vergleiche einzuplanen, wenn mindestens ein Vergleichsverfahren nicht fachgerecht angewendet wird. Auch sollten Paralleltests nicht dahingehend interpretiert werden, welches Verfahren nun letztlich das Bessere ist. Vielmehr sollten für jeden Testkandidaten die Stärken und Schwächen in einer SWOT-Analyse (Hill & Westbrook, 1997) ermittelt werden und konstruktive Schlussfolgerung erarbeitet werden, um die Stärken auszubauen und die Schwächen zu eliminieren. **Limitierend** konnte in diesem Rahmen nur ein repetitives Arbeitssystem genauer untersucht werden. Aus dem durchgeführten Paralleltest lässt sich eine Vielzahl an neuen und interessanten Fragestellungen ableiten. Wie verhalten sich beispielsweise **Avatare bei geringen Belastungshöhen** („U-Kurve“; Hartmann et al., 2013), bei komplexen Arbeitssystemen und wie bei gezielt ausgewählten Arbeitssystemen mit vielen Belastungsarten mit Belastungshöhen im Besorgnisbereich zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle?

5.2.9 Arbeitshypothese 10 (Inter-Rater-Reliabilität - Durchführung)

Wenden verschiedene betriebliche Akteure das Instrument auf eine bestimmte Tätigkeit an, so kommen sie zu vergleichbaren Ergebnissen.

Die Überprüfung der Durchführungsobjektivität erfolgte durch Untersuchung der Inter-Rater-Reliabilität. Hierzu wurden a priori drei Belastungsarten unterschiedlicher Komplexität ausgewählt und für jede Belastungsart die Ergebnisse der analysierten Belastungsaspekte sowie das resultierende Risiko der Bewertungen der zehn Rater*innen miteinander verglichen (Klußmann et al., 2010; Klußmann et al., 2020). Für ein praxisnahes Setting wurden die Rater*innen im Vorfeld qualifiziert und anschließend Beobachtungsanalysen der drei korrespondierenden Tätigkeiten mit den drei Belastungsarten unterschiedlicher Komplexität durchgeführt. Hierbei waren die Belastungsaspekte der Arbeitssysteme zunächst mit dem jeweiligen Erfassungsformular der korrespondierenden Leitmerkmalmethode in der klassischen Paper-Pencil-Version mit entsprechenden Notizen aufzunehmen und die Analyseparameter nach Plausibilitätsprüfung in das Instrument zu integrieren.

Haupterkennnis war, dass vergleichbare Beurteilungsergebnisse erzielt wurden. Bei einer verhältnismäßig simpel zu analysierenden Belastungsart, der Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten, konnte keine Abweichung und bei den beiden weiteren Belastungsarten geringe Abweichungen festgestellt werden. In Bezug auf die resultierenden Bewertungsstufen konnte die Arbeitshypothese 10 daher bestätigt werden. Interessant war die Analyse der einzelnen Abweichungen der Einzel- und Zwischenergebnisse. Die festgestellten Abweichungen waren jeweils Belastungsart-spezifisch. Für Belastungsarten, die aufgrund komplexer Ursache-Wirkungszusammenhänge auf ein detaillierteres Analyseverfahren angewiesen sind, wurden Abweichungen zwischen den Rater*innen wahrscheinlicher. Das heißt, mit zunehmender Anzahl zu analysierender Belastungsaspekte wurden Fehler häufiger.

Für die Praxisanwendung des Instruments heißt das: **Mit zunehmender Analysegenauigkeit des Einzelverfahrens steigt die Bedeutung der Durchführung von Analysen in einem qualifizierten Team und sollte die Zeitspanne bis zum nächsten Review, das heißt die Zeitdauer bis zur anlassunabhängigen Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung verkürzt werden.**

Die Untersuchungen könnten ein Indiz für einen stark positiven Effekt der Aufklärung betrieblicher Akteure zu den wissenschaftlich-theoretischen und methodischen Hintergründen auf die Gewährleistung einer hohen Qualität der Beurteilung und Gestaltung der Arbeitsbedingungen in Organisationen darstellen. Für Methodenentwickler*innen von komplexeren Belastungsarten kann abgeleitet werden, dass eine Fokussierung auf die wesentlichsten Belastungsaspekte die Durchführungsobjektivität positiv beeinflussen kann, vor allem, falls es sich um Aspekte handelt, die schwer quantifiziert und/oder differenziert werden können. Die Ergebnisse geben zudem einen konkreten Hinweis darauf, dass die Strategie zur Weiterentwicklung der Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse von der Version 2012 zur Version 2019 (BAuA, 2019) zur Verbesserung der Durchführungsobjektivität in der Praxis beitragen können wird. Denn die jetzt hiermit vorliegenden Vergleichsergebnisse deuten darauf hin, dass **mit Hilfe der zusammengefassten Kraft-Häufigkeitskategorien (Beispiel: sehr geringe und geringe Kräfte) und damit insgesamt weniger zur Verfügung stehenden Kategorien sich ein positiver Effekt auf die Durchführungsobjektivität erzielen lässt.**

Limitationen und Ableitung von Themenstellungen für Anschlussuntersuchungen

Limitation dieser Überprüfung war, dass bisher lediglich qualifizierte Anwender*innen untersucht werden konnten. Insbesondere Anschlussuntersuchungen mit Laien erscheinen zusätzlich sehr interessant und versprechen neue Erkenntnisse. Beispielsweise, ob Unsicherheiten bei Laien in der Analysephase mit verschiedenen Einzelverfahren auftreten. So könnte ermittelt werden, in welchen Aspekten Verfahren nicht erwartungskonform (kontraintuitiv) gestaltet sind und ob bestimmte Anwendungsfehler gehäuft auftreten, um dies bei Revisionen unter den Wissenschaftler*innen diskutieren und berücksichtigen zu können. Da sich die gewonnenen Erkenntnisse nicht immer unmittelbar in Verfahren integrieren lassen werden, beispielsweise bei größeren Zeitspannen bis zur offiziellen Veröffentlichung einer nächsten Verfahrensgeneration für die Praxis, können die Ergebnisse hierzu aber dennoch auch in der Zwischenphase bei der Erweiterung von Hilfestellungen nützlich sein. Schließlich machen die Überprüfungsergebnisse auch deutlich, dass sich insbesondere bei detaillierteren Analyseverfahren auf der Grundlage von Trainings eine höhere Durchführungsobjektivität bei deren Praxisanwendung erzielen lässt.

5.2.10 Arbeitshypothese 11 (Inter-Rater-Reliabilität - Interpretation)

Das Risikokzept des Instruments ist eindeutig formuliert sowie mit Hilfe der Signalfarben des Ampelsystems erwartungskonform ausgewiesen. Damit lässt sich das Erfordernis und die Dringlichkeit von Maßnahmen nachvollziehbar ableiten.

Nach der Überprüfung der Durchführungsobjektivität erfolgte abschließend die mündliche Abfrage der zehn Rater*innen bezüglich ihrer Ergebnisinterpretation der resultierenden Belastungs- und Gefährdungsprofile zu den drei Belastungsarten. Das Erfordernis und die Dringlichkeit von Gestaltungsmaßnahmen wurden dabei in allen 30 Fällen korrekt abgeleitet. Das fehlerfreie Ergebnis wird dabei auch auf das zweistufige Vorgehen der Versuchsreihen zurückgeführt. Bereits bei der Anwendung der korrespondierenden Leitmerkmalermethode erhielten die Anwender*innen Auskunft über das Erfordernis und die Dringlichkeit von Gestaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Ergebnisse anhand der integrierten Ausführungen direkt neben der resultierenden Risikokategorie. Die Ergebnisdarstellung im interaktiven Belastungs- und Gefährdungsprofil des Instruments war hieran anschließend die zweite Interpretationsauskunft für die Rater*innen – nun einerseits unter anderem auch inklusive Demografie-(Alters-)Filter (vgl. hierzu auch Klußmann et al., 2013) und mit den erweiterten Ausführungen über das Erfordernis und die Dringlichkeit von Gestaltungsmaßnahmen. Mit der perfekten Übereinstimmung der Untersuchung zur Ergebnisinterpretation konnte die Arbeitshypothese 11 bestätigt werden. Das Erfordernis und die Dringlichkeit von Maßnahmen wurden von allen Rater*innen korrekt abgeleitet. Das positive Ergebnis wird insbesondere auf die direkte Integration der **Erläuterung des Risikokzeptes im Belastungs- und Gefährdungsprofil** des Instruments zurückgeführt. Damit können die resultierenden Bewertungsstufen der Belastungsarten von den Anwender*innen zeitgleich und ohne externe Hilfestellung mit der Erläuterung zum Risikokzept jederzeit und ohne Handbuch abgeglichen werden.

Limitierend bei dieser abschließenden Untersuchung war die ausschließlich mündliche Abfrage der zehn Rater*innen bezüglich ihrer Ergebnisinterpretation. Zukünftig sollte hierzu eine schriftliche Standardisierung erfolgen. Anschlussuntersuchungen erscheinen insbesondere auch interessant in Bezug auf die **Interpretation des Risikokzeptes für unterschiedliche besonders schutzbedürftige Personengruppen** sowie in Bezug auf die korrekte Ableitung des arbeitsmedizinischen Vorsorgebedarfs. Denn damit könnte zusätzlich ermittelt werden, ob erweiterte Interpretationshinweise auch für diese fachthemenatischen Schnittstellen erarbeitet werden sollten sowie ermittelt werden, inwieweit auch Anwender*innen, die das Instrument eher unregelmäßig anwenden, mit der Interaktion der integrierten Fach- und Prozessverfahren umgehen können.

6 Ausblick

In drei Unterkapiteln werden abschließend auf der Grundlage der vorgestellten Ergebnisse und der kritischen Diskussion Empfehlungen gegeben, weiterer Forschungsbedarf abgeleitet sowie mit dem Ausblick der rote Faden der Ausgangslage aufgenommen.

6.1 Empfehlungen

Die Anwendung des Instruments empfiehlt sich aufgrund der Vielzahl der involvierten Beschäftigten, dem demografischen Wandel, dem Fachkräftemangel sowie den immer einseitigeren Belastungen einerseits im Wirtschaftssektor des produzierenden Gewerbes der weiter entwickelten Industrieländer, in dem allein in Deutschland mehr als 7,7 Millionen Beschäftigte direkt beschäftigt sind (Spath, 2013). Die Anwendung des Instruments empfiehlt sich aber auch für Organisationen und deren Produktions- und Dienstleistungsstandorte in Entwicklungs- und Schwellenländern, die bisher über gar keine Methodenkompetenz und strukturierte Herangehensweise zur Analyse, Beurteilung und Optimierung ihrer Arbeitssysteme verfügen. Für die Unfallverhütung (6.400 tödliche Arbeitsunfälle pro Tag; ILO, 2015) steht das neue Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen bereit. Das gilt generell auch für alle Branchen mit komplexen Arbeitssystemen und erhöhten Risiken schwerer Verletzungen wie beispielsweise der Arbeit auf Baustellen, in der Instandhaltung und Tätigkeiten unter Zeitdruck. Die nun stärkere **Modularität** soll insbesondere kleineren Organisationen und Kleinunternehmen zu Gute kommen. Denn auch ohne entsprechende Aufbau- und Ablauforganisation sollen die neuen Lösungen bei der Professionalisierung der Optimierung der Arbeitsbedingungen helfen, sodass das Niveau von weltweit agierenden Konzernen mit bereits hohem Standardisierungsgrad erreicht werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Anwendungsbereich des Instruments entsprechend erweitert. Die Anwendung empfiehlt sich daher nun insbesondere zur **Realisierung folgender Organisationsstrategien und Aufgaben:**

- Fokussierung auf erfolgreichen Einsatz von Zukunftstechnologien,
- Modernisierung von Fertigungs- und Produktionsabläufen,
- Generierung von Optimierungsideen bestehender und neuer Anlagen,
- Digitalisierung der Aufgaben im Arbeits- und Gesundheitsschutz,
- Beherrschung der Risiken bei steigender Anlagen- und Produktkomplexität,
- Flexibilisierung der Gestaltung von Arbeitssystemen und Schichtabläufen,
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit zur Optimierung der Arbeitsbedingungen,
- Ausbau der Rechtssicherheit und Verbesserung von Auditergebnissen,
- Reduzierung der Risiken einseitiger physischer und psychischer Belastungen,
- Ausbau der Arbeitgeberattraktivität und Minimierung der Fluktuation,
- Verbesserung von Qualität und Verbreitungsgrad der Gefährdungsbeurteilung,
- Standardisierung von Vorgehensweisen in heterogen aufgebauten Organisationen,
- Verfügbarkeit aussagekräftiger Kennzahlen und
- Gewährleistung eines effizienten Erfahrungsaustauschs („einheitliche Sprache“).

Aus den Erkenntnissen der Praxiserprobung des Instruments empfiehlt sich eine Anwendung zur Optimierung der **Produktionsergonomie** insbesondere bezüglich folgender Aspekte:

- Ermittlung von Qualitätsproblemen, Ausschuss- und Fehlerschwerpunkten,
- Gewährleistung sicherheitsgerechter Gestaltung und sicherer Handhabung,
- Beschaffung und Gestaltung von ergonomischen Arbeitsmitteln,
- Konzeptentwicklung zum Tätigkeitswechsel (Job Rotation etc.),
- Schaffung lernförderlicher Arbeitsbedingungen,
- Bessere Anordnung von Rohlingen, Ladungsträgern, Werkzeugen und Bedientableaus,
- Vermeidung unnötiger verdrehter und gebeugter Körperhaltungen sowie
- Anthropometrische Gestaltung von Stellteilen, Anzeigen und Beobachtungsfenstern.

Zur erfolgreichen **Implementierung** des Instruments in Organisationen werden insbesondere folgende Aspekte empfohlen:

- Prospektive Einbeziehung des Betriebsrates,
- Prospektive Festlegung der Optimierungs-Teams,
- Durchführung von Kick-Off-Veranstaltungen und Qualifizierungen,
- Einplanung von Zeit und Budget für die Realisierung der Optimierungsprojekte,
- Durchführung fachgerechter Beobachtungsanalysen durch längerfristige Beobachtung von Beschäftigten während ihrer Tätigkeitsausführung und nach Möglichkeit zusätzlich durch Eigenausführung der Tätigkeiten,
- Regelmäßige Durchführung von Reviews und internen Audits sowie
- Spezialisten-Netzwerk-Aufbau zum organisationsweiten Erfahrungsaustausch.

Die Untersuchung der wissenschaftlichen Gütekriterien des Instruments hat die Bedeutung der Qualifizierungen der betrieblichen Akteure in Organisationen unterstrichen. Empfohlen wird die Durchführung von **Qualifizierungen** zudem auch aufgrund folgender Aspekte:

- Wissenstransfer der Erfahrung aus Forschung, Entwicklung und Innovation,
- Austausch branchenübergreifender Gestaltungserfahrung,
- Steile Lernkurve in interaktiven Seminaren mit Übungen und Q&A-Sessions,
- Transfer von Neuigkeiten und Hintergründen zu Vorschriften und Verfahren,
- Verknüpfung von Methodenkompetenz und praktischer Anwendungserfahrung,
- Erlernen von Lösungen für nachhaltiges Wachstum auf der Basis neuer Technologien,
- Vorsprung der Organisation durch das Erlernen effektiver Gestaltungsansätze,
- Angebote für erweiterte Hilfestellungen mit Expertenseminaren und Feldforschung,
- Vermeidung ineffizienter Grundsatzdiskussionen in den Projektteams und Gewährleistung effektiver Optimierung durch Gewährleistung neutraler Bewertungen,
- Erlernen eines interdisziplinären und ganzheitlichen Verfahrensportfolios sowie
- Generierung neuer Inspirationen und Aufbrechen der Grenzen der „Betriebsblindheit“.

6.2 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Arbeit weist insbesondere auch im Rahmen der kritischen Diskussion der Arbeitshypothesen bereits auf viele interessante Forschungsfragestellungen hin. Nachfolgend wird weiterer Forschungsbedarf skizziert, der hoffentlich zu Anschlussforschung in den Arbeits- und Sicherheitswissenschaften im Allgemeinen und rund um das weiterentwickelte und evaluierte Instrument im Speziellen inspiriert.

Die **Umsetzung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes in der Europäische Union** ist ein interessantes Forschungsfeld: Die im Jahr 1989 verabschiedete europäische Rahmenrichtlinie über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (Richtlinie 89/391/EWG) stellte einen wichtigen Meilenstein zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit dar. Mit dieser Richtlinie wurden für ganz Europa geltende Mindestanforderungen für Sicherheit und Gesundheitsschutz geschaffen. Dabei steht es den Mitgliedstaaten frei, strengere Bestimmungen zu erlassen. Mehr als 30 Jahre später, wäre es interessant zu erforschen, welche konkreten Regelungen in den Mitgliedstaaten geschaffen worden sind. Was gilt es beispielsweise bei physischen Belastungen in welchem Mitgliedsstaat konkret zu bestimmten Belastungsarten zu beachten? Wo gelten strengere Grenzwerte für besonders schutzbedürftige Beschäftigtengruppen und welche Beschäftigten zählen hierzu? Welche Schwerpunkte werden jeweils bei der Überwachung gelegt?

Aus dem Wandel der Arbeitswelt ergeben sich immer neue Fragestellungen zur **Produktionsergonomie**: Wie können die Lernprozesse der Beschäftigten an neuen Bedienoberflächen in der Produktion besser unterstützt werden? Welches einheitliche und einfach verständliche Design eignet sich für Stellteile und Werkzeuge, die in global agierenden Konzernen weltweit eingesetzt werden? Wie kann damit ein schneller und effektiver Lernprozess für Beschäftigte jeden Alters und jeder Nationalität gewährleistet werden? Untersuchungen hierzu sind zukünftig stärker im internationalen Kontext erforderlich, um praktikable Lösungen zu entwickeln.

Auch zu **inklusiven Arbeitswelten** eröffnet sich ein breiter Forschungsbedarf. In Anlehnung an vorhandene Normen und Empfehlungen sollten bisher eher starre und ausschließlich auf Normpersonen ausgerichtete Regelungen und Empfehlungen auf inklusive Arbeitswelten ausgerichtet werden. Hierfür sind Erhebungen zu anthropometrischen und biomechanischen Daten über die vielfältigen gesundheitlichen Einschränkungsarten, aber auch bezüglich der Volkskrankheiten an großen Kollektiven nötig.

Die technischen und technologischen Entwicklungen eröffnen für das **Instrument** neuen und interessanten Forschungsbedarf: Wie kann die Transformation in das digitale und vernetzte Datenzeitalter am besten begleitet werden? Welche aktuellen und künftigen Neuerungen der Informationstechnologie eignen sich für eine Adaption an die IT-Architektur? Wie kann beispielsweise die Cloud der Produktionsergonomie zukünftig helfen? Welche Vorteile der schnelleren Verarbeitung von BigData-Anwendungen können erschlossen werden? Welche weiteren Datenanalysen, Reports und prägnanten Visualisierungen der Ergebnisse des Instruments können zukünftig bereitgestellt werden? Für den Ausbau der Hilfestellungen für das Management erscheint die Verknüpfung von Sprachsteuerung und E-Mailfunktionen im Dashboard besonders interessant: Befehle wie „BDS: Sende mir morgen um 8:00 Uhr die aktuelle Kennzahl Y und dessen 2-Jahres-Verlauf vom Standort X auf meine mobile E-Mail-Adresse“ könnten unter anderem für Corporate-Abteilungen sehr nützlich werden.

Auch aus dem immer weiter verbreiteten internationalen Einsatz des Instruments ergibt sich weiteren Forschungsbedarf. Beispielsweise werden Fachübersetzungen immer wichtiger. Wie kann der chinesische, indische und arabische Raum erreicht werden? In diesen Weltregionen liegen noch enorme Optimierungspotenziale, insbesondere auch beim Arbeits- und Gesundheitsschutz. Wie werden aber dort beispielsweise die Begriffe Belastung und Beanspruchung differenziert? Im internationalen Kontext wird die Softwareergonomie immer spannender. Welches einheitliche Bedienkonzept und Design wird **global möglichst intuitiv verstanden**? Welche Begriffe, Farben und Symbolik ermöglichte es, ohne Missverständnisse die Ergebnisse der verschiedenen Fachgebiete im Instrument zu interpretieren und darüber zu kommunizieren? Wie können betriebliche Fachakteure für einen anforderungsgerechten Datenbankaufbau (Folz, 2009) gewonnen und motiviert werden und können hierzu empirische Erkenntnisse aus dem Marketing (Bruns, 2016) sehr nützlich sein? Bezüglich der Entwicklung von weiteren Fachverfahren bietet sich unter anderem das Fachgebiet der Gefahrstoffe an. Wie lässt sich das einfache Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG) am besten integrieren? Auch Sicherheit von Arbeitsmitteln und Konvergenzmethoden bei Physischen Belastungen sind interessant. Komplettiert werden könnte das Angebot mit smarten Helfern für Einzelfragestellungen wie beispielsweise eine Best-of-Verknüpfung von Fach-Checklisten zur Integration der Ergonomie in die Beschaffungsprozesse oder zur ergonomischen Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen.

Bezüglich der Evaluierung bieten sich weitere Untersuchungen an. Zu den Hauptgütekriterien unter anderem zu Subtypen, bei denen bisher keine Quantifizierung möglich war und falls neue Erkenntnisse über Beschwerde- und Erkrankungsprävalenzen vorliegen. Aber auch eine detaillierte Untersuchung der Nebengütekriterien verspricht weitere nützliche Erkenntnisse. Aufbauend auf einem aktuellen Review könnte analog dem Vorgehen im Rahmen der Dissertation eine hierzu komplettierende erweiterte Evaluierungsstruktur entwickelt werden. Darin könnten **Nebengütekriterien** wie Utilität, Akzeptanz, Testfairness, Testökonomie, Transparenz, Unverfälschbarkeit, Zumutbarkeit, Normierung und Vergleichbarkeit einbezogen werden, um die vorhandenen Ergebnisse zu den wissenschaftlichen Hauptgütekriterien sinnvoll zu erweitern.

Ergänzende Praxiserprobungen des Instruments im Smart Factory-Kontext erscheinen ebenfalls interessant. Welche Erfahrungen werden bei der Analyse und Beurteilung verschiedener Arten von Exoskeletten gemacht? Wie bewähren sich mittlerweile die verschiedenen Ausbaustufen der Chairless-Chairs? Welche zusätzlichen Erweiterungen bieten sich für eine professionelle Unterstützung des **Infektionsschutzes** in den Organisationen an? Welche Kriterien muss Atemschutz erfüllen, damit eine optimale Schutzwirkung bei gleichzeitigem hohem Tragekomfort gewährleistet wird? Welche Belästigung wird bei Hitzestau noch akzeptiert und welche Belästigung durch Schwitzen unterhalb von Masken? Wie wirkt sich das Beanspruchungsempfinden bei den teils immer extremer werdenden klimatischen Außen- und Innenraumbedingungen (Hitzeperioden, Industriehallen mit stark wärmeerzeugenden Aggregaten) aus und können bereits erfolgreich erprobte neue Messgeräte der Atmosphären-, Klima- und Erdsystemforschung (Klostermann, 2011) für neue Impulse der Weiterentwicklung der Messung der Klimasummenmaße (hier insbesondere auch der relativen Luftfeuchtigkeit) sorgen?

6.3 Ausblick

Politik, Wirtschaft und Verbraucher*innen forcieren **nachhaltiges Wachstum** immer stärker. Unterstützend könnten zukünftig auch veränderte Anlageentscheidungen (Grüne Investmentfonds, Nachhaltigkeits-Scores) wirken, die sich immer stärker an Organisationen mit nachhaltigem Wachstum orientieren. Nachhaltiges Wachstum wird aber ohne die interdisziplinäre Optimierung der Arbeitsbedingungen nicht funktionieren. Viel zu weit ist der Status quo noch von einer Fusion der Eckpfeiler Effizienz, Ergonomie, Gesundheit, Qualität und Sicherheit entfernt. Die Problemstellungen zum Sicherheits- und Gesundheitsschutz erstrecken sich dabei über alle Regionen und Wirtschaftszweige, was auch im Rahmen der Coronapandemie wieder deutlich wurde. Neben Organisationen mit angespannter finanzieller Situation waren es Wirtschaftszweige und Organisationen mit schlechten Arbeitsbedingungen, die hart getroffen wurden und nun auch unter teils starkem Imageverlust leiden.

Das Gesamtgefüge aus drohender Erwerbslosigkeit, prekären Beschäftigungsverhältnissen, zunehmender Lohnungleichheit, Altersarmut und schlechten Arbeitsbedingungen lässt Wut, Hass und gefühlte Ungerechtigkeit in der Gesellschaft weiter ansteigen. Die Zukunft wird zeigen, inwieweit ein Umdenken erfolgt, die Bekenntnisse des obersten Managements der besten Unternehmen der Welt (**Business Roundtable**) umgesetzt werden, hiervon Nachahmeffekte auf kleinere Organisationen und die Lieferketten ausgehen und dann das ganze System tatsächlich nachhaltiger und krisenfester wird.

Mit seinem interdisziplinären wissenschaftlichen Ansatz steht das Instrument Forschungseinrichtungen, Organisationen aller Wirtschaftszweige, Behörden und den Unfallversicherungsträgern zur Verfügung, um die notwendigen Transformationsprozesse hin zum nachhaltigen Wachstum durch optimierte Arbeitsbedingungen einzuleiten. Das Instrument steht dabei für wettbewerbsfähige und innovationsstarke Organisationen, die ihre Werte und Kultur leben und einen umfassenden Ausbau ihrer Methodenkompetenz anstreben. Zur **sinnvollen Optimierung der Arbeitsbedingungen** muss interdisziplinäres Fachwissen vereint werden, was viele Organisationen vor große Herausforderungen stellt und stellen wird. Für genau diese Optimierungsprozesse wurde das Instrument entwickelt, das auf praxisorientiert aufbereitete wissenschaftliche Erkenntnisse setzt. Im Rahmen der Dissertation konnte das Leistungsspektrum um neue Anwendungen zur Optimierung und Modernisierung von Organisationen erweitert und die wissenschaftlichen Hauptgütekriterien getestet werden. So konnten auch neue konkrete Lösungen für nachhaltiges Wachstum entwickelt werden. Von der Neugestaltung einzelner Produktionslinien bis hin zum Neubau von Produktionsstandorten lassen sich mit der Verfahrensanwendung neue Optimierungspotenziale erschließen.

Es zeichnet sich eine interessante Zukunft für das ganzheitliche Instrumentarium ab. Für moderne Organisationen, in denen extreme Überbelastungen immer weiter eliminiert werden können, liefert das Instrument Alleinstellungsmerkmale für die Beurteilung und Gestaltung verbleibender Belastungen im Besorgnisbereich zwischen Akzeptanz- und Toleranzschwelle. Die Erweiterung von Praxishilfen für den Infektionsschutz mit optimierter Abstimmung von Schutzwirkung und Belästigung von Atemschutz ist vorbereitet und die technologische Transformation mit Cobots lässt sich mit den Verfahren auf ein neues präventives Level heben. Nicht zuletzt da mittlerweile die ersten **KI-gestützten Funktionalitäten zur Inklusion** in das Instrument integriert worden sind, werden die nun hiervon ausgehenden Weiterentwicklungen und Evaluierungen spannender denn je.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Nachhaltiges Wachstum auf der Grundlage guter Arbeitsbedingungen Quelle: International Labour Organization (ILO; www.ilo.org).....	1
Abb. 1.2	SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandard des Bundesministeriums Quelle: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)	3
Abb. 1.3	Instabile Bedingungen und Handlungsdruck als Treiber von Lean Management Quelle: Eigene Darstellung nach TCW (www.tcw.de)	4
Abb. 2.1	Vorgehen zur Ableitung der Fragestellungen und Arbeitshypothesen.....	11
Abb. 2.2	Vernetzung von Wissenschaftsdisziplinen mit dem Instrument	12
Abb. 2.3	BAB-Kombinationsverfahren: Philosophie der Verfahrensökonomie Quelle: Eigene Darstellung nach Tielsch et al., 1997	14
Abb. 2.4	Analyse der Intensität und Expositionsdauer von Körperbewegungen (1970er) Quelle: BAB-Methodenblätter der Forschungsgruppe "Arbeitssicherheitstechnik/ Ergonomie" (ASER) der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal	15
Abb. 2.5	BAB-Kombinationsverfahren: Ergebnisübersichtsdarstellung (1980er) Quelle: Müller & Hettinger, 1981	16
Abb. 2.6	Wissenschaftliche Beurteilung von Belastungs- und Beanspruchungsgrößen Quelle: Grundlagenübersicht zur 7-stufigen Normierung vom Institut ASER....	17
Abb. 2.7	Generierung arbeitsvorgangsbasierter Belastungs- und Gefährdungsprofile Quelle: Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.....	19
Abb. 2.8	Erschließung der Planungs- und Simulationstechnik mit dem BDS-Instrument Quelle: Eigene Darstellung nach Übersichtsdarstellung vom Institut ASER	20
Abb. 2.9	BDS-Instrument: Applikation in Microsoft Excel 5.0 (1994) Quelle: Excel 5.0-Tabellenblatt Arbeitsplatzprofil der GEWITEB (Ausschnitt) ..	21
Abb. 2.10	BDS-Instrument: Abbildung technischer und organisatorischer Veränderungen Quelle: Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.	21
Abb. 2.11	Digitale Ergonomie mit dem BDS-Instrument (Standalone) im Jahr 1996 Quelle: BDS-Instrument 1.0 (GEWITEB)	22
Abb. 2.12	Das BAB-Kombinationsverfahren im BDS-Instrument im Jahr 1996 Quelle: BDS-Instrument 1.0 (GEWITEB)	23
Abb. 2.13	Leitmerkalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten aus dem Jahr 2001 Quelle: LASI, 2001.....	25
Abb. 2.14	Dashboard 1.0 als Startpunkt zur Optimierung der Arbeitsbedingungen (2011) Quelle: Kernverfahren des BDS-Instruments (GEWITEB).....	27
Abb. 2.15	Schaffung von Verlaufstransparenz mit arbeitswissenschaftlichen Kennzahlen Quelle: Eigene Prinzipdarstellung anhand von Beispieldaten.....	28
Abb. 2.16	Belastungs- und Gefährdungsprofil eines Arbeitssystems Quelle: Übersichtsdarstellung vom Institut ASER e.V.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.17	Interaktives Belastungs-/Gefährdungsprofil mit Demografiefilter (2012) Quelle: Kernverfahren des BDS-Instruments (GEWITEB).....	32
Abb. 2.18	Internationaler Roll-Out des BDS-Instruments (+ Europa-Zoom; Startphase 2013) Quelle: Weltkartenübersicht im Eingangsbereich vom Institut ASER e.V.	33
Abb. 2.19	Tablet-Front-End (Version 2018) des BDS-Instruments (links; Quelle: GEWITEB) sowie EU-OSHA-Auszeichnung mit dem Best Practice Award 2017 für ein Ergonomie- und Demografie-Programms auf der Grundlage der Praxisanwendung des BDS- Instruments (rechts; Quelle: Continental AG).....	34
Abb. 2.20	Kollaborativer Roboter (Cobot) – Praxisbeispiel Sawyer mit stilisierten Augen Quelle: Rethink Robotics GmbH	35
Abb. 2.21	Altersstrukturvergleich der Bevölkerung in Deutschland (1950 vs. 2017 vs. 2060) Quelle: Statistisches Bundesamt, 2015	38
Abb. 2.22	Innovationen, zyklische Wirtschaftsentwicklung und Indexentwicklung (S&P 500) Quelle: Darstellung der Allianz Global Investors Capital Market Analysis, Datengrundlage: Datastream.....	40
Abb. 2.23	Megatrend-Map zur Verknüpfung von Megatrends (Ausschnitt) Quelle: Zukunftsinstitut GmbH	41
Abb. 2.24	Ausgaben der Unternehmen für die Entgeltfortzahlung im Krankheitsfall (Mrd. €) Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Pimpertz, 2020	44
Abb. 2.25	Einfluss der Beleuchtungsstärke (Lux) auf die Fehlerhäufigkeit (Tätigkeitsbasiert) Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Bieske et al., 2011	45
Abb. 2.26	Arbeitsunfähigkeitsdiagnosen in Deutschland - Verteilung im Jahr 2018 Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: BAuA, 2020.....	46
Abb. 2.27	Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsunfähigkeit Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage: Grobe et al., 2018	47
Abb. 2.28	Biologisches Prinzip dynamisch-physiologischer Gleichgewichte Quelle: Dosis-Wirkungsmodell nach Hartmann et al., 2013.....	52
Abb. 2.29	Dynamisch-physiologische Gleichgewichte mit Akzeptanz- und Toleranzschwelle Quelle: Eigene Erweiterung (Stufe 1) nach Hartmann et al., 2013	53
Abb. 2.30	Von der Grundlagenforschung zum Nachhaltigen Wachstum	58
Abb. 2.31	3-axiale Kraftmessungen zur Effektprüfung optimierter Laufbelagsmaterialien Quelle: Messauswertung im Institut ASER e.V. mit WIDAAN-Software.....	59
Abb. 2.32	Gemeinsame Strategie der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften Quelle: Eigene Darstellung nach Müller, 1997	60
Abb. 2.33	Leistungsfähigkeit – Differenzierung motorischer Fähigkeiten Quelle: Bös & Mechling, 1983.....	61
Abb. 2.34	Isometrische Maximalkräfte für Männer und Frauen im Vergleich Quelle: Rühmann & Schmidtke, 1992	62

Abb. 2.35	Ermüdungsgrad in Abhängigkeit von Arbeitsdauer und Erholungsdauer bei verschiedenen Belastungshöhen. Quelle: Rohmert, 1962.....	62
Abb. 2.36	Einteilung der Körperhöhen in Körpergrößenklassen Quelle: Schlick et al, 2010	63
Abb. 3.1	Aggregation von Belastungsabschnitten zu Belastungs-/Gefährdungsprofilen Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB).....	86
Abb. 3.2	Analyse der Belastungssituation: hier Beobachtungsanalyse des Arbeitsablaufs von mehreren hundert Arbeitssystemen verschiedener Branchen Quelle: Pixabay-Lizenz (Creative Commons).....	87
Abb. 3.3	Technische Messung der Belastungsaspekte (BAPPU _{evo} , Hodometer, Waage)	87
Abb. 3.4	Kombinationsmessung sowie Prüfung von Anthropometrie und Greifbedingungen	88
Abb. 3.5	Analyse von Betriebsdokumenten (typische Stückzahlen, Zykluszeiten etc.) ...	88
Abb. 3.6	Meilensteine der Produktentwicklung zur Messung effektiver Bestrahlungsstärken (W/m ²) Quelle: Institut ASER e.V.	89
Abb. 3.7	Integration frei verfügbarer Veröffentlichungen in den Citavi 6-Datensatz.....	90
Abb. 3.8	Operationalisierung (Messbarmachung) von Beanspruchungswirkungen durch Analyse und Beurteilung der Belastung.....	91
Abb. 3.9	Hypothese zur Kriteriumsvalidität – Grundlegender Zusammenhang Quelle: Modifiziert nach Klußmann et al., 2017	93
Abb. 3.10	Neue Rohdatenschnittstelle zur Evaluierung der wissenschaftlichen Gütekriterien des Instruments (hier als .xls-Import inkl. Zoomansicht ausgewählter Variablen)	95
Abb. 3.11	Teildatensatz nach Aufbereitung zur Untersuchung der Kriteriumsvalidität in R	98
Abb. 3.12	BDS-Instrument als Datengrundlage der Belastungssituation der Arbeitssysteme Quelle: Übersicht zum BDS-Instrument (Institut ASER e.V.)...	99
Abb. 3.13	Klinische Untersuchungsdokumentation als Datengrundlage der Beanspruchungsfolgen Quelle: Mehrstufendiagnostik (Grifka et al., 2005 und Spallek & Kuhn, 2009) mit eigener Markierung.....	99
Abb. 3.14	Subjektive Einschätzung der Belastungs-/Beanspruchungssituation Quelle: SLESINA-Fragebogen (Slesina, 1987) mit eigener Markierung	100
Abb. 3.15	Subjektive Einschätzung psychosozialer Aspekte Quelle: COPSOQ-Fragebogen (Nübling et al., 2005) mit eigener Markierung	100
Abb. 3.16	R-Skript zur Prüfung der Kriteriumsvalidität (RStudio; Erweiterungen wie ggplot2)	101
Abb. 3.17	Binomiales Regressionsmodell (glm) im R-Skript.....	101
Abb. 3.18	R-Skript (hier Quellcode-Zeilen 575 - 606) mit Konsole und Datenumgebung	103
Abb. 3.19	Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung von BDS-Bewertungsstufen	104

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.20	Auswertungsmethode zur Untersuchung der Intra-Rater-Reliabilität Quelle: Kernverfahren im BDS-Instrument (GEWITEB).....	107
Abb. 3.21	Auswertungsmethode für den Paralleltest Quelle: Fachverfahren Physische Arbeitsbelastungen (Ausschnitt) mit Avatar im BDS-Instrument (GEWITEB) .	107
Abb. 3.22	Berechnung von Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und Fleiss' Kappa (κ)	110
Abb. 4.1	Übersicht über die Weiterentwicklungen im Rahmen der Dissertation.....	114
Abb. 4.2	Interaktion von Kern-, Prozess-, Fachverfahren und Dashboard im Instrument	115
Abb. 4.3	Veranschaulichung der Antwortzeit beim Globe-Thermometer (Beispiel, geglättet) Quelle: DIN EN 27243 (1993).....	117
Abb. 4.4	Beleuchtung von Arbeitsstätten - Künstliche Beleuchtung in Gebäuden Quelle: Eigene Darstellung nach den Technischen Regeln für Arbeitsstätten	121
Abb. 4.5	Entwickelter Bewertungsprototyp für das Bewertungsmodell Beleuchtung.....	122
Abb. 4.6	Adaptierung des Bewertungsmodells in die Belastungs-/Gefährdungsprofile Quelle: Belastungs- und Gefährdungsprofil im BDS-Instrument (GEWITEB) .	124
Abb. 4.7	Erweiterung des Tätigkeitsarten-Katalogs der Belastungsart Beleuchtung Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)	125
Abb. 4.8	Neue Analysemöglichkeiten von Sonderfällen der Beleuchtungssituation Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)	125
Abb. 4.9	Analyse der zu tragenden Persönlichen Schutzausrüstung Quelle: Kernverfahren im BDS-Instrument (GEWITEB) mit eigener Gruppierung.....	126
Abb. 4.10	Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten – Ein kontinuierlicher Kreisprozess Quelle: Pieper & Vorath, 2005.....	131
Abb. 4.11	Kontinuierlicher Kreisprozess mit Schnittstellen zu Organisationsprozessen Quelle: Eigene Darstellung nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, 1996)	134
Abb. 4.12	Zusammenführung vorhandener Formulare zu einem einheitlichen Vorgehen Quelle: Kernverfahren (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB)	135
Abb. 4.13	Prototypentwicklung zur einheitlichen Maßnahmenfestlegung, Verfolgung der Maßnahmendurchführung und Wirksamkeitsüberprüfung	135
Abb. 4.14	Management von Optimierungsprojekten mit dem neuen Prozessverfahren Quelle: Prototyp Prozessverfahren Optimierungsprozesse (GEWITEB).....	137
Abb. 4.15	Projektmanagement von Optimierungen mit dem Instrument Quelle: Prozessverfahren Optimierungsprozesse (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB).....	138
Abb. 4.16	Konzeption von Funktion und Design des neuen Prozessverfahrens	142
Abb. 4.17	Monitoring der Arbeitsmedizinischen Vorsorge (Beispieldatensatz) Quelle: Prozessverfahren ArbMedVV im BDS-Instrument (GEWITEB)	143
Abb. 4.18	Detailinformationen zur Vorsorge am Beispiel Physische Belastungen Quelle: Prozessverfahren ArbMedVV im BDS-Instrument (GEWITEB)	144
Abb. 4.19	Generierung von Anforderungsprofilen mit flexiblem Informationsgehalt.....	146

Abb. 4.20	Prototypentwicklung des BDS- Anforderungsprofils (Informationslevel 2) Quelle: Prototyp zum Prozessverfahren Inklusion (Institut ASER e.V.)	147
Abb. 4.21	Die neue Matching-Schnittstelle des Prozessverfahrens im Prototyp-Status Quelle: Prozessverfahren Inklusion (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB).....	148
Abb. 4.22	Intelligente Identifizierung ressourcenarmer Gestaltungsoptionen	150
Abb. 4.23	Multi-Level Matching von Anforderung und Leistung mit dem Instrument	150
Abb. 4.24	Das professionelle BDS-Anforderungsprofil (Informationslevel 2) Quelle: Prozessverfahren Inklusion (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB).....	151
Abb. 4.25	Matching-Schnittstelle zur anonymen Integration der Leistungsprofile Quelle: Prozessverfahren Inklusion (Ausschnitt) im BDS-Instrument (GEWITEB).....	152
Abb. 4.26	Gefährdungsfaktoren und Folgen von Unfällen (auch Umweltverschmutzung etc.) Quelle: Pixabay-Lizenz (Creative Commons)	153
Abb. 4.27	Funktionsweise der Risikobewertung im neuen Fachverfahren.....	157
Abb. 4.28	Einfluss des Risikos auf die Maßnahmendringlichkeit Quelle: Interpretationsprototyp der Risikoklassen im BDS-Instrument (GEWITEB)....	158
Abb. 4.29	Fachverfahren Arbeitsunfallgefährdungen nach Adaptierung im Instrument Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	159
Abb. 4.30	Strukturierung Psychischer Arbeitsbelastungen Quelle: Eigene Darstellung mit Pixabay-Lizenz (Creative Commons).....	160
Abb. 4.31	Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen mit erweitertem Belastungsprofil Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB).....	166
Abb. 4.32	Analyseoberfläche im Fachverfahren Psychische Arbeitsbelastungen (Ausschnitt) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	167
Abb. 4.33	Zentrale Organisationsaufgaben und Prozesse im Mutterschutz	168
Abb. 4.34	Eignungsprüfung von Arbeitssystemen für schwangere und stillende Frauen Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	172
Abb. 4.35	Prototyp einer qualitativen BDS-Analysemaske auf Arbeitssystemebene Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	173
Abb. 4.36	Belästigung/Erschwernis im Risikokonzept mit Akzeptanz-/Toleranzschwelle Quelle: Eigene Erweiterung (Stufe 2) nach Hartmann et al., 2013	174
Abb. 4.37	Einzelverfahren Schmutz, Öl, Fett – Bestimmung der Belastungsstufe	178
Abb. 4.38	Neues BDS-Fachverfahren Belastungs- und Erschwerniszulagen (Ausschnitt) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	179
Abb. 4.39	Integration der Ergebnisse (externer) arbeitswissenschaftlicher Einzelverfahren in das neue Fachverfahren und gleichzeitige Flexibilisierung für das Treffen von Einzelbetriebsvereinbarungen (Import) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	180
Abb. 4.40	Neues Dashboard-Konzept für das Instrument.....	181
Abb. 4.41	Verbesserung der Analyseeffizienz mit dem interaktiven Cross-Check Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	182

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.42	Vollständigkeits- und Plausibilitätscheck von Arbeitssystemen Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	183
Abb. 4.43	Benutzerverwaltung Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB).....	184
Abb. 4.44	Detailierungsgrad-Auswahl (Methodenebene) für Fachverfahren (Ausschnitt) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	184
Abb. 4.45	Maßeinheiten-Umwandlung von Datensätzen im Instrument Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	185
Abb. 4.46	Identifizierung von Erkrankungsschwerpunkten Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB; mit Demonstrationsdatensatz)	186
Abb. 4.47	Verfahrensübergreifende Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen In der Abbildung: Serafin-Verrechnungsprototyp	188
Abb. 4.48	Initiierung von Optimierungsprojekten inkl. automatischer Kennung-Generierung Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB).....	189
Abb. 4.49	Übersicht über aktuelle Optimierungsprojekte in der Organisationseinheit Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	189
Abb. 4.50	Belastungs- und Gefährdungsprofil für Inklusion (Ausschnitt) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	191
Abb. 4.51	Professionelles Anforderungsprofil für Inklusion (Ausschnitt) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	191
Abb. 4.52	Anonymes Matching und Belastungssteuerung (Ergebnisdarstellung) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB; Demonstrationsdatensatz).....	192
Abb. 4.53	Intelligente Identifizierung sinnvoller Investitionsvorhaben Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	192
Abb. 4.54	Monitoring der arbeitsmedizinischen Angebots- und Pflichtvorsorge.....	193
Abb. 4.55	Eignung von Arbeitssystemen für schwangere und stillende Frauen.....	193
Abb. 4.56	Statusdarstellung von Kennzahlen im BDS-Instrument (Quelle: GEWITEB) ..	195
Abb. 4.57	Metaauswertung von Kennzahlen zur detaillierten Auswertung des aktuellen Gestaltungszustands (Echtzeit-Transparenz) Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB; Beispieldatensatz)	196
Abb. 4.58	Metaauswertung von Kennzahlen zur vergleichenden Betrachtung der zeitlichen Entwicklung des Gestaltungszustands (Verlaufs- Transparenz; Beispieldaten) Quelle: BDS-Foliensatz (GEWITEB)	197
Abb. 4.59	Wissenschaftliches Verfahrensportfolio im zukünftigen Instrument v10.0.....	198
Abb. 4.60	Cloud- und Mehrsprachfunktionen für internationale Anwendung des Instruments Quelle: Foliensatz der GEWITEB zum BDS-Instrument.....	199
Abb. 4.61	Mehrstufiger Wissenstransfer für hohe Rohdatenqualität und Analyseeffizienz Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	200
Abb. 4.62	Kontextsensitive Hilfestellungen für die Schritt-für-Schritt-Analyse Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	200
Abb. 4.63	Schnelle Aktualisierung von Taktzeit und Stückzahl bei Produktionsumstellung Quelle: BDS-Instrument (GEWITEB)	201

Abb. 4.64	Smart-Factory-Arbeitssystem – Sawyer-Einsatz in der Kosmetikbranche Quelle: HumaRobotics	203
Abb. 4.65	Physische Arbeitsbelastungen – Manuell (links) vs. Cobot (rechts).....	204
Abb. 4.66	Psychische Arbeitsbelastungen – Manuell (links) vs. Cobot (rechts).....	204
Abb. 4.67	Ganzheitlicher Business-Case für nachhaltiges Wachstum Quelle: Eigene Darstellung. Piktogramme: Pixabay-Lizenz (Creative Commons).....	206
Abb. 4.68	Verbesserung der Sicherheits- und Gesundheitskultur mit dem Instrument ...	207
Abb. 4.69	Beispiel für eine schrittweise Implementierung des Instruments	208
Abb. 4.70	Verknüpfung von Organisationsstruktur und Rollenkonzept (Beispiel)	209
Abb. 4.71	Bereitstellung nachhaltiger Arbeitssysteme	210
Abb. 4.72	Visualisierung zentraler Aspekte (Effizienz, Ergonomie, Qualität, Sicherheit etc.).....	211
Abb. 4.73	Entwickelte Evaluierungsstruktur zur Festlegung der Untersuchungen	213
Abb. 4.74	Wissenschaftliche Arbeitsweise des Instruments (Konstrukt / Operationalisierung)	214
Abb. 4.75	Grundlagenforschung zum Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhang Quelle: Müller & Hettinger, 1981	217
Abb. 4.76	Überprüfung der Augenscheinvalidität des Instruments mit Untersuchungen anhand der Belastungsart Heben, Halten, Tragen (2.053 Arbeitssysteme)....	221
Abb. 4.77	Nomologisches Netzwerk (Gemeinsames Theoriegebilde) des Instruments Quelle: Eigene Darstellung mit Pixabay-Lizenz (Creative Commons)	224
Abb. 4.78	Aggregation der Wirkungsstärke von Belastungsarten auf Zielregionen (Avatar) Quelle: Fachverfahren Physische Arbeitsbelastungen im BDS (GEWITEB) ..	225
Abb. 4.79	Datengrundlage der epidemiologischen Statistik zur Kriteriumsvaliditätsprüfung Quelle: Eigene Darstellung mit Übersicht vom Institut ASER e.V. sowie Abbildungen mit Pixabay-Lizenz (Creative Commons).....	228
Abb. 4.80	Verteilung der Belastungshöhe bei Körper(zwangs)haltung (BDS, n = 368) ..	229
Abb. 4.81	Verteilung der Belastungshöhe bei Körper(fort)bewegung (BDS, n = 368)	230
Abb. 4.82	Verteilung der Belastungshöhe bei Lastenhandhabung (BDS, n = 336).....	231
Abb. 4.83	Verteilung der Belastungshöhe bei dynamischer Muskelarbeit	232
Abb. 4.84	Verteilung der Belastungshöhe bei manuellen Arbeitsprozessen	233
Abb. 4.85	Verteilung der Belastungshöhe bei Haltungsbewegungsverteilung	234
Abb. 4.86	Heatmap mit hierarchischer Clusterung der Belastungsarten, n = 368.....	235
Abb. 4.87	Matrix zur paarweisen Korrelation physischer Belastungsarten, n = 361	236
Abb. 4.88	Altersverteilung (Jahre) nach Geschlecht im Studienkollektiv (n =365)	237
Abb. 4.89	Verteilung der Körpermasse (kg) je Geschlecht im Studienkollektiv	238
Abb. 4.90	Alter und Ausführungsdauer des aktuellen Berufs nach Geschlecht	239
Abb. 4.91	Körpermasse (kg) und Körpergröße (cm) nach Geschlecht	240
Abb. 4.92	Body-Mass-Index (kg/m ²) nach Geschlecht	241

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.93	BMI (kg/m ²) nach sportlicher Betätigung	242
Abb. 4.94	Altersverteilung (Jahre) nach sportlicher Betätigung.....	243
Abb. 4.95	Verteilung der Diagnosen nach Outcome (Krankheitsbild) im Detail.....	246
Abb. 4.96	Lokalisation der arbeitsspezifischen Krankheitsbilder (Die roten Diagnosen stellen die vier Hauptdiagnosen im Studienkollektiv dar und wurden im Skelett den Körperregionen zugeordnet und absteigend nummeriert) Abbildungsquelle Skelett: Pixabay-Lizenz (Creative Commons)	247
Abb. 4.97	Vorhersage von Lumbalgie/Lumbago mit BDS-Lastenhandhabung	248
Abb. 4.98	Odds-Ratio für Lumbalgie/Lumbago ($1 \triangleq$ BDS-LH-Sicherheitsbereich)	249
Abb. 4.99	Slesina-Antwortverteilung (Slesina HHT) nach BDS-Bewertungsstufen	252
Abb. 4.100	Slesina-Antwortverteilung (Slesina skA) nach BDS-Bewertungsstufen	253
Abb. 4.101	Slesina-Antwortverteilung (Stehen) nach BDS-Beurteilungsstufen	254
Abb. 4.102	Slesina-Antwortverteilung (Lärm) nach BDS-Beurteilungsstufen (BDS Lärm)	255
Abb. 4.103	COPSOQ-Antwortverteilung (Kog Anf) nach den BDS-Bewertungsstufen	256
Abb. 4.104	Entwicklung der repräsentativen Tätigkeitsstruktur des Arbeitssystems (t_0) ...	257
Abb. 4.105	Tätigkeitsbezogene Analyse der Aspekte der Belastung (t_0 ; Ausschnitt).....	258
Abb. 4.106	Ergebnis des Belastungsprofils des komplexen Arbeitssystems (t_0).....	258
Abb. 4.107	Ergebnis der Vorgangsbewertungen (t_0 ; Ausschnitt)	259
Abb. 4.108	Ergebnis der Vorgangsbewertungen (t_1 ; Ausschnitt)	259
Abb. 4.109	Detailanalyse der Abweichungen bei der Transporttätigkeit (t_0 ; Ausschnitt) ...	260
Abb. 4.110	Detailanalyse der Abweichungen bei der Transporttätigkeit (t_1 ; Ausschnitt) ...	260
Abb. 4.111	Detailanalyse der Abweichungen bei der Transporttätigkeit (t_0 ; Ausschnitt) ...	261
Abb. 4.112	Analyse der Transporttätigkeit zum Zeitpunkt t_1 (Teil 2 von 2; Ausschnitt)	261
Abb. 4.113	Paralleltest (I-A ₁): Analysephase mit dem Instrument (Ausschnitt 1)	263
Abb. 4.114	Paralleltest (I-A ₂): Analysephase mit dem Instrument (Ausschnitt 2)	264
Abb. 4.115	Paralleltest (I-B): Analysephase basierend auf dem BRIEF-Survey	265
Abb. 4.116	Paralleltest (II-A ₁) - Ergebnisse des Instruments (Ausschnitt 1).....	266
Abb. 4.117	Paralleltest (II-A ₂) - Ergebnisse des Instruments (Ausschnitt 2).....	266
Abb. 4.118	Ergebnisse des Paralleltests (II-B) – BRIEF-Survey	267
Abb. 4.119	Übertrag in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments (T-I)..	269
Abb. 4.120	Resultierende Bewertungsergebnisse des Instruments (T-I)	270
Abb. 4.121	Übertrag in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments (T-II).272	
Abb. 4.122	Resultierende Bewertungsergebnisse im Instrument (T-II)	272
Abb. 4.123	Übertrag in das korrespondierende Analyseverfahren des Instruments (T-III)274	
Abb. 4.124	Resultierende Bewertungsergebnisse im Instrument (T-III)	274
Abb. 4.125	Interpretation (Beurteilung) der Bewertungsergebnisse des Instruments	276

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1	Beziehung zwischen Ausgangslage, Hauptteil und Zielen der Dissertation.....	5
Tab. 1.2	Überblick der Fragestellungen der Dissertation	7
Tab. 1.3	Überblick zu Struktur und Inhalten der Dissertation (Kapitel 1 bis 3)	8
Tab. 1.4	Überblick zur Struktur und den Inhalten der Dissertation (Kapitel 4 bis 6)	9
Tab. 2.1	Wissenschaftliche Meilensteine der BAB-Verfahrensentwicklung	13
Tab. 2.2	Entwicklung einer normierten 7-stufigen Bewertungsskala (ab 1976/1977) Quelle: Eigene Darstellung n. BAB-Methodenblättern (Forschungsgruppe ASER).....	15
Tab. 2.3	Wissenschaftliche Meilensteine der BAB-Beurteilung und BAB-Visualisierung..	16
Tab. 2.4	Komplexitätsreduktion mit dem BDS-Dashboard: Übersicht (2011)	27
Tab. 2.5	Evolution und Revolution im Verlauf der Industrialisierung Quelle: Eigene Tabelle nach Hahn, 2011	36
Tab. 2.6	Übergang von der dritten zur vierten industriellen Revolution.....	39
Tab. 2.7	Impulse der Megatrends für Arbeits-/Sicherheitswissenschaft (1/2) Quelle: Eigene Komprimierung nach den Übersichten der Zukunftsinstitut GmbH	42
Tab. 2.8	Impulse der Megatrends für Arbeits-/Sicherheitswissenschaft (2/2) Quelle: Eigene Komprimierung nach den Übersichten der Zukunftsinstitut GmbH	43
Tab. 2.9	Weiterentwicklung des Vorschriften- und Regelwerks (Auswahl, 1 von 2)	49
Tab. 2.10	Weiterentwicklung des Vorschriften- und Regelwerks (Auswahl, 2 von 2)	50
Tab. 2.11	Systemabgrenzung mit dem Arbeitssystem-Modell (DIN EN ISO 6385)	51
Tab. 2.12	Bewertungskonzepte zur menschengerechten Arbeitsgestaltung	54
Tab. 2.13	Kreisprozess zur Optimierung der Arbeitsbedingungen.....	55
Tab. 2.14	Systematisches Vorgehen zur Optimierung der Arbeitsbedingungen.....	56
Tab. 2.15	Zentrale Begriffe, Modelle und Theorien (1 von 5).....	65
Tab. 2.16	Kernaspekte der Ausgangslage und Schlussfolgerungen für diese Arbeit	75
Tab. 2.17	Definition und Anwendung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien	76
Tab. 2.18	Fragestellungen und Arbeitshypothesen zur Evaluierung der Validität	77
Tab. 2.19	Fragestellungen und Arbeitshypothesen zur Evaluierung der Reliabilität	78
Tab. 2.20	Fragestellungen und Arbeitshypothesen zur Evaluierung der Objektivität	78
Tab. 2.21	Abgeleitetes Vorgehen zur Weiterentwicklung des Instruments	79
Tab. 2.22	Übersicht zum abgeleiteten Vorgehen in dieser Dissertation.....	80
Tab. 2.23	Überblick der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen....	82
Tab. 3.1	Einbindung der Weiterentwicklung des Instruments in Organisationsziele	83
Tab. 3.2	Standardisiertes 6-stufiges Entwicklungsvorgehen.....	85
Tab. 3.3	Unidirektionales Delta-Radiometer (Fa. Hund) - Technische Kenndaten (1/2) ...	89
Tab. 3.4	Ziel der Überprüfung der Validität des Instruments.....	92
Tab. 3.5	Eingesetzte Methoden zur Überprüfung der Validität des Instruments	94

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.6	Deskriptive Statistik zur Verteilung der Bewertungsstufen der Belastungsarten.....	104
Tab. 3.7	Ziel der Überprüfung der Reliabilität des Instruments	105
Tab. 3.8	Eingesetzte Methoden zur Überprüfung der Reliabilität des Instruments	106
Tab. 3.9	Ziel der Überprüfung der Objektivität des Instruments.....	108
Tab. 3.10	Eingesetzte Methoden der Überprüfung der Objektivität des Instruments	108
Tab. 3.11	Auswertung der Inter-Rater-Reliabilität mit einer Ergebnistafel.....	109
Tab. 3.12	Auswertung der Inter-Rater-Reliabilität - Durchführbarkeit.....	110
Tab. 3.13	Interpretation resultierender Korrelationskoeffizienten	111
Tab. 3.14	Interpretation resultierender Kappa-Werte (κ).....	111
Tab. 3.15	Interpretation resultierender Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC)	111
Tab. 3.16	Interpretation des Signifikanzniveaus	111
Tab. 3.17	FINER-Prüfung der Forschungsfragen und Methodik	112
Tab. 4.1	Überblick der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen..	113
Tab. 4.2	Belastungsbewertung durch Wärmestrahlung mit dem Instrument Quelle: Eigene Darstellung mit 7-stufiger Normierung (ASER)	116
Tab. 4.3	Wärmestrahlungsbelastung in der Schlauchvulkanisierung	119
Tab. 4.4	Abgeleitete Situationsbeschreibungen für die Belastungsart Wärmestrahlung .	120
Tab. 4.5	Finales Bewertungsmodell mit integriertem Demografiefilter und Abwerteregeln.....	123
Tab. 4.6	Zuordnung der BDS-Atemschutz-Arten zu den AMR 14.2 Gruppen	127
Tab. 4.7	Zusammenhang von Atemschutz und Tragezeitbegrenzung	128
Tab. 4.8	Entwicklung eines neuen Bewertungsmodells für Gesichtsschutzvisiere	128
Tab. 4.9	Entwicklung eines neuen Bewertungsmodells für Gesichtsschutzvisiere	129
Tab. 4.10	Erweiterte Analyse der Belastung durch Persönliche Schutzausrüstung	130
Tab. 4.11	Historie – Kreisprozess-Schritte für Sicherheit und Gesundheit (Teil 1/2)	132
Tab. 4.12	Historie – Kreisprozess-Schritte für Sicherheit und Gesundheit (Teil 2/2)	133
Tab. 4.13	Lastenheftentwicklung für zusätzliche Erweiterungen (Ausschnitt).....	136
Tab. 4.14	Konzeptentwicklung zur Bewertung und Visualisierung dringender Maßnahmen.....	139
Tab. 4.15	Expositionsdauerabhängige Kriterien für arbeitsmedizinische Vorsorge	141
Tab. 4.16	Angebots- und Pflichtvorsorge nach Belastungs- und Gefährdungsart Quelle: Eigene Darstellung nach Waldminghaus, 2016	142
Tab. 4.17	Identifizierung konkreter Anforderungen von Arbeitssystemen (Auswahl)	147
Tab. 4.18	Neues Risikokonzept für besonders schutzbedürftige Personengruppen	149
Tab. 4.19	Entwicklung der Struktur des ASER-Gefährdungskatalogs.....	155
Tab. 4.20	Zuordnung erschwerender Bedingungen zu Gefährdungsfaktoren.....	155
Tab. 4.21	Klassifizierung der Folgen von Unfällen und Gesundheitsschäden	156
Tab. 4.22	Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit.....	157

Tab. 4.23	Risikoklassen und korrespondierende Maßnahmendringlichkeit	158
Tab. 4.24	Verankerung Psychischer Arbeitsbelastung im Regelwerk.....	162
Tab. 4.25	Beurteilung psychischer Belastungen mit Kernverfahren und Fachverfahren...	164
Tab. 4.26	Gruppierung der Belastungsarten und Betrachtungshorizont der Bewertung ...	165
Tab. 4.27	Prototypentwicklung zur Visualisierung der Bewertungsergebnisse Quelle: Eigene Darstellung nach Waldminghaus, 2016	170
Tab. 4.28	Gefährdungen und Belastungen für schwangere und stillende Frauen	171
Tab. 4.29	Methode zur Bestimmung der resultierenden Belastungszulage	176
Tab. 4.30	Verfahrens-Harmonisierung mit arbeitswissenschaftlichen Risikokonzepten ...	177
Tab. 4.31	Nachhaltigkeitsmatrix zur Feststellung der resultierenden Stufe	177
Tab. 4.32	Neu entwickeltes Kennzahlensystem zum aktuellen Implementierungserfolg ..	190
Tab. 4.33	Zusammenarbeitsformen von Beschäftigten mit Robotern	202
Tab. 4.34	BDS-Reporting: Arbeitswissenschaftliche Bewertung der Arbeitssystemvarianten (Rote Markierungen: Schlechtere Arbeitsbedingungen als Ausgangszustand).....	205
Tab. 4.35	Belastung durch Körper(zwangs)haltung in den Arbeitssystemen.....	229
Tab. 4.36	Belastung durch Körper(fort)bewegung in den Arbeitssystemen	230
Tab. 4.37	Belastung durch Lastenhandhabung in den Arbeitssystemen (BDS, n = 336) .	231
Tab. 4.38	Belastung durch dyn. Muskelarbeit in den Arbeitssystemen (BDS, n = 368)	232
Tab. 4.39	Belastung durch man. Arbeitsprozesse in den Arbeitssystemen	233
Tab. 4.40	Belastung durch Haltungsbewegungsverteilung in den Arbeitssystemen	234
Tab. 4.41	Verteilung von Alter und Berufsausübung im Studienkollektiv (n = 368).....	237
Tab. 4.42	Verteilung von Geschlecht, Händigkeit, Raucherstatus und sportlichen Aktivitäten im Studienkollektiv (n = 368).....	239
Tab. 4.43	Diagnoseverteilung der Erkrankungen mit arbeitsbezogenen Faktoren im Ursachenspektrum im Studienkollektiv	245
Tab. 4.44	Odds-Ratio mit 95%-KI und Signifikanzniveau für Lumbalgie/Lumbago	249
Tab. 4.45	Confounderprüfung im Studienkollektiv	250
Tab. 4.46	Modell 1 und adjustiertes Modell im Vergleich.....	251
Tab. 4.47	Slesina-Antwortverteilung (Slesina HHT) nach BDS-Bewertungsstufen.....	252
Tab. 4.48	Slesina-Antwortverteilung (Slesina skA) nach BDS-Bewertungsstufen	253
Tab. 4.49	Slesina-Antwortverteilung (Stehen) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS HBV).	254
Tab. 4.50	Slesina-Antwortverteilung (Lärm) nach BDS-Bewertungsstufen (BDS Lärm) ...	255
Tab. 4.51	COPSOQ-Antwortverteilung (Kog Anf) nach den BDS-Bewertungsstufen	256
Tab. 4.52	Ergebnistafel zur Inter-Rater-Reliabilität (T-I; N = 10; Ausschnitt)	270
Tab. 4.53	Hauptergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität (T-I; N = 10).....	270
Tab. 4.54	Ergebnistafel zur Inter-Rater-Reliabilität (T-II; N = 10; Ausschnitt)	272
Tab. 4.55	Hauptergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität (T-II; N = 10).....	273
Tab. 4.56	Ergebnistafel zur Inter-Rater-Reliabilität (Tätigkeit III; N = 10; Ausschnitt)	275

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.57	Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilität (Tätigkeit III; N = 10).....	275
Tab. 4.58	Zusammenfassung der Überprüfungsergebnisse zur Inter-Rater-Reliabilität....	276
Tab. 5.1	Überblick der für die Hauptuntersuchungen aufgestellten Arbeitshypothesen ..	277

Literaturverzeichnis

Schrifttum

Grundlagen und Terminologie

1. Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) (2020): Funktionelle Körperbeschwerden verstehen und bewältigen. Patientenleitlinie S3 AWMF-Reg.Nr. 051-001 Eine Leitlinie für Betroffene und ihre Angehörigen. Langfassung. Hg. v. Deutsche Arbeitsgemeinschaft Selbsthilfegruppen, Bundesarbeitsgemeinschaft Selbsthilfe, Deutsches Kollegium für Psychosomatische Medizin und Deutsche Gesellschaft für Psychosomatische Medizin und Ärztliche Psychotherapie.
2. Bundesregierung (1996): Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz und weiterer Arbeitsschutz-Richtlinien. Bonn: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH (Drucksache 13/3540).
3. DIN EN ISO 6385:2016-12, Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO_6385:2016); Deutsche Fassung EN_ISO_6385:2016.
4. Durig, A.: Die Theorie der Ermüdung. Die Ermüdung im prakt. Betrieb. In: Körper und Arbeit. Handbuch der Arbeitsphysiologie. Atzler, Edgar (Hrsg.) Thieme, Leipzig 1927.
5. Laurig, Wolfgang (1981): Belastung, Beanspruchung und Erholungszeit bei energetisch-muskulärer Arbeit. REFA-Inst. Darmstadt u. Inst. f. Arbeitsphysiologie d. Univ. Dortmund; Literaturanalyse. (Im Auftr. des Bundesministers f. Arbeit u. Sozialordnung). Dortmund, (Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW). Bundesanstalt f. Arbeitsschutz u. Unfallforschung. Forschungsbericht, 272.
6. Letzel, Stephan (Hg.) (2007): Handbuch der Arbeitsmedizin. Arbeitsphysiologie, Arbeitspsychologie, klinische Arbeitsmedizin, Prävention und Gesundheitsförderung. 3. Auflage. Landsberg am Lech: ecomed Medizin.
7. Kalberlah, F.; Bloser, M.; Wachholz, C. (2005): Toleranz- und Akzeptanzschwelle für Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz. Forschung Projekt F 2010. Dortmund, Berlin, Dresden: BAuA. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2010.pdf?__blob=publicationFile&v=2
8. Mittelstraß J, Carrier M. (1984): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Vol 1 - 4. Stuttgart: Metzler. Online verfügbar unter <https://pub.uni-bielefeld.de/record/2620520> .
9. Renn, Ortwin (2010): Akzeptabilität von Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz. Ein neues Konzept zur Bewertung von Risiken durch krebserzeugende Stoffe. Auf Grundlage einer Kurzstudie der Dialogik gemeinnützige GmbH. Unter Mitarbeit von PG Risikoakzeptanz des AGS. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaefsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/Akzeptabilitaet-Gesundheitsrisiken.pdf?__blob=publicationFile.
10. Pieper, Ralf (2018): Arbeitsschutzgesetz. Basiskommentar zum ArbSchG. 8., verbesserte und aktualisierte Auflage. Frankfurt am Main: Bund-Verlag (Basiskommentar).
11. REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (1993): Grundlagen der Arbeitsgestaltung. 2. Aufl. München: Hanser (Methodenlehre der Betriebsorganisation).

12. Schönplüg, W. (1987): Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In U. Kleinbeck & J. Rutenfranz (Hrsg.), Arbeitspsychologie (S. 130-184). Göttingen: Hogrefe.
13. Schuler, Heinz; Moser, Klaus; Antoni, Conny Herbert (2019): Lehrbuch Organisationspsychologie. 6., überarbeitete Auflage.
14. Valentin, Helmut; Klosterkötter, Werner; Lehnert, Gerhard; Petry, Heinrich (1971): Arbeitsmedizin. Ein kurzgefaßtes Lehrbuch für Ärzte und Studenten. Stuttgart: Thieme (Flexibles Taschenbuch Med).
15. Wirtz, Markus Antonius (2020): Dorsch - Lexikon der Psychologie. 19., überarbeitete Auflage.

Ergänzende Terminologie

16. Dorsch - Lexikon der Psychologie (2020): Beanspruchung. Online verfügbar unter <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/beanspruchung>, zuletzt aktualisiert am 10.07.2020, zuletzt geprüft am 10.07.2020.
17. Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (Hrsg.) (2020): Instrument. Online verfügbar unter <https://www.dwds.de/wb/Instrument>.
18. Duden (2020): Methodik. Online verfügbar unter <https://www.duden.de/rechtschreibung/Methodik>.
19. Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (Hrsg.) (2020): Verfahren. Online verfügbar unter <https://www.dwds.de/wb/Verfahren>.
20. Dorsch - Lexikon der Psychologie (2020): Analyse.
21. Greif, Siegfried (2020): Beanspruchung im Dorsch Lexikon der Psychologie. Online verfügbar unter <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/beanspruchung>.

Statistiken zum Unfall- und Krankheitsgeschehen

22. Berufsbildungsbericht (2013): Berufsbildungsbericht des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Online verfügbar unter www.bmbf.de/pub/bbb_2013.pdf datenreport.bibb.de/media2012/BIBB_Datenreport_2012.pdf. Zuletzt geprüft am 10.06.2021
23. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2014): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2013 Bericht der deutschen Bundesregierung an den Bundestag, Berlin, BT-Drucksache 18/3474 vom 4. Dezember 2014.
24. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2018): Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit.
25. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2020): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2018. Unfallverhütungsbericht Arbeit. 2. Aufl. Dortmund. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Suga-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=8.
26. Bundesanstalt Für Arbeitsschutz Und Arbeitsmedizin (BAuA) (2020): Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit. Schätzung der Produktionsausfallkosten: Lohnkosten und Verlust an Arbeitsproduktivität. Dortmund. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitswelt-und-Arbeitsschutz-im-Wandel/Arbeitsweltberichterstattung/Kosten-der-AU/pdf/Kosten-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 10.07.2020.

27. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.) (2020): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2018. Unfallverhütungsbericht Arbeit. 2. Auflage. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Suga-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=8
28. Central Intelligence Agency (Hrsg.): The World Factbook (online) <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2129rank.html>
29. Grobe, T. G; Grobe, Susanne Steinmann, Julia Gerr (2018): Gesundheitsreport 2018. Schriftenreihe zur Gesundheitsanalyse. In: Gesundheitsreport Band 9. Online verfügbar unter <https://www.barmer.de/blob/155284/c2ac6f9716e416c0b0d889a9a91ce9d8/data/dl-gesundheitsreport-bund.pdf>, zuletzt geprüft am 04.07.2020.
30. Haufe Verlag (2020): Kosten für Entgeltfortzahlung so hoch wie nie. In: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG, 17.01.2020. Online verfügbar unter https://www.haufe.de/personal/entgelt/entgeltfortzahlung-in-deutschland-teuer-wie-nie-zuvor_78_508034.html, zuletzt geprüft am 20.07.2020.
31. Institut der Deutschen Wirtschaft Köln (2020): Rund 60 Milliarden Euro für die Entgeltfortzahlung. Online verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/studien/iw-kurzberichte/beitrag/jochen-pimpertz-rund-60-milliarden-euro-fuer-die-entgeltfortzahlung-414901.html>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2020, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
32. ILO (2019): International Labour Office. World Employment and Social Outlook: Trends 2019. Geneva, 2019
33. Kondratjew, N. (1926): Die langen Wellen der Konjunktur, 1926. Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik. deutsche Zeitschrift für Sozialwissenschaften und Sozialpolitik. ISSN (Print) 0174-819X
34. Ryder, Guy (2015): Jährlich 2,3 Millionen Tote durch Arbeitsunfälle weltweit. Zitiert in: Arbeit und Arbeitsrecht. Online verfügbar unter <https://www.arbeit-und-arbeitsrecht.de/schlagzeilen/jaehrlich-23-millionen-tote-durch-arbeitsunfaelle-weltweit/2015/04/28>, zuletzt aktualisiert am 04.07.2020, zuletzt geprüft am 04.07.2020.
35. Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2018): Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung – aktualisierte Variante 2-A (Basis 2015) und Variante 2 (Basis 2013) im Vergleich. Bevölkerung nach Altersgruppen bis 2060, Online verfügbar unter www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausber-echnung/Tabellen/2015_2A_AltersgruppenBis2060_.html, zuletzt geprüft am 04.07.2022.
36. Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2018): Bevölkerung, Erwerbstätige, Erwerbslose, Erwerbspersonen, Nichterwerbspersonen nach Altersgruppen. Mikrozensus Deutschland, (online) <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>, zuletzt geprüft am 04.07.2021.
37. Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2019): Pressemitteilung vom 27. Juni 2019 – 242/19. Bevölkerung im Erwerbsalter sinkt bis 2035 voraussichtlich um 4 bis 6 Millionen. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2019/Bevoelkerung/pm-bevoelkerung.pdf?__blob=publicationFile
38. Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2022): Bevölkerung. Bevölkerungsstand: Amtliche Einwohnerzahl Deutschlands 2021. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html, zuletzt geprüft am 16.08.2022.

39. Statistisches Amt der Europäischen Union (Hrsg.) (2019): Unemployment rates, seasonally adjusted, June 2017 (online) [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Unemployment_rates_seasonally_adjusted_June_2017_\(%25\)_F2.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Unemployment_rates_seasonally_adjusted_June_2017_(%25)_F2.png)

Ausgangslage, Historische Entwicklung und Zukunft der Arbeitswelt

40. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020): Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/eine-strategie-begleitet-uns/die-deutsche-nachhaltigkeitsstrategie>, zuletzt aktualisiert am 04.07.2020, zuletzt geprüft am 04.07.2020.
41. Bundesministerium für Wirtschaft (2020): Industrie 4 – KI und Robotik im Dienste der Menschen. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-ki-und-robotik.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
42. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2020): BMAS - Einheitlicher Arbeitsschutz gegen das Coronavirus. Online verfügbar unter <https://www.bmas.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/einheitlicher-arbeitsschutz-gegen-coronavirus.html>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2020, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
43. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2021.
44. Business Roundtable (2020): Seite „About Us“. Online verfügbar unter <https://www.businessroundtable.org/about-us>, zuletzt aktualisiert am 20.07.2020, zuletzt geprüft am 20.07.2020.
45. Deutsche Welle (2020): George-Floyd-Proteste: "Die Menschen fühlen sich hoffnungslos und hilflos" | DW | 01.06.2020. Deutsche Welle (www.dw.com). Online verfügbar unter <https://www.dw.com/de/george-floyd-proteste-die-menschen-f%C3%BChlen-sich-hoffnungslos-und-hilflos/a-53645282>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2020, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
46. Der Spiegel (2020): Nach Corona-Ausbruch: Tönnies reagiert auf Kritik - und plant 1000 Einstellungen. In: DER SPIEGEL, 20.07.2020. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/nach-corona-ausbruch-toennies-reagiert-auf-kritik-und-plant-1000-einstellungen-a-6932bb54-e6f3-46e5-abd1-6beb1b8ed2a0>, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
47. Deutsches Museum (2020): Deutsches Museum: Dampfmaschine. Online verfügbar unter <https://www.deutsches-museum.de/angebote/jugend-im-museum/erfinderpfad/antriebe/dampfmaschine/>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2020, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
48. DIHK (2023): Deutsche Industrie- und Handelskammer. DIHK-Report Fachkräfte 2022.
49. Engelhardt, Ulrich (1977): "Nur vereinigt sind wir stark". Die Anfänge der deutschen Gewerkschaftsbewegung 1862/63 bis 1869/70. Teilw. zugl.: Heidelberg, Univ., Diss., 1969/70. 1. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta (Industrielle Welt, 23).
50. Franken, S. (2016): Führen in der Arbeitswelt der Zukunft. Instrumente, Techniken und Best-Practice-Beispiele. Wiesbaden: Springer Gabler.
51. Große-Jäger, A. (2020): Sars-Cov-2-Arbeitsschutzstandard. Online verfügbar unter https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Schwerpunkte/sars-cov-2-arbeitsschutzstandard.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 18.08.2020.

52. Hahn, Hans-Werner (2011): Die industrielle Revolution in Deutschland. 3., durchges. und um einen Nachtr. erw. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag (Enzyklopädie deutscher Geschichte, 49). Online verfügbar unter http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783486702491&searchTitles=true.
53. Hahn, Hans-Werner (2011): Die industrielle Revolution in Deutschland. Enzyklopädie deutscher Geschichte. 3. Auflage. Oldenbourg Verlag, 2011, ISBN 978-3-486-70249-1
54. Handelsblatt (2016): Handelsblatt Research Institute. Industrie 4.0 im internationalen Vergleich. Vergleich der Industrie 4.0-Wettbewerbsfähigkeit Chinas, Deutschlands, Japans und der USA. Zugriff am: 13.04.2019.
URL: http://www.huawei-studie.de/downloads/handelsblattsresearchinstitute_Huawei_Studie_Industrie4_0_im_internationalen_Vergleich.pdf
55. Kocka, J.; Schmidt, J. (2015): Arbeiterleben und Arbeiterkultur. Die Entstehung einer sozialen Klasse. Hg. v. Gerhard A. Ritter. Bonn: Verlag J.H.W. Dietz Nachf (Geschichte der Arbeiter und der Arbeiterbewegung in Deutschland seit dem Ende des 18. Jahrhunderts, / hrsg. von Gerhard A. Ritter ; Band 3).
56. Lickefett, M. (2014): Fraunhofer IPA: Keynote Industrie 4.0, Vortrag gehalten auf der AMB-Internationale Ausstellung für Metallbearbeitung, 16.-20.09. 2014, Stuttgart
Zugriff am: 09.02.2019.
URL: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-310680.html>
57. Müller, Klaus E.: Geschichte der antiken Ethnographie und ethnologischen Theoriebildung: von den Anfängen bis auf die byzantinischen Historiographen (Studien zur Kulturkunde, 52).
58. Naisbitt, J. (1982): Megatrends. Ten new directions transforming our lives. 1. printing. New York, NY: Warner Books.
59. Porter, Michael E. (1990): The competitive advantage of nations. New York, N.Y.: Free Pr.
60. Rottwilm, Christoph (2019): Bezos, Cook und Co.: US-Konzernchefs fordern radikales Umdenken in der Wirtschaft. In: manager magazin, 20.08.2019. Online verfügbar unter <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/business-roundtable-us-ceos-bekennen-sich-zu-stakeholder-value-a-1282762.html>, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
61. Spath, Dieter (Hg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. Online verfügbar unter <http://web.archive.org/web/20140729000428/http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>.
62. Specht, Frank (2020): Corona: Wie Unternehmen die Arbeitsschutzstandards umsetzen können. In: Handelsblatt, 16.04.2020. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/interview-wie-unternehmen-die-strengen-covid-19-arbeitsschutzstandards-umsetzen-koennen/25747596.html?ticket=ST-7472400-IGP3qcM7NKyKrijLQlynB-ap4>, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
63. Stolleis, Michael (2003): Geschichte des Sozialrechts in Deutschland. Ein Grundriß. Stuttgart: Lucius & Lucius (UTB für Wissenschaft Rechtswissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, 2426). Online verfügbar unter <http://www.socialnet.de/rezensionen/isbn.php?isbn=978-3-8252-2426-4>.

64. Specht, Frank (2020): Corona: Wie Unternehmen die Arbeitsschutzstandards umsetzen können. In: Handelsblatt, 16.04.2020. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/interview-wie-unternehmen-die-strengen-covid-19-arbeitsschutzstandards-umsetzen-koennen/25747596.html?ticket=ST-7472400-IGP3gcM7NKyKrijLQlynB-ap4>, zuletzt geprüft am 21.07.2020.
65. Zukunftsinstitut (Hrsg.) (2020): Die Megatrend-Map. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/die-megatrend-map/>, zuletzt aktualisiert am 04.07.2020, zuletzt geprüft am 04.07.2020.
66. Zukunftsinstitut (Hrsg.) (2020): Megatrend-Glossar. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/mtglossar/>, zuletzt aktualisiert am 04.07.2020, zuletzt geprüft am 04.07.2020.
67. Zukunftsinstitut (Hrsg.) (2020): Megatrend-Dokumentation. Online verfügbar unter https://onlineshop.zukunftsinstitut.de/shop/megatrend-dokumentation/#mehr_infos, zuletzt aktualisiert am 04.07.2020, zuletzt geprüft am 04.07.2020.

Wissenschaftliche Entwicklungshistorie des BDS-Instruments (*hier zitiert; ergänzend und weiterführend siehe das jeweils aktuelle ASER-Schriftenverzeichnis*)

68. Averkamp, C.; Hettinger T. (1986): Verfahren zur Ableitung von Humanisierungsmaßnahmen auf der Basis arbeitswissenschaftlicher Felduntersuchungen Z. Arb. wiss. 40 (1986), 132
69. Ehrhardt, I.; HJ. Gebhardt, P. Lorenz, B.H. Müller (1997): A New Strategy for Incorporating Health and Safety Relevant Factors into Planning. In: Holzhausen, K.-P. (Ed.): Proceedings of the Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Conference „Advances in Multimedia and Simulation“, Fachhochschule Bochum, November 1997
70. Erper, H.; HJ. Gebhardt (1997): Incorporating Ergonomic Considerations into Models of Manufacturing Systems. In: Holzhausen, K.-P. (Ed.): Proceedings of the Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Conference „Advances in Multimedia and Simulation“, Fachhochschule Bochum, November '97
71. Gebhardt, Hansjürgen (1994): Grundlagen eines rechnergestützten arbeitswissenschaftlichen Prognose- und Informationssystems. Zugl.: Wuppertal, Univ.-Gesamthochsch., Diss., 1994. Als Ms. gedr. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 20, Rechnerunterstützte Verfahren, 134).
72. Gebhardt, HJ. (1997): Beurteilung von Arbeitsbedingungen. In: Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW (Hrsg.): Arbeitsschutz in der Informationsgesellschaft. Dokumentation der Fachtagung vom 21.08.1997, Essen. Satz + Druck GmbH, Düsseldorf, 1997, S. 196-213
73. Gebhardt, HJ., Müller, B.H.; Peters, H. (2003): Instrumente des Arbeits- und Gesundheitsschutzes: Das Belastungs-Dokumentations-System (BDS) und die Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB). In: REFA-Nachrichten 56 (02), S. 8–18.
74. Gebhardt, Hansjürgen; Kampmann, Bernhard; Müller, Bernd Hans (2007): Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen. Forschung Projekt F 1860. Dortmund, Berlin, Dresden: BAuA. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F1860.pdf?__blob=publicationFile&v=10.

75. Hettinger T., Eissing G. (1983): Stress and Strain by wearing protective clothing. In: Proceedings of Int. Conf. on Protective Clothing Systems, FOA Report, Stockholm, 1983.
76. Hettinger, T.; Eissing, G.; Steinhaus, I.; Eickelpasch, D. (1983): "Hitzeschutzkleidung - Schutzwirkung und Belastung". In: Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie 33 (6), S. 186–191.
77. Hettinger, T.; Müller B.H.; Averkamp C., Peters H. (Hrsg.) (1986): Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten, Schriften des IfaA Nr. 62, Köln, 1986
78. Hettinger, T.; Müller B.H. (1986): Belastung und Beanspruchung in der Eisen-und Stahlindustrie-Übertragbarkeit wissenschaftlicher Ergebnis in die Praxis -In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Hrsg.): Dortmunder Humanisierungstage, Tagungsband Tb 42, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1986
79. Hettinger, T. (1986): Medizinische Aspekte der Sicherheitstechnik. In: Peters, O.H., A. Meyna (Hrsg.): Handbuch der Sicherheitstechnik Hanser, München, 1986
80. Hettinger, Theodor; Müller, Bernd H.; Gebhardt, Hansjürgen (1989): Ermittlung des Arbeitsenergieumsatzes bei dynamisch-muskulärer Arbeit. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Forschungsanwendung, 22). Online verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Schriftenreihe/Forschungsanwendung/Fa22.html>.
81. Herper, Henry; Ehrhardt, Inna; Lorenz, Peter; Gebhardt, Hansjürgen; Müller, Bernd Hans; Vornholt, Christoph (1993): Anwendung der Simulationstechnik zur präventiven Bewertung manueller Belastungen im Bereich der Logistik — ein Beitrag zur Entwicklung ganzheitlicher Planungsinstrumente. In: Wolfgang Coy, Peter Gorny, Ilona Kopp und Constantin Skarpelis (Hg.): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor. Forschungsansätze und Anwenderergebnisse aus dem Programm „Arbeit und Technik“, Bd. 40. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag (Berichte des German Chapter of the ACM, 40), S. 379–394.
82. Hollmann, Wildor; Hettinger, Theodor; Strüder, Heiko K. (2000): Sportmedizin. Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin ; mit 101 Tabellen. 4., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Schattauer.
83. Klußmann, A., Mühlemeyer, C., Lang, K.-H., Dolfen, P., Wendt, K.-D., Gebhardt, H., Neumann, B., Schäfer, A. (2013): Praxisbewährte Methoden zur Bewertung und Gestaltung physischer Arbeitsbelastungen. Leistung und Lohn – Zeitschrift für Arbeitswirtschaft, Nr. 541-545, BDA – Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (Hrsg.), Berlin, Heider-Verlag, Bergisch Gladbach
84. Klusmann, A.; C. Mühlemeyer, P. Serafin, HJ. Gebhardt, K.H. Lang (2017): Modell zur Bewertung der Körperhaltungs- und Körperbewegungsverteilung über die Arbeitsschicht. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 63 Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft“, FHNW Brugg-Windisch, Schweiz, Brugg-Windisch, 15.-17. Februar 2017, E-Book, Beitrag A.7.3, GfA-Press, Dortmund, 2017

85. Klusmann, A.; C. Mühlemeyer, K.-D. Wendt, P. Dolfen (2014): Strukturen und Netzwerke zur systematischen Arbeitsgestaltung –Erfahrungen und Empfehlungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft“, Technische Universität München und Hochschule München, München, 12.03.2014-14.03.2014, GfA-Press, Dortmund, 2014, ISBN 978-3-936804-17-1, S. 442-444
86. Lang, K.H.; Gebhardt, H.; Klusmann, A. (2021): Menschengerechte Gestaltung der Arbeit in Branchen mit prekären Arbeits- und Wettbewerbsbedingungen. In: sicher ist sicher –Arbeitsschutz aktuell, 75 (2021), Ausgabe 04/2021, ISSN 2199-7330, Hrsg.: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin, 2021, S. 179-187
87. Lorenz; P., Bernd Müller, Rita Freudenberg, Hansjürgen Gebhardt, Henry Herper, Helmut Peters, Andreas Saßmannshausen (2000): Methodenentwicklung zur präventiven Abschätzung der Belastungssituation und des Gefahrenpotentials bei geänderten Arbeitsstrukturen unter Zuhilfenahme der Simulationstechnik. Magdeburg.
88. Mühlemeyer, C.; P. Serafin, A. Klusmann, HJ. Gebhardt, K.-H. Lang (2019): Analyse, Bewertung und Gestaltung von Cobot-Arbeitssystemen mit dem ganzheitlichen Instrument des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS) In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Arbeit interdisziplinär analysieren –bewerten –gestalten“, Institut für Technische Logistik und Arbeits-systeme der Technischen Universität Dresden & Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Dresden, 27. Februar –1. März 2019, E-Book, Beitrag A.9.12, GfA-Press, Dortmund, 2019, ISBN 978-3-936804-25-6
89. Müller, B.H., Hettinger, Th. (1981): Interpretations- und Bewertungsverfahren arbeitswissenschaftlich-ergonomischer Felddaten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 35 (1981), S. 82-86
90. Müller, B.H. (1982): Synthetic Stress Profiles. In: Proceedings of the 8th Congress of the International Ergonomics Association. Tokyo, 1982
91. Müller, B.H.; R. Tielsch (1986): Grundlagen arbeitswissenschaftlicher Felduntersuchungen und Bewertung von Informationen aus arbeitsplatzanalytischen Erhebungen. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten, Schriften des IfaA Nr. 62, Köln, 1986, 11
92. Müller et al (1990): Übersichtstabellen zur Belastungssituation am Arbeitsplatz: Grundlagen und Methoden Bundesanstalt für Arbeitsschutz Dortmund: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz / Forschungsanwendung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Dortmund.) Band 1. Verlag Wirtschaftsverl. NW, Verlag für Neue Wiss., 1990
93. Müller, B.H. (1991): Vorgangsbezogene Analyse und Bewertung von Arbeitssituationen. In: Z.Arb.Wiss. 45 (1991), 129
94. Müller, B.H.; HJ. Gebhardt, T. Korzec, TH. Hettinger (1992): PROGNOSE - Entwicklung eines Verfahrens zur Prognose der Auswirkungen kombinierter physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Forschungsbericht EGKS, Wuppertal, 1992

95. Müller, B.H.; HJ. Gebhardt, T. Korzec (1992): Rechnergestützte Simulation physischer Belastung und Beanspruchung auf der Basis Typischer Arbeitsvorgänge als Hilfsmittel zur Vermeidung von Gesundheitsrisiken. In: Moncelon, B. (Hrsg.): Beherrschung der Risiken am Arbeitsplatz: Forschung für die Entwicklung neuer Präventionsstrategien. Internationales Kolloquium der IVSS-Sektion Forschung vom 22. bis 23.10.1992 in Straßburg, Presses Universitaires de Nancy, 1993, 540
96. Peters, H.; B.H. Müller, TH. Hettinger (1981): Erfassung von Belastung und Beanspruchung an Hitze-arbeitsplätzen der Eisen-und Stahlindustrie. Zbl. Arbeitsmed. 31 (1981), 356
97. Peters, H. (1986): Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen BAB. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten, Schriften des IfaA Nr. 62, Köln, 1986, 64.
98. Peters, Helmut (1986): Untersuchung zur Auswirkung der kombinierten Belastung aus dynamischer Muskelarbeit und Hitze-klima auf die Beanspruchungsreaktion. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte / VDI 17, Biotechnik, 31). Online verfügbar unter <https://katalog.slub-dresden.de/id/0-161638589/>.
99. Peters, H. (1982): Results of Field Studies Concerning Stress and Strain at Different Blast Furnaces In: Proceedings of the 8th Congress of the International Ergonomics Association. Tokyo, 1982
100. Peters, H. (1986): Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen BAB. In: Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten. Schriften des IfaA (Hrsg.), Nr. 62, Köln, 1986, S. 64-78
101. Peters, H. (1986): Untersuchung zur Auswirkung der kombinierten Wirkung aus dynamischer Muskelarbeit und Hitze-klima auf die Beanspruchungsreaktion Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 17, Nr. 31, VDI, Düsseldorf, 1986
102. Schmitz, K.; TH. Hettinger (1986): Medizin in der Arbeitswissenschaft -Aufgaben, Methoden und Ergebnisse. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten, Schriften des IfaA Nr. 62, Köln, 1986, 28
103. Schneider, B.j.; Waliner, M. (1976): Aufgaben und Arbeitsweise der Fachkräfte für Arbeitssicherheit. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. (Hrsg.): Ausbildung Sicherheitsfachkräfte, Grundlehrgang A. Köln 1976
104. Tielsch, R., B. H. Müller, M. Deilmann (1997). Präventiver Arbeits- und Gesundheitsschutz in Klein- und Mittelbetrieben. Duisburg: WAZ-Druck

Fachliteratur und Fachverfahren

105. Aslam, Sadaf; Emmanuel, Patricia (2010): Formulating a researchable question: A critical step for facilitating good clinical research. In: Indian journal of sexually transmitted diseases and AIDS 31 (1), S. 47–50. DOI: 10.4103/0253-7184.69003.
106. AXELOS Limited (2014): Erfolgreiche Projekte managen mit PRINCE2. Dritte Auflage. London: TSO.
107. Bahnmüller, Reinhard; Hoppe, Markus; Mugler, Walter; Salm, Rainer; Schwarz-Kocher, Martin (2017): Entgeltrahmenabkommen in der Metall- und Elektroindustrie. Langzeiteffekte in Baden-Württemberg. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung (Study / Hans-Böckler-Stiftung, 372). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/173270>.

108. Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P. Scholtz, O. (2016): Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach einfach anfangen. Fraunhofer IAO. 2016
109. Bernard, B. P. (1997): Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back, Cincinnati, Ohio, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH.
110. Berufsgenossenschaft Holz und Metall (Hrsg.) (2017): Nr. 0059Stand 11/2017. Fach-Information BGHM FAQ-Liste1 (in Anlehnung an FAQ Liste aus dem FB HL) zum Thema: Einsatz von Exoskeletten an (gewerblichen) Arbeitsplätzen
111. Berufsgenossenschaft Holz und Metall (Jahr): Einsatz von Datenbrillen im Betrieb – Chancen und Herausforderungen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten Autoren: Burkhard Größ und Marc Rockhoff, BGHM
112. Bieske et al., 2011: Projekt „Licht und Gesundheit“ - Feldstudie in Industriebetrieben. Dr.-Ing. Karin Bieske Dr.-Ing. Cornelia Vandahl Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz. Ilmenau, Oktober 2011
113. Borg, G. (1998): Borg's Perceived exertion and pain scales, Champaign, IL, Human Kinetics
114. Bös K, Mechling H (1983): Dimensionen sportmotorischer Leistungen. Hofmann, Schorndorf
115. Büchner, Wolfgang; Büchner-Notthoff-Rentel-Thier (Hrsg.) (2007): Gefährdungsbeurteilung - Prüfung der Arbeitsmittel. Praxishilfe. Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft. 2., überarb. Aufl., Ausg. Juli 2007, aktualisierte Fassung. Bochum: Verl. Technik & Information.
116. Buckle, Peter W.; Jason Devereux, J. (2002): The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. In: Applied Ergonomics 33 (3), S. 207–217. DOI: 10.1016/S0003-6870(02)00014-5.
117. Bullinger, Hans-Jörg (1994): Arbeitsphysiologie. In: Hans-Jörg Bullinger (Hrsg.): Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Wiesbaden, s.l.: Vieweg + Teubner Verlag (Technologiemanagement - Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung), S. 29–75.
118. Bullinger, Hans-Jörg (1994): Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Wiesbaden, s.l.: Vieweg + Teubner Verlag (Technologiemanagement - Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung).
119. Bullinger, Hans-Jörg (Hg.) (1994): Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Wiesbaden, s.l.: Vieweg + Teubner Verlag (Technologiemanagement - Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung)
120. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.) (2019): Gefährdungsfaktoren: Ein Ratgeber; Dortmund. Verfügbar unter: www.baua.de/gefaehrungsfaktoren
121. Bundesanstalt Für Arbeitsschutz Und Arbeitsmedizin (BAuA) (2019): MEGAPHYS - Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Band 1. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2019. Seiten 986, Projektnummer: F 2333. Online verfügbar unter [https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2333.pdf? blob=publicationFile &v=11](https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2333.pdf?blob=publicationFile&v=11)

122. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2020): Technischer Arbeitsschutz (inkl. Technische Regeln) - AMR Nr. 13.2 Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System. Online verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/AMR-13-2.html>, zuletzt aktualisiert am 07.07.2020, zuletzt geprüft am 07.07.2020.
123. Bundesanstalt Für Arbeitsschutz Und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hg.) (2020): Gefährdungsfaktoren. Handbuch - Gefährdungsfaktoren. Online verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefaehrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Expertenwissen.html?view=pdfViewExt>
124. Bundeministerium für Bildung und Forschung (2019). Zugriff am: 07.04.2019. Verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>
125. Bundesverband der Unfallkassen (2005): Psychische Belastungen am Arbeits- und Ausbildungsplatz - ein Handbuch. Phänomene, Ursachen, Prävention. Ausg. April 2005. München (GUV-Informationen, GUV-I 8628). Online verfügbar unter http://www.drk-clausthal.de/bereitschaft/pdf/psychische_belastung_am_arbeits-und_ausbildungsplatz.pdf.
126. Bruns, D. (2016): Die Entstehung von Markenliebe: Eine qualitative und quantitative Studienreihe zur Analyse des Entstehungsprozesses von Markenliebesbeziehungen. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Springer Verlag
127. Caffier, G., Liebers, F. & Steinberg, U. (1999): Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW.
128. Coy, Wolfgang; Gorny, Peter; Kopp, Ilona; Skarpelis, Constantin (Hrsg.) (1993): Menschengerechte Software als Wettbewerbsfaktor. Forschungsansätze und Anwenderergebnisse aus dem Programm „Arbeit und Technik“. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag (Berichte des German Chapter of the ACM, 40).
129. Cummings SR, Browner WS, Hulley SB (2013): Conceiving the research question and developing the study plan. In: Designing Clinical Research. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
130. Debrunner, Alfred M.; Müller, Maurice E. (1994): Orthopädie. Orthopädische Chirurgie ; die Störungen des Bewegungsapparates in Klinik und Praxis. 3., vollst. überarb. Aufl. Bern: Huber.
131. Durbin, Charles G. (2004): How to come up with a good research question: framing the hypothesis. In: Respiratory care 49 (10), S. 1195–1198.
132. Efker, Michael (2001): Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb. Handbuch für Arbeitsschutzfachleute. 3., aktualis. Aufl. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Sonderschrift, 42).
133. Elke, Gabriele (2001): Sicherheits- und Gesundheitskultur I Handlungs- und Wertorientierungen im betrieblichen Alltag. In: Bernhard Zimolong (Hrsg.): Management des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Die erfolgreichen Strategien der Unternehmen. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag, S. 171–200.
134. Ellegast, Rolf P. (2010): Quantifizierung physischer Belastungen am Arbeitsplatz. In: Zbl Arbeitsmed 60 (11), S. 386–389. DOI: 10.1007/BF03344322.
135. Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Ergänzende Begriffe und Erläuterungen zu DIN EN ISO 10075-1:2000-11. Berlin: Beuth, 2014.

136. Fandino, Wilson (2019): Formulating a good research question: Pearls and pitfalls. In: Indian journal of anaesthesia 63 (8), S. 611–616. DOI: 10.4103/ija.ija_198_19.
137. Farrugia, Patricia; Petrisor, Bradley A.; Farrokhyar, Forough; Bhandari, Mohit (2010): Practical tips for surgical research: Research questions, hypotheses and objectives. In: Canadian Journal of Surgery 53 (4), S. 278–281.
138. Fehlaue, R. (1962): Die Sicherheitseinstellung des arbeitenden Menschen. Moderne Unfallverhütung, Band 6, 1962, S. 13–16
139. Feller, Nico (2021): Konzept zur alters- und belastungsorientierten Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen in der industriellen Fertigung. Als Manuskript gedruckt. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH (Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 1, Konstruktionstechnik/ Maschinenelemente, Nr. 451).
140. Felsman, H.; Gebhardt R.; Gritzki, B.; Hensel, K.; Kabitzsch, M.; Keuchel, W.; Kozak, M.; Rösler (2009): Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Druckschädigung des Nervus medianus im Carpaltunnel (Carpaltunnel-Syndrom) durch repetitive manuelle Tätigkeiten mit Beugung und Streckung der Handgelenke, durch erhöhten Kraftaufwand der Hände oder durch Hand-Arm-Schwingungen“ (Bek. des BMAS vom 1.5.2009 – IVa4-45226-2 GMBI. 30.6.2009, 573-581).
141. Folz, M. (2009): Erstellung des Modells eines anforderungsgerechten Datenbanksystems für Arbeitssicherheits-, Gesundheits- und Umweltschutzmanagement in Projekten eines international tätigen Industriedienstleistungsunternehmens. Diplomarbeit. Bergische Universität Wuppertal. Fachgebiet Sicherheits- und Qualitätsrecht. März 2009
142. Geschäftsstelle der Nationalen Arbeitsschutzkonferenz (NAK) (2017): Leitlinie Gefährdungsbeurteilung und Dokumentation. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Berlin. Online verfügbar unter https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/Leitlinie-Gefaehrungsbeurteilung.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
143. Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (2014): Empfehlungen der GDA-Träger zur Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung. Herausgeber: Leitung des GDA-Arbeitsprogramms Psyche. Stand: 27. Juni 2014.
144. Gebhardt, HJ.; B. Kampmann, B.H. Müller, K. Bux (2007): Handlungshilfe zur Gestaltung von Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen. Technische Überwachung (TÜ), 48 (2007) Nr. 1/2 –Jan./Febr. 2007, VdTÜV e.V., Berlin (Hrsg.): Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, 2007, S. 47-50
145. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft; Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft; Arbeitswissenschaftlicher Kongress; Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft; GfA Frühjahrskongress (2017): Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels - kreativ, innovativ, sinnhaft. 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft : FHNW Brugg-Windisch, Schweiz, 15.-17. Februar 2017. Dortmund: GfA-Press.
146. Götte, Nicolai; Wall, Rudolf; Seibt, Robert; Rieger, Monika A.; Steinhilber, Benjamin Vortrag 10: Beschwerdeentwicklung bei langem Stehen – Analyse von Haltungskenngrößen im Bereich der Lendenwirbelsäule sowie der Muskelaktivität der unteren Rücken- und Beckenmuskulatur. Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen
147. Grandjean, Etienne (1979): Fatigue in industry. In: British journal of industrial medicine 36 (3), S. 175–186. DOI: 10.1136/oem.36.3.175.

148. Grandjean, Etienne (1991): Physiologische Arbeitsgestaltung. Leitfaden der Ergonomie. 4., überarb. und erg. Aufl. Thun: Ott.
149. Grifka J., Linhardt O., Liebers F. (2005): Mehrstufendiagnostik von Muskel-Skelett-Erkrankungen in der arbeitsmedizinischen Praxis. Sonderschrift S62. 2. Aufl.: Schriftenreihe Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
150. Gruber, Harald; Kittelmann, Marlies; Barth, Christof (2018): Leitfaden für die Gefährdungsbeurteilung. 16. aktualisierte Auflage: Juni 2018, revidierte Ausgabe. Bochum: DC Verlag.
151. Hackenbroch, Matthias H. (2002): Arthrosen. Basiswissen zu Klinik, Diagnostik und Therapie ; 44 Tabellen. Stuttgart: Thieme.
152. Hacker, Winfried (1978): Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten. 2., überarb. Aufl. Bern: Huber (Schriften zur Arbeitspsychologie, 20).
153. Hacker, Winfried; Richter, Peter (1984): Psychische Fehlbeanspruchung. Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Streß. Zweite, veränderte und ergänzte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (Spezielle Arbeits- und Ingenieurpsychologie in Einzeldarstellungen, 2).
154. Hartmann, Bernd; Spallek, Michael; Ellegast, Rolf (2013): Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen. Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation. s.l.: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1458322>.
155. Hartmann, B.; P. Serafin, A. Klußmann, HJ. Gebhardt, M. Schust (2019): Konzeptentwurf Mischbelastung 2018 für die Ebene Spezielles Screening In: MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz (Band 1), BAuA-Forschungsbericht, Projektnummer: F 2333, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), Dortmund/Berlin/Dresden, 986 Seiten, Papier, PDF-Datei, DOI: 10.21934/baua:bericht20190821, 1. Auflage, Dortmund, 2019, S. 739-753
156. Hartmann, Bernd; Seibt, Reingard (2020): Arbeitsphysiologische Aspekte der physischen Leistungsfähigkeit. In: Zbl Arbeitsmed 70 (1), S. 18–26. DOI: 10.1007/s40664-019-00363-9.
157. Hill, T. and Westbrook, R., "SWOT analysis: it's time for a product recall", Long Range Planning, February 1997
158. Hoehne-Hückstädt, Ulrike (2007): Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität und berufliche Tätigkeit. Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten. 1. Aufl. Hannover, Sankt Augustin: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; HVBG (BGIA-Report, 2007,2). Online verfügbar unter http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/rep/pdf/rep07/biar0207/rep2_07.pdf.
159. IFA (2019): Muster-Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette (Dokumentation gemäß § 6 Arbeitsschutzgesetz und § 14 Mutterschutzgesetz). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Version 1.1 (Stand 05/2019)
160. Industriegewerkschaft Metall Baden-Württemberg (Hrsg.) (2004): ERA-Wissen Handbuch I. Arbeitsbewertung und Arbeitsbelastung. Stuttgart/Lohr.
161. Industriegewerkschaft Metall Baden-Württemberg (Hrsg.) (2006): ERA-Wissen Handbuch II. Arbeitsbewertung und Arbeitsbelastung. Stuttgart/Lohr.

162. Imai, Masaaki (1998): Kaizen. Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb; mit zahlreichen Graphiken. Ungekürzte Ausg., 8. Aufl. Berlin: Ullstein (Ullstein-Bücher Management, 35332).
163. Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft (2015): Leistungsfähigkeit im Betrieb. Kompendium für den Betriebspraktiker zur Bewältigung des demografischen Wandels. Berlin: Springer Vieweg (ifaa-Edition). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=2096102>.
164. Jäger, M. (Hrsg.) (2014): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft. TU und Hochschule München, 12. - 14. März 2014. Als Ms. gedr. Dortmund: GfA-Press (Jahresdokumentation / Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., 2014).
165. Jäger, M. (1987): Biomechanisches Modell des Menschen zur Analyse und Beurteilung der Belastung der Wirbelsäule bei der Handhabung von Lasten. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 17, Nr. 33. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987.
166. Jäger, M.; Geiß, O.; Bergmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Ditchen, D., Ellegast, R.; Elsner, G.; Grifka, J.; Haerting, J.; Hofmann, F.; Linhardt, O.; Michaelis, M.; Petereit-Haack, G.; Seidler, A.; Luttmann, A.: Biomechanische Analysen zur Belastung der Lendenwirbelsäule innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie, S. 264–276
167. Jäger, M.; Jordan, C.; Voß, J.; Bergmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Ditchen, D.; Ellegast, R.; Haerting, J.; Haufe, E.; Kuß, O.; Morfeld, P.; Schäfer, K.; Seidler, A.; Luttmann, A.: Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Hintergrund und Vorgehensweise der DWS-Richtwertestudie (PDF, 1,3 MB). Nr. 3, S. 151-168
168. Jäger, Michael; Wirth, Carl-Joachim; Bauer, Rudolf (Hg.) (1986): Praxis der Orthopädie. Stuttgart: Thieme.
169. Jan de Kok, Paul Vroonhof, Jacqueline Snijders, Georgios Roullis, Martin Clarke (Panteia), Kees Peereboom, Pim van Dorst (vhp human performance), Iñigo Isusi (IKEI) (2019): Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU - Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit – EU-OSHA. European Agency for Safety and Health at Work. Online verfügbar unter <https://osha.europa.eu/de/publications/msds-facts-and-figures-overview-prevalence-costs-and-demographics-msds-europe/view> , zuletzt aktualisiert am 04.07.2020, zuletzt geprüft am 04.07.2020.
170. Johannsen, Gunnar (1993): Mensch-Maschine-Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).
171. Jürgens, Wilhelm-Wilfried (Hrsg.) (2001): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik. 4., überarb. Aufl. Potsdam: LASI (LASI-Veröffentlichungen, 9).
172. Kagermann, H., W. Wahlster und J. Helbig (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktions-standort sichern (Online) Zugriff am: 27. Dezember 2018. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf
173. Kahl, Anke; Bier, Marina (2019): Arbeitssicherheit. Fachliche Grundlagen.
174. Karhu, Osmo; Kansil, Pekka; Kuorinka, Ilkka (1977): Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. In: Applied Ergonomics 8 (4), S. 199–201. DOI: 10.1016/0003-6870(77)90164-8.
175. Kiel, Heinrich; Lunk, Stefan; Oetker, Hartmut (Hg.) (2018): Münchener Handbuch zum Arbeitsrecht. 4. Auflage. München: C.H. Beck.

176. Kirchner, Johannes Henrich (1972): Arbeitswissenschaftlicher Beitrag zur Automatisierung. Analyse u. Synthese v. Arbeitssystemen. Berlin West, Köln, Frankfurt/M.: Beuth-Vertrieb (Schriftenreihe "Arbeitswissenschaft u. Praxis", Bd. 23).
177. Kirchner, Johannes-Henrich; Baum, Eckart (1990): Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsgestalter. Neuaufl. München: Hanser (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
178. Klostermann, Tim (2011): Entwicklung und Erprobung des Hygrometer for Atmospheric Investigations. Jülich: Forschungszentrum, Zentralbibliothek (Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Energie & Umwelt, Bd. 113).
179. Klusmann, A.; Gebhardt, Hj.; Liebers, F.; Rieger, M. A. (2008): Musculoskeletal symptoms of the upper extremities and the neck: a cross-sectional study on prevalence and symptom-predicting factors at visual display terminal (VDT) workstations. In: BMC musculoskeletal disorders 9, S. 96. DOI: 10.1186/1471-2474-9-96.
180. Klußmann, A.; Gebhardt Hj.; Nübling, M.; Liebers F.; Bouillon B.; Rieger M.A. (2009a): Einfluss individueller und beruflicher Faktoren auf die Entstehung von Kniegelenksarthrose - Zielsetzung und Methodik der ArGon-Studie. In: Tagungsband Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM) 49. Wissenschaftliche Jahrestagung 11.-14. März 2009 in Aachen / Th. Kraus, M. Gube, R. Kohl (Hrsg.) 2009. Seiten 735-737
181. Klußmann, A. (2009b): Ermittlung und Bewertung von Ansatzpunkten zur Prävention von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben. Wuppertal: Institut ASER. Schriftenreihe des Instituts für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Forschungsbericht-Nr. 20.
182. Klußmann, A. (Hrsg.) (2010): Fall-Kontroll-Studie zur Bewertung von beruflichen Faktoren im Zusammenhang mit Gonarthrosen. Die ArGon-Studie ; Forschung Projekt F 2096. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund: BAuA.
183. Klußmann, A., Steinberg, U., Liebers, F., Gebhardt, H., Rieger, M.A. (2010): The Key Indicator Method for Manual Handling Operations (KIM-MHO) – Evaluation of a new method for the assessment of working conditions within a cross-sectional study. BMC Musculoskeletal Disorders 2010. 11:272. 25. November 2010. doi: 10.1186/1471-2474-11-272, ISSN 1471-2474
184. Klußmann, A.; M. Keuchel; K.-D. Wendt; P. Dolfen; C. Mühlemeyer (2015): Zum Einfluss der Rollenauswahl an Transportmitteln auf die aufzubringende Krafthöhe beim manuellen Ziehen und Schieben. In: „Versorgung und Vorsorge an der Schnittstelle zwischen kurativer und präventiver Medizin“ und „Herausforderung psychische Gesundheit am Arbeitsplatz“, Abstracts der 55. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), 18.-20. März 2015, München, Genter Verlag, Stuttgart, 2015, S. 89-90
185. Klusmann, A.; Liebers, F.; Gebhardt, Hj.; Rieger, M. A.; Latza, U.; Steinberg, U. (2017): Risk assessment of manual handling operations at work with the key indicator method (KIM-MHO) - determination of criterion validity regarding the prevalence of musculoskeletal symptoms and clinical conditions within a cross-sectional study. In: BMC musculoskeletal disorders 18 (1), S. 184. DOI: 10.1186/s12891-017-1542-0.

186. Klußmann, A.; F. Liebers, M. Schust, F. Brandstädt, B. Hartmann, P. Serafin, A. (2020): Schäfer, HJ. Gebhardt Hintergründe und Konzept zur Entwicklung und Validierung der neuen Leitmerkmalmethoden. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Digitaler Wandel, Digitale Arbeit, Digitaler Mensch?“, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft der Technische Universität Berlin & Institut für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 16.-19. März 2020, E-Book, Beitrag C.5.1, GfA-Press, Dortmund, 2020, ISBN 978-3-936804-27-0
187. Kluth, Karsten; Penzkofer, Mario (Hrsg.) (2016): Sonderband zum 20. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler. 11. - 13. November 2016 (Freiburg im Breisgau). Siegen: Universität Siegen, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät.
188. Koether, Reinhard; Kurz, Bernhard; Seidel, Uwe A. (2010): Betriebsstättenplanung und Ergonomie. Planung von Arbeitssystemen. 1. Aufl. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/isbn/9783446210745>.
189. Kristensen, Tage S.; Hannerz, Harald; Høgh, Annie; Borg, Vilhelm (2005): The Copenhagen Psychosocial Questionnaire--a tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment. In: Scand J Work Environ Health 31 (6), S. 438–449. DOI: 10.5271/sjweh.948.
190. Kuder, G. F.; Richardson, M. W. (1937): The theory of the estimation of test reliability. In: Psychometrika 2 (3), S. 151–160. DOI: 10.1007/BF02288391.
191. Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sorensen F, Andersson G, Jorgen-sen K. (1987): Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symp-toms. Appl Ergon 18(3):233 - 237.
192. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg.) (2001): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten. LASI-Veröffentlichung LV 9, 2001.
193. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg.) (2013): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei manuellen Arbeitsprozessen. LASI-Veröffentlichung LV 57, 2013.
194. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg.) (2002): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten (2002). Saarbrücken: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI-Veröffentlichungen, 29)
195. Landau, Kurt (Hg.) (2004): Das „Automotive Assembly Worksheet“ (AAWS). S. 91-111. Stuttgart: ergonomia (Montageprozesse gestalten: Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation). Online verfügbar unter <http://tubiblio.ulb.tu-darmstadt.de/45914/> .
196. Langhoff, Thomas (2009): Den demographischen Wandel im Unternehmen erfolgreich gestalten. Eine Zwischenbilanz aus arbeitswissenschaftlicher Sicht. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer Link Bücher). Online verfügbar unter <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz311208657cov.htm>.
197. Latniak, Patrick (2019): Industrie 4.0 – Herausforderungen für den Arbeits- und Gesundheitsschutz am Beispiel kollaborierender Arbeitsmittel und Arbeitszeitregelungen in der Automobilindustrie. Masterarbeit. Technische Hochschule Georg Agricola. Fachbereich Elektrotechnik und Informatik. Betriebssicherheitsmanagement. 2019.

198. Latniak, Erich; Tisch, Anita; Kauffeld, Simone (2023): Zur Aktualität soziotechnischer Arbeits- und Systemgestaltungsansätze in Zeiten von Digitalisierung und KI. In: Gr Interakt Org 54 (1), S. 1–8.
DOI: 10.1007/s11612-023-00673-w.
199. Laurig, Wolfgang (1990): Grundzüge der Ergonomie. Erkenntnisse und Prinzipien. 3., vollst. überarb. Aufl. Berlin: Beuth (REFA Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
200. Lehmann, Gunther (1954): Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme.
201. Lehmann, Gunther (1962): Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme (2. überarb. u. erw. Auflage).
202. Levchuk, I.; P. Serafin, C. Mühlemeyer, A. Klussmann (2011): Verteilung von Handkräften und Handmaßen in einer Bevölkerungsstichprobe –eine generationenübergreifende Datenbank für die Entwicklung von ergonomischen Produkten. In: Forum Arbeitsphysiologie –15. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeits-wissenschaft für Nachwuchswissenschaftler, 11.-13. November 2011 in Dresden, Abstractband der Technischen Universität Dresden (Hrsg.), ISBN 978-3-86780-247-5, Dresden, 2011, S. 10
203. Levchuk, Inna (2017): Optimierung der Gebrauchstauglichkeit von CNC-Maschinensteuerständen als Beitrag zur menschengerechten Arbeitsgestaltung. Wuppertal: Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER). Schriftenreihe des Instituts für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Nr. 36.
204. Liebers, F., Brendler, C. & Latza, U. (2016): Berufsspezifisches Risiko für das Auftreten von Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen und Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems, Dortmund, Berlin, Dresden, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).
205. Liebers, F.; M. Schust, B. Hartmann, P. Serafin, A. Schäfer, HJ. Gebhardt, F. Brandstädt, A. Klußmann (2020): Die neue Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (LMM-MA): Darstellung der Methode und Ergebnisse der Methodentestung In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Digitaler Wandel, Digitale Arbeit, Digitaler Mensch?“, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft der Technische Universität Berlin & Institut für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 16.-19. März 2020, E-Book, Beitrag C.5.2, GfA-Press, Dortmund, 2020, ISBN 978-3-936804-27-0
206. Liebers, F.; Schust, M. (2021): Handbuch Gefährdungsbeurteilung - Teil 2 Gefährdungen durch physische Belastung. In: Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer. Handbuch Gefährdungsbeurteilung. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).
207. Lienert, Gustav A.; Raatz, Ulrich (1998): Testaufbau und Testanalyse. 6. Auflage. Weinheim: Beltz (Grundlagen Psychologie). Online verfügbar unter http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783621278454 .
208. Lühr, Reiner W. (1976): Ergonomie. Kurz und bündig ; Grundlagen der Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Umwelt. Würzburg: Vogel (Kamprath-Reihe kurz und bündig Technik).
209. Luczak, Holger (1998): Arbeitswissenschaft. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.

210. Ludolph, Elmar; Meyer-Clement, Michael (2019): Begutachtung chirurgisch-orthopädischer Berufskrankheiten durch mechanische Einwirkungen. Schadensbilder, Differenzialdiagnosen, Rechtsprechung, Merkblätter, Wissenschaftliche Stellungnahmen und Empfehlungen. 1. Auflage. Landsberg: ecomed Medizin.
211. Lynn McAtamney; E Nigel Corlett (1993): RULA: a survey method for the investigation of world-related upper limb disorders. In: Applied Ergonomics (24(2)), S. 91–99.
212. Madeo, K. (2014): Evaluierung der Reliabilität unterschiedlicher Messverfahren zur Bestimmung des Fingerlängenverhältnisses (2D:4D): Eine Metaanalyse. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades einer Magistra der Naturwissenschaften der Studienrichtung Psychologie an der Karl-Franzens-Universität Graz
213. Michiel De Keyzer: Slide 1. Online verfügbar unter https://www.europeandataportal.eu/sites/default/files/d2.1.2_training_module_2.2_open_data_quality_de_edp.pdf, zuletzt geprüft am 07.07.2020.
214. Mohrlong, M. (2012): Ergonomie bei BMW, Vortrag, 2012, verfügbar unter: http://www.teamwork-arbeitsplatzgestaltung.de/download/vortraege2012/Michael_Mohrlang_-_Ergonomie_bei_BMW.pdf (31.3.2014)
215. Moore, J. S. (1992): Carpal tunnel syndrome. In: Occupational medicine (Philadelphia, Pa.) 7 (4), S. 741–763.
216. Mühlemeyer, C.; M. Keuchel, K.-H. Lang, A. Klußmann (2014): Verbesserung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten. In: Forum Arbeitsphysiologie –18. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler, I. Böckelmann, A. Lorenz, S. Sammito & S. Darius (Hrsg.), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Eigenverlag, Magdeburg, 2014, ISBN 978-3-00-046650-2, S. 24
217. Mühlemeyer, C.; M. Keuchel, K.-H. Lang, A. Klußmann (2015): Verbesserung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten. In: „Versorgung und Vorsorge an der Schnittstelle zwischen kurativer und präventiver Medizin“ und „Herausforderung psychische Gesundheit am Arbeitsplatz“, Abstracts der 55. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), 18.-20. März 2015, München, Genter Verlag, Stuttgart, 2015, S. 145
218. Mühlemeyer, C. (2016): Entwicklung eines erweiterten Verfahrens zur Beurteilung psychischer Arbeitsbelastungen. Technische Fachhochschule Georg Agricola. Masterthesis.
219. Müller, Bernd H. (1992): Ergonomie - Bestandteil der Sicherheitswissenschaft. Der Beitrag der Ergonomie zur Arbeitssicherheit. 2. Aufl. Berlin: Beuth.
220. Müller, Bernd H. (1997): Ergonomie. Bestandteil der Sicherheitswissenschaft. 3., überarb. Aufl. Berlin: Beuth (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
221. Müller, Bernd H.; Peters, Helmut; Hettinger, Theodor (1990): Grundlagen und Methoden. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. (Übersichtstabellen zur Belastungssituation am Arbeitsplatz, H. Peters : Th. Hettinger ; 1).
222. Neudörfer, Alfred (1997): Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte. Methoden und systematische Lösungssammlungen. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.

223. Nohl, Jörg (1989): Verfahren zur Sicherheitsanalyse. Eine prospektive Methode zur Analyse und Bewertung von Gefährdungen. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag.
224. Nohl, Jörg; Thiemecke, Hartmut (1988): Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 536).
225. Nübling, M., Stößel, U., Hasselhorn, H.-M., Michaelis, M. & Hofmann, F. 2005. Methoden zur Erfassung psychischer Belastungen - Erprobung eines Messinstrumentes (COPSOQ), Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW.
226. Occhipinti, E. (1998): OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. In: Ergonomics 41 (9), S. 1290–1311. DOI: 10.1080/001401398186315.
227. Oliver, Schulz: Folie 1. Online verfügbar unter <https://www.teamwork-arbeitsplatzgestaltung.de/assets/Uploads/Michael-Mohrlang-Ergonomie-bei-BMW.pdf> , zuletzt geprüft am 27.07.2020.
228. Palmer, Keith T.; Harris, E. Clare; Coggon, David (2007): Carpal tunnel syndrome and its relation to occupation: a systematic literature review. In: Occupational medicine (Oxford, England) 57 (1), S. 57–66. DOI: 10.1093/occmed/kql125.
229. Pieper, R.; B.-J. Vorath (Hg.) (2005): Handbuch Arbeitsschutz. Sicherheit und Gesundheitsschutz im Betrieb. Unter Mitarbeit von Werner Hamacher, Karl-Heinz Lang, Thomas Langhoff, Martin Schmauder, Lutz Wienhold. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Frankfurt am Main: Bund-Verl.
230. Pieper, R.; K.-H. Lang (2018): Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2016 - 2017 (Band 13). Hg. v. ASER Eigenverlag. Wuppertal (13). Online verfügbar unter https://www.institut-aser.de/pdf_files/literatur/ASER-Bericht-Nr-37.pdf , zuletzt geprüft am 03.07.2020.
231. Rexrodt: Einfuehrung1.PDF. Online verfügbar unter <http://www.imba.de/documents/einfuehrung.pdf> , zuletzt geprüft am 27.07.2020.
232. Rohmert, Walter (1962): Untersuchungen über Muskelermüdung und Arbeitsgestaltung. Hochschulschrift. RWTH Aachen.
233. Rohmert, W. (1967): Untersuchungen über Muskelermüdung und Arbeitsgestaltung: Beuth-Vertrieb (Schriftenreihe Arbeitswissenschaft und Praxis, 1).
234. Rohmert, Walter; Berg, Knut (Hrsg.) (1993): Stand und Zukunft arbeitswissenschaftlicher Forschung und Anwendung. Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Fritz Stier zum 65. Geburtstag und zur Beendigung seiner Lehrtätigkeit an der Technischen Hochschule Darmstadt. Unter Mitarbeit von Fritz Stier. REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation. München: Hanser.
235. Rohmert, Walter; Landau, Kurt (1979): Handbuch. Bern, Stuttgart, Wien: Huber (Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET), 1).
236. Rohmert, Walter; Landau, Kurt (1979): Merkmalheft. Bern, Stuttgart, Wien: Huber (Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET), 2).
237. Rohmert, Walter; Rutenfranz, Joseph (1975): Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn: Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit.
238. Rohmert, Walter (1984): Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Z.Arb.wiss. 38 (10 NF) 1984, 193 – 200

239. Rubinstein, S. L. (1973): Grundlagen der allgemeinen Psychologie. Berlin: Volk und Wissen.
240. Rübke, R. (1989): Kennzeichen menschengerechter Arbeitsgestaltung. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem.
241. Rühmann, Heinzpeter (Hg.) (1992): Körperkräfte des Menschen. Perzentilierung isometrischer Maximalkräfte sowie Ausdauer und Beanspruchung bei konzentrischer und exzentrischer Muskelarbeit ; Kolloquium des Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München zum HdA-Projekt "Körperkräfte des Menschen Teil II". Technische Universität München. Köln: O. Schmidt (Dokumentation Arbeitswissenschaft, 31).
242. Saup, Winfried (1993): Alter und Umwelt. Eine Einführung in die ökologische Gerontologie. Stuttgart: Kohlhammer.
243. Sattler, J.B; Klußmann, A.; Arnold-Schulz-Gahmen, B.; Vasterling, A.; Hartmann B. (2020): Händigkeit – Bedeutung und Untersuchung. Arbeitsmedizinische S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM) und der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA). 002/017 – S1-Leitlinie Händigkeit – Bedeutung und Untersuchung / Versionsnummer: 4.0. Erstveröffentlichung: 06/1999. Überarbeitung von: 07/2020.
244. Serafin, P.; A. Klußmann, F. Liebers, M. Schust; F. Brandstädt, B. Hartmann, A. Schäfer, HJ. Gebhardt (2020): Die neue Leitmerkmalmethode Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten (LMM-HHT): Darstellung der Methode und Ergebnisse der Methodentestung In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Digitaler Wandel, Digitale Arbeit, Digitaler Mensch?“, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft der Technische Universität Berlin & Institut für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 16.-19. März 2020, E-Book, Beitrag C.5.3, GfA-Press, Dortmund, 2020, ISBN 978-3-936804-27-0
245. Schaub, K.; Caragnano, G.; Britzke, B.; Bruder, R. (2013): The European Assembly Worksheet. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science 14 (6), S. 616–639. DOI: 10.1080/1463922X.2012.678283.
246. Schlichting, Leonhard (2022): Faktoren, die den Tragekomfort von PSA beeinflussen. In: Technische Textilien 65 (2), S. 68–70. DOI: 10.51202/0323-3243-2022-2-068.
247. Schlick, Christopher; Bruder, Ralph; Luczak, Holger; Mayer, Marcel; Abendroth, Bettina (2010): Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer.
248. Schliephacke, Jürgen (2008): Führungswissen Arbeitssicherheit. Aufgaben - Verantwortung - Organisation. 3rd ed. Berlin: Erich Schmidt Verlag. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5427445>.
249. Schmauder, Martin (2022): Ergonomie - Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation. Unter Mitarbeit von Birgit Spanner-Ulmer. 2., überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (Hanser).
250. Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Heckmann, Manfred (Hg.) (2017): Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie : mit Online-Repetitorium. Springer-Verlag GmbH. Sonderausgabe der 31. Auflage. Berlin: Springer. Online verfügbar unter <http://www.springer.com>.

251. Schmidt-Atzert, Lothar; Amelang, Manfred; Fydrich, Thomas (2012): Psychologische Diagnostik. Mit 82 Tabellen. 5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
252. Schmidtke, Heinz; Bernotat, Rainer (Hg.) (1993): Ergonomie. 3., neubearb. und erw. Aufl. München: Hanser.
253. Schönpflug, W. (1987): Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit - Konzepte und Theorien. In U. Kleinbeck & J. Rutenfranz (Hrsg.), Arbeitspsychologie (S. 130-184). Göttingen: Hogrefe.
254. Schreiber, Paul; Kuhn, Karl (1995): Informationstechnologie in der Fertigungstechnik. Aspekte des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Forschung, 717).
255. Schust, M.; P. Serafin, A. Klußmann, A. Schäfer, HJ. Gebhardt, F. Liebers, B. Hartmann, F. Brandstädt (2020): Die neue Leitmerkmalermethode manuelles Ziehen und Schieben von Lasten (LMM-ZS): Darstellung der Methode und Ergebnisse der Methodentestung In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Bericht zum 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft „Digitaler Wandel, Digitale Arbeit, Digitaler Mensch?“, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft der Technische Universität Berlin & Institut für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 16.-19. März 2020, E-Book, Beitrag C.5.4, GfA-Press, Dortmund, 2020, ISBN 978-3-936804-27-0
256. Schütt, Petra (2010): Fachkräfte finden, binden und entwickeln – Ein zukunftssträchtiges beschäftigungspolitisches Konzept für den Maschinenbau auch unter Bedingungen der Krise? / How to find, bind and develop technical specialists - future oriented employment policy in the machinery manufacturing branch under the conditions of a crisis? In: Arbeit 19 (2-3). DOI: 10.1515/arbeits-2010-2-309.
257. Serafin, P. (2013): Evaluierung von Verfahren zur Ermittlung von Betätigungskräften an Maschinen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis. Masterthesis. Bergische Universität Wuppertal. Fachbereich D - Abteilung Sicherheitstechnik - Fachgebiet Arbeitssicherheit / Ergonomie. 2013
258. Serafin, P.; A. Schäfer, K.-H. Lang, K. von Rymon-Lipinski, A. Klusmann (2013): Evaluation of methods for the determination of operating forces at machines according to applicability in practice. In: PREMUS 2013 Eighth International Conference on Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders, Busan (Korea), 07.07.2013-11.07.2013, Tagungsband, Pusan National University & Korean Society Occupational and Environmental Medicine (Hrsg.), 2013, S. 374
259. Slesina W. (1987): Fragebogen zur subjektiven Einschätzung der Belastungen am Arbeitsplatz (FEBA). In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg): Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen. Online verfügbar unter www.rueckenkompass.de/cd/doc/Fragen-Slesina.pdf
260. Sluiter, J., Rest, K. M. & Frings-Dresen, M. H. (2001): Criteria Document for Evaluation of the Work-Relatedness of Upper Extremity Musculoskeletal Disorders. Scand J Work Environ Health, 27, 1-102.
261. Sluiter, Judith K.; Rest, Kathleen M.; HW Frings-Dresen, Monique H. W. (2001): Supplement. In: Scand J Work Environ Health 27, S. 1–102. DOI: 10.5271/sjweh.637.
262. Skiba, R. (1976): Taschenbuch Arbeitssicherheit. E. Schmidt, Bielefeld 1976, 3. A., 1979, 4. A.

263. Spallek M., Kuhn W. (2009): Funktionsorientierte körperliche Untersuchungssystematik. Die fokus-Methode zur Beurteilung des Bewegungsapparates in Die fokus-Methode zur Beurteilung des Bewegungsapparates in der Arbeits- und Allgemeinmedizin. 1. Aufl. Landsberg: ecomed Medizin.
264. Steinberg, Ulf (Hg.) (2012): Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision ; Forschung Projekt F2195. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund, Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2195.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
265. Steinberg, U., Liebers, F., Klußmann, A., Gebhardt, H., Rieger, M.A., Behrendt, S., Latza, U. (2012): Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision. BAuA, Dortmund, ISBN 978-3-88261-722-1
266. Steinberg, U.; G. Caffier (1998): Methodische Aspekte bei der Anwendung der Lastenhandhabungsverordnung. in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft : ZfA, Volume 52, Nr. 2. Seiten 101-109
267. Strasser, Helmut (1993): Anthropometrische und biomechanische Grundlagen. Ergonomie – Arbeitsplatz. Grundsätze zur Arbeitsplatzgestaltung. In: Hettinger, Th. und G. Wobbe (Hrsg.). Kompendium der Arbeitswissenschaft. Kap. 2.4.2. Kiel Verlag, Ludwigshafen.
268. Tuomi, K., Ilmarinen, J., Jahkola, A., Katajarinne, L. & Tulkki, A. (1998). Work Ability Index (2. Auflage). Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
269. Szabo, R. M.; Madison, M. (1992): Carpal tunnel syndrome. In: The Orthopedic clinics of North America 23 (1), S. 103–109.
270. van Rijn, Rogier M.; Huisstede, Bionka M. A.; Koes, Bart W.; Burdorf, Alex (2009): Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: a systematic literature review. In: Rheumatology (Oxford, England) 48 (5), S. 528 -536. DOI: 10.1093/rheumatology/kep013.
271. Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (REFA) (1984): Methodenlehre des Arbeitsstudiums. 7. Aufl., 301. - 320. Tsd. München: Hanser.
272. Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (REFA) (1989): Anforderungsermittlung (Arbeitsbewertung). München: Hanser (Methodenlehre der Betriebsorganisation).
273. Vogel-Heuser, B., T. Bauernhansl und M.t. HF (Hrsg.) (2017): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion (Online). 2., erweiterte und bearbeitete Auflage. Berlin: Springer Vieweg. Springer Reference Technik. ISBN 978-3-662-45279-0. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45279-0>
274. Waldminghaus, Ann Kathrin (2016): Entwicklung eines Konzepts zur betrieblichen Umsetzung der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV). Bachelorthesis. Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik. Abteilung Sicherheitstechnik. Fachgebiet Sicherheits- und Qualitätsrecht. 2016
275. Wakula, Jurij (2009): Der montagespezifische Kraftatlas. Hannover, Sankt Augustin: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; BGIA (BGIA-Report, 2009,3). Online verfügbar unter <https://edocs.tib.eu/files/e01fn10/61675180X.pdf>.

276. Waters, T. R.; Putz-Anderson, V.; Garg, A.; Fine, L. J. (1993): Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. In: *Ergonomics* 36 (7), S. 749–776. DOI: 10.1080/00140139308967940.
277. Wollesen, B.; A. Argubi-Wollesen, M. Leitner, S. Schulz, M. Keuchel, C. Mühlemeyer, A. Klußmann, K. Mattes (2017): Development and Testing of an Ergonomic Handle and Wheel Design for Industrial Transport Carts. In: *Global Environment, Health and Safety*, Vol. 1 No. 2:9, 2017, Delaware, USA, iMed Pub LLC, London, 2017(URL: www.imedpub.com/abstract/development-and-testing-of-an-ergonomic-handle-and-wheel-design-for-industrial-transport-carts-21091.html)
278. Zimolong, Bernhard (Hg.) (2001): *Management des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Die erfolgreichen Strategien der Unternehmen*. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag.

Evaluierung, Gütekriterien, Statistik

279. Amelang, Manfred; Schmidt-Atzert, Lothar (2006): *Psychologische Diagnostik und Intervention*. 4., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=3066748> .
280. Bernard, Anne; Erbs, Philippe; Demuyter, Philippe; Jund, Richard (1997): In vivo Mutational Analysis of Highly Conserved Amino Acid Residues of the Small Subunit Cpa1p of the Carbamylphosphate Synthetase of *Saccharomyces cerevisiae*. In: *Yeast (Chichester, England)* 13 (11), S. 1021–1028. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0061(19970915)13:11<1021::AID-YEA158>3.0.CO;2-2.
281. Bogner, Kathrin; Landrock, Uta (2015): *Antworttendenzen in standardisierten Umfragen*. Unter Mitarbeit von GESIS-Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften.
282. Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
283. Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2002): *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler*. 3., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
284. Campbell, Donald T.; Fiske, Donald W. (1959): Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix. In: *Psychological Bulletin* 56 (2), S. 81–105. DOI: 10.1037/h0046016.
285. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
286. Cronbach, L. J.; Meehl, P. E. (1955): Construct validity in psychological tests. In: *Psychological Bulletin* 52 (4), S. 281–302. DOI: 10.1037/h0040957.
287. Fisher, Ronald A.; Yates, Frank (1963): *Statistical tables for biological, agricultural and medical research*. New York. Hafner Press.
288. Fleiss, Joseph L. (1986): *Design and Analysis of Clinical Experiments*. New York: John Wiley & Sons.
289. Fleiss, Joseph L. (1971): Measuring nominal scale agreement among many raters. In: *Psychological Bulletin* 76 (5), S. 378–382. DOI: 10.1037/h0031619.
290. Galton, F. (1894), *Natural Inheritance* (5th ed.), New York: Macmillan and Company.
291. Landis, J. R.; Koch, G. G. (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. In: *Biometrics* 33 (1), S. 159–174.

292. Moosbrugger, Helfried; Kelava, Augustin (2012): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
293. Pearson, K. (1896): Mathematical Contributions to the Theory of Evolution. III. Regression, Heredity and Panmixia. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 187, 253-318.
294. Podsakoff, Philip M.; MacKenzie, Scott B.; Lee, Jeong-Yeon; Podsakoff, Nathan P. (2003): Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. In: The Journal of applied psychology 88 (5), S. 879–903. DOI: 10.1037/0021-9010.88.5.879.
295. Rossiter, John R. (2008): Content Validity of Measures of Abstract Constructs in Management and Organizational Research. In: British Journal of Management 19 (4), S. 380–388. DOI: 10.1111/j.1467-8551.2008.00587.x.
296. Shrout, P. E.; Fleiss, J. L. (1979): Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. In: Psychological Bulletin 86 (2), S. 420–428. DOI: 10.1037/0033-2909.86.2.420.
297. Sharma, R. (2009). "Estimating the effect of common method variance: The method—method pair technique with an illustration from TAM Research." MIS quarterly: 473-490.
298. Timischl, W. (2013): Angewandte Statistik. Eine Einführung für Biologen und Mediziner. 3. Auflage. Wien, Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer
299. Wirtz, M. A.; Caspar, F. (2002): Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen. Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.

Technische Normen

300. DIN EN 12464-1:2011-08, Licht und Beleuchtung_ - Beleuchtung von Arbeitsstätten_ - Teil_1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN_12464-1:2011.
301. DIN EN 614-1:2009-06, Sicherheit von Maschinen_ - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze_ - Teil_1: Begriffe und allgemeine Leitsätze; Deutsche Fassung EN_614-1:2006+A1:2009.
302. DIN EN 894-3:2010-01, Sicherheit von Maschinen_ - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen_ - Teil_3: Stellteile; Deutsche Fassung EN_894-3:2000+A1:2008.
303. DIN EN ISO 10075-1:2018-01, Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung_ - Teil_1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe (ISO_10075-1:2017); Deutsche Fassung EN_ISO_10075-1:2017.
304. DIN EN ISO 10218-1:2012-01, Industrieroboter_ - Sicherheitsanforderungen_ - Teil_1: Roboter (ISO_10218-1:2011); Deutsche Fassung EN_ISO_10218-1:2011.
305. DIN EN ISO 12100:2011-03, Sicherheit von Maschinen_ - Allgemeine Gestaltungsleitsätze_ - Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO_12100:2010); Deutsche Fassung EN_ISO_12100:2010.
306. DIN EN ISO 6385:2016-12, Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO_6385:2016); Deutsche Fassung EN_ISO_6385:2016.

307. DIN EN ISO 8996:2005-01, Ergonomie der thermischen Umgebung_ - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO_8996:2004); Deutsche Fassung EN_ISO_8996:2004. Online verfügbar unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/725>.
308. DIN ISO 45001:2018-06, Managementsysteme für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit_ - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO_45001:2018); Text Deutsch und Englisch.
309. DIN EN ISO 10218:2011, Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter. DIN EN ISO 10218-1
310. DIN EN ISO 7250-1:2017-12, Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung - Teil 1: Körpermaßdefinitionen und -messpunkte (ISO 7250-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 7250-1:2017

Regelwerke

311. Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG (2020): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246).
312. Arbeitssicherheitsgesetz – AsiG (2013): Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit vom 12. Dezember 1973 (BGBl. I S. 1885).
313. Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV (2020): Verordnung über Arbeitsstätten vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179).
314. Arbeitszeitgesetz – ArbZG (2020): Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171).
315. Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV (2019): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49).
316. Bundesgesetzblatt (BGBl.) I S. 1246 (2006): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. Deutsches Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG).
317. Bundesregierung (1996): Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz und weiterer Arbeitsschutz-Richtlinien. Bonn: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH (Drucksache 13/3540).
318. Chemikaliengesetz – ChemG (2020): Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen. Chemikaliengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. August 2013 (BGBl. I S. 3498, 3991)
319. DGUV Vorschrift 1 (2013): Grundsätze der Prävention. Unfallverhütungsvorschrift der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung.
320. Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union (2006): Richtlinie über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung). Richtlinie 2006/42/EG
321. Jugendarbeitsschutzgesetz – JarbSchG (2020): Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend. Jugendarbeitsschutzgesetz vom 12. April 1976 (BGBl. I S. 965).

322. Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV (2017): Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen. Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 5 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584) geändert worden ist
323. Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV (2020): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit. Lastenhandhabungsverordnung vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841, 1842), die zuletzt durch Artikel 294 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
324. Medizinproduktegesetz – MPG (2020): Medizinproduktegesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. August 2002 (BGBl. I S. 3146), das zuletzt durch Artikel 223 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
325. Mutterschutzgesetz – MuSchG (2019): Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium vom 23. Mai 2017 (BGBl. I S. 1228).
326. Präventionsgesetz – PräVG (2015): Gesetz zur Stärkung der Gesundheitsförderung und der Prävention. G. v. 17.07.2015 BGBl. I S. 1368, 1781 (Nr. 31).
327. Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit.
328. Strahlenschutzgesetz – StrlSchG (2020): Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung. Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2232) geändert worden ist.
329. Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge – ArbMedVV (2019): Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Juli 2019 (BGBl. I S. 1082) geändert worden ist.

Abbildungen und Tabellen

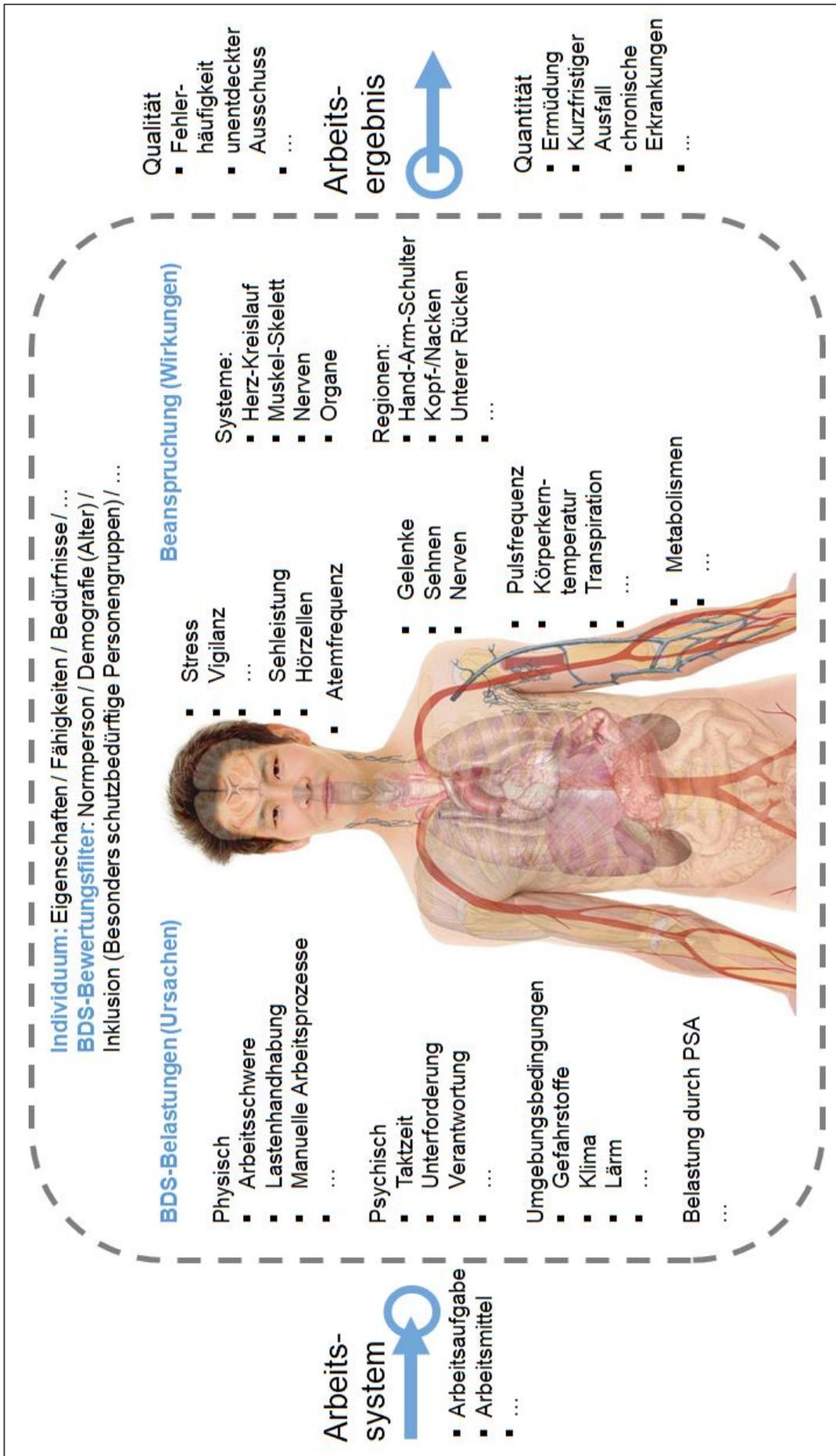
330. Abb. 1.1 Nachhaltiges Wachstum auf der Grundlage guter Arbeitsbedingungen. International Labor Organization (ILO) (<https://www.ilo.org>)
Rubrik Sustainable Development Goal (SDG) Nr. 8
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/image/wcms_396387.gif
331. Abb. 1.2 SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandard des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS). Stand: 22. Februar 2021
https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitsschutz/sars-cov-2-arbeitsschutzstandard.pdf?__blob=publicationFile&v=1
332. Abb. 1.3 Instabile Bedingungen und Handlungsdruck als Treiber von Lean Management.
TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management GmbH & Co. KG Leopoldstraße 145 80804 München (www.tcw.de)
https://www.tcw.de/uploads/html/consulting/beratung/produktion/images/218_Lean_1_gr.jpg
333. Abb. 2.20 Kollaborativer Roboter (Cobot) – Praxisbeispiel Sawyer mit stilisierten Augen. Internet: www.rethinkrobotics.com/de/sawyer
Rethink Robotics GmbH, Industriestraße 38c, 44894 Bochum

334. Abb. 2.21 Altersstrukturvergleich der Bevölkerung in Deutschland (1950
Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland, 1950 – 2060.
Datenquelle: Statistisches Bundesamt Bild: BiB 2018
www.demografie-portal.de
335. Abb. 2.23 Megatrend-Map zur Verknüpfung von Megatrends (Ausschnitt)
Zukunftsinstitut GmbH Kaiserstr. 53 60329 Frankfurt am Main Deutschland
<https://www.zukunftsinstitut.de/>
336. Abb. 2.25 Einfluss der Beleuchtungsstärke (Lux) auf den
Bieske et al., 2011: Projekt „Licht und Gesundheit“ - Feldstudie in Industriebetrieben.
Dr.-Ing. Karin Bieske Dr.-Ing. Cornelia Vandahl Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph
Schierz. Ilmenau, Oktober 2011
337. Abb. 2.26 Arbeitsunfähigkeitsdiagnosen in Deutschland - Verteilung im Jahr 2018
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2020): Sicherheit und
Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2018. Unfallverhütungsbericht Arbeit. 2. Aufl.
Dortmund. Online verfügbar unter
https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Suga-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=8 .
338. Abb. 2.27 Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsunfähigkeit
Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsunfähigkeit (AU-Tage, Deutschland, 2017
Grobe, T. G; Grobe, Susanne Steinmann, Julia Gerr (2018): Gesundheitsreport 2018.
Schriftenreihe zur Gesundheitsanalyse. In: Gesundheitsreport Band 9.
<https://www.barmer.de/blob/155284/c2ac6f9716e416c0b0d889a9a91ce9d8/data/dl-gesundheitsreport-bund.pdf>
339. Abb. 2.28 Biologisches Prinzip dynamisch-physiologischer Gleichgewichte
Hartmann et al., 2013: Hartmann, B.; Spallek, M.; Ellegast, R. (2013):
Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen. Ursachen, Prävention, Ergonomie,
Rehabilitation. s.l.: Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm.
<http://gbv.ebilib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1458322>
340. Abb. 2.32 Gemeinsame Strategie der Arbeits- und Sicherheitswissenschaften
Müller, Bernd H. (1997): Ergonomie. Bestandteil der Sicherheitswissenschaft. 3.,
überarb. Aufl. Berlin: Beuth (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation)
341. Abb. 2.33 Leistungsfähigkeit – Differenzierung motorischer Fähigkeiten
Bös K, Mechling H (1983): Dimensionen sportmotorischer Leistungen. Hofmann,
Schorndorf
342. Abb. 2.34 Isometrische Maximalkräfte für Männer und Frauen im Vergleich
Rühmann, Heinzpeter (Hg.) (1992): Körperkräfte des Menschen. Perzentilierung
isometrischer Maximalkräfte sowie Ausdauer und Beanspruchung bei konzentrischer
und exzentrischer Muskelarbeit ; Kolloquium des Lehrstuhls für Ergonomie der
Technischen Universität München zum HdA-Projekt "Körperkräfte des Menschen Teil
II". Technische Universität München. Köln: O. Schmidt (Dokumentation
Arbeitswissenschaft, 31)
343. Abb. 2.35 Ermüdungsgrad in Abhängigkeit von Arbeitsdauer und Erholungsdauer
bei verschiedenen Belastungshöhen
Rohmert, Walter (1962): Untersuchungen über Muskelermüdung und
Arbeitsgestaltung. Hochschulschrift. RWTH Aachen.

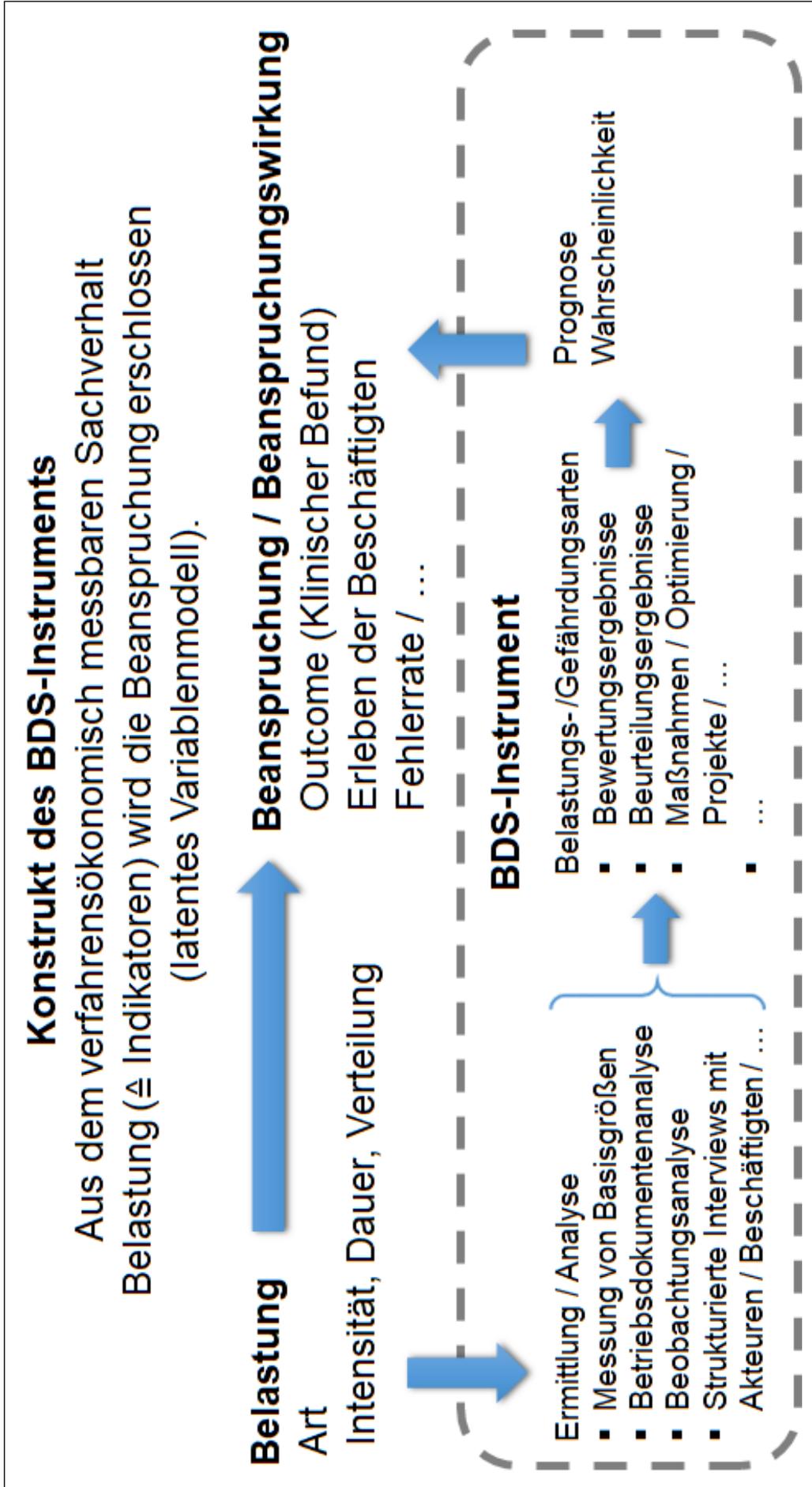
344. Abb. 2.36 Einteilung der Körperhöhen in Körpergrößenklassen
DIN 33402-2 Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte
Abbildungsquelle: Schlick, Christopher; Bruder, Ralph; Luczak, Holger; Mayer, Marcel; Abendroth, Bettina (2010): Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer. Seite 94
345. Abb. 4.10 Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten-Kontinuierlicher Kreisprozess
Pieper, R.; B.-J. Vorath (Hg.) (2005): Handbuch Arbeitsschutz. Sicherheit und Gesundheitsschutz im Betrieb. Unter Mitarbeit von Werner Hamacher, Karl-Heinz Lang, Thomas Langhoff, Martin Schmauder, Lutz Wienhold. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Frankfurt am Main: Bund-Verl.
346. Tab. 2.6 Übergang von der dritten zur vierten industriellen Revolution.
Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (Hrsg.):
Weißbuch Arbeiten 4.0. S. 18ff.
https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a883-weissbuch.pdf;jsessionid=F4958BDBAF0E8D41F27744744201CC6A.delivery1-replication?__blob=publicationFile&v=1
347. Tab. 2.7 Impulse der Megatrends für Arbeits-/Sicherheitswissenschaft (1/2)
Zukunftsinstitut GmbH Kaiserstr. 53 60329 Frankfurt am Main Deutschland
<https://www.zukunftsinstitut.de/>
348. Tab. 2.8 Impulse der Megatrends für Arbeits-/Sicherheitswissenschaft (2/2)
Zukunftsinstitut GmbH Kaiserstr. 53 60329 Frankfurt am Main Deutschland
<https://www.zukunftsinstitut.de/>
349. Tab. 4.15 Expositionsdauerabhängige Kriterien für arbeitsmedizinische Vorsorge und Tab. 4.16 Angebots- und Pflichtvorsorge nach Belastungs- und Gefährdungsart
Waldminghaus, Ann Kathrin (2016): Entwicklung eines Konzepts zur betrieblichen Umsetzung der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV). Bachelorthesis. Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik. Abteilung Sicherheitstechnik. Fachgebiet Sicherheits- und Qualitätsrecht. 2016
350. Tabelle 4.32 Klassifizierung der Zusammenarbeit von Beschäftigten und Robotern.
Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P. Scholtz, O. (2016): Leichtbauroboter in der manuellen Montage - einfach einfach anfangen. Fraunhofer IAO. 2016

Anhang

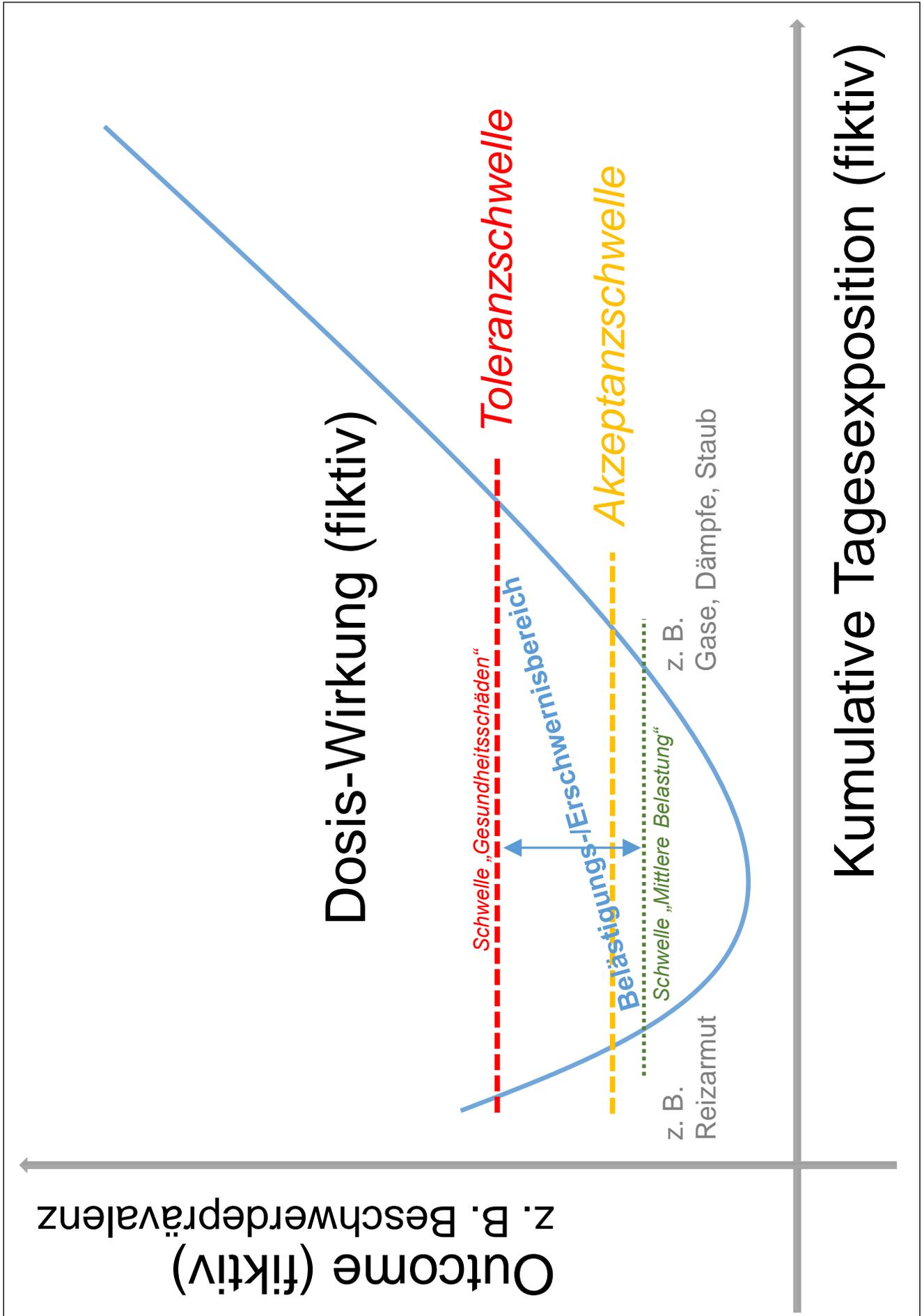
Anhang 1: Nomologisches Netzwerk des BDS-Instrumentes



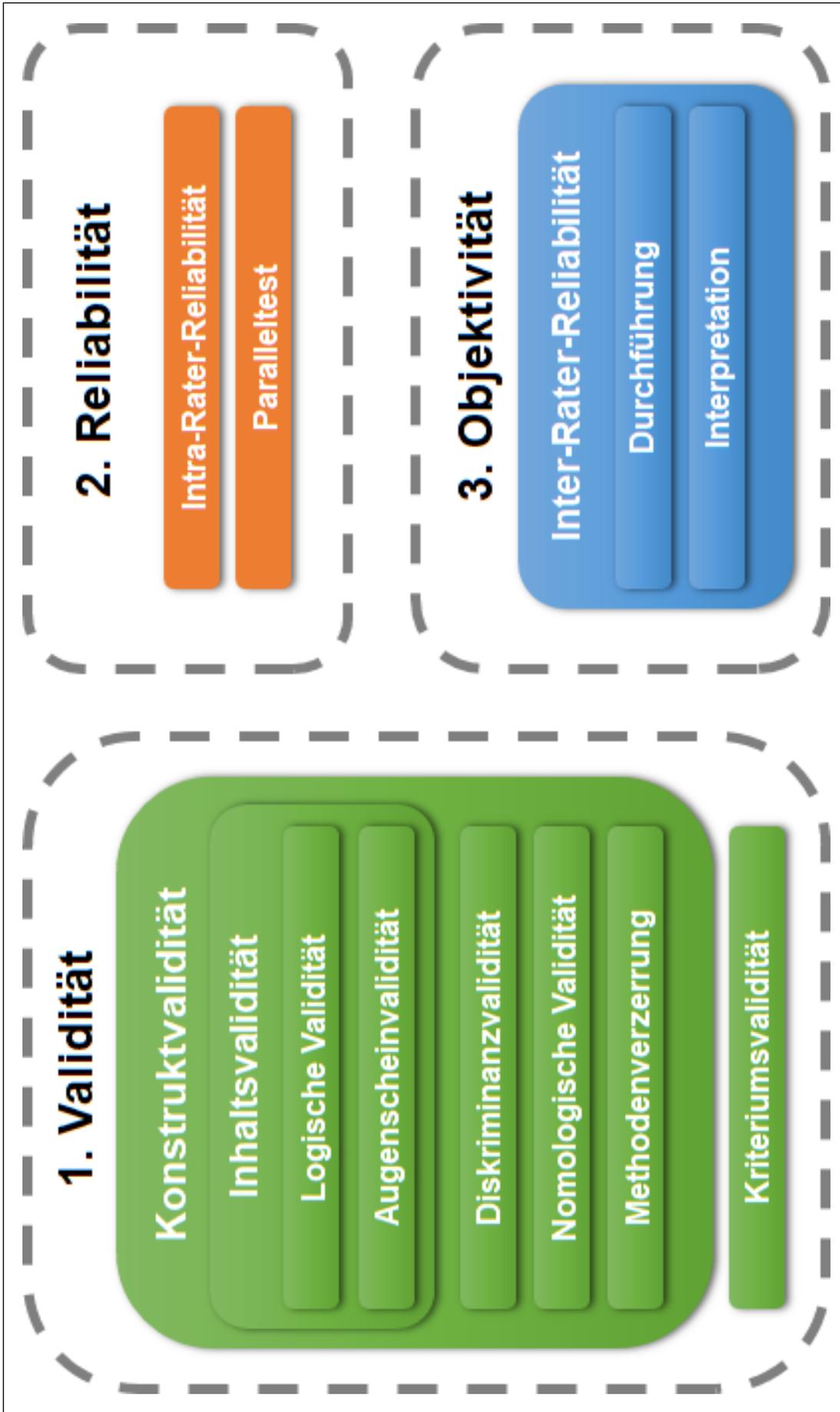
Anhang 2: Konstrukt und Operationalisierung beim Kernverfahren des BDS-Instruments



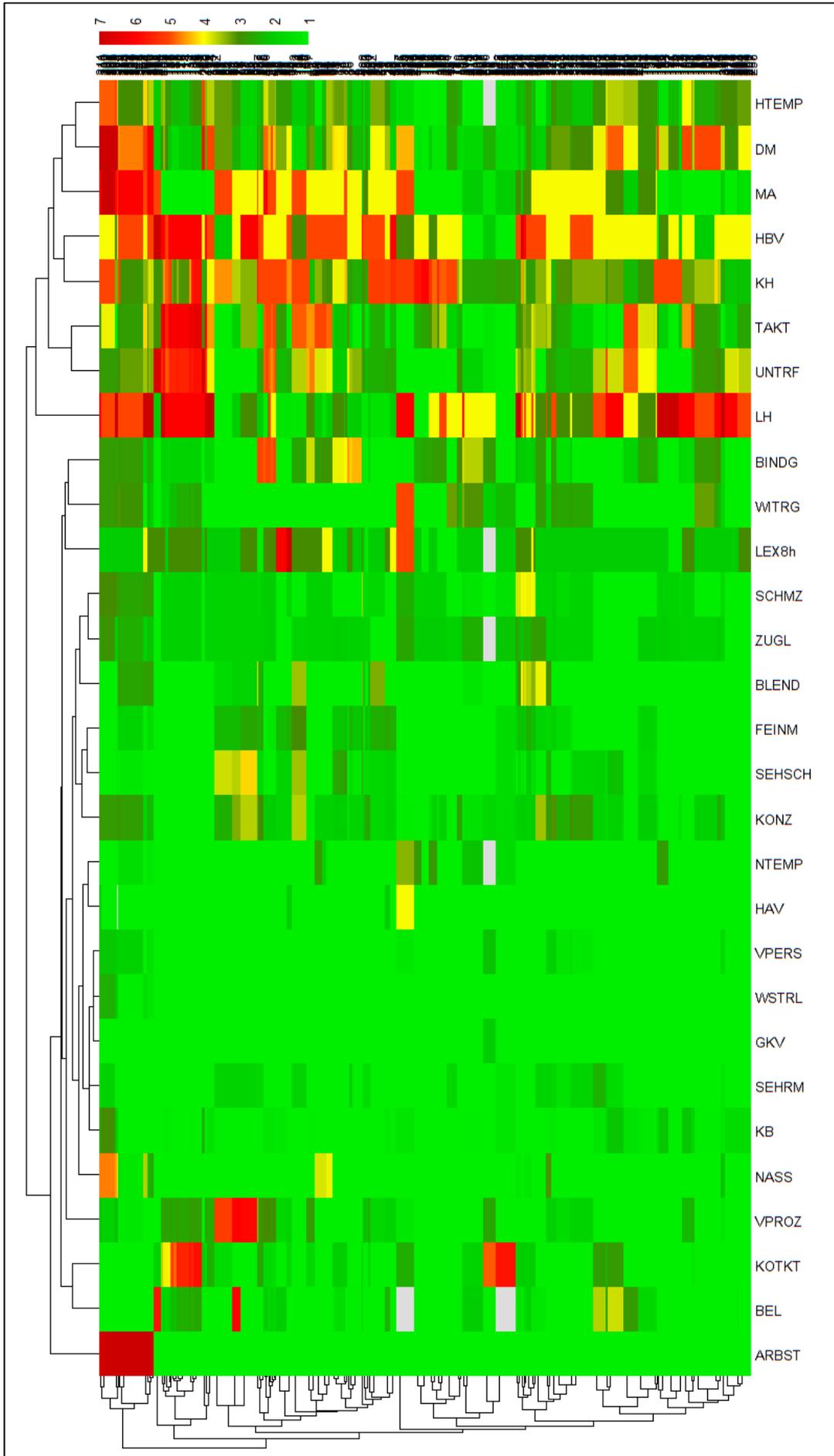
Anhang 3: Dosis-Wirkungsmodell-Weiterentwicklung für Belästigungs-/Erschwerungs-/Bereich



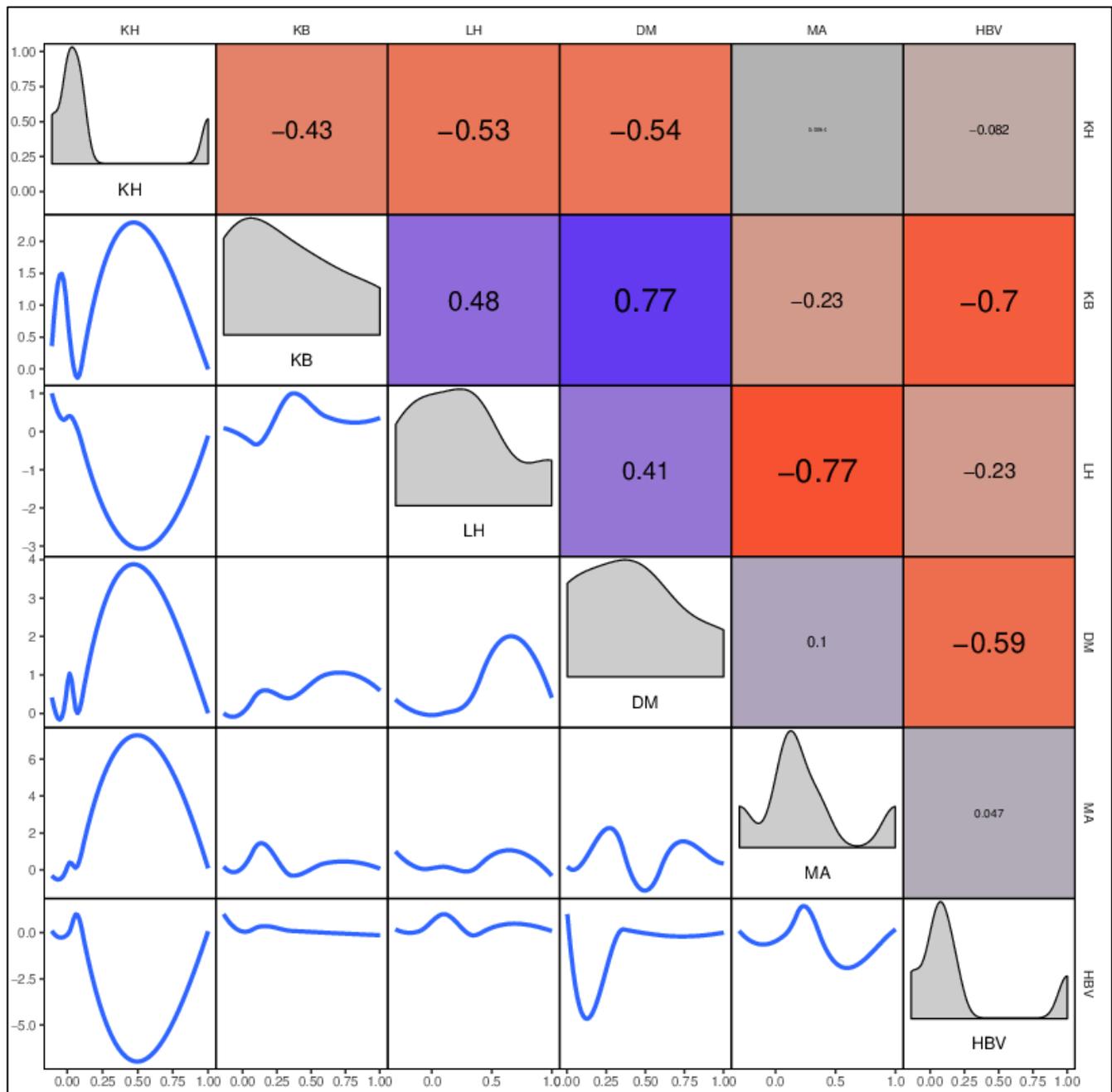
Anhang 4: Evaluierungsvorgehen zur Überprüfung der wissenschaftlichen Hauptgütekriterien



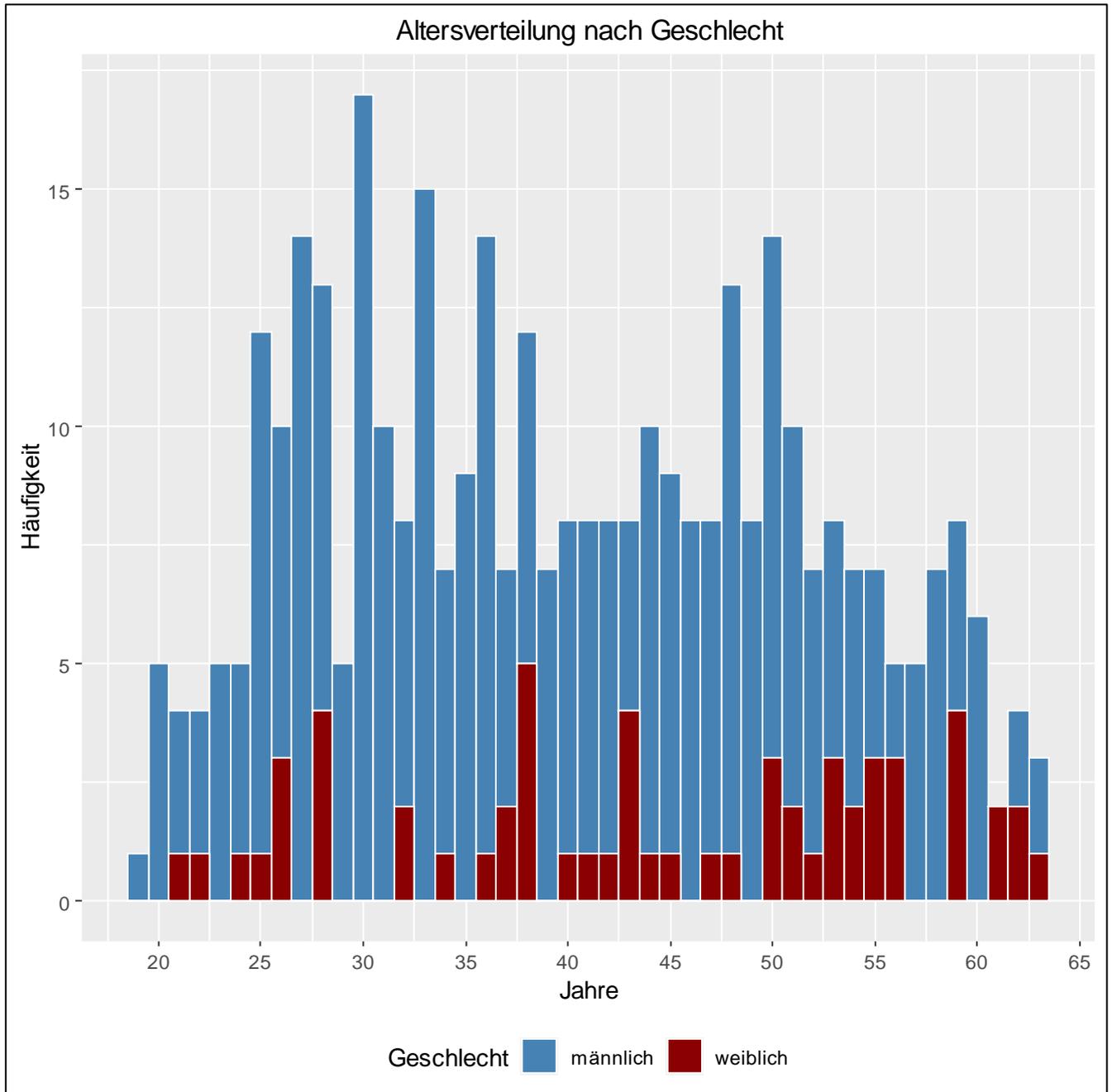
**Anhang 5: Heatmap mit hierarchischer Clustering
der BDS-Belastungsarten, n = 368**



Anhang 6: Matrix zur paarweisen Korrelation physischer Belastungsarten mit Bewertungsstufenverteilung und Kurven bester Anpassung zu den Streudiagrammen



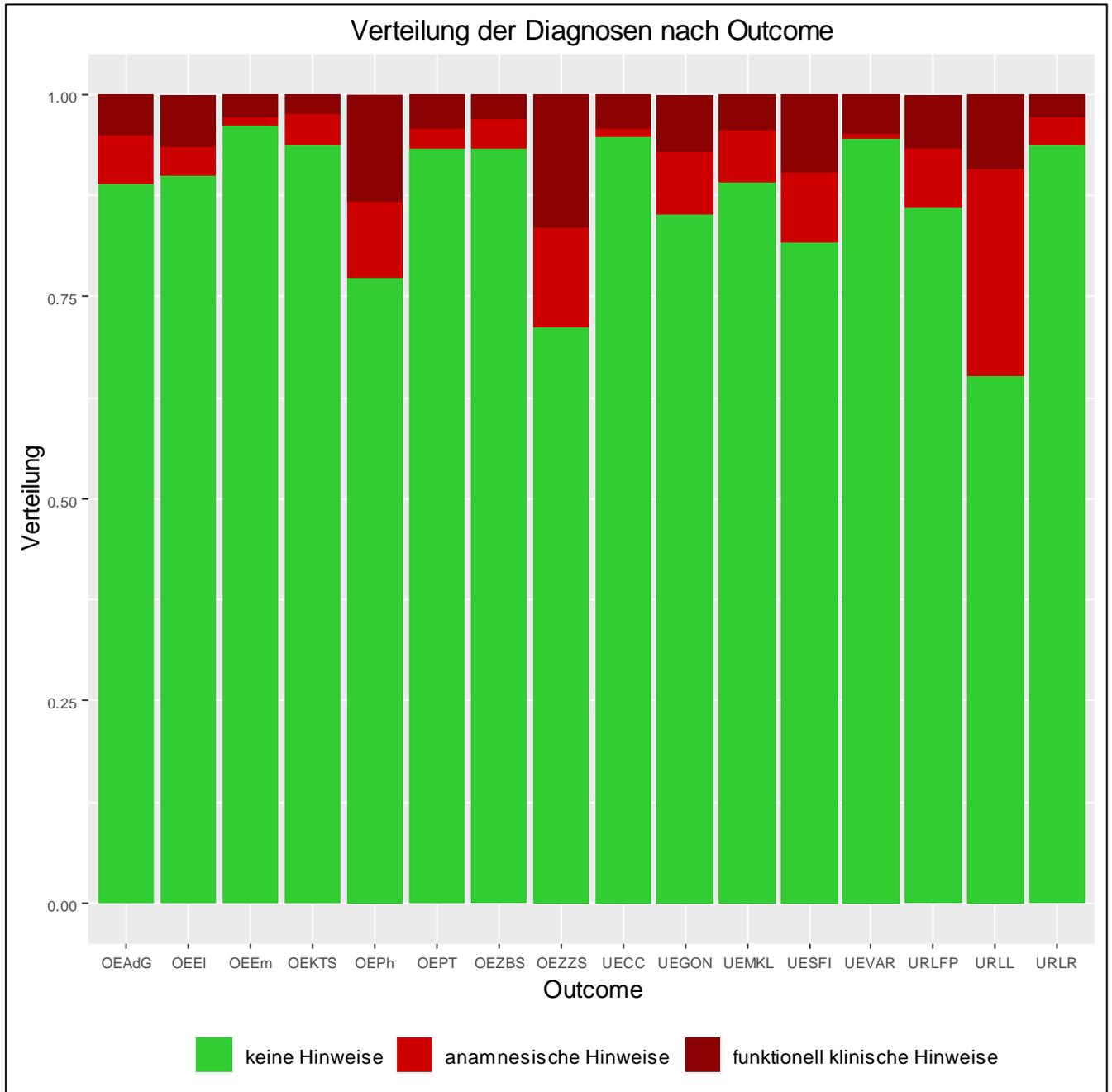
Anhang 7: Altersverteilung (Jahre) nach Geschlecht im Studienkollektiv (n = 365, miss = 3)



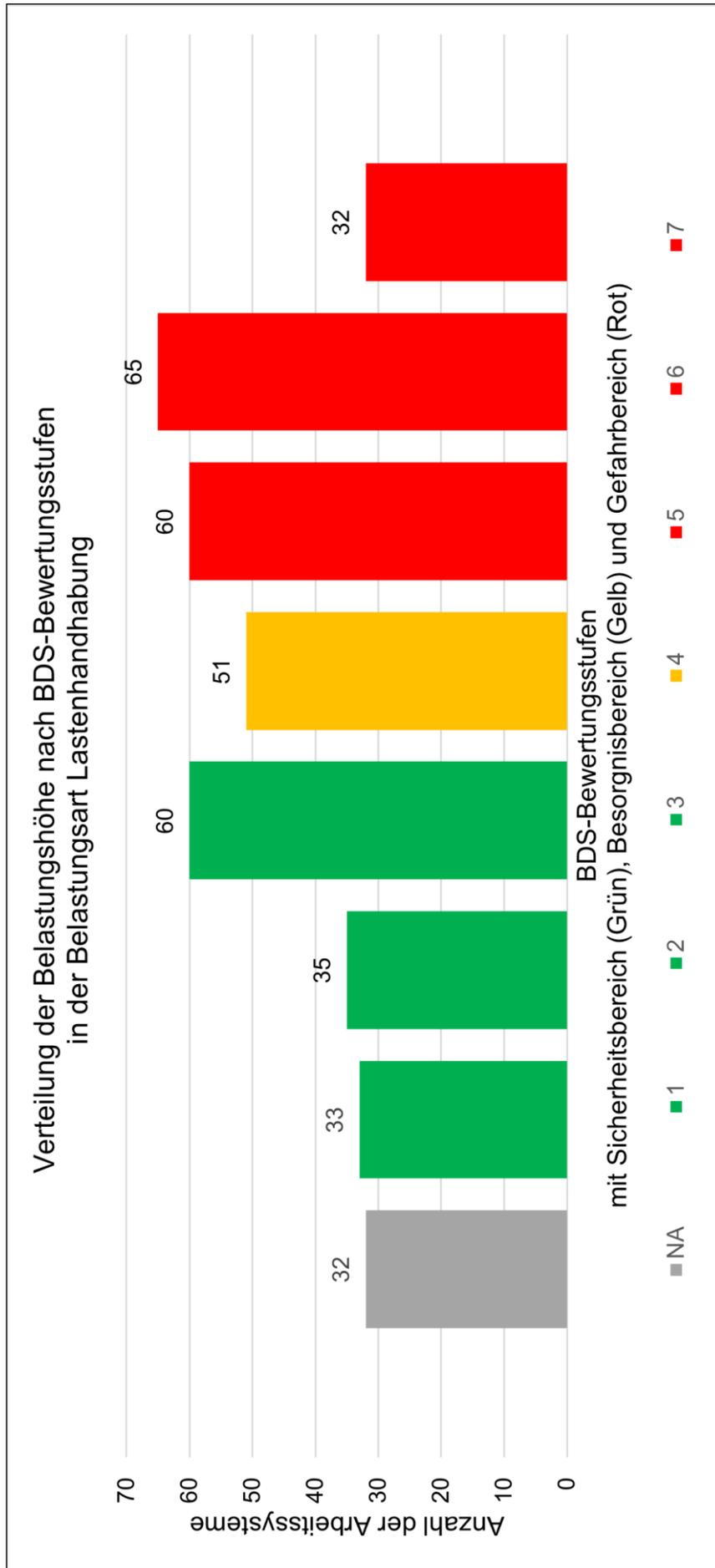
Anhang 8: Lokalisation arbeitsspezifischer Krankheitsbilder (Rot: Vier Hauptdiagnosen)

<p>1. Obere Extremitäten</p> <p>1.1. Zervikales, zervikozephalales Schmerzsyndrom (Halsstruktur/Halswirbelsäule) – [Nr. 2]</p> <p>1.2. Zervikobrachiales Schmerzsyndrom (Schulter-Arm)</p> <p>1.3. Periarthritis humeroscapularis (Schultergürtel) – [Nr. 3]</p> <p>1.4. Epicondylitis lateralis (Strecksehnen)</p> <p>1.5. Epicondylitis medialis (Flexoren-/Pronatoren)</p> <p>1.6. Peritendinitis Tendosynovitis (Sehnenscheiden)</p> <p>1.7. Karpaltunnelsyndrom (Medianusnerv)</p> <p>1.8. Arthrose distaler Gelenke Hand-/Handgelenk</p>		<p>2. Unterer Rücken</p> <p>2.1. Lumbalgie/Lumbago (allgemein und plötzlich) – [Nr. 1]</p> <p>2.2. Lumbales Facettensyndrom – pseudoradikuläres Syndrom (Wirbelgelenke/Nervenwurzel)</p> <p>2.3. Lumbales Radikulärsyndrom (Rückenmarksnerv)</p> <p>3. Untere Extremitäten</p> <p>3.1. Coxarthrose/Coxalgie (Hüftgelenk)</p> <p>3.2. Gonarthrose (Kniegelenk)</p> <p>3.3. Meniskusläsion (Verschleiß/Riss)</p> <p>3.4. Varicosis der Beinvenen (oberflächliche Beinvenen)</p> <p>3.5. Statische Fußinsuffizienz (Vor-/Mittel-/Rückfuß) – [Nr. 4]</p>
---	--	--

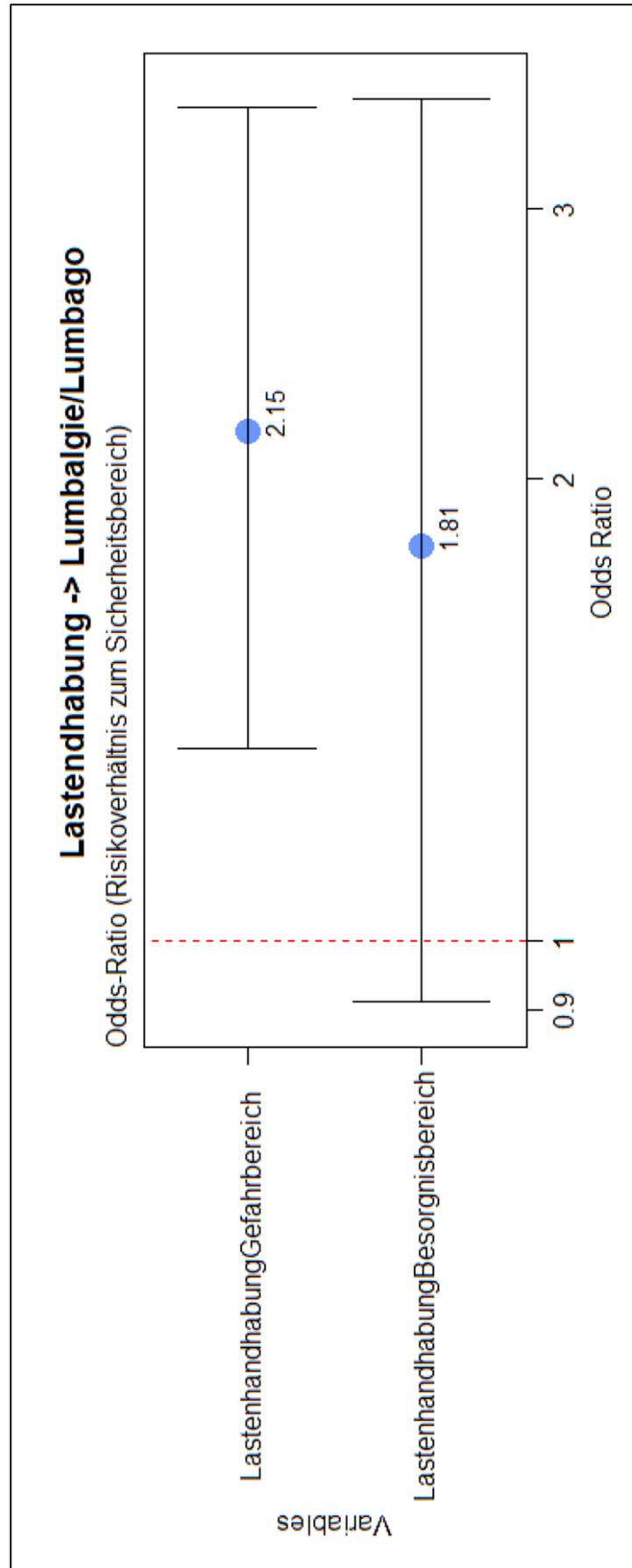
Anhang 9: Verteilung der Diagnosen nach Outcome im Studienkollektiv



Anhang 10: Belastungssituation bei Lastenhandhabung im Studienkollektiv



Anhang 11: Odds Ratio der BDS-Beurteilungsergebnisse bei Lastenhandhabung zur Beanspruchungsfolge Lumbalgie/Lumbago als Risikoverhältnis zum BDS-Sicherheitsbereich



Anhang 12: Versuchsreihen-Datensatz zur Inter-Rater-Reliabilität

Auswahl eines Arbeitsplatzes

Suchtext

Nur in der sortierten Spalte suchen

G1	Kennung	Arbeitsplatz	Beurteiler/in
<input type="checkbox"/>	EXP	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	EXP
<input checked="" type="checkbox"/>	EXP	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	EXP
<input type="checkbox"/>	EXP	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA)	EXP
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung A	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in A
<input type="checkbox"/>	Kodierung A	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA)	Rater*in A
<input type="checkbox"/>	Kodierung A	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in A
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung B	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in B
<input type="checkbox"/>	Kodierung B	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA) [Det]	Rater*in B
<input type="checkbox"/>	Kodierung B	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in B
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung C	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS) [mLeer+vBew]	Rater*in C
<input type="checkbox"/>	Kodierung C	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in C
<input type="checkbox"/>	Kodierung C	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA) [HAS]	Rater*in C
<input type="checkbox"/>	Kodierung D	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA) [kF]	Rater*in D
<input type="checkbox"/>	Kodierung D	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in D
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung D	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in D
<input type="checkbox"/>	Kodierung E	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA)	Rater*in E
<input type="checkbox"/>	Kodierung E	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in E
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung E	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in E
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung F	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS) [Trolley]	Rater*in F
<input type="checkbox"/>	Kodierung F	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in F
<input type="checkbox"/>	Kodierung F	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung)(MA) [Hli]	Rater*in F
<input type="checkbox"/>	Kodierung G	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in G
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung G	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS) [KH]	Rater*in G
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung G	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) [div]	Rater*in G
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung H	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in H
<input type="checkbox"/>	Kodierung H	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA)	Rater*in H
<input type="checkbox"/>	Kodierung H	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in H
<input type="checkbox"/>	Kodierung I	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) [kfGr]	Rater*in I
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung I	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in I
<input type="checkbox"/>	Kodierung I	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in I
<input checked="" type="checkbox"/>	Kodierung J	Versuchsreihe 2 - Manueller Transport mit einem Handwagen (2-Lenk-, 2-Bockrollen) (ZS)	Rater*in J
<input type="checkbox"/>	Kodierung J	Versuchsreihe 1 - Manuelles Umsetzen von Standard-Papierventilsäcken (ohne Tragegriff) (HHT)	Rater*in J
<input type="checkbox"/>	Kodierung J	Versuchsreihe 3 - Rest-Grat an Bauteil mit Fingerspitze erfühlen (+direkte Sichtprüfung) (MA) [kfGr]	Rater*in J

Anzahl Datensätze: 33

Werksebenen

Ebene 1

Ebene 2

Ebene 3

Anhang 13: Neue Rohdatenschnittstelle zur Überprüfung wissenschaftlicher Gütekriterien

SEITEN	SEITENLAYOUT	FORMELN	DATEN	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB
1				RDS-Stufe Klima hohe Temp.	RDS-Stufe Klima niedrige Temp.	RDS-Stufe Wärmestrahlung	max. Wertluftfeuchte	max. Wertluftgeschwindigkeit[m/s]	max. WertTrockentemperatur [°C]	max. WertNET [°C]	RDS-Stufe Witterung	RDS-Stufe Nassarbeit	RDS-Stufe Schmutz	RDS-Stufe Beleuchtung
1864			2	1	1	40	0,1	22	19,1	3	1	1	2	1(1)
1878			3	1	1	40	0,5	26,2	22,1	1	1	1	1	3(4)
1879			3	1	1	40	0,5	26,2	22,1	1	1	1	1	3(4)
1880			3	1	1	40	0,5	26,2	22,1	1	1	1	1	3(4)

Anhang 14: Paralleltest – Tätigkeitsanalyse mit dem BRIEF-Survey

	Hände und Handgelenke		Ellbogen		Schultern		Hals	Rücken	Beine
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts			
	Streckung $\geq 45^\circ$	Streckung $\geq 45^\circ$	Gedrehter Unterarm	Gedrehter Unterarm	Arm gehoben $\geq 45^\circ$	Arm gehoben $\geq 45^\circ$	Nach vorne gebeugt $\geq 30^\circ$	Nach vorne gebeugt $\geq 20^\circ$	Hocken $\leq 45^\circ$
					Arm hinter dem Körper	Arm hinter dem Körper	Nach hinten gebeugt	Seitwärts geneigt	Knien
	Radiale Abweichung	Radiale Abweichung	Durchgestreckt $\geq 135^\circ$	Durchgestreckt $\geq 135^\circ$	Schultern hochgezogen	Schultern hochgezogen	Nach hinten gebeugt	Verdreht	Ohne Fußstütze
							Seitwärts geneigt	Ohne Rückenlehne	
	Ulnare Abweichung	Ulnare Abweichung					Verdreht $\geq 20^\circ$		
Kraftaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A. Kneifgriff B. Fingerdruck C. Kraftgriff	 $\geq 0,9$ kg	 $\geq 0,9$ kg	$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg	$\geq 4,5$ kg	$\geq 0,9$ kg	$\geq 11,3$ kg	Fußpedal $\geq 4,5$ kg
	 $\geq 4,5$ kg	 $\geq 4,5$ kg	Beide Ellbogen $\geq 6,8$ kg		Beide Schultern $\geq 6,8$ kg				
Schritt 3. Für Körperteile, bei denen Haltung oder Kraftaufwand zutreffen, Kästchen für Dauer und/oder Häufigkeit ankreuzen, wenn Grenzwerte überschritten sind.									
Dauer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	≥ 10 Sek.	$\geq 30\%$ des tages
Häufigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	≥ 30 /Min.	≥ 30 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.	≥ 2 /Min.
Schritt 4. Tragen Sie die Gesamtzahl der Kreuze ein, die Sie bei Haltung, Kraftaufwand, Dauer und Häufigkeit gesetzt haben, und kreisen Sie die Risikostufe (niedrig = 0 oder 1, mittel = 2, hoch = 3 oder 4).									
Wert (0-4)	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Risikobewertung	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H
Schritt 5. Identifizieren Sie physische Stressfaktoren.									
Beobachtete physische Stressfaktoren ankreuzen. Verwenden Sie die entsprechenden Buchstaben, um die Stelle der Stressfaktoren auf dem Körperbild anzugeben.									
<input type="checkbox"/> Schwingungen (V)	<input type="checkbox"/> Schlagbelastung (S)								
<input type="checkbox"/> Niedrige Temperaturen (T)	<input type="checkbox"/> Handschuhprobleme (H)								
<input type="checkbox"/> Kompression der Weichteile (K)									

Anhang 15: SLESINA-Fragebogen (Ausschnitt) mit markierten Items der Detailanalyse im Rahmen der Evaluierung

Bitte überlegen Sie, ob folgende Merkmale oder Belastungsfaktoren an Ihrem Arbeitsplatz vorkommen!	Wie häufig oder wie stark trifft dieses Merkmal oder der Faktor auf Ihre Arbeit zu?				Fühlen Sie sich selbst dadurch körperlich oder geistig belastet oder beansprucht?	
	oft	mittel	selten	nie	ja	nein
<i>Beispiel: Lärm</i>	X				X	
1. schwere körperliche Arbeit	3	2	1	0	1	0
2. ungünstige Körperhaltung	3	2	1	0	1	0
3. Stehen	3	2	1	0	1	0
4. Sitzen	3	2	1	0	1	0
5. Bewegungsmangel	3	2	1	0	1	0
6. Konzentration	3	2	1	0	1	0
7. eiförmige Arbeit	3	2	1	0	1	0
8. genaues Detailsehen	3	2	1	0	1	0
9. Handgeschicklichkeit	3	2	1	0	1	0
10. Nachdenken	3	2	1	0	1	0
11. selbständiges Entscheiden	3	2	1	0	1	0
12. selbständige Arbeitseinteilung	3	2	1	0	1	0
13. taktgebundene Arbeit	3	2	1	0	1	0
14. Termindruck	3	2	1	0	1	0
15. Schichtarbeit	3	2	1	0	1	0
16. Lärm	3	2	1	0	1	0
17. Wärme / Hitze	3	2	1	0	1	0
18. Nässe / Feuchtigkeit	3	2	1	0	1	0
19. ungünstige Beleuchtung	3	2	1	0	1	0
20. Zugluft	3	2	1	0	1	0
21. Zeitdruck	3	2	1	0	1	0
22. Halten schwerer Lasten	3	2	1	0	1	0
23. Tragen schwerer Lasten	3	2	1	0	1	0

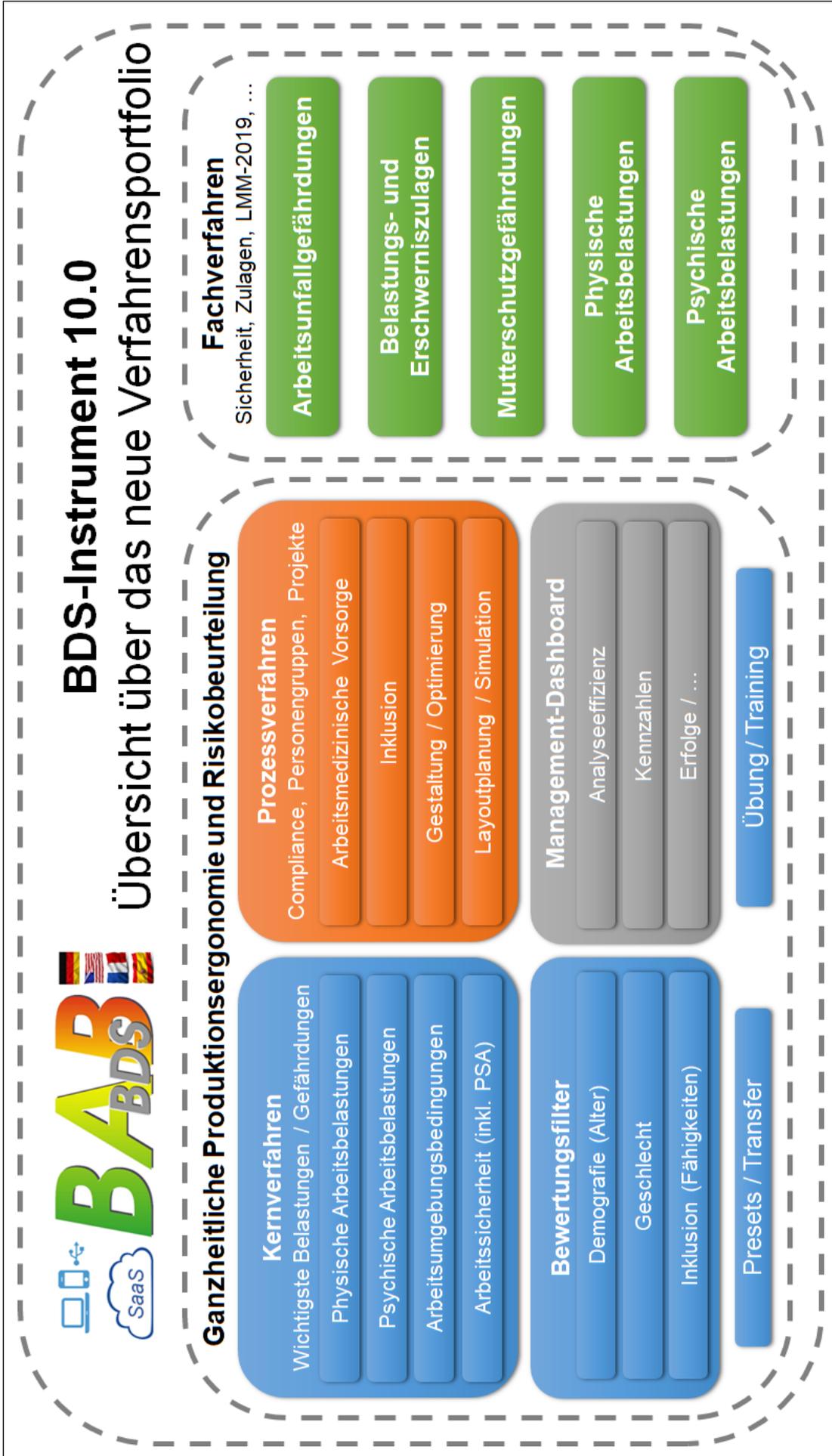
Anhang 16: COPSOQ-Fragebogen (Ausschnitt) mit markierten Items der Detailanalyse im Rahmen der Evaluierung

Quantitative Anforderungen		Ihre Antwort				
lIno.	Bitte beantworten Sie auch folgende Fragen in Bezug auf Ihre jetzige Tätigkeit.	nie/ fast nie	selten	manch mal	oft	immer
COLB101 COS.B101	Müssen Sie sehr schnell arbeiten?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
COLB102 COS.B102	Ist Ihre Arbeit ungleich verteilt, so dass sie sich aufteilt?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
COLB103 COS.B103	Wie oft kommt es vor, dass Sie nicht genügend Zeit haben, alle Ihre Aufgaben zu erledigen?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
COKE107 COS.B104	Müssen Sie Überstunden machen?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Kognitive Anforderungen						
COB108 COS.....	Müssen Sie bei Ihrer Arbeit auf viele Dinge gleichzeitig achten?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
COLB109 COS.....	Erfordert es Ihre Arbeit, dass Sie sich viele Dinge merken?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
COLB110 COS.....	Erfordert es Ihre Arbeit gut darin zu sein, neue Ideen zu entwickeln?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
COLB112 COS.....	Erfordert es Ihre Arbeit, schwierige Entscheidungen zu treffen?	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

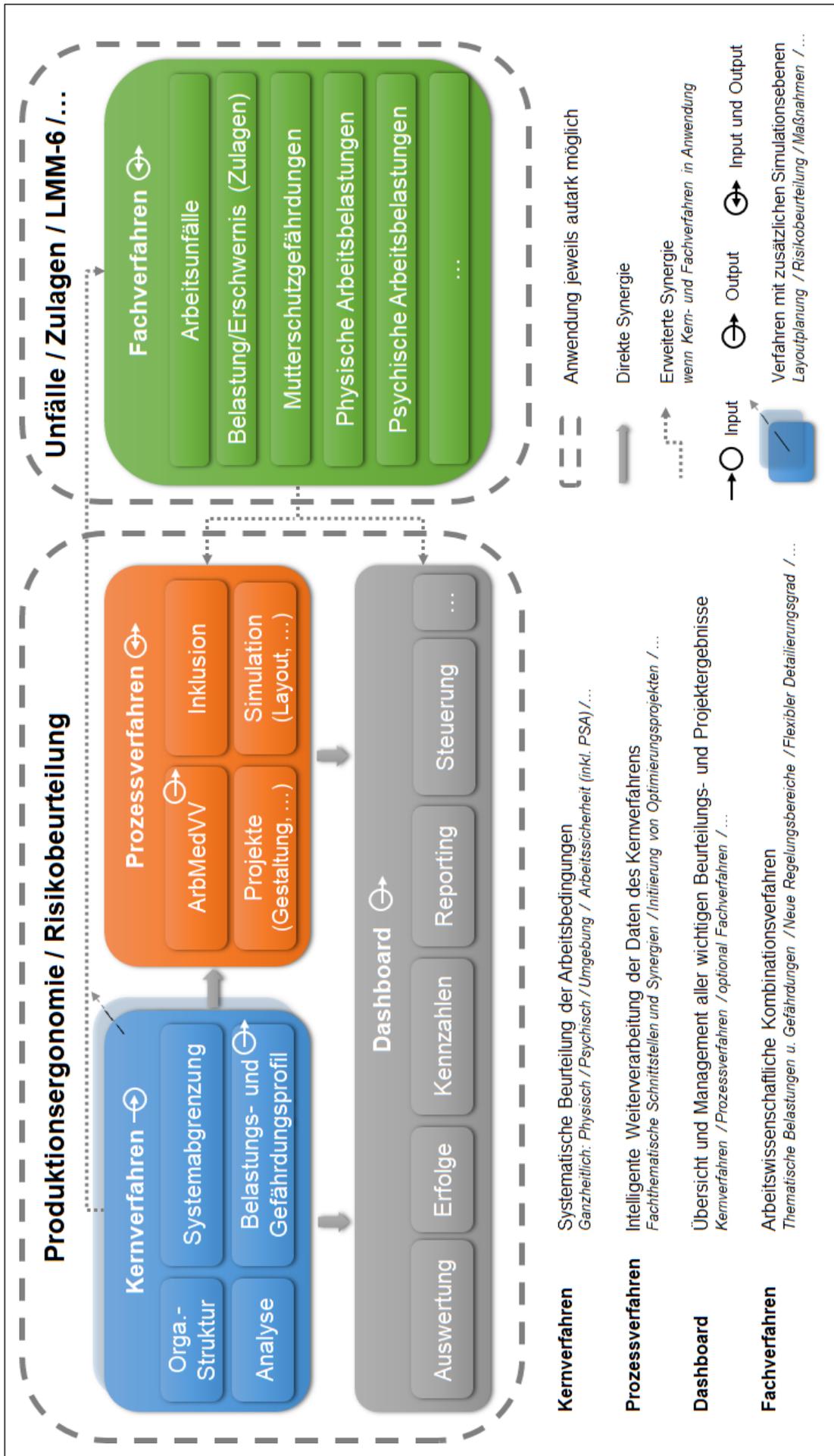
**Anhang 17: Dokumentation der klinischen Untersuchung (Ausschnitt
Lumbalgie / Lumbago) mit markiertem
Bereich der Detailanalyse im Rahmen der Evaluierung**

Lumbalgie / Lumbago?		Entscheidung
Outcome	INo. Kriterium	
Typisches Schmerzbild in Anamnese	• Akute od chronische Kreuzschmerzen ohne Ausstrahlung ins Bein	<input type="checkbox"/>
	• Keine radikuläre Symptomatik	<input type="checkbox"/>
	• Auslösung durch Hebevorgänge möglich	<input type="checkbox"/>
Prävalenz des Schmerzbildes	• aktuell	<input type="checkbox"/>
	• in den letzten 7 Tagen	<input type="checkbox"/>
	• in den letzten 12 Monaten	<input type="checkbox"/>
Typische funktionell klinische Hinweise	• Ex-Flex: Finger-Bodenabstand > 15 cm vergrößert	<input type="checkbox"/>
	• Seitneigung eingeschränkt	<input type="checkbox"/>
	• Rotation eingeschränkt	<input type="checkbox"/>
	• Lokaler Druckschmerz paravertebrale Muskulatur	<input type="checkbox"/>
Bei pseudoradikulärer Symptomatik Ausschluss von		
	• Lasègue positiv	<input type="checkbox"/>
	• Reflexausfall / Defizite motorisch oder sensibel	<input type="checkbox"/>
ZUSAMMEN- FASSENDER BEFUND:	• Ja, typische anamn. Hinweise für Krankheitsbild liegen vor.	<input type="checkbox"/> ₁
	• Ja, typische funkt. -klin. Hinweise für Krankheitsbild liegen vor.	<input type="checkbox"/> ₂
	• Keine Hinweise auf das Krankheitsbild.	<input type="checkbox"/> ₀

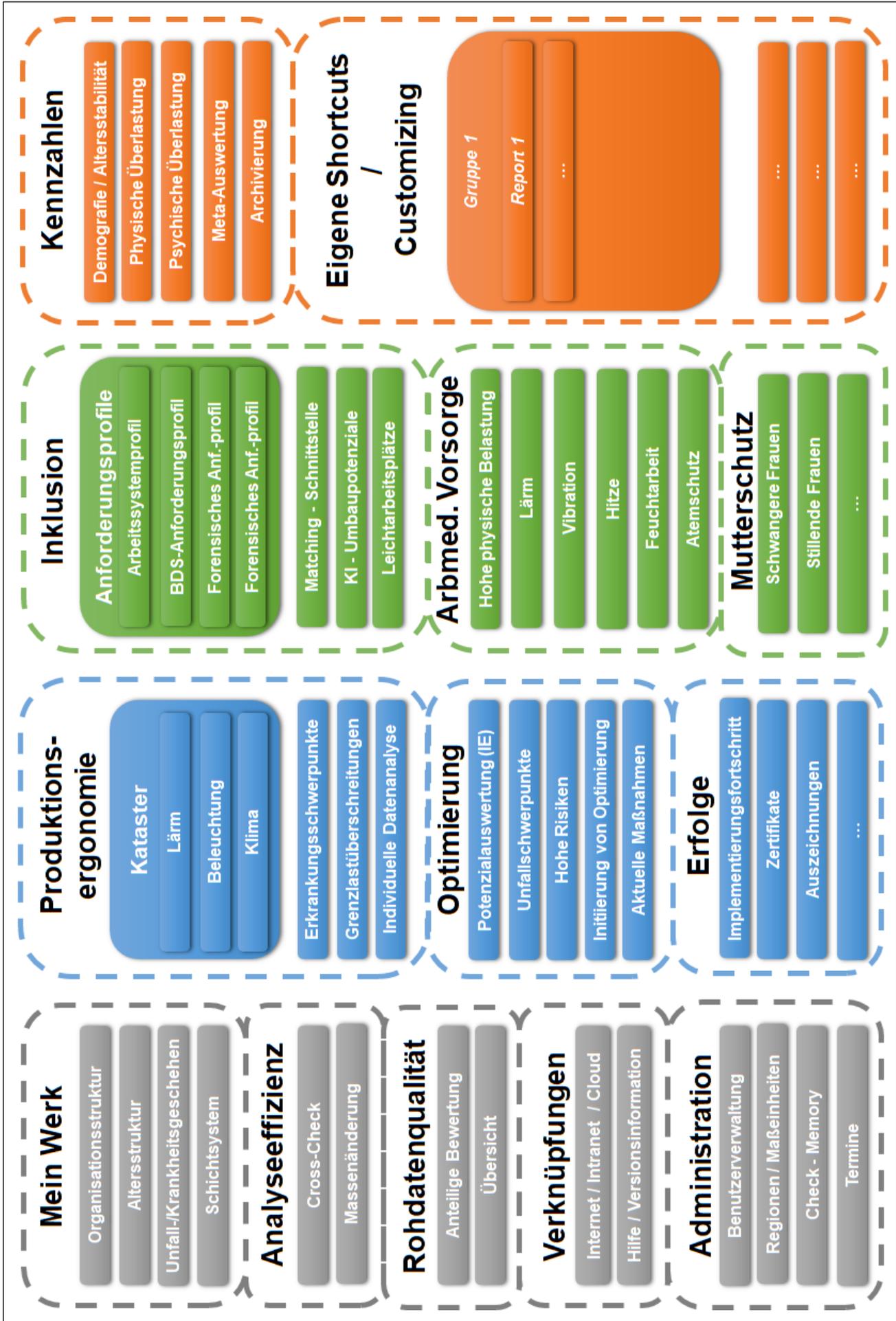
Anhang 18: BDS-Instrument 10.0 – Neues Verfahrensportfolio (1/2)



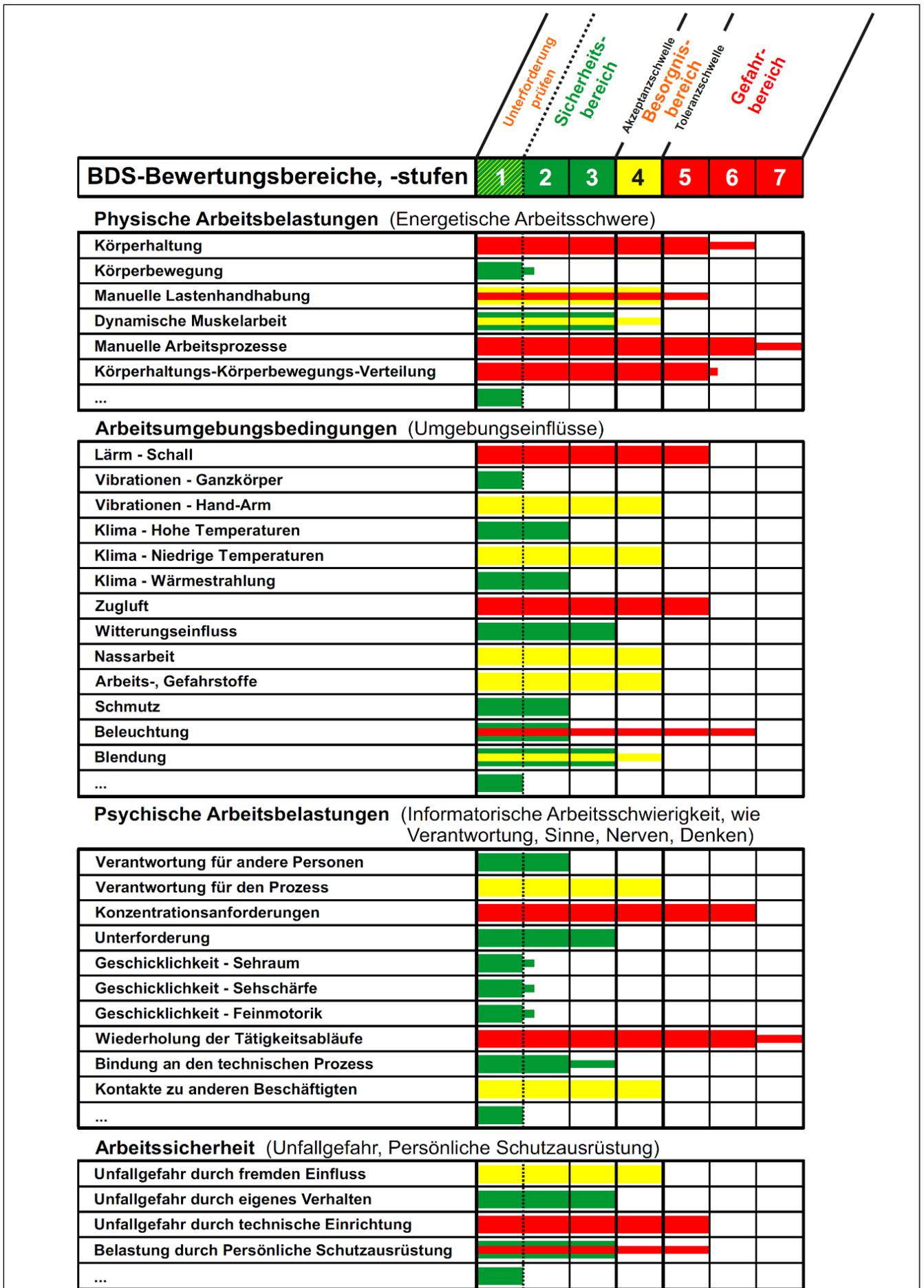
Anhang 19: BDS-Instrument 10.0 – Neues Verfahrensportfolio (2/2)



Anhang 20: BDS-Instrument 10.0 – Neues Dashboard-Konzept



Anhang 21: BDS-Instrument 10.0 – Kernverfahren: Belastungs- und Gefährdungsprofil



Anhang 22: BDS-Instrument 10.0 – Neues Fachverfahren zur Beurteilung von bis zu 270 Arbeitsunfallgefährdungen

Gefährdungsbeurteilung (Detailversion) - TestAP

Gefährdungsfaktoren Gesamtbewertung Arbeitsplatz

- > 0 Mechanische Gefährdungen
- > 3 Ungeschützte bewegte Maschinenteile
- > 0 Teile mit gefährlicher Oberfläche
- > 0 Transport und bewegte Arbeitsmittel
- > 0 Unkontrolliert bewegte Teile
- > 0 Stürzen, Ausrutschen, Stolpern, Umknicken
- > 0 Absturz
- > 0 Freitext
- > 0 Elektrische Gefährdungen
- > 0 Elektrischer Schlag
- > 0 Lichtbögen
- > 0 Elektrostatische Aufladungen
- > 0 Freitext
- > 0 Gefahrstoffe
- > 0 Biologische Gefährdungen
- > 0 Brand- und Explosionsgefährdung
- > 0 Thermische Gefährdung
- > 0 Gefährdung durch spezielle physikalische Einwirkungen
- > 2 Lärm
- > 1 Ganzkörpervibrationen
- > 0 Hand-Arm-Vibrationen
- > 0 Optische Strahlung (z. B. Infrarot, Strahlung)
- > 0 Ionisierende Strahlung (z. B. Röntgenstrahlung)
- > 0 Elektromagnetische Felder
- > 0 Unter- oder Überdruck
- > 0 Ultraschall, Infraschall
- > 0 Freitext
- > 0 Gefährdung durch Arbeitsumgebungsbedingungen
- > 0 Kältebelastung
- > 0 Wärmebelastung
- > 2 Beleuchtung, Licht
- > 0 Unzureichende Flucht- und Verkehrswege
- > 0 Unzureichende Bewegungsfläche am Arbeitsplatz
- > 0 Mensch-Maschine-Rechner-Schnittstelle
- > 0 Erstickn
- > 0 Ertrinken
- > 0 Freitext
- > 0 Physische Belastung / Arbeitsschwere
- > 3 Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten
- > 6 Manuelles Ziehen und Schieben von Lasten
- > 0 Manuelle Arbeitsprozesse
- > 0 Körperhaltung
- > 0 Krümmen

keine Gefährdung / nicht relevant

Dauer	keine Folgen	Bagatelldfolgen AU <= 3d	Verletzungs-, Erkrankungsfolgen AU > 3d	leichter bleibender Gesundheits-schaden <= 20% GdB	leichter bleibender Gesundheits-schaden > 20% GdB, Tod
< 5 min	0	0	2	3	6
5 - 30 min	0	1	3	4	7
30 - 120 min	0	1	4	6	8
> 120 min	0	2	5	7	9
ständig	0	3	6	8	10

Klassifizierung

Arbeitsplatz: Feingang DEMO Interne Kennung: 1234

Anzahl gleichzeitiger Arbeitsplätze: 7 Schichtfaktor: 4,9

Zustimmung

Abgegebene Berechnung: Training Produktion

personelle Daten

Beurteiler/in: Testbeurteiler

Erhebungs-Datum: 15.09.2015

Schichtdauer: 480 min

Ergebnis

Grundgefährdung: 1

erschwerend: 2

Beschreibung: 1.1 Ungeschützte bewegte Maschinenteile, 1.2 Teile mit gefährlichen Oberflächen, 1.3 Bewegte Transportmittel, bewegte Arbeitsmittel, 1.4 Unkontrollierte bewegte Teile, 1.5 Sturz auf der Ebene, Ausrutschen, Stolpern, 1.6 Absturz

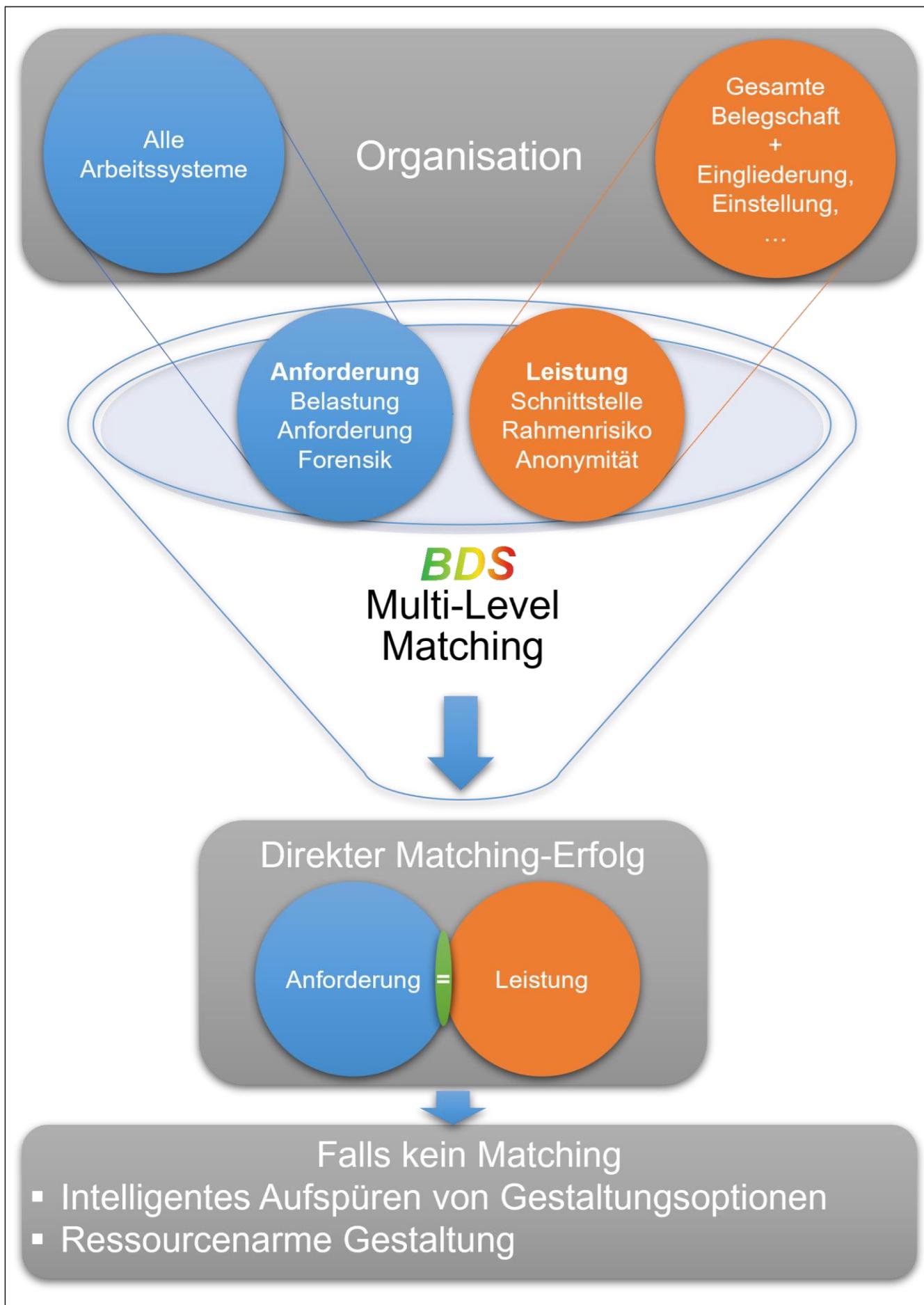
Beurteiler/tr: genaue Beschriftung, Fotos und Zeichnungen

Physische Belastung / Arbeitsschwere: 3, 6

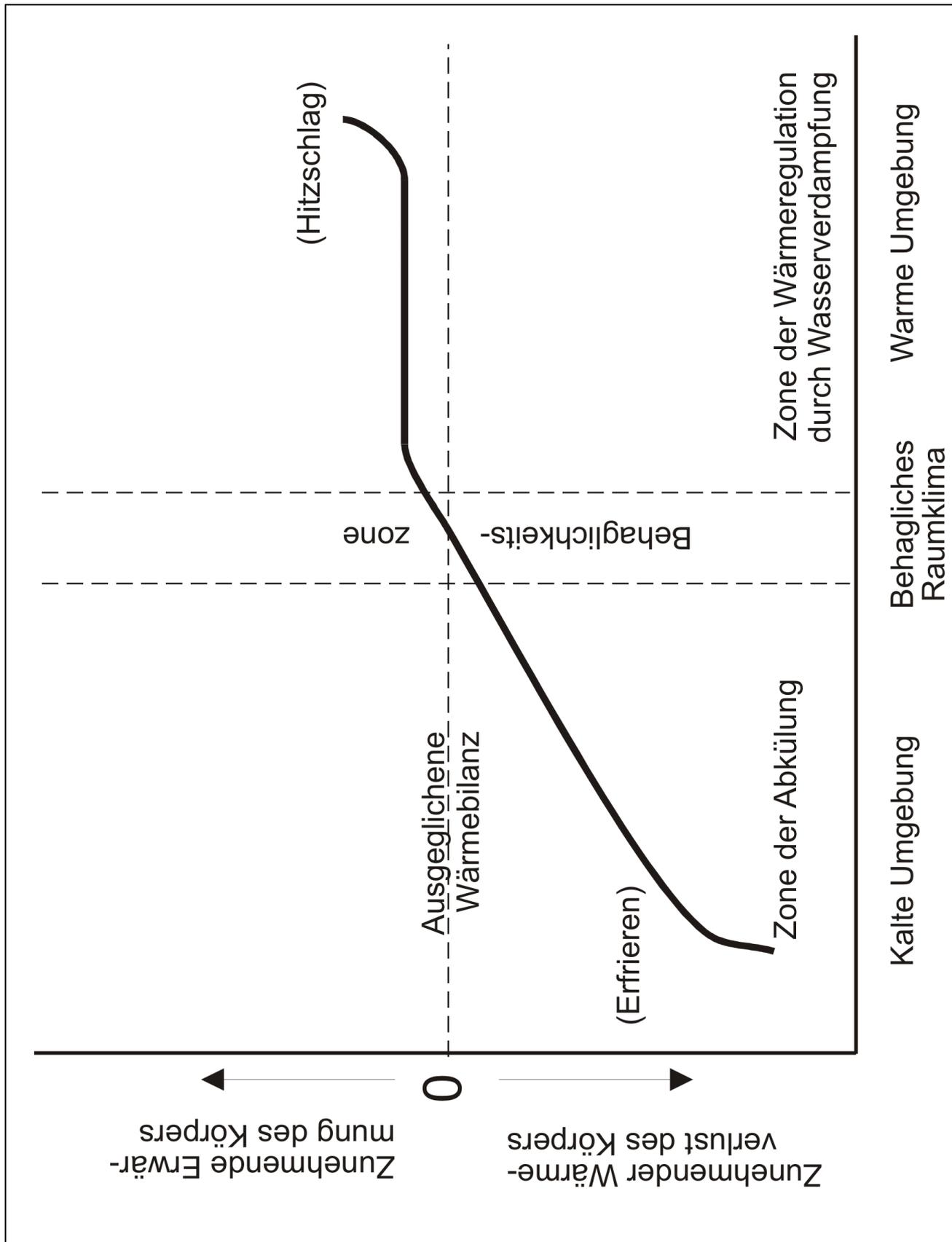
Gefährdungsfaktoren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gm
1. Mechanische Gefährdung											10
1.1 Ungeschützte bewegte Maschinenteile											
1.2 Teile mit gefährlichen Oberflächen											
1.3 Bewegte Transportmittel, bewegte Arbeitsmittel											
1.4 Unkontrollierte bewegte Teile											
1.5 Sturz auf der Ebene, Ausrutschen, Stolpern											
1.6 Absturz											
2. Elektrische Gefährdung											
2.1 gefährliche Körperströme											
2.2 Lichtbögen											
3. Gefahrstoffe											
3.1 Gase											
3.2 Dämpfe											
3.3 Aerosole											
3.4 Flüssigkeiten											
3.5 Feststoffe											
3.6 durchgehende Reaktionen											
4. Biologische Gefährdung											

Gefährdungskennzahl: 62 %
(Mittelwert aller Gefährdungen im untersuchten System)

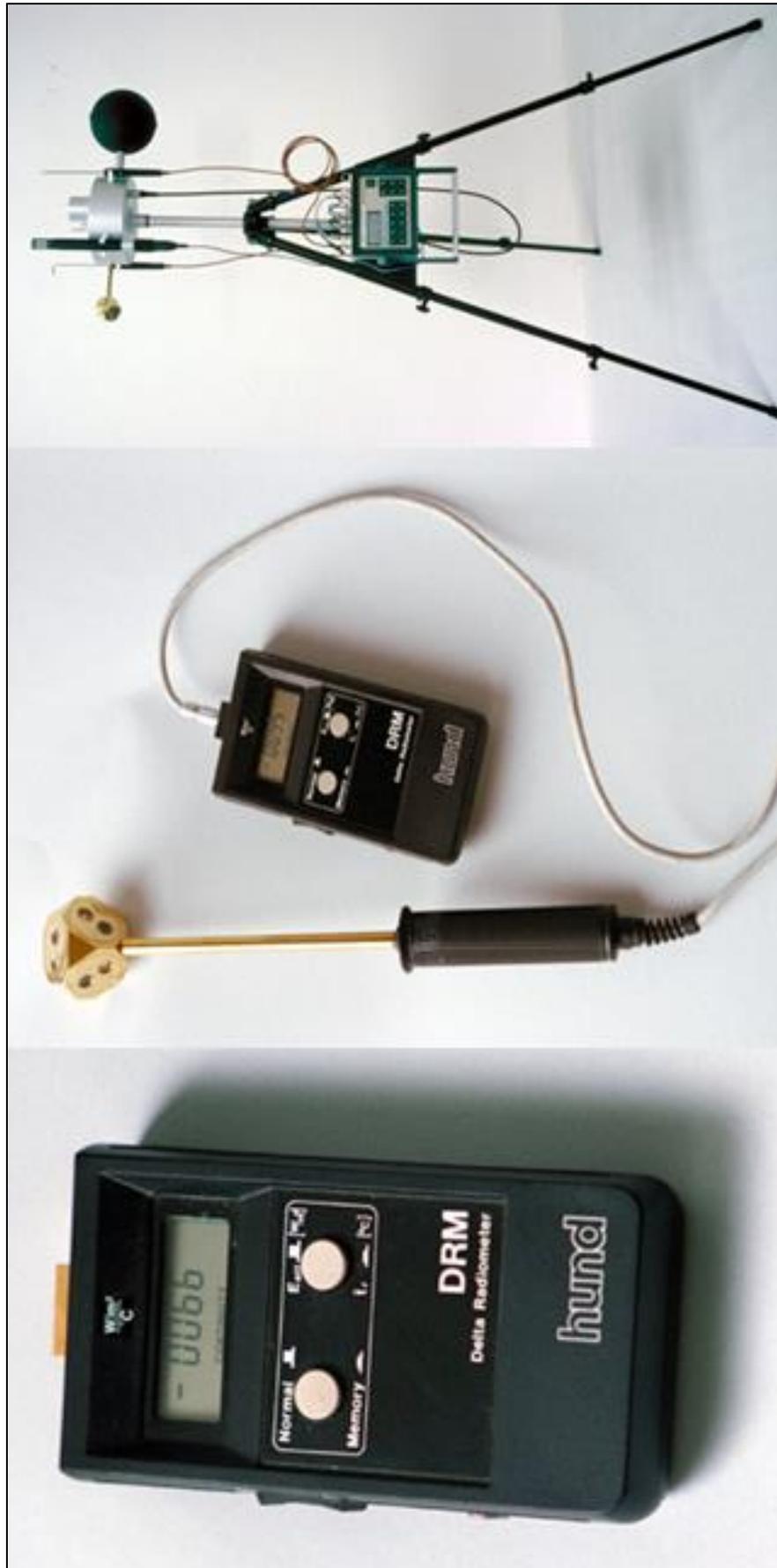
Anhang 23: BDS-Instrument 10.0 – Inklusive Produktionsergonomie



Anhang 24: Wärmebilanz des menschlichen Körpers (Grandjean, 1979)



Anhang 25: Unidirektional Delta-Radiometer (U-DRM), Multidirektional Delta-Radiometer (M-DRM) und Modulares Klima-Messsystem mit Multidirektional Delta-Radiometer und Globe-Thermometer



Anhang 26: Wärmestrahlungsbelastung in der Schlauchvulkanisierung

Fertigungsanlage		Entfernung	Bestrahlungsstärke
Bezeichnung (Typ)	Betriebstemperatur (°C)	horizontal (cm)	auf Strahlungsquelle gerichtet (W/m ²)
Vorwärmschrank Firma Binder klein/geschlossen	71	0 ¹	162
		20	60
		50	15
Vulkanisations- kessel <i>offen</i>	180	0	1.450
		20	1.310
		50	1.190
<i>geschlossen</i>		Bedienelemente ²	180
Kesselwagen mit Metalldornen	<i>keine</i>	50 ³	341 ⁴ (Vulkanisationsende) 246 (Abkühlung: 60s)
Vorwärmofen 3 Einschübe, <i>offen</i>	205	20	670
		100	290
		150	116
Erwärmungs- schrank (für Kunststoffdorne) <i>offen</i>	205	0	1940
		100	1470
		150	920
Vulkanisations- ofen ⁵ <i>offen</i>	205	0	1.300
		50	700
		100	200
<i>geschlossen</i>		100	50

¹ Sofern überwiegend hinein gegriffen werden muss, um Teile herauszuholen/hineinzulegen, sollte bei der Analyse jeweils diese (geringste) Entfernung zugrunde gelegt werden.

² Beim gemessenen Vulkanisationskessel waren die Bedienelemente 50cm seitlich versetzt an der Längsseite zur Öffnung angeordnet.

³ Repräsentiert den Arbeitsbereich vor den Dornen beim manuellem so genannten Auf-/Abdornen

⁴ Die Bestrahlungsstärke in diesem Praxisszenario ist stark abhängig von der Bestückungsdichte und der Art der bestückten Dorne und der daraus resultierenden Schlauch- und Metalloberflächengröße.

⁵ Betriebsbedingt kam es hierbei zu einer Überlagerung mit weiteren Vorwärmöfen auf engstem Raum aufgrund teils permanenter Öffnung.

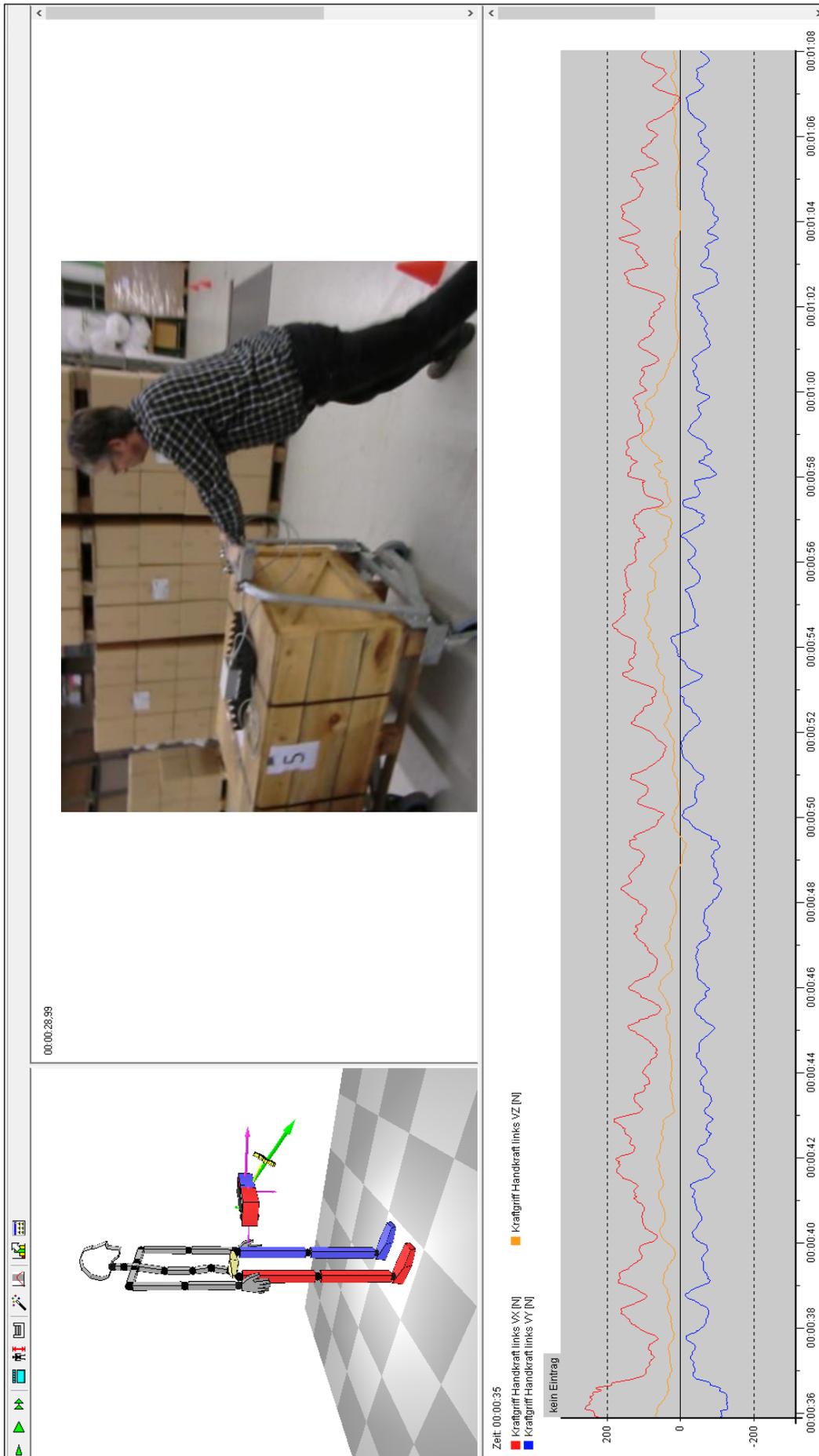
Anhang 27: Neue Situationsbeschreibungen für die Belastungsart Wärmestrahlung

Stufe	E_{eff} (W/m ²)	Neue Situationsbeschreibungen
7	> 300	Metalldome auf Dornscheiben
6	261 - 300	Vorwärmöfen – 3-teilig, offen, übereinander angeordnete Einschübe, 205°C, etwa 1 Meter Entfernung
5	221 - 260	Metalldome auf Dornscheiben/Wägen - 5 Minuten Abkühldauer
4	161 - 220	Vorwärmchränke (kleine Ausführungen, offen, etwa 70°C)
3	96 - 160	Vulkanisationskessel – Arbeitsbereich an seitlich geschützten und versetzten Bedienelementen
2	35 - 95	Große Vorwärmchränke – geschlossen
1	< 35	Vorheizöfen/-chränke mit guter Isolierung

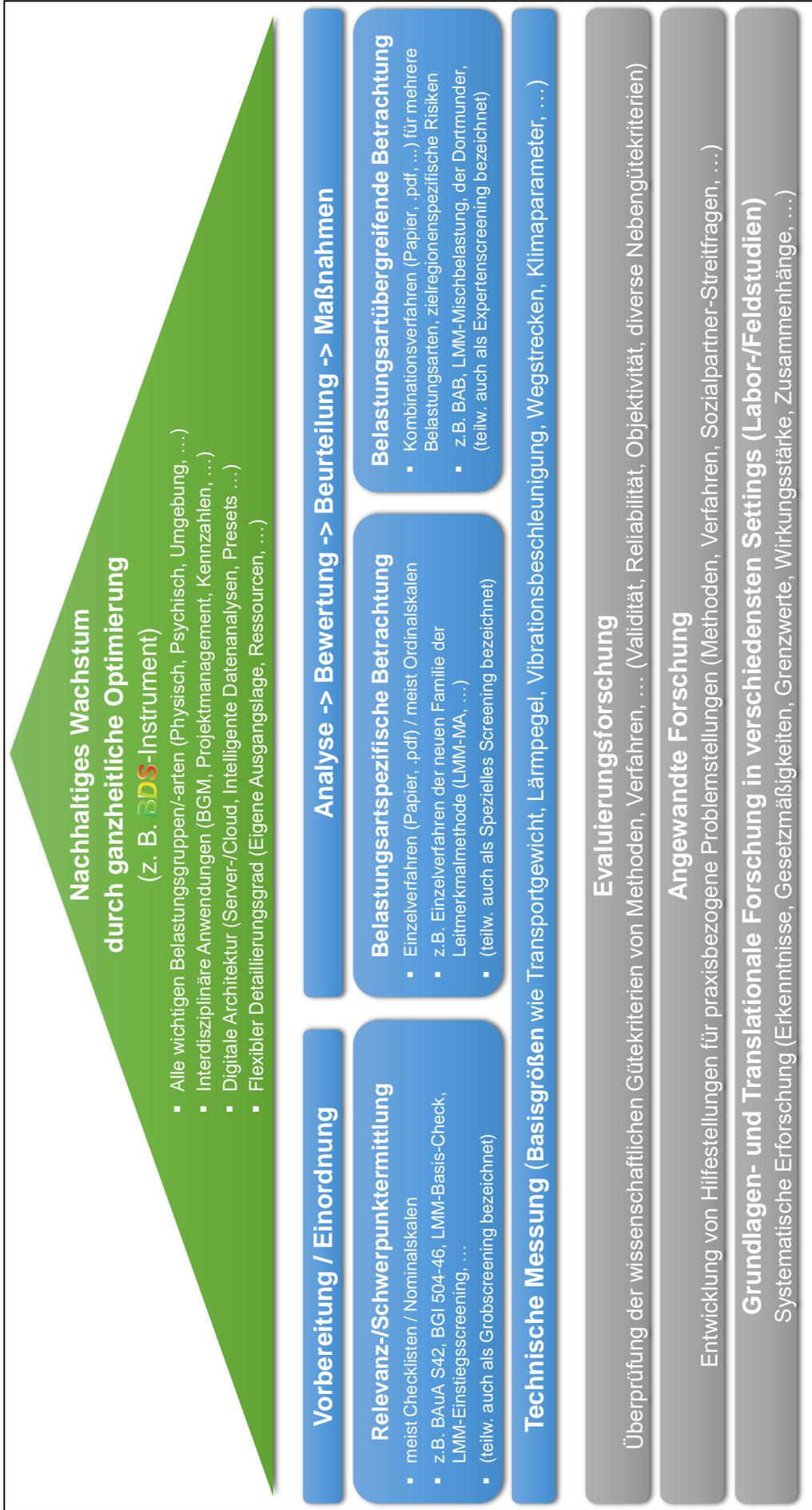
Anhang 28: Praxiserprobung am COBOT-Arbeitssystem



Anhang 29: Gestaltungsorientierte Messung von Aktionskräften (Effektvergleich verschiedener Laufbelagsmaterialien)



Anhang 30: Grundlagenforschung -> Nachhaltiges Wachstum



Anhang 31: Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen (2019)

Ungünstige Ausführungsbedingungen (nur angeben, wenn zutreffend)
*In den Tabellen nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen.
Seltene Abweichungen sind vernachlässigbar.*

Hand-/Armstellung/-bewegung:	Gelegentlich am Ende der Beweglichkeitsbereiche	Σ ZW
	Häufig / ständig am Ende der Beweglichkeitsbereiche	1
		2
		1
		2
		1
		1
		2 ⁴⁾
		1
		2
		5 ⁴⁾
		0

Kraftübertragung/-einleitung eingeschränkt:
Lassen schlecht greifbar / erhöhte Haltekraft erforderlich / keine gestalteten Griffe / Arbeitshandschuhe
Kraftübertragung/-einleitung erheblich behindert:
Lasten kaum greifbar / schmiegl. weich, scharfkantig / keine oder ungeeignete Griffe / Arbeitshandschuhe
Umgebungsbedingungen eingeschränkt: Ungünstige Witterungsbedingungen und/oder Belastungen durch Hitze, Zugluft, Kälte, Nässe

Räumliche Bedingungen eingeschränkt:
Zu kleine Arbeitsfläche unter 1,5 m². Boden ist mäßig verschmutzt, etwas uneben, leichte Neigung bis 5°, leicht eingeschränkte Standsicherheit. Last ist genau zu positionieren
Räumliche Bedingungen ungünstig:
Stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit oder Bewegungsraum hat zu geringe Höhe. Arbeiten auf engem Raum. Boden ist stark verschmutzt, uneben oder grob geflulast. Stufen / Schlaglöcher, stärkere Neigung 5-10°; eingeschränkte Standsicherheit. Last ist sehr genau zu positionieren
Kleidung: Zusätzliche Belastung durch beeinträchtigende Kleidung oder Ausrüstung (z.B. Tragen schwerer Regenjacken, Ganzkörperschutzanzügen, Atemschutzgeräten, Werkzeuggehäusen o.ä.)
Erschwernis durch Halten / Tragen: Die Last ist zwischen > 5 und 10 Sekunden zu halten oder über eine Strecke zwischen > 2 m und 5 m zu tragen.
Deutliche Erschwernis durch Halten / Tragen: Die Last > 10 Sekunden zu halten oder über eine Strecke > 5 m zu tragen.

Keine: Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.
⁴⁾ Achtung: Sofern beim Tragen von Lasten ungünstige räumliche Bedingungen vorliegen oder die Last über Strecken > 10 m zu tragen ist, ist diese Teil-Tätigkeit mit der LMM-KB zu bewerten!

Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung

Gut: Häufig Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.
Eingeschränkt: Seltene Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.
Ungünstig: Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag mit zeitweise hohen Belastungsspitzen.

3. Schritt: Bewertung und Beurteilung

Zeitwichtung X

Wirksames Lastgewicht
Lastaufnahmebedingungen +
Summe Körperhaltung +
Ungünstige Ausführungsbedingungen (Σ ZW) +

Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung +

Summe Merkmals-Wichtungen:

M W

Ergebnisse

M W

=

Maßnahmen

Keine

Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.

Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

^{*) Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung zunimmt.}

Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten ≥ 3 kg (LMM-HHT)

Arbeitsplatz / Teil-Tätigkeit:	Beurteiler:
Zeildauer des Arbeitstages:	Datum:
1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung	
Häufigkeit (bis ... Mal pro Teil-Tätigkeit und Arbeitstag):	5 20 50 100 150 220 300 500 750 1000 1500 2000 2500
Zeitwichtung:	1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 5 6 7 8 9 10
2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen der weiteren Merkmale	
Wirksames Lastgewicht ¹⁾	Lastwichtung Männer
3 bis 5 kg	4
> 5 bis 10 kg	6
> 10 bis 15 kg	9
> 15 bis 20 kg	12
> 20 bis 25 kg	11
> 25 bis 30 kg	15
> 30 bis 35 kg	25
> 35 bis 40 kg	35
> 40 kg	100

¹⁾ Mit dem „wirksamen Lastgewicht“ ist die Belastung gemeint, die der/die Beschäftigte tatsächlich aufbringen muss. Beim Kippen eines Kartons wirken nur etwa 50 % des Lastgewichts, beim Tragen einer Last zu zweit wirken pro Person etwa 60 % des Lastgewichts (durch erhöhte Anforderungen an Lastkontrolle und Koordination darf nicht nur von 50 % ausgegangen werden).

Lastaufnahmebedingungen

Lastaufnahme	Wichtung
Lastaufnahme ist beidhändig und symmetrisch	0
Lastaufnahme ist zeitweilig einhändig und/oder unsymmetrisch, ungleiche Lastverteilung zwischen den Händen	2
Lastaufnahme ist überwiegend einhändig oder instabiler Lastschwerpunkt	4

Körperhaltung²⁾
Die Bewegung kann in beide Richtungen erfolgen, d.h. die dargestellten Piktogramme können sowohl Start als auch Ziel der Lastenhandhabung darstellen. Befinden sich mehrere Piktogramme in einem Feld, sind diese als gleichwertig anzusehen. Zusätzlich sind Rumpfvordrehung / -seitneigung, Lastposition / körpereigene Gelenke, Arbeit mit angehobenen Händen und Greifen über Schulterhöhe zu betrachten. (Zusatzpunkte)

Start / Ziel	Ziel / Start	Wichtung	Zusatzpunkte (max. 6 Punkte)
		0	Gelegentliche Rumpfvordrehung bzw. -seitneigung erkennbar +1
		3	Häufige / ständige Rumpfvordrehung bzw. -seitneigung erkennbar +3
		5	Lastschwerpunkt bzw. Hände gelegentlich körperfern +1
		13 ³⁾	Lastschwerpunkt bzw. Hände häufig / ständig körperfern +3 ³⁾
		15 ³⁾	Arms gelegentlich angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe +0,5
		7	Arms häufig / ständig angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe +1
		18 ³⁾	Hände gelegentlich über Schulterhöhe +1
		9 ³⁾	Hände häufig / ständig über Schulterhöhe +2 ³⁾
Wichtung KH + Zusatzpunkte =			
(max. 6 Punkte)			

²⁾ Es sind insbesondere die typischen Körperhaltungen zum Zeitpunkt der Lastaufnahme und -abgabe zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden. Wird die Hebe- / Haltearbeit im Sitzen ausgeführt, z.B. beim Umsetzen, sind die Piktogramme sinngemäß anzuwenden. Höhere Lastgewichte bei der Lastenhandhabung im Sitzen sollten vermieden werden.

³⁾ Achtung: Sofern diese Kategorie gewählt wurde, wird empfohlen, diese Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-KH (Körperhaltung) zu bewerten!

Anhang 32: Leitmerkmalmethode Ziehen, Schieben (2019)

Ungünstige Eigenschaften Flurförderzeug/Hängebahn/Hängekran		Zwischenwichtung ZW	Summe ZW (maximal 4)
Keine geeigneten Handgriffe oder Konstruktionsstelle für die Kraffeinleitung		2	3
Keine Bremse beim Fahren auf Neigungen > 2° (> 3%)		3	
Unangepasste Rollen (z.B. zu klein auf weichem oder unebenem Boden)		2	
Defekte Rollen (ausgeschlagen, schleifend, schwergängig, zu geringer Luftdruck)		2	
Keine: Es liegen keine ungünstigen Eigenschaften der Flurförderzeuge vor.		0	0

Körperhaltung / Körperbewegung ⁸⁾	Wichtung
<ul style="list-style-type: none"> Rumpf aufrecht oder leicht vorgebeugt, keine Verdrehung, Krattangriffsfläche frei wählbar, keine Behinderung im Beinraum 	3
<ul style="list-style-type: none"> Neigung des Körpers in Bewegungsrichtung oder leichte Verdrehung bei einseitigem Ziehen Feste Krattangriffsfläche im Bereich von 0,9 – 1,2 m keine oder geringfügige Behinderung im Beinraum überwiegend Ziehen 	5
<ul style="list-style-type: none"> Erzwungene Körperhaltungen durch <ul style="list-style-type: none"> feste Krattangriffsfläche < 0,9 oder > 1,2 m einseitig seitlichen Krattangriff erhebliche Sichtbehinderungen erhebliche Behinderungen im Beinraum Häufige / ständige Rumpfordrehung bzw. -seitneigung erkennbar Krattfrichtung → 	8

Es ist die typische Körperhaltung zu berücksichtigen. Wenn beim Anfahren, Abbremsen und Rangieren deutlichere Rumpfordrehung auftreten, werden diese bei den ungünstigen Ausführungsbedingungen berücksichtigt.

Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung

Gut: Häufig Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitsplatz.

Eingeschränkt: Selten Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitsplatz.

Ungünstig: Kein kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag mit zeitweise hohen Belastungsspitzen.

3. Schritt: Bewertung und Beurteilung

<ul style="list-style-type: none"> Lastgewicht / Flurförderzeug Fahrgew + Ungünstige Ausführungsbedingungen (Σ ZW) + Eigenschaften Flurförderzeug (Σ ZW) + Körperhaltung + Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung + 	<ul style="list-style-type: none"> Summe = Zeitwichtung X Merkmals-Wichtungen: 	<ul style="list-style-type: none"> Ergebnis
---	---	--

Wenn weibliche Beschäftigte: x 0,7

ZS zu zweit: x 0,7

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Beurteilung vorgenommen werden:

Risiko	Belastungshöhe	Wahrscheinlichkeit körperlicher Überbeanspruchung	Mahnahmen
1	< 20 Punkte	a) Körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich b) Gesundheitsgefährdung nicht zu erwarten	Keine
2	20 - < 50 Punkte	a) Körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. b) Ermüdung, geringgradige Anpassungsbeschwerden, die in der Freizeit kompensiert werden können	Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.
3	50 - < 100 Punkte	a) Körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich b) Beschwerden (Schmerzen) ggf. mit Funktionsstörungen meistens reversibel, ohne morphologische Manifestation	Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.
4	≥ 100 Punkte	a) Körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. b) Starker ausgeprägte Beschwerden und / oder Funktionsstörungen, Strukturschäden mit Krankheitswert	Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

**Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsanforderungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verwendet werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung zunimmt.*

LMM zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim Ziehen und Schieben (LMM-ZS)													
Arbeitsplatz / Teil-Tätigkeit:	Beurteiler: Datum:												
Zeiddauer des Arbeitstages:	Datum:												
Zeiddauer der Teil-Tätigkeit:	Datum:												
1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung (Weglänge, Zeitdauer des ZS)													
Weglänge ¹⁾ bis ...m ²⁾	40	200	400	800	1200	1800	2500	4200	6300	8400	11000	15000	20000
Dauer ¹⁾ bis ...min ²⁾	≤ 1	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 45	≤ 60	≤ 100	≤ 150	≤ 210	≤ 270	≤ 360	≤ 480
Zeitwichtung	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
<i>*Es wird eine ungerade Laufgeschwindigkeit beim Ziehen und Schieben von 0,7 m/s (± 0,5 km/h) angenommen. ¹⁾ pro Teil-Tätigkeit und Arbeitstag.</i>													
2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen der weiteren Merkmale													
Zu bewegendes Lastgewicht inklusive Flurförderzeug [kg]	Flurförderzeug												
	Wagen												
Karren ³⁾⁴⁾	nur Lenkrollen		mit Bockrollen oder feststellbaren Lenkrollen		mit Deichsel- lenkung		Hänge- bahnen		Hänge- kranne				
	1 / 1		1 / 1		1 / 1		1 / 1		1 / 1				
3	2	2,5	3	1	1	1	1	1	2	2			
> 50 bis 100	5	3	4	1	1	1	1	1	2,5	2,5			
> 100 bis 200	10	6	7	4	6	2	1,5	1,5	3,5	3,5			
> 200 bis 300	50	12	50	8	3	2	2	2	4,5	4,5			
> 300 bis 400	50	7	12	4	3	2,5	2,5	2,5	6	6			
> 400 bis 600	100	12	50	6	5	4	4	4	10	10			
> 600 bis 800	100	15	10	8	7	7	7	7	15	15			
> 800 bis 1000	100	15	12	12	10	10	10	10	50	50			
> 1000 bis 1300	100	100	50	50	50	50	20	20	100	100			
> 1300	100	100	100	100	100	100	50	50	100	100			

** Die Lastwichtungen berücksichtigen neben den Vortriebskräften auch Anhebe-, Kipp-, Balancier- und Absetzkräfte.
³⁾ Karren mit Stützrädern, Treppenkarren und andere Sonderbauarten können mit der LMM-ZS nicht differenziert beurteilt werden.
⁴⁾ z.B. Mülltonnen im Außenbereich mit einseitigen Radlagern, die ggf. der Witterung ausgesetzt sind.
 Graue Felder: Diese Lastgewichte können nicht mehr sicher bewegt werden.*

Beschaffenheit des Fahrgwegs	Wichtung	Wagen
Fahrgweg überall eben, glatt, fest, trocken, ohne Neigung	0	0
Fahrgweg meist glatt und eben, mit kleineren Schadstellen/Störungen, ohne Neigung	0	0
Mischung von Pflaster, Beton, Asphalt, geringfügige Neigungen ⁶⁾ , abgesenkte Bordsteinkanten	0	1
Mischung von grob gepflastert, fester Sand, geringfügige Neigungen ⁶⁾ , kleinere Kanten/Schwelien	1	2
Unbefestigter oder grob gepflasteter Fahrgweg, Schlaglöcher, starke Verschmutzung, geringfügige Neigungen, Absätze, Schwelien	3	5
Zusatzpunkte bei erheblicher Neigung oder Treppen	Wichtung + Zusatzpunkte	
Neigungen 2 bis 4° (4 bis 8%)	5	
Neigungen 5 bis 10° (9 bis 18%)	10	
Treppen ⁷⁾ , Neigungen > 10° (18%)	25	

⁶⁾ geringfügige Neigung: bis 2° (4%) ⁷⁾ nur für die Benutzung von Treppenkarren

Ungünstige Ausführungsbedingungen (nur angeben, wenn zutreffend)	Zwischenwichtung ZW	Summe ZW (maximal 4)
Regelmäßig stark erhöhte Anfahrkräfte durch Einsinken in den Boden oder Verteilung von Flurförderzeugen	3	3 / 1
Häufige Fahrtrübrechung mit Abbremsen / ohne Abbremsen	3	
Last ist exakt zu positionieren und anzuhalten, Fahrgweg ist exakt einzuhalten	1	2
Erhöhte Bewegungsgeschwindigkeit (ca. 1,0 bis 1,3 m/s)	2	
Keine: Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.	0	0

Anhang 33: Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (2019)

Körperhaltung/-bewegung ⁶⁾		Wichtung
	<ul style="list-style-type: none"> Wechsel von Sitzen und Stehen, Wechsel von Stehen und Gehen, dynamisches Sitzen möglich Rumpf maximal sehr leicht vorgebeugt Keine Rumpfvorwärtigung bzw. -seitneigung erkennbar Kopfhaltung: variabel, kein Rückwärts- und / oder starkes Vorwärts- bzw. dauernde Drehung kein Greifen über Schulterhöhe/ kein körperfernes Greifen 	0
	<ul style="list-style-type: none"> überwiegend Sitzen oder Stehen mit gelegentlichem Gehen Rumpf mit leichter Neigung des Körpers zum Handlungsbereich gelegentliche Rumpfvorwärtigung bzw. -seitneigung erkennbar gelegentliche Abweichungen von einer guten „neutralen“ Kopfhaltung/-bewegung gelegentliches Greifen über Schulterhöhe / gelegentliches körperfernes Greifen 	2
	<ul style="list-style-type: none"> ausschließlich Stehen oder Sitzen ohne Gehen Rumpf deutlich vorgebeugt und/oder häufige Rumpfvorwärtigung bzw. -seitneigung erkennbar häufige Abweichungen von einer guten „neutralen“ Kopfhaltung/-bewegung Kopfhaltung zur Detailerkennung vorgebeugt / eingeschränkte Bewegungsfreiheit häufiges Greifen über Schulterhöhe / häufiges körperfernes Greifen 	4
	<ul style="list-style-type: none"> Rumpf stärker vorgebeugt / häufiges oder langandauerndes Bücken Arbeiten im Knien, Hocken, Liegen ständige Rumpfvorwärtigung bzw. -seitneigung erkennbar strenge fixierte Körperhaltung / visuelle Kontrolle der Handlung über Lupen oder Mikroskope ständige Abweichungen von einer guten „neutralen“ Kopfhaltung/-bewegung ständige Abweichungen über Schulterhöhe / ständiges körperfernes Greifen 	6 ⁷⁾

⁶⁾ Es sind die typischen Körperhaltungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.
⁷⁾ Werden die manuellen Arbeitsprozesse nicht stationär im Sitzen, Stehen, Knien, Hocken, Liegen ausgeführt, sondern in der Bewegung (Gehen, Kriechen), wird empfohlen, die Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-KB zu bewerten.
⁸⁾ Achtung: Sofern diese Kategorie gewählt wurde, wird empfohlen, diese Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-KH zu bewerten!

Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung	Wichtung
Gut: Häufig Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	0
Eingeschränkt: Seltene Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	2
Ungünstig: Kaum/kein Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag mit zeitweise hohen Belastungsspitzen.	4

3. Schritt: Bewertung und Beurteilung

Art der Kraftausübung(en) im Finger-Handbereich

Kraftübertragung / Greifbedingungen	+
Hand-Arm-Stellung und -bewegung	+
Ungünstige Ausführungsbedingungen	+
Körperhaltung	+
Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung	+
Summe Merkmals-Wichtungen:	=
Zeitwichtung	X
Ergebnis	

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Beurteilung vorgenommen werden:

Risiko	Risiko-bereich	Punkte	Beurteilung	Maßnahmen
Hoch	1	< 20 Punkte	gering	Keine
	2	20 - < 50 Punkte	mäßig erhöht	Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.
	3	50 - < 100 Punkte	wesentlich erhöht	Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.
Sehr hoch	4	≥ 100 Punkte	hoch	Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

⁷⁾ Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung zunimmt.

Entwurf zur Praxisprüfung – Version 12.3 – Stand 04.2019 – © BAUA/ASER/ArbMedErgo/ebus

LMM zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen (LMM-MA)

Arbeitsplatz / Teil-Tätigkeit:	Beurteiler:	Datum:
Zeildauer des Arbeitstages:		
Zeildauer der Teil-Tätigkeit:		

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung

Gesamtdauer dieser Teil-Tätigkeit pro Arbeitstag [bis ... Stunden]	Wichtung									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
bis 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen der weiteren Merkmale

Höhe	Halten ¹⁾		Bewegen		Wichtung			
	mittl. Haltedauer (Sek. pro Minute)	mittl. Bewegungshäufigkeiten (Anzahl pro Minute)	mittl. Haltedauer (Sek. pro Minute)	mittl. Bewegungshäufigkeiten (Anzahl pro Minute)				
gering	31-60	16-30	≤ 5	5-15	16-30	61-90 ²⁾		
hoch	5,5	3	1,5	0,5	1	2,5	5	7
	9	4,5	2,5	0,5	2	4	7,5	11
hoch	14	7	3,5	1	3	6	12	18
	22	11	5,5	1,5	5	10	19	
	100	35	8	30	100			

Wichtungen der Kratausübungen:

Wichtungen der Kratausübungen:	Linke Hand	Rechte Hand
Wichtig	8	30
Wichtig	8	30

Höhe

gering

hoch

Beschreibung, typische Beispiele

Sehr geringe / geringe Kräfte (bis 15 % F_{maxM})
 z.B. Tastenbedienun / Verschieben / Ordnen / Materialführung / Einlegen von kleinen Teilen

Mittlere Kräfte (bis 30 % F_{maxM})
 z.B. Greifen / Fügen von kleinen Werkstücken mit der Hand oder kleinen Werkzeugen

Hohe Kräfte (bis 50 % F_{maxM})
 z.B. Drehen / Wickeln / Verpacken / Fassen / Halten oder Fügen von Teilen / Eindrücken / Schneiden / Arbeiten mit kleineren angetriebenen Handwerkzeugen

Sehr hohe Kräfte (bis 80 % F_{maxM})
 z.B. kräftiges Schneiden / Arbeit mit kleinen Tackern / Bewegen oder Halten von Teilen oder Werkzeugen

Spitzenkräfte³⁾ (über 80 % F_{maxM})
 z.B. Schrauben anziehen, Lösen / Treiben / Eindrücken

Kräftiges Schlagen⁴⁾ mit Daumenballen, Handfläche oder Faust

Der Arbeitszyklus ist zu beobachten und die Wichtungen für die Kratkategorien zu markieren. Adäquat (linke und rechte Hand getrennt) ergeben diese die Kennzeichnung. Für die Errechnung der Gesamtpunktzahl (Schritt 3) ist der höhere Wert zu verwenden.

¹⁾ Als Haltearbeit werden nur dann Zeitelemente berücksichtigt, wenn ein Arm mindestens 4 Sekunden durchgehend statisch gehalten wird!

²⁾ Achtung: Sofern eine dieser Kategorien gewählt wurde, wird empfohlen, diese Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-GK zu bewerten!

³⁾ Ggls. können diese Kräfte gar nicht oder nicht mehr sicher aufgebracht werden. Dies gilt insbesondere für Frauen.

⁴⁾ Bei noch höheren Häufigkeiten ist der resultierende Punktwert linear zu extrapolieren oder die E-Version (LMM-MA-E) anzuwenden.

Kraftübertragung / Greifbedingungen

Optimale Kraftübertragung/-einleitung / Arbeitsgegenstände gut greifbar (z.B. Stabform, Griffmulden) / gute ergonomische Griffgestaltung (Griffe, Tasten, Werkzeuge)	Wichtung
0	0
Eingeschränkte Kraftübertragung/-einleitung / erhöhte Haltekräfte erforderlich / keine gestalteten Griffe	2
Kraftübertragung/-einleitung erheblich behindert / Arbeitsgegenstände kaum greifbar (schmierig, weich, scharfkantig) / keine oder ungeeignete Griffe	4

Hand-/Armstellung und -bewegung⁵⁾

Gut: Stellung oder Bewegungen der Gelenke im mittleren (entspannten) Bereich, nur selten Abweichungen / keine andauernde statische Armmhaltung / Hand-Arm-Auflage bei Bedarf möglich	Wichtung
0	0
Eingeschränkt: Gelegentliche Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche / gelegentlich lange andauernde statische Armmhaltung	1
Ungünstig: Häufige Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche / häufig lange andauernde statische Armmhaltung	2
Schlecht: Ständige Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche / ständig lange andauernde statische Armmhaltung	3

⁵⁾ Es sind die typischen Stellungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.

Ungünstige Ausführungsbedingungen (nur angeben, wenn zutreffend)

Gut: Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.
 d.h. sichere Detailerkennbarkeit / keine Blendung / gute klimatische Bedingungen

Eingeschränkt: Gelegentlich erschwerte Detailerkennbarkeit durch Blendung oder zu kleine Details

Erschwerende Bedingungen wie Zugluft, Kälte, Nässe und/oder Konzentrationsstörungen durch Geräusche

Ungünstig: Häufige erschwerte Detailerkennbarkeit durch Blendung oder zu kleine Details

Häufig erschwerende Bedingungen wie Zugluft, Kälte, Nässe und/oder Konzentrationsstörungen durch Geräusche

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind singemäßig zu berücksichtigen.

Anhang 34: Leitmerkmalmethode Ganzkörperkräfte (2019)

Ungünstige Ausführungsbedingungen (nur angeben, wenn zutreffend) Hinweis: Hier können für ungünstige Ausführungsbedingungen Zusatzpunkte (Zwischenwichtigungen) vergeben werden	Zwischenwichtung (ZW)	Σ ZW
Hand-/Armstellungsbewegung: 	Gelegentlich am Ende der Beweglichkeitsbereiche Häufig ständig am Ende der Beweglichkeitsbereiche	1 2
Kraftübertragung/-einleitung eingeschränkt Gegenstände/Werkzeuge schleicht greifbar / erhöhte Haltekräfte erforderlich / keine gestalteten Griffe		1
Kraftübertragung/-einleitung erheblich behindert Gegenstände/Werkzeuge kaum greifbar / schmierig, weich, scharfkantig / keine oder ungeeignete Griffe		2
Umgebungsbedingungen eingeschränkt: Belastungen durch Hitze, Kälte und/oder Vibration ⁶⁾		1
Umgebungsbedingungen ungünstig: Belastungen durch extreme Hitze, Kälte und/oder Vibration ⁶⁾		2
Erhöhte Anstrengung durch eingeschränkte räumliche Bedingungen Eingeschränkte Standsicherheit und/oder eingeschränkter Bewegungsraum, z.B. zu geringe Höhe oder Arbeitsfläche unter 1,5 m / Boden etwas rutschig, leichte Neigung (bis 5°), Hindernisse im Arbeitsbereich		1
Stark erhöhte Anstrengung durch ungünstige räumliche Bedingungen Stark eingeschränkte Standsicherheit und/oder Bewegungsfreiheit, z.B. bei Arbeiten auf sehr engem Raum / Boden ist sehr rutschig/uneben, stärkere Neigung (> 5°)		2
Kleidung: Zusätzliche Belastung durch beeinträchtigende und schwere Schutzkleidung/-ausrüstung (PSA) (z.B. Hitzeschutzanzüge, Chemikalschutzanzüge, schwere Atemschutz-ausrüstung (Gruppe 3))		2
Keine: Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.		0

*In den Tabellen nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen sind vernachlässigbar.
Achtung: Sofern Vibrationsbelastungen vorkommen, sind diese gesondert zu bewerten! Siehe <http://www.baua.de/vibration>.*

Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung	Wichtung
Höhere Belastungen durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	0
Eingeschränkt: Seltene Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.	2
Ungünstig: Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag mit zeitweise hohen Belastungsspitzen.	4

3. Schritt: Bewertung und Beurteilung

Symmetrie der Kraftaufwendung(en) +
Körperhaltung +
Ungünstige Ausführungsbedingungen (Σ ZW) +
Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung +

Zeitwichtung X **Merkmals-Wichtigungen** = **Ergebnisse**

Zeitwichtung	X	Merkmals-Wichtigungen	=	Ergebnisse
				M W

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Beurteilung vorgenommen werden:

Risiko	Risiko-bereich	Belastungs-höhe	a) Wahrscheinlichkeit körperlicher Überbeanspruchung	b) Mögliche gesundheitliche Folgen	Maßnahmen
1	< 20 Punkte	gering	Körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich	Gesundheitsgefährdung nicht zu erwarten	Keine
2	20 - < 50 Punkte	mäßig erhöht	Körperliche Überbeanspruchung ist bei verminderter Belastbaren Personen möglich	Ermüdung, geringgradige Anpassungsbeschwerden, die in der Freizeit kompensiert werden können	Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.
3	50 - < 100 Punkte	wesentlich erhöht	Körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich	Bestand (Schmerzen) ggf. mit Funktionsstörungen, meistens reversibel, ohne morphologische Manifestation	Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.
4	≥ 100 Punkte	hoch	Körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich	Stärker ausgeprägte Beschwerden und / oder Funktionsstörungen, Strukturschäden mit Krankheitswert	Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitsschritte und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung zunimmt.

Entwurf zur Praxiserprobung – Version 12.5 – Stand 04.2019 – © BauA/ASER/ArbMedErgo/ebs

LMM zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Ganzkörperkräften (LMM-GK)

Arbeitsplatz / Teil-Tätigkeit:	Beurteiler:	Datum:
Zeiddauer des Arbeitstages:		
Zeiddauer der Teil-Tätigkeit:		

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung

Gesamtdauer ¹⁾ [bis ... Minuten] bzw. Wiederholungshäufigkeit ²⁾ der Teil-Tätigkeit pro Arbeitstag:	Halten ³⁾		Bewegen	
	mittl. (Sekunden)	max. (Sekunden)	mittl. (Anzahl)	max. (Anzahl)
> 1 < 1	> 60 < 100	> 150 < 210	> 270 < 360	> 360 < 480
1 2 3 4	15 25 35 45	30 45 60 75	15 20 25 30	20 25 30 35

*1) Bei kontinuierlichen Teil-Tätigkeiten, bei diskontinuierlichen Teil-Tätigkeiten. Erläuterungen hierzu: Siehe Handlungsanleitung.
Achtung: Sofern überwiegend Finger-Hand-Kräfte ausgeführt werden ist die Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-HA zu bewerten!*

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen der weiteren Merkmale

Kraftausübung(en) in einer Norm-Minute bei kontinuierlichen Teil-Tätigkeiten bzw. pro Teil-Tätigkeit bei diskontinuierlichen Teil-Tätigkeiten	Halten ³⁾		Bewegen	
	mittl. (Sekunden)	max. (Sekunden)	mittl. (Anzahl)	max. (Anzahl)
gering	31-45 ^{b)}	≤ 15	≤ 5	15-30
Mittlere Kräfte (bis 30 % F _{maxM}) Arbeiten mit handgeführten Werkzeugen wie Winkelschleifer, kleine Kettsägen, Heckenscheren oder Schlagbohrmaschinen < 3 kg / Bewegen von Lasten auf Rollenbahnen < 20 kg	18	12	6	1,5
Hohe Kräfte (bis 50 % F _{maxM}) Arbeiten mit schweren handgeführten Werkzeugen wie Transportschleifer, größere Kettsägen, Bohrhammer > 3 kg / Bedienen von Hochdruckrenger oder Sandstrahler / Schneiden von Lasten < 4 kg / Bewegen von Lasten auf Rollenbahnen 20-50 kg / Werfen von Lasten < 3 kg bis max. 3 Meter	25	17	8	2
Sehr hohe Kräfte (bis 80 % F _{maxM}) Arbeiten mit schweren handgeführten Werkzeugen wie Drucklufthammer (≥ 8 kg) / Aufhängende Kettensäge (bis 20 kg) / Transport schwerer Möbel / Schneiden von Lasten > 8 kg / Bewegen von Lasten auf Rollenbahnen > 100 kg / Werfen von Lasten > 3 kg über 10 Meter oder > 3 kg über 5 Meter	100	32	15	4
Spitzenkräfte ⁴⁾ (über 80 % F _{maxM}) Ausschlagskraftleistungen über 200 N / Transport schwerer Möbel / Schneiden von Lasten > 8 kg / Bewegen von Lasten auf Rollenbahnen > 100 kg / Werfen von Lasten > 3 kg über 10 Meter oder > 3 kg über 5 Meter	100	25	6	25
Gesamtkraftwichtung: Bei Frauen x 1,5:				

Die Teil-Tätigkeit ist zu beobachten und die Wichtungen für die Kraftkategorien zu markieren. Addiert ergeben diese die Gesamtkraftwichtung.

*3) Als Haltearbeit werden nur dann Zeitelemente berücksichtigt, wenn ein Arm mindestens 4 Sekunden durchgehend statisch gehalten wird!
4) Ggfs. können diese Kräfte gar nicht oder nicht mehr sicher ausgebracht werden. Dies gilt insbesondere für Frauen.
5) Bei hoch intensiven Tätigkeiten/Haltezeiten ist der resultierende Punktwert linear zu extrapolieren oder die E-Version (LMM-GK-E) anzuwenden.*

Symmetrie der Kraftaufwendung	Wichtung
Kraftaufwendung ist beidhändig und symmetrisch	0
Kraftaufwendung ist zeitweilig einhändig und/oder unsymmetrisch; ungleiche Kraftverteilung zwischen den Händen	2
Kraftaufwendung ist überwiegend einhändig, ungleiche Verteilung oder Richtung der Kräfte beider Hände	4

Körperhaltung ⁶⁾	Wichtung
 - Aufrechtes bis leicht vorgeneigtes Stehen (< 20° Vorneigung) - Keine Verdrehung	0
 - Stehen, stärker (20-60°) vorgeneigt - Gelegentliche Rumpfverdrrehung bzw. -seitneigung erkennbar - Hände gelegentlich über Schulterniveau / Körperfern	3
 - Stehen, stark vorgeneigt (> 60°) oder rückgeneigt - Häufige Rumpfverdrrehung bzw. -seitneigung erkennbar - Hände häufig über Schulterniveau / körperfern - Arbeiten im Liegen mit Händen oberhalb/unterhalb des Körpers	6
 - Kombination aus stärkerer Vor- oder Rückneigung mit Seitneigung/Torsion - Ständige Rumpfverdrrehung bzw. -seitneigung erkennbar - Arbeiten im Hocken oder Knien - Hände ständig über Schulterniveau / körperfern	9 ⁷⁾

*6) Es sind die typischen Körperhaltungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.
7) Achtung: Sofern diese Kategorie gewählt wurde, wird empfohlen, diese Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-KH zu bewerten!*

Anhang 35: Leitmerkmalmethode Körperzwangshaltungen (2019)

Ungünstige Ausführungsbedingungen (nur angeben, wenn zutreffend)	A Rücken	B Schulter/ Oberarm	C Knie / Beine
Rumpfdrehung bzw. -seitneigung erkennbar	gelegentlich häufig bis ständig	1 2	0 1
Kopf: Rückwärtsneigung und / oder starke Vorneigung bzw. dauernde Drehung	gelegentlich oder ständig	1	0
Abstützung des Oberkörpers bei Vorneigung nicht möglich - mit Händen, durch Anlehnen, über Werkzeuge	nicht möglich	2	0
Beengter Bewegungsraum	häufig bis ständig	2	2
SUMME der Punktwerte für Block A / B / C			
Weitere Ausführungsbedingungen (nur angeben, wenn zutreffend)	A	B	C
Eingeschränkte Standsicherheit, Boden uneben	1	1	1
Nässe, Kälte, starke Zugluft, Durchlässigkeit der Kleidung möglich	1	1	0
Starke Erschütterungen (Vibrationen), die zur körperlichen Anspannung führen ¹⁾	1	1	0
Sehr hohe geistige Konzentration (z. B. Erkennen von Objekten)	1	1	0
SUMME der Punktwerte für besondere Ausführungsbedingungen für Block A / B / C			
Keine: Es liegen keine ungünstigen Ausführungsbedingungen vor.	()	()	()
<small>¹⁾ Achtung: Sofern Vibrationsbelastungen vorkommen, sind diese gesondert zu bewerten! Siehe http://www.baau.de/vibration/</small>			

3. Schritt: Bewertung und Beurteilung

Summe der Punktwerte in den Hauptmerkmalen	A Rücken	B Schulter/ Oberarm	C Knie / Beine
Ungünstige Ausführungsbedingungen +			
Weitere Ausführungsbedingungen +			
Zeitwichtung X			
Summe aller Merkmalswichtungen			
Punktwerte der Körperhaltungen			
Höchster Punktwert Gesamtrisiko			

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Beurteilung vorgenommen werden:

Risiko	Beurteilung	Maßnahmen
1	Wahrscheinlichkeit körperlicher Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich Mögliche gesundheitliche Folgen gering	Keine
2	Körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. ermüdung, geringgradige Anpassungsbeschwerden, die in der Freizeit kompensiert werden können.	Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.
3	Körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Beschwerden (Schmerzen) ggf. mit Funktionsstörungen, meistens reversibel, ohne morphologische Manifestation	Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.
4	Körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich Stärker ausgeprägte Beschwerden und / oder Funktionsstörungen, Strukturschäden mit Krankheitswert	Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

¹⁾ Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitsrichtlinien und Leistungs Voraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung zunimmt.

Entwurf zur Praxisprüfung – Version 12.3 – Stand 04.2019 – © BAUA/ASER/ArbMedErgo/ebus

LMM zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen durch Körperzwangshaltungen (LMM-KH)

Arbeitsplatz / Teil-Tätigkeit:	Beurteiler:		
Zeildauer des Arbeitstages:	Datum:		
Zeildauer der Teil-Tätigkeit:			
1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung			
Gesamtdauer dieser Teil-Tätigkeit pro Arbeitstag [bis ... Stunden]	bis 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		
Zeitwichtung:	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		
2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen der weiteren Merkmale			
A	Rückenbelastungen – Haltung des Körpers bei Arbeiten ohne bzw. mit geringen Kraftaufwendungen	Zeit-Anteil an Teil-Tätigkeit	Punkte
		bis 1/4 gelegentl. häufig überwiegt ständig	> 3/4
1	Aufrechte Rückenhaltung im Stehen, Hocken oder Knien ¹⁾ auch unterbrochen von wenigen Schritten, Gehen oder von Körperbewegungen (Vorneigung bis 20° möglich) z. B. Verkaufspersonal, Maschinenbediener	2	4 6 8
2	Oberkörper mäßig vorgebeugt (> 20-60°) im Stehen, Hocken oder Knien ¹⁾ oder nach hinten geneigt z. B. Sortierbänder für Backwaren	7	15 22 30
3	Oberkörper stark vorgebeugt (> 60°) im Stehen, Hocken oder Knien ¹⁾ , z. B. Eisenflechter	10	20 30 40
4	Sitzen in erzwungener Haltung , Oberkörper mäßig bis stark vorgebeugt, meist mit dauernder Blockzuwendung - z. B. Mikrokopieren, Kranfahren, Endoskopie (Medizin), auch Sitzen auf dem Boden	3	6 9 12
5	Sitzen in variabler Sitzhaltung Wechselt zu Stehen / Gehen ist möglich	2	4 6 8
	Stehen / Gehen ist möglich	0,5	1 1,5 2
<small>¹⁾ Achtung: Bei Hand-/Armhaltungen ggf. auch Teil B ausfüllen! Bei Hocken und Knien ist auch Teil C auszufüllen!</small>			
Summe der Punktwerte A Rücken:			
B	Schulter- und Oberarmbelastungen bei Arbeiten ohne bzw. mit geringen Kraftaufwendungen ²⁾	Zeit-Anteil an Teil-Tätigkeit	Punkte
		bis 1/4 bis 1/2 bis 3/4 > 3/4	
1	Arme angehoben, Hände über Schulterhöhe im Stehen, Hocken oder Knien z. B. Trockenbau, Raumausstattung, Elektromontage, Lüftungsbau, handwerkliche Montage, Instandhaltung	10	20 30 40
2	Arme angehoben, Hände unter Schulterhöhe oder körperfern im Stehen, Hocken oder Knien ohne Abstützung der Arme, z. B. Sortierarbeiten am Band	6	12 18 24
3	Liegen auf dem Rücken, Arme über Kopf z. B. Deckenmalerei, Montagearbeiten, Schiffsboden, Behälterbau	7	14 21 28
	Liegen auf dem Bauch, Arme vor / unter dem Körper z. B. Erntefahrer* („Flieger“), Montagearbeiten	0	0 0 0 0
Restzeit	Anteil an Beurteilungszeit ohne Haltungsbelastung der Schultern / Arme		
<small>²⁾ Achtung: Sofern Belastungen des Hand-/Armsystems vorkommen, sollte diese Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-MA bewertet werden.</small>			
Summe der Punktwerte B Schulter- und Oberarm:			
C	Knie- / Beinbelastungen bei Arbeiten ohne bzw. mit geringen Kraftaufwendungen	Zeit-Anteil an Teil-Tätigkeit	Punkte
		bis 1/4 bis 1/2 bis 3/4 > 3/4	
1	Ständiges Stehen auch unterbrochen von wenigen Schritten Gehen z. B. Verkaufspersonal, Maschinenbediener	2	4 6 8
2	Knien, Hocken oder Schneidersitz³⁾ z. B. Trockenbau, Raumausstattung, Elektriker, Rohleger, Handschweißen, Erntearbeiten, Fußboden-/Fliesenlegen, Pfästern Handwerkliche Montage und Instandhaltung	10	20 30 40
Restzeit	Anteil an Beurteilungszeit ohne Haltungsbelastung der Knie	0	0 0 0 0
<small>³⁾ Wenn bei dieser Teil-Tätigkeit Kriechen vorkommt, ist für die Bewertung auch die LMM-KB zu verwenden.</small>			
Summe der Punktwerte C Knie- / Beinbelastungen:			

Anhang 36: Leitmerkmalmethode Körperfortbewegung (2019)

B Körperfortbewegung beim Fahren mit Muskelkraft

Art	Beschreibung	Zu bewegendes Lastgewicht inklusive Fahrzeug ¹⁾				
		bis 50 kg	> 50 .. 150 kg	> 150 kg	> 150 kg	> 150 kg
	Langsam < 10 km/h	3	6	9	14	21
	Mittel 10 .. 15 km/h	6	10	15	14	21
	Schnell > 15 km/h	9	15	15	15	21

Fahrgewicht - ungünstige Ausführungsbedingungen bei B
 (Nur angeben, wenn zutreffend. In den Tabellen nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen sind vernachlässigbar.)
Fahrgewicht eingeschränkt: unbefestigter oder grob gepflasterter Fahrgewicht, Schlaglöcher, starke Verschmutzung, zeitweilig Steigungen
Klima: Extreme Klimaeinflüsse wie z.B. Hitze, Wind, Schnee

Art	Beschreibung	Zu bewegendes Lastgewicht inklusive Fahrzeug ¹⁾				
		bis 50 kg	> 50 .. 150 kg	> 150 kg	> 150 kg	> 150 kg
		3	6	9	14	21
		6	10	15	14	21
		9	15	15	15	21

⁴⁾ Bei unterstützendem Elektroantrieb sind die Wichtungszahlen zu halbieren.

Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung
Gut: Häufig Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / ohne enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.
Eingeschränkt: Seltene Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / gelegentlich enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag.
Ungünstig: Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten (mit anderen Belastungsarten) / häufig enge Abfolge von höheren Belastungen innerhalb einer Belastungsart an einem Arbeitstag mit zeitweise hohen Belastungsspitzen.

3. Schritt: Bewertung und Beurteilung

A: Körperfortbewegung und mitbewegte Last
 Lage des Lastschwerpunkts (nur bei A, sonst 0)
 Rumpfvorwärtung bzw. -seitneigung (nur bei A, sonst 0)
 Ungünstige Ausführungsbedingungen (nur bei A, sonst 0)

B: Körperfortbewegung beim Fahren mit Muskelkraft
 Fahrgewicht (nur bei B, sonst 0)
 Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung A und B

Ergebnisse
 Wenn weibliche Beschäftigte x 1,3
 M = x =
 W = x 1,3 =

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Beurteilung vorgenommen werden:

Risiko	Belastungshöhe	Belastungspunkte	Maßnahmen
1	gering	< 20 Punkte	Keine
	mäßig erhöht	20 - < 50 Punkte	Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.
2	wesentlich erhöht	50 - < 100 Punkte	Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.
	hoch	≥ 100 Punkte	Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.

⁷⁾ Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitsbedingungen und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungspunkte verstanden werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Wahrscheinlichkeit einer nichterhöhten Überbeanspruchung zunimmt.

Entwurf zur Praxiserprobung – Version 12.5 – Stand 04.2019 – © BAUA/SER/ArMedErgo/ebus

Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei Körperfortbewegung (LMM-KB)

Arbeitsplatz / Teil-Tätigkeit: Beurteiler:
 Zeitdauer des Arbeitstages: Datum:
 Zeitdauer der Teil-Tätigkeit:

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung

Gesamtdauer der Teil-Tätigkeit [bis ... Minuten] pro Arbeitstag	Zeitwichtung												
	> 5	> 10	> 15	> 20	> 25	> 30	> 35	> 40	> 45	> 50			
≤ 1	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen der weiteren Merkmale
A Körperfortbewegung ohne Hilfsmittel

Art	Beschreibung	Mitbewegte Lastmasse												
		< 3 kg	3 .. 10 kg	10 .. 15 kg	15 .. 20 kg	20 .. 25 kg	25 .. 30 kg	30 .. 35 kg	35 .. 40 kg	40 .. 45 kg	> 45 kg			
	Gehen Langsam Mittel (3 .. 5 km/h) Schnell	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35
	Steigen Neigungswinkel < 5° Neigungswinkel 5 .. 15° Neigungswinkel > 15°	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35	50	50	50
	Treppen steigen Normale Treppe Steile Treppen (35 .. 50°) Sehr steile Treppen (> 50°)	24	26	28	30	32	34	40	40	50	50	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾
	Besteigen von Leitern Anstellwinkel 65 .. 75°	24	26	30	32	34	40	40	50	50	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾
	Klettern Aufstiegswinkel > 80° Vertikale Bewegung auf Steigseisen, Steigleitern, Steigseilgängen	30	32	32	32	34	40	40	50	50	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾
	Kriechen ²⁾ , stark gebücktes Gehen Überwiegend horizontale Bewegung in höhenverminderten Räumen, Stollen, Wartungsebenen, Kanälen	24	26	28	30	32	34	40	40	50	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾	100 ¹⁾

¹⁾ Bei dieser Kombination aus Art der Fortbewegung und Lasten transportiert ein erhöhtes Risiko auch bei kurzen Expositionenzeiten.
²⁾ Bei dieser Fortbewegung ist die Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-KH Teil C zu bewerten.

Lage des Lastschwerpunktes bei **A**
 Keine Last oder Last < 3 kg oder Last ist körpernah im Tragegestell oder Rucksack auf den Schultern
 3 bis 15 kg > 15 .. 30 kg > 30 kg
 0
 4 8 12
 8 12 16

Mitbewegte Lastmasse
 0 bis 15 kg > 15 .. 30 kg > 30 kg
 2 4 6 8
 4 6 8

Rumpfhaltung bei **A**
 Rumpf deutlich vorgeneigt und/oder Rumpfvorwärtung erkennbar
 Gelegentlich
 Häufig bis ständig³⁾
 2 4 6 8
 4 6 8

³⁾ Achtung: Sofern häufig bis ständig ungünstige Arm- oder Rumpfhaltungen vorkommen ist die Teil-Tätigkeit auch mit der LMM-HHT (bei Last 2, 3 kg oder der LMM-KB (keine Last oder Last < 3 kg)) zu bewerten.

Ungünstige Ausführungsbedingungen bei **A** (Nur angeben, wenn zutreffend. In den Tabellen nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen sind vernachlässigbar.)
Eingeschränkt: Eingeengter Bewegungsraum (z.B. Absturzrisiko durch Rückenschutz) / verminderte Standsicherheit durch beweglichen oder geneigten Trittbereich / Sand- / Schotterweg (natürliche Bedingungen) / freies Gelände
Stark eingeschränkt: Behinderung der Bewegungsmöglichkeit / keine technischen Aufstiegsstufen
Kritisch: Starke Behinderung der Bewegungsmöglichkeit durch Enge Stellen und Gefahrenstellen / eingeschränkte Sicht / keine Ruhebahnen / Bergsteigen / Atemschutzgeräte / morastiger Untergrund
Klima: Extreme Klimaeinflüsse wie z.B. Hitze, Wind, Schnee (in den Abstufungen selten/gelegentlich und häufig/ständig)

Summe aus eingeschränkt, stark eingeschränkt oder kritisch und Klima (falls zutreffend)
 4 8

Anhang 37: Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen (2001)

Beurteilung von Heben, Tragen, Halten anhand von Leitmerkmalen

Die Gesamtwichtigkeit ist ggf. in Teilfaktoren zu gliedern. Jede Teilfaktoren mit erheblichen körperlichen Belastungen ist getrennt zu beurteilen.

Arbeitsplatz/Teilfaktoren: _____

Version 2001

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung (Nur eine zutreffende Spalte ist auszuwählen!)

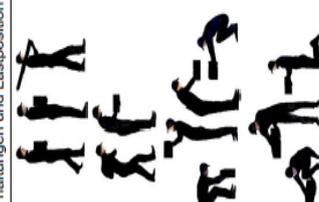
Hebe- oder Umsetzvorgänge (< 5 s)		Halten (> 5 s)		Tragen (> 5 m)	
Anzahl am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtdauer am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtweg am Arbeitstag	Zeitwichtung
< 10	1	< 5 min	1	< 300 m	1
10 bis < 40	2	5 bis 15 min	2	300 m bis < 1 km	2
40 bis < 200	4	15 min bis < 1 Stunde	4	1 km bis < 4 km	4
200 bis < 500	6	1 Stunde bis < 2 Stunden	6	4 bis < 8 km	6
500 bis < 1000	8	2 Stunden bis < 4 Stunden	8	8 bis < 16 km	8
≥ 1000	10	≥ 4 Stunden	10	≥ 16 km	10

Beispiele: • Setzen von Mauerelementen, • Halten und Führen eines Gussrohrlings bei der Bearbeitung an einem Schleifbock, • Halten einer Handschleifmaschine, • Einlegen von Werkstücken in eine Maschine, • Pakete aus einem Container entnehmen und auf ein Band legen, • Führen einer Motorsäge

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen von Last, Haltung und Ausführungsbedingungen

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

1) Mit der "wirksamen Last" ist die Gewichtskraft bzw. Zugkraft gemeint, die der Beschäftigte tatsächlich bei der Lastentnahme ausüben muss. Sie entspricht nicht immer der Lastmasse. Beim Kippen eines Kanons wirken nur etwa 30 %, bei der Verwendung einer Schublade oder Sackkante nur 10 % der Lastmasse.



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

3. Schritt: Bewertung

Die für diese Tätigkeit zutreffenden Wichtungen sind in das Schema einzutragen und auszurechnen.

Lastwichtung	Zeitwichtung	Ausf.-wichtung
+	+	=
=	X	=
=	=	Punktwert

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Bewertung vorgenommen werden.²⁾ Unabhängig davon gelten die Bestimmungen des Mutterschutzgesetzes.

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

1) Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Belastung des Muskel-Skelett-Systems zunimmt. Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden.
2) Vermindert belastbare Personen sind in diesem Zusammenhang Beschäftigte, die älter als 40 oder jünger als 21 Jahre alt, Beschäftigte im Beruf oder durch Erkrankungen eingeschränkt leistungsfähig sind, Beschäftigte mit Vorerkrankungen, die durch die Ausführung der Aufgabenstellung zu einer Verschlechterung der Ausführungsbedingungen oder Verringerung der Belastungszeiten können Belastungen vermeiden werden.

Überprüfung des Arbeitsplatzes aus sonstigen Gründen erforderlich:

Begründung: _____

Datum der Beurteilung: _____ Beurteilt von: _____

Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2001

Anhang 38: Leitmerkmalmethode Ziehen, Schieben (2002)

Beurteilung von Ziehen und Schieben anhand von Leitmerkmalen *Version Sept 2002*

Die Gesamtwichtigkeit ist ggf. in Teilfaktoren zu gliedern. Jede Teilfaktigkeit mit erheblichen körperlichen Belastungen ist getrennt zu beurteilen. Arbeitsplatz/Teilfaktigkeit:

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung (Nur eine zutreffende Spalte ist auszuwählen)

Ziehen und Schieben über kurze Distanzen oder häufiges Anhalten (Einzelweg bis 5 m)	Zerwichtung	Gesamtweg am Arbeitstag	Zeitwichtung
< 10	1	< 300 m	1
10 bis < 40	2	300 m bis < 1 km	2
40 bis < 200	4	1 km bis < 4 km	4
200 bis < 500	6	4 bis < 8 km	6
500 bis < 1000	8	8 bis < 16 km	8
≥ 1000	10	≥ 16 km	10

Beispiele: Bedienen von Manipulatoren, Bestücken von Maschinen, Essenverteilung im Krankenhaus, Beispiele: Müllabfuhr, Möbeltransport in Gebäuden auf Rollern, Aus- und Umladen von Containern.

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen von Masse, Positioniergenauigkeit, Geschwindigkeit, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen

Zu bewegendes Masse (Lastgewicht)	Ohne Last wird gerollt	Karren	Wagen, Roller, Troleys ohne Bookrollen (nur Lenkrollen)	Manipulatoren, Seilbalancer, Handhubwagen, Rollbahnen, Wagen mit Bookrollen	Flurförderzeug, Hilfsmittel	Zeitwichtung	
						0,5	1
< 50 kg	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
50 bis < 100 kg	1	1	1	1	1	1	1
100 bis < 200 kg	1,5	2	2	1,5	2	1,5	2
200 bis < 300 kg	2	4	3	2	3	2	4
300 bis < 400 kg	3	4	4	3	4	3	4
400 bis < 600 kg	4	4	5	4	4	4	4
600 bis < 1000 kg	5	5	5	5	5	5	5
≥ 1000 kg							

Gleitend

Graue Bereiche: Kritisch, da die Kontrolle der Bewegung von Flurförderzeug (Last stark von der Geschwindigkeit und Körperkraft abhängt).

Schraffierte Bereiche: Grundsätzlich zu vermeiden, da die erforderlichen Aktionskräfte leicht die maximalen Körperkräfte übersteigen können.

Positioniergenauigkeit	Bewegungsgeschwindigkeit
Gering - keine Vorgabe des Fahrweges - Last kann ausrollen oder wird an Anschlag gestoppt	langsam (< 0,8 m/s)
Hoch - Last ist exakt zu positionieren und anzuhalten - Fahrweg ist exakt einzuhalten - häufige Richtungsänderungen	schnell (0,8 bis 1,3 m/s)

Anmerkung: Die mittlere Schrittgeschwindigkeit beträgt ca. 1 m/s

Körperhaltung

1) Es ist die typische Körperhaltung zu berücksichtigen. Die beim Anfahren, Abbremsen und Rangieren möglicherweise deutlichere Rumpfneigung ist zu vernachlässigen, wenn sie nur gelegentlich auftritt.

Ausführungsbedingungen

Gut: → Fußboden oder andere Fläche eben, fest, glatt, trocken, → ohne Neigung, → keine Hindernisse im Bewegungsraum, → Rollen oder Räder leichtgängig, kein erkennbarer Verschleiß der Radlager

Eingeschränkt: → Fußboden verschmutzt, etwas uneben, weich, → geringe Neigung bis 2° → Hindernisse im Bewegungsraum, die umfahren werden müssen, → Rollen oder Räder verschmutzt, nicht mehr ganz leichtgängig, Lager ausgeschlagen

Schwierig: → unbefestigter oder groß gepflasterter Fahweg, Schlaglöcher, starke Verschmutzung, → Neigungen 2 bis 5°, → Flurförderzeuge müssen beim Anfahren „losgerissen“ werden → Rollen oder Räder verschmutzt, schwergängig.

Kompliziert: → Stufen, Treppen, Absätze, → Neigungen > 5°, → Kombinationen der Merkmale von „Eingeschränkt“ und „Schwierig“

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu ergänzen.

3. Schritt: Bewertung

Die für diese Tätigkeit zutreffenden Wichtungen sind in das Schema einzutragen und auszurechnen.

Masse/Flurförderzeug	+					
Positioniergenauigkeit/Bewegungsgeschwindigkeit	+					
Haltungswichtung	+					
Ausführungsbedingungenwichtung						
Summe	=					

für weibliche Beschäftigte:
X Zeichnung X 1,3 = Punktwert

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Bewertung vorgenommen werden.

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

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

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

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Postfach 17 02, 44061 Dortmund
 Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Franz-Josef-Roeder-Str. 23, 66119 Saarbrücken

Im allgemeinen ist beim Ziehen und Schieben das gesamte Muskel-Skelettsystem belastet, besonders jedoch der Hand-Arm-Schulter-Bereich. In Abhängigkeit von den konkreten Kräfteverhältnissen und Körperhaltungen können aber auch die Lendenwirbelsäule, die Hüft- oder Kniegelenke verstärkt belastet sein. Da die Körperkräfte im Vergleich zum Heben und Tragen deutlich geringer und weniger sind, ist der Nachweis von chronischen Überbeanspruchungen schwierig. Typisch ist beim Ziehen und Schieben eine Gefährdung des Muskel-Skelettsystems durch plötzliche Überbelastungen als Folge von Anstößen, Wegrutschen oder unerwarteten und hohen Kräften beim Richtungswechsel oder Anhalten.

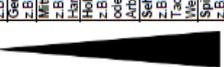
Anhang 39: Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse (2012)

Leitmerkmalmethode zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen
 Gibt es pro Arbeitstag mehrere unterschiedliche Arbeitsaufgaben, sind diese getrennt zu erfassen.
 Version 2012

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung

Gesamtdauer dieser Tätigkeit pro Schicht [bis ... Stunden]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zeitwichtung	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5

2. Schritt: Bestimmung der Wichtigkeiten von Art der Kraftausübung, Greifbedingungen, Arbeitsorganisation, Ausführungsbedingungen, Körperhaltung und Hand-/Armstellung und -bewegung

Art der Kraftausübung(en) im Finger-Handbereich	Halten		Bewegen							
	mittl. Haltezeitdauer [Sek. pro Minute]	Wichtung	mittl. Bewegungsanfälligkeiten [Anzahl pro Minute]	Wichtung						
Höhe gering  Sehr geringe Kräfte z.B. Tintenlösung / Verschieben / Ordnen Geringe Kräfte z.B. Materialfüllung / Einlegen Mittlere Kräfte z.B. Greifen / Fügen von kleinen Werkstücken mit der Hand oder kleinen Werkzeugen Hohe Kräfte z.B. Drehen / Wickeln / Verpacken / Fassen / Halten oder Fügen von Teilen / Einrücken / Schneiden / Arbeiten mit kleineren angetriebenen Handwerkzeugen Sehr hohe Kräfte z.B. Kraftbeton schneiden / Aboht mit kleinen Werkzeugen / Bewegen oder Halten von Teilen oder Wälzkraft z.B. Schrauben anziehen, lösen / Trennen / Einrücken Schlag mit Daumenballen, Handfläche oder Faust hoch	80-31	30-16	15-4	<4	<1	1-4	5-15	16-30	31-60	>60
	2	1	0,5	0	0	0,5	1	2	3	3
	3	1,5	1	0	0	1	1,5	3	5	5
	5	2	1	0	0,5	1	2	5	8	8
8	4	2	0,5	1	2	4	8	13	13	
12	6	3	1	1	3	6	12	21	21	
19	9	4	1	2	4	9	19	33	33	
-	-	-	1	1	3	6	12	21	21	

Wichtigkeiten der Kraftausübung: Linke Hand: Rechte Hand:

Kraftübertragung / Greifbedingungen	Wichtung
Optimale Kraftübertragung/-einleitung / Arbeitsgegenstände gut greifbar (z.B. Stabform, Griffmülden) / gute ergonomische Griffgestaltung (Griffe, Tasten, Werkzeuge)	0
Eingeschränkte Kraftübertragung/-einleitung / erhöhte Haltekräfte erforderlich / keine gestalteten Griffe	2
Kraftübertragung/-einleitung erheblich behindert / Arbeitsgegenstände kaum greifbar (schmierig, weich, scharfkantig) / keine oder ungeeignete Griffe	4

Hand-/Armstellung und -bewegung	Wichtung
Gut: Stellung oder Bewegungen der Gelenke im mittleren (entspannten) Bereich / nur selten Abweichungen	0
Eingeschränkt: gelegentliche Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche	1
Ungünstig: Häufige Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche	2
Schlecht: Ständige Stellungen oder Bewegungen der Gelenke am Ende der Beweglichkeitsbereiche / lang dauerndes statisches Halten der Arme ohne Hand-/Arm-Abstützung	3

**) Es sind die typischen Stellungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.*

Arbeitsorganisation	Wichtung
Häufig Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / mehrere Arbeitsgänge / ausreichende Erholungsmöglichkeit	0
Selten Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / wenige Arbeitsgänge / Erholzeiten ausreichend	1
Kein/kaum Belastungswechsel durch andere Tätigkeiten / wenige Einzelbewegungen pro Vorgang / hohes Arbeitstempo durch hohe Ausstattung und/oder hohe Akkordarbeitsleistung / ungleichmäßiger Arbeitsablauf mit zeitweise hohen Belastungsspitzen / zu wenig oder zu kurze Erholzeiten	2

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen.

Ausführungsbedingungen	Wichtung
Gut: sichere Detaillierbarkeit/ keine Blendung / gute klimatische Bedingungen	0
Eingeschränkt: erschwerte Detaillierbarkeit durch Blendung oder zu kleine Details / Zugluft / Kälte / Nässe / Konzentrationsstörungen durch Geräusche	1

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind sinngemäß zu berücksichtigen. Bei sehr ungünstigen Bedingungen kann die Wichtung 2 vergeben werden.

Körperhaltung	Wichtung
Gut: Wechsel von Sitzen und Stehen möglich / Wechsel von Stehen und Gehen / dynamisches Sitzen ist möglich / Hand-/Arm-Auflage bei Bedarf möglich / keine Verdrehung / Kopfhaltung variabel / kein Greifen über Schulterhöhe	0
Eingeschränkt: Rumpf mit leichter Neigung des Körpers zum Handlungsbereich / überwiegend Sitzen mit gelegentlichem Stehen oder Gehen / gelegentliches Greifen über Schulterhöhe	1
Ungünstig: Rumpf deutlich vorgeneigt und/oder verdreht / Kopfhaltung zur Detaillierung vorgegeben / eingeschränkte Bewegungsfreiheit / ausschließlich Stehen ohne Gehen / häufiges Greifen über Schulterhöhe / häufiges körperfernes Greifen	3
Schlecht: Rumpf stärker verdreht und vorgeneigt / streng fixierte Körperhaltung / visuelle Kontrolle der Handlung über Lupen oder Mikroskope / starke Kopfniederung oder -verdringung / häufiges Bücken / ständiges Greifen über Schulterhöhe / ständiges körperfernes Greifen	5

**) Es sind die typischen Körperhaltungen zu berücksichtigen. Seltene Abweichungen können vernachlässigt werden.*

3. Schritt: Bewertung
 Die für diese Tätigkeit zutreffenden Wichtungen sind in das Schema einzutragen und auszurechnen

+	Ar der Kraftausübung(en) im Finger-Hand-Bereich				
+	Kraftübertragung/Greifbedingungen				
+	Hand-/Armstellung und -bewegung				
+	Arbeitsorganisation				
+	Ausführungsbedingungen				
+	Körperhaltung				
=	Summe				

X **Zehnwert** **=** **Punktwert**

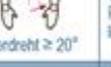
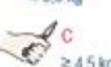
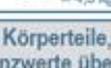
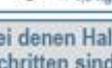
Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Bewertung vorgenommen werden.

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

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

Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2012 www.baua.de

Anhang 40: Humantech BRIEF-Survey

	Hände und Handgelenke		Ellbogen		Schultern		Hals	Rücken	Beine
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts			
	 Beugung $\geq 45^\circ$	 Beugung $\geq 45^\circ$			 Arm gehoben $\geq 45^\circ$	 Arm gehoben $\geq 45^\circ$	 Nach vorne gebeugt $\geq 30^\circ$	 Nach vorne gebeugt $\geq 20^\circ$	 Hocken $\leq 45^\circ$
	 Streckung $\geq 45^\circ$	 Streckung $\geq 45^\circ$	 Gedrehter Unterarm	 Gedrehter Unterarm	 Arm hinter dem Körper	 Arm hinter dem Körper	 Nach hinten gebeugt	 Nach hinten gebeugt	 Knien
	 Radiale Abweichung	 Radiale Abweichung	 Durchgestreckt $\geq 135^\circ$	 Durchgestreckt $\geq 135^\circ$	 Schultern hochgezogen	 Schultern hochgezogen	 Seitwärts geneigt	 Seitwärts geneigt	 Verdreht
	 Ulnare Abweichung	 Ulnare Abweichung					 Verdreht $\geq 20^\circ$	 Ohne Rückenlehne	 Ohne Fußstütze
Kraftaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A. Kneitgriff			$\geq 4,5 \text{ kg}$	$\geq 4,5 \text{ kg}$	$\geq 4,5 \text{ kg}$	$\geq 4,5 \text{ kg}$	$\geq 0,9 \text{ kg}$	$\geq 11,3 \text{ kg}$	Fußpedal $\geq 4,5 \text{ kg}$
B. Fingerdruck									
C. Kraftgriff			$\geq 4,5 \text{ kg}$		$\geq 4,5 \text{ kg}$				
			$\geq 6,8 \text{ kg}$		$\geq 6,8 \text{ kg}$				
Schritt 3. Für Körperteile, bei denen Haltung oder Kraftaufwand zutreffen, Kästchen für Dauer und/oder Häufigkeit ankreuzen, wenn Grenzwerte überschritten sind.									
Dauer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 10 \text{ Sek.}$	$\geq 30\% \text{ des Tages}$
Häufigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	$\geq 30/\text{Min.}$	$\geq 30/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$	$\geq 2/\text{Min.}$
Schritt 4. Tragen Sie die Gesamtzahl der Kreuze ein, die Sie bei Haltung, Kraftaufwand, Dauer und Häufigkeit gesetzt haben, und kreisen Sie die Risikostufe (niedrig = 0 oder 1, mittel = 2, hoch = 3 oder 4).									
Wert (0-4)									
Risiko-bewertung	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H	N M H
Schritt 5. Identifizieren Sie physische Stressfaktoren.									
Beobachtete physische Stressfaktoren ankreuzen. Verwenden Sie die entsprechenden Buchstaben, um die Stelle der Stressfaktoren auf dem Körperbild anzugeben.									
<input type="checkbox"/> Schwingungen (V)	<input type="checkbox"/> Schlagbelastung (S)								
<input type="checkbox"/> Niedrige Temperaturen (T)	<input type="checkbox"/> Handschuhprobleme (H)								
<input type="checkbox"/> Kompression der Weichteile (K)									
									

Schriftenreihe der ASER-Forschungsberichte

SCHAFFELD, W.; K.-H. LANG, HJ. GEBHARDT:

Hitzearbeit in der Aluminiumindustrie*

Forschungsbericht - Nr. 1, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2001

GEBHARDT, HJ.; K.-H. LANG:

Beurteilung der Belastungen durch manuelle Handhabung von Lasten beim Einlegen von Prospekten in der Zeitungsproduktion*

Forschungsbericht - Nr. 2, Institut ASER e.V., Wuppertal, August 2001

LANG, K.-H.; H. SCHRAMM:

Hitzearbeit in der Papierindustrie*

Forschungsbericht - Nr. 3, Institut ASER e.V., Wuppertal, Dezember 2001

ECHTERHOFF, W.; C. KRAFT:

Sicherungssysteme an Gewässern - Analyse verhaltenswissenschaftlicher Bedingungen von Unfällen externer Personen*

Forschungsbericht - Nr. 4, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2002

SASSMANNSHAUSEN, A.; K.-H. LANG:

Evaluation des Umsetzungsstandes der sicherheitstechnischen und arbeitsmedizinischen Betreuung in den deutschen Niederlassungen eines internationalen Logistikunternehmens*

Forschungsbericht - Nr. 5, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juli 2003

SEILER, K.; F. RODOULI, K.-H. LANG, B.H. MÜLLER:

Untersuchungsergebnisse zur Reflektion beteiligter Netzwerkpartner am Kooperationsnetzwerk „Gesünder Arbeiten mit System“ der rheinisch-bergischen Region

Forschungsbericht - Nr. 6, Institut ASER e.V., Wuppertal, November 2003

TASCHBACH, T.; K.-H. LANG, B.H. MÜLLER:

Ergonomische Gestaltung von Maschinen: Berücksichtigung von europäischen Normen bei der Konstruktion von Maschinen*

Forschungsbericht - Nr. 7, Institut ASER e.V., Wuppertal, Dezember 2003

RODOULI, F.:

Commitment und Motivation von Informationsgebern in einem virtuellen Informations-Netzwerk zum Arbeitsschutz

Forschungsbericht - Nr. 8, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2004

SASSMANNSHAUSEN, A.; F. RODOULI, K.-H. LANG, R. TIELSCH, K. SEILER:

Orientierende Bestandsaufnahme zur Beteiligung von Unternehmen an Kooperationsnetzwerken mit dem Schwerpunkt 'Betriebliche Gesundheitsförderung'

Forschungsbericht - Nr. 9, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2004

LANG, K.-H.:

Stand von Good-Practice-Datenbanken zur Arbeitsgestaltung in Deutschland*

Forschungsbericht - Nr. 10, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2004

LANG, K.-H.; A. SCHÄFER, N. SCHAUERTE, T. SPIELMANN:

Good-Practice-Projekt der Gemeinschaftsinitiative Gesünder Arbeiten (G2P GiGA) – Machbarkeitsstudie*

Forschungsbericht - Nr. 11, Institut ASER e.V., Wuppertal, Februar 2005

LANG, K.-H.; T. LANGHOFF:

Arbeitsschutzberatung als Teil einer neuen Qualität der Unternehmensgründung

Forschungsbericht - Nr. 12, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2005

PIEPER, R.; K.-H. LANG (HRSG.):

Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2004 – 2005 (Band 1)

Forschungsbericht - Nr. 13, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2006

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2005 – 2006 (Band 2)

Forschungsbericht - Nr. 14, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2007

LANG, K.-H.; A. SAßMANNSHAUSEN, A. SCHÄFER, K. NOLTING:

Abschlussbericht zum Pilotprojekt REACH-Net – Langfassung –

Forschungsbericht - Nr. 15, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juli 2007

LANG, K.-H.; A. SAßMANNSHAUSEN, A. SCHÄFER, K. NOLTING:

Abschlussbericht zum Pilotprojekt REACH-Net – Kurzfassung –

Forschungsbericht - Nr. 16, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2007

LANG, K.-H.; M. DEILMANN, H. NOVER:

**Zusammenfassung und Fortschreibung der Ergebnisse
zum Pilotprojekt REACH-Net**

Forschungsbericht - Nr. 17, Institut ASER e.V., Wuppertal, November 2007

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2006 – 2007 (Band 3)

Forschungsbericht - Nr. 18, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2008

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2007 – 2008 (Band 4)

Forschungsbericht - Nr. 19, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2009

KLUSSMANN, A.:

**Ermittlung und Bewertung von Ansatzpunkten zur Prävention
von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben**

Forschungsbericht - Nr. 20, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2009

MÜHLEMEYER, C.; HJ. GEBHARDT, K.-H. LANG:

**Entwicklung einer Einstufungshilfe zur Beurteilung von sonstigen
Umgebungseinflüssen für die Anwendung im Rahmen des ERA-TV BW***

Forschungsbericht - Nr. 21, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2009

ROSKOPF, N.:

Kontinuierliche Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz als Herausforderung und Chance für Fremdfirmen in Unternehmen der Rheinischen Braunkohlenindustrie

Forschungsbericht - Nr. 22, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2010

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2008 – 2009 (Band 5)

Forschungsbericht - Nr. 23, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2010

MÜHLEMEYER, CH.; K.-H. LANG, A. KLUßMANN, HJ. GEBHARDT

Ermittlung von Erholzeiten bei typischen Arbeitssystemen in der Metall- und Elektroindustrie*

Forschungsbericht - Nr. 24, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2010

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2009 – 2010 (Band 6)

Forschungsbericht - Nr. 25, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2011

LEVCHUK, I.; A. KLUßMANN, K.-H. LANG, HJ. GEBHARDT

Verfahren der Usability-Evaluation – Methoden und Instrumente zur Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten

Forschungsbericht - Nr. 26, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2011

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2010 – 2011 (Band 7)

Forschungsbericht - Nr. 27, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2012

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2011 – 2012 (Band 8)

Forschungsbericht - Nr. 28, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2013

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2012 – 2013 (Band 9)

Forschungsbericht - Nr. 29, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2014

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2013 – 2014 (Band 10)

Forschungsbericht - Nr. 30, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2015

BOCK, T.:

Rahmenbedingungen und Beeinflussungsmöglichkeiten kultureller Aspekte in Bezug auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Forschungsbericht - Nr. 31, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2015

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2014 – 2015 (Band 11)

Forschungsbericht - Nr. 32, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2016

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2015 – 2016 (Band 12)

Forschungsbericht - Nr. 33, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2017

GEBHARDT, HJ.; B. HEISEL, C. MÜHLEMEYER, K.-H. LANG

Methodik und Handlungshilfe für eine inkludierte Gefährdungsbeurteilung*

Forschungsbericht - Nr. 34, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2017

VOGEL, D.A.:

Konzeptions- und Handlungsmöglichkeiten zur Gestaltung von betrieblichen Anreizsystemen zur Verbesserung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit

Forschungsbericht - Nr. 35, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2017

LEVCHUK, I.:

Optimierung der Gebrauchstauglichkeit von CNC-Maschinensteuerständen als Beitrag zur menschengerechten Arbeitsgestaltung

Forschungsbericht - Nr. 36, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2017

PIEPER, R.; LANG, K.-H. (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2016 - 2017 (Band 13)

Forschungsbericht - Nr. 37, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2018,
ISBN 978-3-936841-34-9

PIEPER, R.; LANG, K.-H. (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2017 - 2018 sowie weitere Foren bis einschließlich des ersten, spezifischen SARS-CoV-2-Pandemiejahres 2020 (Band 14)

Forschungsbericht - Nr. 38, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2021,
ISBN 978-3-936841-35-0

KNUST, F.-J.:

Analytische Betrachtung des unbestimmten Rechtsbegriffs ‚Stand der Technik‘ im Arbeits-, Brand- und Umweltschutz

Forschungsbericht - Nr. 39, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2021,
ISBN 978-3-936841-36-7

KRÖGER, J.:

Entwicklung und Wirkungsgrad des Mutterschutzrechts unter besonderer Berücksichtigung ergonomischer Belastungen am Arbeitsplatz und deren Konsequenzen für den Arbeitgeber

Forschungsbericht - Nr. 40, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2022,
ISBN 978-3-936841-37-4

PIEPER, R.; LANG, K.-H. (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2018 – 2021+ und weitere Foren im zweiten COVID-19-Pandemiejahr (Band 15)

Forschungsbericht - Nr. 41, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2022,
ISBN 978-3-936841-38-1

KLUSSMANN, A; KRÄMER, N.; POPP, J.; CHOUDHRY, J.; SERAFIN, P.; SCHÄFER, A.; KEUCHEL, M.; LANG, K.-H.:

Evaluierung von Maßnahmen zur Belastungs- und Beanspruchungsreduktion sowie zur Gesundheitsförderung von Beschäftigten in der Pflege – ErgonCARE –

Forschungsbericht - Nr. 42, Institut ASER e.V. & HAW Hamburg, Wuppertal, 2022

MÜHLEMEYER, C.:

Weiterentwicklung und Evaluierung eines arbeitswissenschaftlichen Instruments zur ganzheitlichen Analyse, Beurteilung und Gestaltung arbeitsbedingter Belastungen und Gefährdungen von Arbeitssystemen

Forschungsbericht - Nr. 43, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2024,
ISBN 978-3-936841-39-8



Der Mangel an Arbeits- und Fachkräften führt zu einem Wertschöpfungsverlust von jährlich 90 Milliarden Euro (> 2% BIP). Prognostiziert wird eine größere Herausforderung als durch die steigenden Energiekosten (DIHK).

Über 125.000 anerkannte Berufskrankheitsfälle, 865.000 meldepflichtige Arbeitsunfälle und 700 Mio. Arbeitsunfähigkeitstage erhöhen die Lohnnebenkosten immer weiter (BMAS). Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit ist daher auf deren präzise Vorhersage und Prävention sowie die frühzeitige Unterbrechung von Chronifizierungsverläufen angewiesen.

Das digital-modulare BDS-Instrument liefert die notwendige Branchen- und Arbeitssystem-übergreifende Methodenkompetenz zur Modernisierung von Unternehmen durch Implementierung innovativer operativer Abläufe auf der Grundlage von mehr als 50 Jahren anwendungsorientierter Forschung, Weiterentwicklung und Evaluierung, was mit dieser Dissertation fortgesetzt wurde.

ISBN 978-3-936841-39-8