



Steffen Conrad (Autor)

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



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7993>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation, Motivation und Zielsetzung

Ausgangslage und Motivation

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

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

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

¹ Finanzielles und physisches Kapital

² Organisatorisches Kapital und Beziehungskapital

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

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

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

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

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

³ Meist männlich mit einer Körperhöhe von 175 cm

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

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

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

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

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

Zielsetzung

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

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

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

1.2 Aufbau der Arbeit

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

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

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

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

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

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

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

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

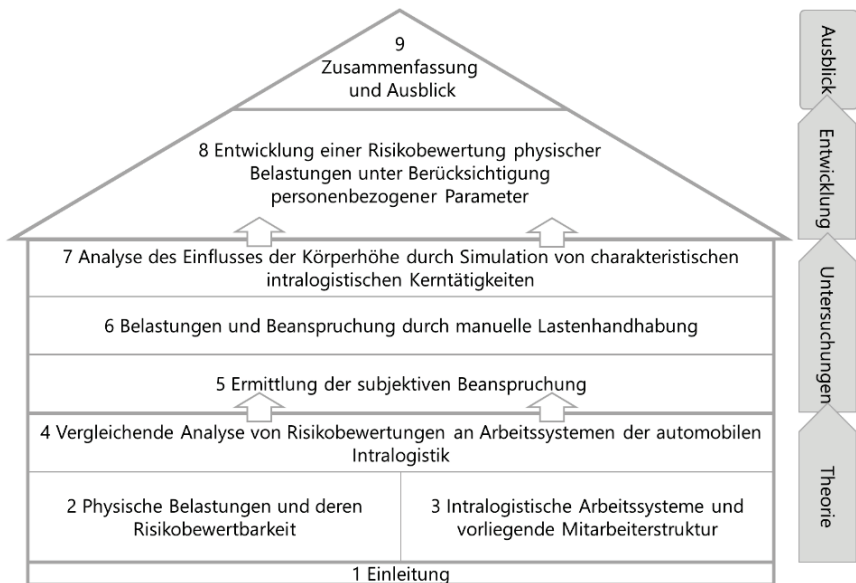


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

2 Physische Belastungen und ihre Risikobewertbarkeit

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

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

2.1 Physisch belastende Tätigkeiten und ihre Auswirkung

2.1.1 Physische Belastungsarten

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

Isotonische Muskelarbeit

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

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

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

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

Isometrische Muskelarbeit

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

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

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

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

Auftreten muskulärer Arbeit und deren Auswirkungen

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

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

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

2.1.2 Belastung und Beanspruchung

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

2.2 Stand der Wissenschaft zur Bewertbarkeit physischer Belastungen

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

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

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

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