



DGUV Report 2/2020

7. Fachgespräch Ergonomie 2019

– Zusammenfassung der Vorträge vom 25. und 26. November 2019 –

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e. V. (DGUV)

Glinkastraße 40

10117 Berlin

Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)

Fax: 030 13001-9876

E-Mail: info@dguv.de

Internet: www.dguv.de

– Oktober 2020 –

Bearbeitet von:

Susan Freiberg, Hanna Zieschang

Institut für Arbeit und Gesundheit der

Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e. V.

Publikationsdatenbank:

www.dguv.de/publikationen

Titelbild (Originalbilder) von links nach rechts:

kaj.Kandler/kombinatrotweiss.de, Stephan Flos

kaj.Kandler/kombinatrotweiss.de

Alle Bilder aus der Präventionskampagne: Dein Rücken

Layout und Gestaltung: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)

ISBN: 978-3-948657-13-0

DGUV Report 2/2020

7. Fachgespräch Ergonomie 2019

– Zusammenfassung der Vorträge vom 25. und 26. November 2019 –

Kurzfassung

7. Fachgespräch Ergonomie

Am 25. und 26. November 2019 fand in Dresden das 7. Fachgespräch Ergonomie statt. Es richtete sich an die Ergonomie- und Präventionsfachleute der Unfallversicherungsträger. Themenschwerpunkte zu aktuellen Trends in der Arbeitswelt wurden aufgegriffen, wie Exoskelette, Virtuelle Realität, Nichtvisuelle Wirkung von Licht und Arbeitszeitgestaltung. Deutlicher Schwerpunkt war aber auch nach wie vor die Prävention physischer Belastungen und die Bewertung arbeitsbezogener Muskelskelett-Belastungen sowie Demografie oder Ergonomie und Normung.

In diesem DGUV Report sind die Beiträge der Veranstaltung zusammengestellt.

Abstract

7th DGUV Expert Discussion – Ergonomics

The 7th Expert Discussion – Ergonomics took place on 25th and 26th November 2019 in Dresden. It was aimed at ergonomics and prevention experts from the social accident insurance institutions. Central topics of current trends in the working world were discussed such as exoskeletons, virtual reality, the nonvisual effect of light, and working time organisation. However, the clear focus was still on the prevention of physical strain, ergonomics and standardisation, and the assessment of workrelated musculo-skeletal strain.

The event contributions are collated in this DGUV Report.

Résumé

7e Colloque Ergonomie de la DGUV

Le 7e colloque Ergonomie s'est tenu les 25 et 26 novembre 2019 à Dresde. Il s'adressait aux experts en ergonomie et en prévention des organismes d'assurance Accidents. Les grands thèmes relatifs aux tendances dans le monde du travail ont été abordés, notamment les exosquelettes, la réalité virtuelle, les effets non-visuels de la lumière et la gestion du temps de travail. Comme par le passé, les sujets dominants ont toutefois été la prévention des charges physiques et l'évaluation des charges musculo-squelettiques liées au travail, ainsi que la démographie ou encore l'ergonomie et la normalisation.

Les exposés du colloque sont rassemblés dans ce Rapport de la DGUV.

Resumen

7.o coloquio sobre ergonomía del DGUV

El 25 y 26 de noviembre de 2019 tuvo lugar en Dresde (Alemania) el 7.o coloquio sobre ergonomía. Iba dirigido a los especialistas en ergonomía y prevención de los organismos de seguros contra accidentes. Se trataron temas importantes relativos a las tendencias actuales del mundo laboral, como los exosqueletos, la realidad virtual, los efectos no visuales de la luz y la distribución del horario laboral. Sin embargo, el punto claramente más importante siguió siendo la prevención de cargas físicas y la evaluación de cargas para el aparato muscular relacionadas con el trabajo, así como la demografía o la ergonomía y la normalización.

En este informe del DGUV se recogen las ponencias del acto.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	
<i>Hanna Zieschang, Martin Liedtke, Rolf Ellegast</i>	9
1 Prävention physischer Belastungen	11
Physische Belastungen von Rettungskräften beim Patiententransport in Treppenhäusern	
<i>Christoph Schiefer, Rolf Ellegast, Ingo Hermanns, Manigee Derakshani, Friedhelm Göbel, Matthias Jäger, Ulrich Koch, Thomas Reichert, Dirk Ditchen</i>	13
Auswirkungen auf Muskel-Skelett-Belastungen beim Bodenwischen mit unterschiedlichen Stieltypen	
<i>Mark Brütting, Benjamin Ernst, Kerstin Steindorf</i>	19
2 Bewertung arbeitsbezogener MSB	27
Ergebnisse des Kooperationsprojektes MEGAPHYS	
<i>Britta Weber, Mark Brütting, Dirk Ditchen, Michaela Eul, Ulrich Glitsch, Kai Heinrich, Ingo Hermanns-Truxius, Ulrike Hoehne-Hückstädt, Rainer Lietz, Markus Post, David Seidel, Rolf Ellegast</i>	29
Systematischer Review zu Arbeitsbelastungen und Koxarthrose – Dosis-Wirkungsbeziehung und Risikoverdopplungsdosis	
<i>Yi Sun, Annette Nold, Ulrich Glitsch, Frank Bochmann</i>	35
3 Physische Belastungen Hand – Arm	39
Messdatenbasierte Bewertung arbeitsbedingter Hand- und Ellenbogenbelastungen	
<i>David H. Seidel, Kai Heinrich, Ingo Hermanns-Truxius, Rolf Ellegast, Lope H. Barrero, Monika A. Rieger, Benjamin Steinhilber, Britta Weber</i>	41
Katasterstudie Carpal-tunnelsyndrom (CTS) – Tätigkeitsanalyse und messtechnische Erfassung von Handgelenksaktivitäten bei Gesundheitsberufen und Friseuren	
<i>Matthias Wanstrath</i>	47
Arbeitsgestaltungsmaßnahmen bei repetitiven Tätigkeiten	
<i>Torsten Wagner</i>	51
4 Ergonomie und Normung	57
VDI-Richtlinie 4499 Blatt 5 – Digitale Fabrik – Prognose von Umgebungseinflüssen auf den arbeitenden Menschen	
<i>Martin Liedtke</i>	59
Arbeitssystemgestaltung für Maschinen- und Systemsicherheit	
<i>Peter Nickel, Peter Bärenz, Hans-Jürgen Bischoff, Siegfried Radandt, Urs Kaufmann, Michael Wichtl, Luigi Monica</i>	61
Stirnleuchten im Fahrleitungsbau	
<i>Karin Bieske, Sylvia Hubalek</i>	67

	Seite
5 Exoskelette	73
Forschungsprojekt „Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt“	
<i>Ralf Schick, Robert Weidner, Niclas Hoffmann</i>	75
Methodik zur Analyse der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten	
<i>Ulrich Glitsch, Ines Bäuerle, Lisa Hertrich, Kai Heinrich, Martin Liedtke</i>	81
Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten – Hoffnung oder Illusion?	
<i>Kai Heinrich, Mirko Kaufmann, Martin Liedtke, Ulrich Glitsch</i>	87
Exoskelette – Aspekte der Gefährdungsbeurteilung	
<i>Martin Liedtke, Ulrich Glitsch, Kai Heinrich, Thomas Bömer, Christian Werner</i>	95
Einsatz von Exoskeletten bei körperlicher Arbeit im Logistik- und Transportgewerbe	
<i>Gabriele Winter, Ulrich Glitsch, Christian Felten, Jörg Hedtmann</i>	101
6 Virtuelle Realität	109
Auswirkungen von Datenbrillen auf Arbeitssicherheit und Gesundheit: Projekt ADAG	
<i>Daniel Friemert, Claudia Terschüren, Benno Groß, Robert Herold, Nicolai Leuthner, Christopher Braun, Ulrich Hartmann, Volker Harth</i>	111
Absturzprävention durch den Einsatz von Virtual Reality in Sicherheitsunterweisungen	
<i>Robin Grießel, Stephanie Griemsmann, Vera Schellewald, Christoph Schiefer</i>	117
Risikobeurteilung trainieren – unterstützt durch virtuelle Realität	
<i>Katrin Gomoll, Peter Nickel, Stephan Huis</i>	121
7 Individuelle Prävention	129
Training zur Stolperprävention mit Hilfe von virtueller Realität – erste Ergebnisse	
<i>Anika Weber, Peter Nickel, Daniel Friemert, Ulrich Hartmann, Kiros Karamanidis</i>	131
Vielfalt in der Individualprävention – Orientierungshilfe für Beschäftigte	
<i>Thomas Fietz, Tobias Belz</i>	137
Individualprävention bei arbeitsbezogenen Muskel-Skeletterkrankungen	
<i>Rolf Ellegast</i>	143
8 Prävention und Vielfalt	149
Arbeitsbedingte erweiterte Erreichbarkeit – Bedeutung und Präventionsansätze	
<i>Marlen Cosmar</i>	151
Dynamische Arbeitsstationen – Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Forschung und der betrieblichen Praxis	
<i>Vera Schellewald, Britta Weber, Rolf Ellegast</i>	155

		Seite
9	Nichtvisuelle Wirkung von Licht	161
	Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen	
	<i>Gerold Soestmeyer</i>	163
	KAN-Studie „Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen“	
	<i>Anna Dammann</i>	171
	Zwischen Selbsteinschätzung und gutem Lichtprofil – Erkenntnisse aus der IPA-Feldstudie zu Schichtarbeit	
	<i>Sylvia Rabstein, Dirk Pallapies, Thomas Behrens, Thomas Brüning</i>	173
10	Arbeitszeitgestaltung	177
	Schichtarbeit – (k)ein Problem?!	
	<i> Gudrun Wagner</i>	179
	Arbeitsfähigkeit nach Langstreckenflügen	
	<i>Dominik Brandau</i>	181
11	Demografie und Nachhaltigkeit	185
	Was bleibt nach drei Jahren Kita-Alltag? Ergebnisse der Projektevaluation „ErgoKita“	
	<i>Angelika Hauke, Ralph Bruder, Rolf Ellegast, Herbert Hartmann, Uwe Hellhammer, Heinz Hundeloh, Bodo Köhmstedt, Grita Schedlbauer</i>	187
	Zertifizierung zum Demografie-Coach – auch Ergonomie gehört dazu	
	<i>Hanna Zieschang, Susan Freiberg</i>	195
12	Referentinnen und Referenten	201
	Anschriften der Vortragenden	202

Vorwort

Hanna Zieschang¹, Martin Liedtke², Rolf Ellegast²

¹ Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG), Dresden

² Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

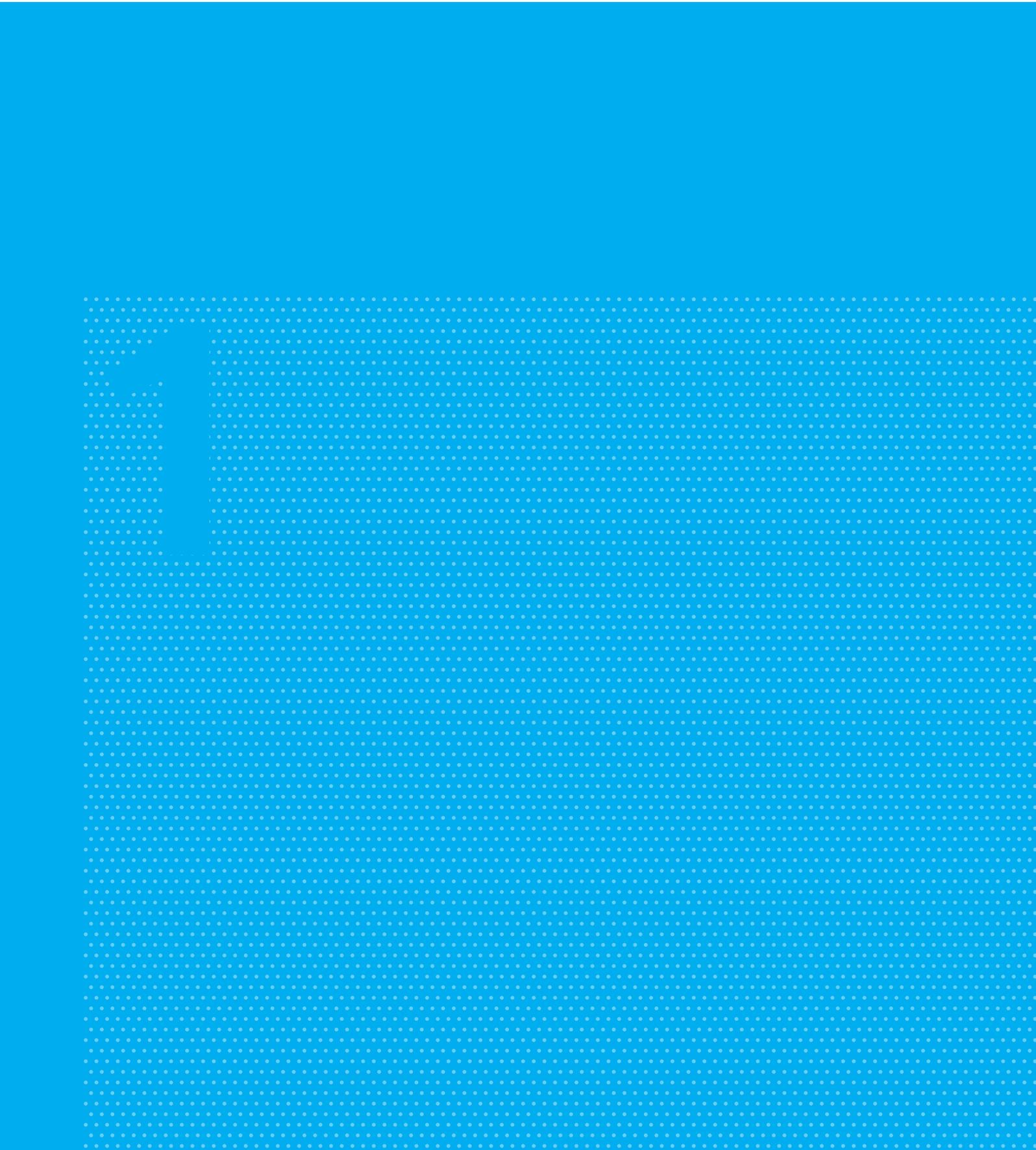
Aktuell ist die Arbeitswelt von vielen neuen Entwicklungen betroffen. Dazu gehören unter anderem die digitale Transformation, die Globalisierung oder auch insgesamt ein gesellschaftlicher Wandel. Bei allen diesen Entwicklungen bleibt die ergonomische Arbeitsgestaltung ein zentraler Bestandteil in der Präventionsarbeit der Unfallversicherungsträger. Dies ist Anlass genug, um eine inzwischen regelmäßig stattfindende Veranstaltungsreihe fortzusetzen. Im Abstand von drei Jahren veranstalten die Forschungseinrichtungen IFA und IAG der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung ein DGUV-Fachgespräch Ergonomie. Dabei wechseln sich die Veranstalter in der Durchführung ab. Am 25. und 26. November 2019 fand das Fachgespräch zum siebten Mal statt und wurde vom IAG in Zusammenarbeit mit dem IFA vorbereitet, organisiert und in Dresden durchgeführt. Wie bei allen vorhergehenden Fachgesprächen Ergonomie stand auch dieses Mal der fachliche Erfahrungsaustausch der Präventionsfachleute der Unfallversicherungsträger im Mittelpunkt der Veranstaltung.

Im Vorfeld der Veranstaltung wurden die Unfallversicherungsträger um Nennung der für ihre Präventionsarbeit jeweils prioritären Themen gebeten. Dabei zeichnete sich ab, dass nach wie vor Physische Belastungen – sowohl Ganzkörperbelastungen als auch Hand-Arm-Belastungen – wichtige Themen sind, ebenso die Bewertung

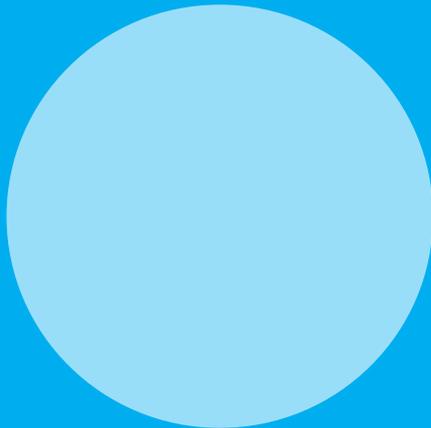
arbeitsbezogener Muskel-Skelett-Belastungen und demzufolge die Prävention physischer Belastungen. Entsprechend den genannten neueren Entwicklungen nahmen Exoskelette mit vielen Projekten und Vorträgen einen breiten Raum ein, ebenso Virtual Reality. Da durch die zunehmende Digitalisierung ein „Arbeiten an jedem Ort zu jeder Zeit“ möglich wird, sind Themen zur gesunden Arbeitszeitgestaltung oder der nichtvisuellen Wirkung von künstlicher Beleuchtung am Arbeitsplatz mehr und mehr für die Präventionsarbeit bedeutsam.

Nicht nur die Vielfalt der Themen, auch die Menge an Beiträgen machte es erforderlich, das Fachgespräch in einem anderen Veranstaltungsformat als sonst zu konzipieren und durchzuführen. Die Beiträge wurden thematisch gruppiert und in parallel verlaufenden Workshops vorgestellt. So konnte Zeit gewonnen werden für den nach den letzten Fachgesprächen vielfach gewünschten Austausch der Teilnehmenden untereinander. Diese Möglichkeit wurde von allen sehr rege genutzt.

In diesem Report sind die Beiträge des 7. Fachgespräches Ergonomie zusammengestellt. Wir danken allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Fachgesprächs für ihre Beiträge und den interessanten Erfahrungsaustausch.

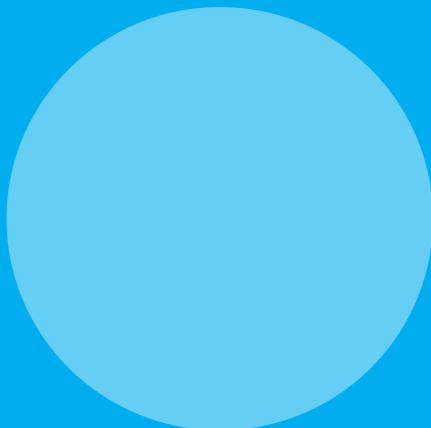


Prävention physischer Belastungen



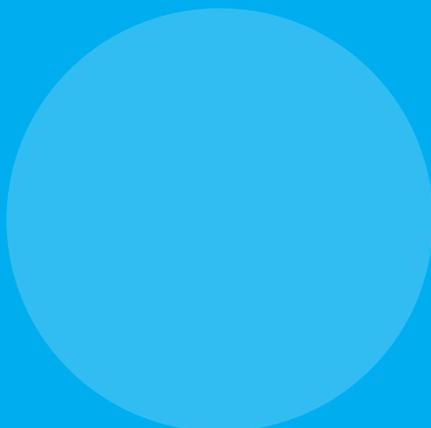
Physische Belastungen von Rettungskräften beim Patiententransport in Treppenhäusern

Christoph Schiefer, Rolf Ellegast, Ingo Hermanns, Manigee Derakshani, Friedhelm Göbel, Matthias Jäger, Ulrich Koch, Thomas Reichert, Dirk Ditchen



Auswirkungen auf Muskel-Skelett-Belastungen beim Bodenwischen mit unterschiedlichen Stieltypen

Mark Brütting, Benjamin Ernst, Kerstin Steindorf



Physische Belastungen von Rettungskräften beim Patiententransport in Treppenhäusern

Christoph Schiefer¹, Rolf Ellegast¹, Ingo Hermanns¹, Manigee Derakshani², Friedhelm Göbel², Matthias Jäger³, Ulrich Koch², Thomas Reichert², Dirk Ditschen¹

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW), Düsseldorf

³ IfADo – Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund

Kurzfassung

Rettungspersonal muss im Einsatz häufig Patientinnen und Patienten durch Treppenhäuser transportieren, wobei hohe Lasten zu handhaben und ungünstige Körperhaltungen aufgrund beengter Transportwege einzunehmen sind. Zudem müssen immer häufiger schwergewichtige Personen transportiert werden. In Abhängigkeit von der verfügbaren Personenzahl der Rettungskräfte und den eingesetzten Transportmitteln können hierbei hohe Belastungen für das Muskel-Skelett-System auftreten, insbesondere für den Rücken. Es gibt mittlerweile alternative Hilfsmittel zur Entlastung der Rettungskräfte, die neben den konventionellen Transporthilfen genutzt werden können, aber aus unterschiedlichen Gründen noch nicht weit verbreitet sind.

In einer Laborstudie wurden konventionelle und alternative Hilfsmittel untersucht und miteinander verglichen. Zwei Versuchspersonen transportierten dazu jeweils eine 75 kg schwere Dummy-Puppe durch ein Treppenhaus unter sukzessiver Verwendung der verschiedenen Hilfsmittel. Hierbei wurden die Körperhaltung/-bewegung und die Aktionskräfte gemessen (CUELA) und die subjektiv empfundene Anstrengung mithilfe eines Fragebogens erfasst. Insgesamt nahmen an der Studie 30 Rettungsdienstbeschäftigte als Testpersonen teil. Als Ausgabeparameter wurden Handaktionskräfte, Gelenkwinkel, Gelenkmomente und Bandscheiben-Druckkräfte im Bereich der Lendenwirbelsäule sowie das subjektive Belastungsempfinden ermittelt und statistisch untersucht.

Die Studie zeigt, dass die physische Belastung der Rettungskräfte beim Patiententransport durch die Verwendung der alternativen Hilfsmittel reduziert werden kann. So liegt beispielsweise der mittlere Median der Handaktionskraft beim konventionellen Tragetuch oberhalb von 400 N und damit deutlich höher als beim Treppengleituch (165 N). Auch das subjektive Belastungsempfinden liegt bei den konventionellen Hilfsmitteln im Bereich „mittlere bis sehr starke“ Anstrengung, während es für die Alternativen niedriger bei „leichte bis mittlere“ Anstrengung liegt.

1 Einleitung

Rettungspersonal muss im Einsatz häufig Patientinnen und Patienten durch Treppenhäuser transportieren, wobei hohe Lasten zu handhaben und ungünstige Körperhaltungen aufgrund beengter Transportwege einzunehmen sind. Zudem müssen immer häufiger schwergewichtige Personen transportiert werden [1]. In Abhängigkeit von der verfügbaren Personenzahl der Rettungskräfte und den eingesetzten Transportmitteln können hierbei hohe Belastungen für das Muskel-Skelett-System auftreten, insbesondere für den Rücken. Die genannten Belastungen spiegeln sich im Krankenstand der Rettungskräfte wider [2]. Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes waren dabei die häufigsten Krankheitsarten (30 %) und lagen über den Werten von Vergleichsgruppen [3].

Eine Lösung des Problems könnte in der Verwendung alternativer Transporthilfen liegen, die eine Belastungsreduzierung beim Patiententransport versprechen. Allerdings sind diese im Gegensatz zu den konventionellen Transporthilfen weniger verbreitet und auf ihre entlastende Wirkung kaum untersucht.

Mit Blick auf die beschriebene Belastungssituation im Rettungsdienst beauftragte die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW) das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) mit der Durchführung einer Studie, in der die körperliche Belastung von Rettungskräften beim Patiententransport durch ein Treppenhaus sowohl mit konventionellen als auch alternativen Transporthilfen untersucht werden sollte.

Ziele der Studie waren die vergleichende Analyse und Bewertung der körperlichen Belastungen der Rettungskräfte bei der Verwendung unterschiedlicher Transporthilfen sowie die Ableitung von Empfehlungen zur Prävention in der Praxis aus den Erkenntnissen und Ergebnissen der Studie.

Dieser Bericht beschränkt sich auf die Darstellung der Transporttücher und dem Vergleich anhand von drei Auswerteparametern. Ein ausführlicher Bericht über die Studie findet sich in einem IFA Report [4].

2 Methodik

2.1 Transportmittel

Bei den in dieser Studie verwendeten Hilfsmitteln stand die Untersuchung des Wirkprinzips im Vordergrund. Es ist weder beabsichtigt, ein spezielles Produkt zu bewerben noch ähnliche Produkte verschiedener Hersteller zu vergleichen. Zwei der untersuchten Hilfsmittel werden im Folgenden kurz beschrieben.

2.1.1 Tragetuch (TT)

Das Tragetuch besteht aus einer robusten Plane mit mindestens sechs seitlich angebrachten Griffen (Abbildung 1) und ist zum Transport von liegenden oder sitzenden Personen in beengter Umgebung oder in schwierigem Gelände geeignet. Aufgrund des geringen Packmaßes und Eigengewichts gehört das Tragetuch regelmäßig zur Ausstattung der Einsatzfahrzeuge im Rettungsdienst. Das Tragetuch kann bereits von Zweierteams eingesetzt werden, indem jeweils ein Träger zwei Griffen einer Seite nutzt. Sofern möglich können weitere Personen den Transport entsprechend den verfügbaren Tragegriffen unterstützen. In der Studie hat eine dritte Person an den Tragegriffen am Fußende unterstützt, damit die Füße des Patienten/Dummy nicht den Boden berühren.

2.1.2 Treppengleituch (TGT)

Das Treppengleituch (TGT) besteht wie das Tragetuch aus einer robusten Plane mit insgesamt acht Griffen an den Seiten (Abbildung 2) und kann in gleicher Weise verwendet werden wie das TT. Zusätzlich verfügt das TGT auf der Unterseite auf Höhe des Patientenrückens über eine Stabilisierungsplatte mit Gleitschienen. Am Kopfende des TGT sind eine Polsterung für den Patientenkopf angebracht sowie ein Rückengurt, den sich die beim Transport nachfolgende Rettungskraft („Hintermann“) umlegt. Im Unterschied zum TT wird die Person nicht getragen, sondern kann über die Gleitschienen des TGT auf dem

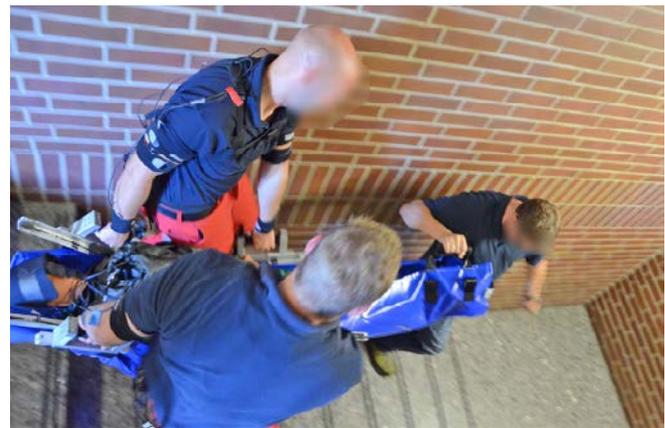


Abb. 1 Tragetuch (TT) mit Dummy-Puppe und Messtechnik sowie beim Einsatz im Treppenhaus

Boden liegend gezogen werden. In der Ebene zieht die vorangehende Rettungskraft („Vordermann“) am Fußende das TGT. Auf der Treppe gleitet das TGT die Stufen hinunter, während der Hintermann mit dem Rückengurt die Geschwindigkeit kontrolliert und beide Rettungskräfte jeweils bremsen und lenken. Die Stabilisierungsplatte mit den Gleitschienen schützt dabei den Rücken des Patienten, der die einzelnen Stufen als Wellenbewegung wahrnimmt. Wie beim TT können beim TGT zusätzliche Personen den Transport unterstützen.

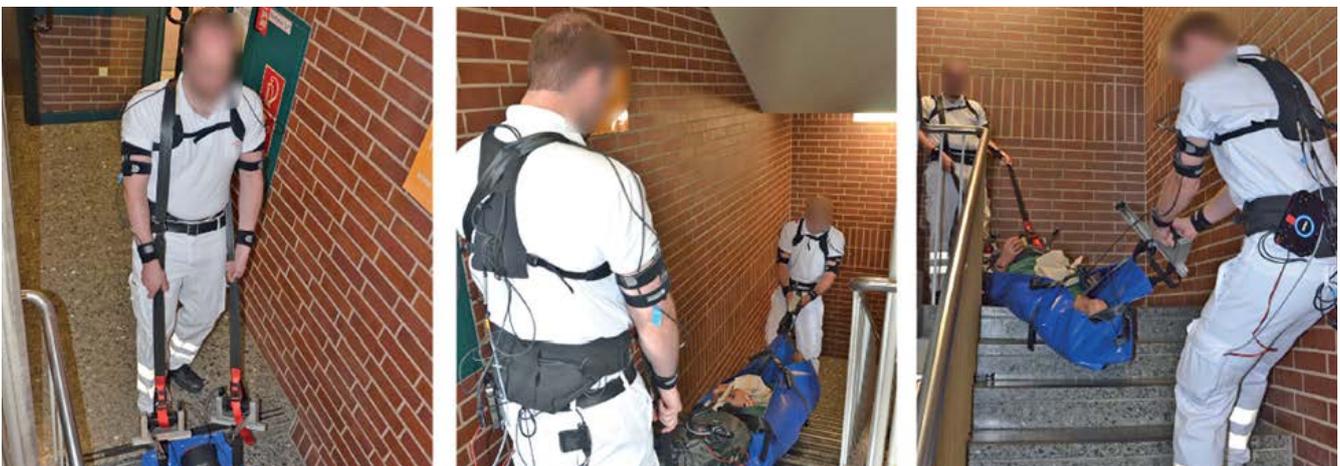


Abb. 2 Treppengleituch (TGT) beim Einsatz im Treppenhaus

2.2 Versuchsaufbau und Messprotokoll

Für die Untersuchungen wurde als Einsatzszenario der Krankentransport einer Person durch zwei Rettungskräfte über zwei Stockwerke eines Treppenhauses abwärts vorgegeben. Die Probanden wählten die Transportgeschwindigkeit selbst, mit der Vorgabe, dass keine Notsituation vorliege, die besondere Eile erfordern würde. Transportiert wurde eine bewegliche, 75 kg schwere Dummy-Puppe. Zusammen mit dem Transportmittel und der erforderlichen Messtechnik ergab sich ein zu transportierendes Gesamtgewicht von ca. 95 kg. Als Einsatzort diente ein Treppenhaus im IFA, welches durch seine Beschaffenheit gute Einsatzbedingungen bot. Die Transportvorgänge wurden für jedes Hilfsmittel jeweils dreimal wiederholt. Zur Erholung der Probanden fanden zwischen den einzelnen Wiederholungen jeweils mindestens fünf Minuten Pause statt.

An der Studie bzgl. Transporttücher nahmen 16 männliche Probanden im Alter von $29 \pm 3,3$ Jahren aus Rettungsdiensten und Feuerwehren mit mehrjähriger Berufserfahrung teil.

2.3 Mess- und Zielparameter

Für die vergleichende Analyse der physischen Belastung bei der Nutzung der verschiedenen Transporthilfen wurden die Aktionskraft sowie die Körperhaltung und -bewegung gemessen, woraus durch biomechanische Analyse die Bandscheiben-Druckkraft im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule (L5/S1) ermittelt wird.

Zur Ermittlung der Körperhaltung und -bewegung kam das Messsystem CUELA (Computerunterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse) zum Einsatz, das im IFA zur objektiven Ermittlung von Muskel-Skelett-Belastungen am Arbeitsplatz entwickelt wurde [5 bis 8]. Die in dieser Studie verwendete Variante des Systems verwendet ausschließlich inertielle Messeinheiten (inertial measurement unit, IMU), bestehend aus Beschleunigungs-, Winkelgeschwindigkeits- und Magnetfeldsensoren [9], die direkt am Körper getragen und aufgezeichnet werden (Abbildung 3).



Abb. 3 Inertielle Messeinheiten (IMU) am Körper bzw. in Kombination mit Kraftmessgriffen am Transportmittel

Zur Messung der Handaktionskräfte kamen 3D-Handkraftmesssysteme [10] (Kraftmessgriffe, Fa. Kistler Instrumenten, Winterthur, Schweiz) an den untersuchten Transporthilfen zum Einsatz. Die Kraftmessgriffe messen den Betrag und die Richtung der aufgewendeten Aktionskraft jeweils in Bezug zum eigenen (lokalen) Koordinatensystem. Um die Richtungsinformation der Kraft im globalen Koordinatensystem verwenden zu können, wurden die Kraftmessgriffe ebenfalls mit IMUs ausgestattet (Abbildung 3) und die Krafrichtung entsprechend umgerechnet. Die Kraftmessgriffe wurden an der ursprünglichen Position und Lage der Griffe der einzelnen Transporthilfen montiert, um deren gewohnte und übliche Handhabung zu ermöglichen. Dazu wurden die Transporthilfen umgebaut bzw. angepasst und entsprechende Befestigungsadapter für die Kraftgriffe konstruiert und hergestellt.

Aus den IMU-Daten wurden zunächst die Segmentbewegungen berechnet und zusammen mit den ermittelten Aktionskräften an den entsprechenden Kraftangriffspunkten auf das hinterlegte Menschmodell übertragen. Die Abschätzung der Bandscheiben-Druckkräfte erfolgte durch das in die CUELA-Auswerte-Software integrierte und an den „Dortmunder“ [11] angepasste Muskel- und Skelettmodell. Damit können aus den Messdaten des CUELA-Systems direkt Ausgabewerte nach dem „Dortmunder“ Modell berechnet werden [12].

Neben den objektiven Messgrößen wurde das subjektive Belastungsempfinden der Testpersonen nach der Nutzung der einzelnen Hilfsmittel mit einem Fragebogen anhand einer sechsstufigen Skala in Anlehnung an die Borg-Skala [13] abgefragt. Das subjektive Belastungsempfinden dient als ergänzende Information über den persönlichen Eindruck, den die Testpersonen von verschiedenen Hilfsmitteln gewinnen.

3 Ergebnisse

3.1 Aktionskräfte

Abbildung 4 zeigt die zeitliche Verteilung der gemessenen Hand-Aktionskräfte anhand der Perzentilwerte P05, P25, P50 (Median), P75 und P95 als Boxplot für die beiden Transporthilfen. Sie sind zusammengefasst als Betragssumme der gemessenen Kräfte des linken und rechten Kraftgriffs für jeden Probanden. Die Position der Testpersonen am Hilfsmittel (links/rechts; Fuß-/Kopfende) werden getrennt betrachtet, da die Bedingungen und Aufgaben und damit auch die Bewegungsabläufe während des Transports an den beiden Positionen zum Teil unterschiedlich sind.

Das TT zeigt für beide Tragepositionen ähnliche Medianwerte (links: 413 ± 23 N; rechts: 409 ± 26 N) mit einer geringen Streuung, die eine gleichmäßige Kraftverteilung auf beide Seiten am Tuch erkennen lassen. Es werden somit im Median etwa 45 % der Gesamtgewichtskraft von Patient und Hilfsmittel als Aktionskraft aufgewendet. Aus den Daten der einzelnen Kraftmessgriffe (linke/rechte Hand; nicht im Diagramm dargestellt) ergibt sich für die Träger selbst eine ungleichmäßige Kraftverteilung auf die linke bzw. rechte Hand am TT. Durch die ungleichmäßige Massenverteilung im TT stellt sich ein Kraftverhältnis von 36 % am Kopfende zu 64 % neben dem Rumpf auf die ermittelte Aktionskraft ein.

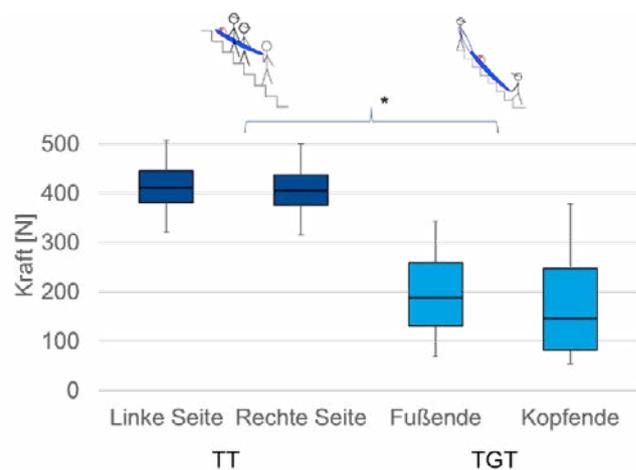


Abb. 4 Zeitliche Verteilung der Hand-/Aktionskraft (Betragssumme) als Boxplot. * = signifikanter Unterschied zwischen den Hilfsmitteln im mittleren Median ($p < 0,05$)

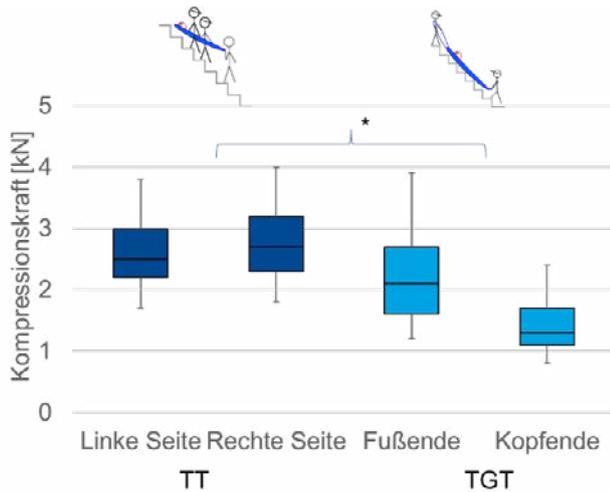


Abb. 5 Zeitliche Verteilung der Bandscheiben-Druckkraft als Boxplot. * = signifikanter Unterschied zwischen den Hilfsmitteln im mittleren Median ($p < 0,05$)

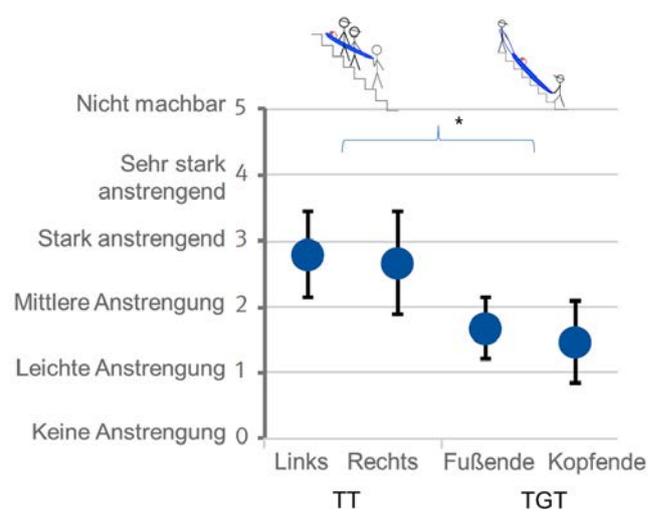


Abb. 6 Subjektives Belastungsempfinden bei Verwendung der Hilfsmittel (Mittelwerte und Standardabweichungen); * = signifikanter Unterschied zwischen den Hilfsmitteln ($p < 0,05$)

Für das TGT wird dagegen im Vergleich zum TT eine im Median (165 ± 38 N) signifikant geringere Aktionskraft aufgewendet, die etwa 7–17% der Gesamtgewichtskraft entspricht. Innerhalb des Transportteams zeigt das TGT signifikante Unterschiede im mittleren Median der Handaktionskraft zwischen beiden Positionen. Für den Hintermann (153 ± 37 N) sind diese signifikant geringer als für den Vordermann (186 ± 17 N), wohingegen die Kraftspitzen für den Hintermann tendenziell höher ausfallen als für den Vordermann, jedoch ohne Möglichkeit zur Signifikanzprüfung.

3.2 Bandscheiben-Druckkraft

Die zeitliche Verteilung der Bandscheiben-Druckkraft an L5/S1 wird als Boxplot in Abbildung 5 dargestellt.

Die Medianwerte sind für das TT ($2,7 \pm 0,4$ kN) signifikant höher als für das TGT ($1,7 \pm 0,4$ kN). Das bedeutet für den Paarvergleich eine signifikante Reduktion im Median der Bandscheiben-Druckkraft durch das TGT gegenüber dem TT. Im Positionsvergleich sind beim TT die Bandscheiben-Druckkraft für beide Seiten auf ähnlichem Niveau, während sich beim TGT für den Hintermann am Kopfende eine signifikant niedrigere Druckkraft als für den Vordermann am Fußende ergibt.

3.3 Subjektives Belastungsempfinden

Nach jedem Versuchsdurchlauf mit einem Hilfsmittel füllten die Testpersonen einen Fragebogen zur subjektiv empfundenen Belastung aus, dessen Auswertung in Abbildung 6 dargestellt ist. Die Punktwerte der empfundenen Belastung entsprechen den Kategorien von 0 = „keine Anstrengung“ bis 5 = „nicht machbar“.

Die Testpersonen ordneten die Anstrengung beim Transport mit dem TT im Bereich „mittlere“ bis „sehr starke“ Anstrengung ein und damit signifikant höher als bei dem TGT, wo die Testpersonen die Anstrengung im Bereich „leicht“ bis „mittel“ einordneten. Für beide Hilfsmittel wurde die Anstrengung an beiden Positionen auf ähnlichem Niveau empfunden.

4 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die objektiv mit biomechanischen Methoden erfasste als auch die subjektiv empfundene physische Belastung der Rettungskräfte durch die Verwendung der alternativen Hilfsmittel reduziert werden. Damit stellen die getesteten alternativen Transporthilfsmittel eine sinnvolle Ergänzung bestehender Hilfsmittel dar. Eine ausführliche Ergebnisdarstellung und Diskussion ist in [4] zu finden.

Ein Universal-Transporthilfsmittel, das in den vielfältigen Einsatzbedingungen allen Anforderungen genügen kann, ist jedoch bisher nicht bekannt. Es ist daher für jede Situation das optimale der verfügbaren Hilfsmittel zu wählen. Verfügbare Hilfsmittel sind unter anderem in Datenbanken (z. B. www.sicherer-rettungsdienst.de) recherchierbar.

Alleine die Beschaffung alternativer Transporthilfen hilft jedoch noch nicht, die Belastungssituation der Rettungsdienstbeschäftigten zu verbessern. Wenn ein Hilfsmittel verfügbar ist, muss es in der Situation vor Ort anwendbar sein und auch in der richtigen Art und Weise angewendet werden. Hierbei spielen regelmäßige Schulungen eine wichtige Rolle.

Literatur

- [1] *Lavender, S.; Conrad, P.; Reichelt, P.; Gacki-Smith, J.; Kohok, A.*: Designing ergonomic interventions for EMS workers, Part I: transporting patients down the stairs. *Appl. Ergon.* 38 (2007) Nr. 1, S. 71–81
- [2] *Beschäftigte im Rettungsdienst.* Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2016
- [3] *Unternehmensreport Gesundheit für DRK Rettungsdienst – Arbeitsunfähigkeitsdaten 2011.* Hrsg.: BAR-MER GEK, 2011
- [4] *Schiefer, C.; Hermanns, I.; Schuster, D.; Brandt, K.; Ditchen, D.; Göbel, F.; Derakshani, M.; Koch, U.; Reichert, T.*: Untersuchung der physischen Belastungen von Rettungskräften beim Patiententransport in Treppenhäusern, Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.(DGUV), Berlin 2019
- [5] *Ellegast, R.; Kupfer, J.*: Portable posture and motion measuring system for use in ergonomic field analysis. In: Landau, K.: *Ergonomic software tools in product and workplace design*, S. 47–54. Hrsg.: Institut für Arbeitsorganisation, Stuttgart 2000
- [6] *Ellegast, R.; Hermanns, I.; Hamburger, R.; Post, M.; Glitsch, U.; Ditchen, D.; Hoehne-Hückstädt, U.*: Langzeiterfassung und -analyse von physischen Arbeitsbelastungen mit dem CUELA-Messsystem. In: *Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen.* Dr. Bussert & Stadelers, Jena 2006
- [7] *Ellegast, R.; Hermanns, I.; Schiefer, C.*: Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. *Z. Arb. Wiss.* 64 (2010), S. 101–110
- [8] *Ellegast, R.; Hermanns, I.; Schiefer, C.*: Workload assessment in field using the ambulatory CUELA system. In: Duffy, V. G. (ed.): *Digital human modeling.* S. 221–226. Springer, Berlin 2009
- [9] *Schiefer, C.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Kraus, T.; Ochsmann, E.; Larue, C.; Plamondon, A.*: Optimization of inertial sensor-based motion capturing for magnetically distorted field applications. *J. Biomech. Eng.* 136 (2014) Nr. 12, S. 121008
- [10] *Glitsch, U.; Ottersbach, H.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Feldges, W.; Schaub, K.-H.; Berg, K.; Winter, G.; Sawatzki, K.; Voß, J.; Göllner, R.; Jäger, M.; Franz, G.*: Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. BIA-Report 5/2004. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004.
- [11] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Goellner, R.; Laurig, W.*: The Dortmund – Biomechanical model for quantification and assessment of the load on the lumbar spine. *SAE Transactions* 110 (2001), S. 2163–2171
- [12] *Ditchen, D.; Brandstädt, F.*: MEGAPHYS – Entwicklung eines Methodenpakets zur Gefährdungsbeurteilung physischer Belastungen am Arbeitsplatz. *Techn. Sicherh.* 5 (2015), S. 17–23
- [13] *Borg, G.*: Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Dtsch. Arztebl.* 101 (2004) Nr. 15, S. A1016–A1021

Auswirkungen auf Muskel-Skelett-Belastungen beim Bodenwischen mit unterschiedlichen Stieltypen

Mark Brütting¹, Benjamin Ernst¹, Kerstin Steindorf²

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), Dresden

Kurzfassung

Muskel-Skelett-Beschwerden und -Erkrankungen beim Reinigungspersonal sind weit verbreitet. Eine Verringerung der körperlichen Belastungen bei Reinigungsarbeiten soll z. B. durch ergonomisch optimierte Reinigungsgeräte erreicht werden. Im Auftrag der BG BAU wurden drei verschiedene längenverstellbare Wischerstiele für Bodenreinigungsarbeiten in einer Laborstudie vergleichend untersucht. Siebzehn freiwillige Probanden nahmen an der Untersuchung teil und führten eine standardisierte Reinigungstätigkeit durch. Zur qualitativen und quantitativen Ermittlung physiologischer Parameter wurden relevante Körperhaltungen/-bewegungen und Gelenkwinkel mit einem optischen Messsystem erfasst. Parallel wurden die subjektiven Meinungen der Testpersonen mithilfe von Fragebögen und Ratingskalen eingeholt. Eine Abschätzung unterschiedlicher Kraftaufwendungen im belasteten Arm- und Schulterbereich fand in Vorversuchen durch Oberflächen-Elektromyographie statt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen bestätigen die bisherigen Empfehlungen der BG BAU bezüglich einer individuell einzustellenden Stiellänge. Aufgrund variabler Greifmöglichkeiten bei bestimmten Stieltypen sollten die Empfehlungen entsprechend erweitert werden. Die Variabilität von Greifmöglichkeiten kann, richtig genutzt, eine Reduktion oder zumindest eine gleichmäßigere Verteilung der grundsätzlich hohen Belastungen für die oberen Extremitäten bei der manuellen Bodenreinigung bewirken. Der positive Effekt kann sich allerdings nur bei richtiger Bedienung auswirken, daher sollte ggf. eine Einweisung zur richtigen Anwendung und erzielbaren positiven physiologischen Effekten erfolgen.

1 Hintergrund

Belastungen des Muskel-Skelett-Systems sind seit Jahren die Diagnosehauptgruppe mit den meisten Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland [1;2;3]. 27,6 % der Fehltage sind nach diesen Statistiken auf Muskel-Skelett-Erkrankungen zurückzuführen. Zudem verursachen sie mit durchschnittlich über 17 Tagen pro Fall verhältnismäßig lange Ausfallzeiten. Beschäftigte in Reinigungsberufen kamen im Jahr 2018 auf 2653 AU-Tage je 100 Beschäftigte und übertrafen damit sogar die Bau- und Ausbauberufe. In einer Umfrage unter Gebäudereinigenden für Innenräume berichteten 74 %, dass sie im vorangegangenen Jahr Schmerzen und Beschwerden bezüglich des Muskel-Skelett-Systems hatten; 52 % der Betroffenen begaben sich deshalb in ärztliche Behandlung. Die europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA, European Agency for Safety and Health at Work-) hat die Bedeutung der Problematik ebenfalls aufgegriffen und thematisiert [4;5].

Reinigungsberufe zeichnen sich durch hauptsächlich manuelle Tätigkeiten (80 %) aus und 30–35 % der Arbeitszeit wird mit dem Wischen von Fußböden verbracht [6;7;8].

Im Rahmen der Prävention von Fehlbelastungen des Muskel-Skelett-Systems beauftragte die BG BAU als zuständige Berufsgenossenschaft für die Gebäudereinigungsunternehmen das IFA für eine Untersuchung zum Thema Muskel-Skelett-Belastungen bei Bodenreinigungsarbeiten. Insbesondere sollte untersucht werden, ob und wie sich die Verwendung verschieden gestalteter Teleskop-Wischerstiele für die Bodenreinigung auf unterschiedliche körperliche Belastungs- und Haltungsparameter auswirkt. Ziel war es, die Wischerstiele hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Körperhaltung und -bewegungen zu vergleichen, um Entscheidungsgrundlagen für Empfehlungen von Reinigungsgeräten und ggf. Hinweise zu potentiellen Weiterentwicklungen solcher Geräte zu liefern. Die gewonnenen Informationen sollen bei der Beurteilung von gelenkbelastenden Tätigkeiten und auch als Grundlage für die Empfehlung geeigneter Präventionsmaßnahmen genutzt werden.

2 Methoden

Die BG BAU stellte für diese Untersuchung drei verschiedene Wischerstiele (Abbildung 1) zur Verfügung. Zur Vereinfachung werden die Stiele im Folgenden nach der jeweiligen Farbgebung bezeichnet:

1. Standard-Variante (**Stiel rot**, Abbildung 1, links)
 - gerader Stiel
 - durch Teleskopsystem längenverstellbar
2. Knauf-Variante (**Stiel gelb**, Abbildung 1, Mitte)
 - gerader Stiel
 - durch Teleskopsystem längenverstellbar
 - rotierender, kugelförmiger Knauf am Stielende
3. S-Variante (**Stiel grün**, Abbildung 1, rechts)
 - zwischen den Griffbereichen zweifach angewinkelter Stiel (S-Form)
 - durch Teleskopsystem längenverstellbar
 - in beiden Griffbereichen sowohl rotierende als auch fixe Elemente
 - rotierender, T-förmiger Knauf am Stielende

Während der Laborversuche waren die Testpersonen und Bodenwischerstiele mit reflektierenden Markern ausgestattet (Abbildung 1). Sie ermöglichen die kontinuierliche Erkennung der Position und Orientierung von Körperteilen und Gelenkmittelpunkten sowie von Gegenständen mit dem VICON-Messsystem im Versuchsbereich. Auf diese Weise wurden Körperhaltungen und Bewegungen berührungsfrei aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Als relevante Parameter wurden die Rumpfnäheigung nach vorne, die Elevation der Arme sowie die Handgelenks- und Ellenbogenwinkel bestimmt.

Zur Abschätzung der muskulären Belastung wurde die Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) verwendet. Mit ihr wird die elektrische Aktivität hautoberflächennaher Muskulatur mittels Elektroden aufgezeichnet. Anhand eines Vergleiches der Signale bei maximaler willentlicher Kontraktion der Muskulatur mit den Signalen während eines Versuchsabschnittes kann der Grad der muskulären Belastung bestimmt werden. Das hierfür verwendete Maß lautet „% MVC“ (engl.: percentage of maximum voluntary contraction). Da diese Methode relativ zeitaufwendig ist und das Aufkleben der Elektroden unmittelbar auf die Haut ein hohes Maß an Compliance der Testpersonen erfordert, wurde sie nur exemplarisch in Vorversuchen mit wenigen Testpersonen durchgeführt, was aber dennoch eine ungefähre Größeneinordnung der Messwerte ermöglichte.

Die subjektive Meinung und die empfundene Anstrengung bei der Verwendung der verschiedenen Stieltypen wurde anhand von Fragebögen und Ratingskalen für beide Arme und Hände eingeholt. Dies erfolgte unmittelbar nach der Nutzung der jeweiligen Wischerstiele.

An der Untersuchung nahmen 17 Mitarbeitende (Alter 17–55 Jahre, Mittelwert 37 ± 11 J.) eines Gebäudereinigungsunternehmens teil.

Die Aufgabe war als „Feuchtwischen“ einer definierten Bodenfläche standardisiert. Es waren zwei „Bahnen“ von jeweils 150 cm Breite und 400 cm Länge auf dem Boden markiert, die nacheinander jeweils oben links beginnend, nach dem allgemein gebräuchlichen Wischmuster (rückwärtsgehend, in Achten wischen) zu wischen waren. Die Arbeitsgeschwindigkeit war den Teilnehmenden dabei selbst überlassen. Die Bahnen waren mit jedem der drei Stiele je dreimal zu wischen, wobei die Reihenfolge



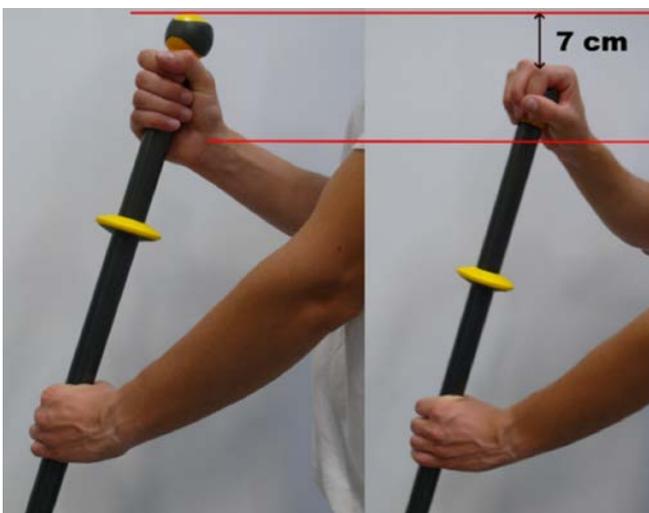
Abb. 1
Bodenwischerstiele und Probandin mit reflektierenden Markern im Labor

der Stieltypen zufällig variiert wurde. Typ und Größe des Mops war bei allen Stielen identisch. Vor Versuchsbeginn hatten die Teilnehmenden die Gelegenheit, sich mit den unterschiedlichen Stieltypen vertraut zu machen und jeweils mindestens einmal die komplette Fläche zu wischen. Somit waren zu Versuchsbeginn für alle Testpersonen die gleichen Bedingungen gegeben (leicht benetzter, sauberer Fußboden).

Die Stiele wurden nach den bestehenden Empfehlungen der BG BAU standardisiert auf eine Länge zwischen Kinn- und Schulterhöhe der anwendenden Person eingestellt. Für den gelben und grünen Stiel wurde die Einstellung modifiziert, d. h. um 7 cm verkürzt, da beide am oberen Ende einen Knauf besitzen und auch dort gegriffen werden sollte (Abbildung 2).

Tabelle 1 Übersicht der erfassten Parameter und verwendeten Messtechnik

Parameter	Messtechnik
Gelenkwinkel und Bewegungen (Rumpfneigung nach vorne, Elevation der Arme, Handgelenks- und Ellenbogenwinkel)	VICON
Aktivität der Schulter und Unterarmmuskulatur (m. trapezius, m. carpi radialis/ulnaris)	Oberflächen-Elektromyographie (EMG)
Subjektive Bewertung	Fragebögen, Ratingskalen



3 Ergebnisse

Die Rumpfneigung nach vorne unterschied sich bei allen Stielen kaum voneinander und betrug während des Wischens bei allen Stielen ca. 15° (Tabelle 2). Während weniger als 5% (P 95) der Messzeit wurde eine weniger günstige Vorneigung des Oberkörpers von gelegentlich mehr als 20° gemessen.

Während die Gelenkstellung der „unteren Hand“ (die Hand, die den Stiel unten greift) bei allen Stielen mit Flexionswerten um 27° im 50. Perzentil nahezu gleich war, zeigten sich deutliche Unterschiede bei der „oberen Hand“ (die Hand, die den Stiel am oberen Ende greift). Hier wurden bei Nutzung des roten Stiels die höchsten Werte (P 50: 37°) gemessen, die Werte für den grünen und gelben Stiel lagen wie bei der unteren Hand um 27° (P 50). Der Perzentilabstand zwischen dem 5. und 95. Perzentil kann als Maß der durchschnittlichen Bewegungsamplitude eines Gelenks verstanden werden. Beim Handgelenk der oberen Hand war dieser Wert beim gelben und grünen Stiel mit ca. 40° jeweils um etwa 20° kleiner als beim roten Stiel. Entgegengesetzte Verhältnisse herrschten bei der unteren Hand: der Bewegungsumfang war hier beim grünen und gelben Stiel um 10°–20° größer als beim roten Stiel.

Die seitlichen Handgelenksbewegungen Radialdeviation (Abknicken Richtung Daumen) und Ulnardeviation (Abknicken Richtung kleiner Finger) zeigten bei keinem der drei Stiele eine einheitliche Tendenz. Insgesamt wies die untere Hand eine stärkere Radialdeviation als die obere Hand auf.

Erwartungsgemäß zeigte die Schulterabduktion (richtungsunabhängiges Anheben des Arms) für den Arm der unteren Hand keine nennenswerten Unterschiede. Wie schon bei der Ulnar-/Radiusdeviation ist die Schulterabduktion des Armes der oberen Hand abhängig von der Greifhaltung und daher erst in der detaillierten Analyse, unterschieden nach Greifhaltung, auswertbar.

Abb. 2
Unterschiedliche Stiel-
längen bei verschiedenen
Greifvarianten

Tabelle 2 Parameter, Messwerte (jeweils 5., 50. und 95. Perzentil in [°]) und grafische Darstellung als Boxplots

Parameter	Messwerte (Perzentile)				Box mit P 05, P 50 und P 95 in [°] (roter Stiel links, gelber Stiel mittig, grüner Stiel rechts)	
Rumpfeigung nach vorne			rot	gelb	grün	
	P 5	12	12	11		
	P 50	15	16	15		
	P 95	20	20	19		
Flexion/Extension der oberen (links) und unteren Hand (rechts)	oben	rot	gelb	grün		
	P 5	4	-3	-2		
	P 50	-37	-25	-26		
	P 95	-59	-43	-42		
	unten	rot	gelb	grün		
	P 5	-7	1	-5		
	P 50	-27	-26	-28		
	P 95	-48	-55	-51		
Ulna/radius-deviation der oberen (links) und unteren Hand (rechts)	oben	rot	gelb	grün		
	P 5	-1	-5	-3		
	P 50	14	8	13		
	P 95	26	23	28		
	unten	rot	gelb	grün		
	P 5	-11	-6	-3		
	P 50	-2	3	6		
	P 95	5	10	13		
Abduktion des Armes der oberen (links) und unteren Hand (rechts)	oben	rot	gelb	grün		
	P 5	13	8	15		
	P 50	22	20	30		
	P 95	30	29	42		
	unten	rot	gelb	grün		
	P 5	0	4	4		
	P 50	11	15	15		
	P 95	24	29	28		

Bei einer Unterscheidung nach Greifvarianten der oberen Hand bei Stielen mit Knauf deutet sich ein Effekt auf den Arm und das Handgelenk der oberen Hand an. Das Greifen von oben (Abbildung 2, rechts) bewirkte im Vergleich zum seitlichen Greifen (Abbildung 2, links) am Handgelenk eine geringere Bewegungsamplitude und durchschnittlich eine neutralere Handhaltung. Die veränderte Handhaltung

bewirkte allerdings auch eine höhere Bewegungsamplitude und eine durchschnittlich stärkere Elevation des Arms der oberen Hand.

Hinsichtlich der muskulären Aktivität bestätigten die Ergebnisse der exemplarischen OEMG- Messungen erwartungsgemäß die Tendenzen der aufgezeichneten

Bewegungen und Haltungen. Grundsätzlich wurden die Erkenntnisse früherer Studien bestätigt, dass das Bodenwischen an sich eine nicht zu vernachlässigende Belastung des Muskel-Skelett-Systems darstellen kann. Unabhängig vom Stieltyp wurde der M. flexor carpi ulnaris des unteren Arms und der M. extensor carpi radialis und M. trapezius des oberen Arms jeweils stärker aktiviert als die entsprechende Muskulatur des jeweils anderen Arms. Die höchste durchschnittliche (50. Perzentil) muskuläre Aktivität wurde bei allen Stielen am M. flexor carpi ulnaris des unteren Arms mit durchschnittlich 30 % MVC gemessen.

Ausnahmslos alle Teilnehmenden nutzten nach eigenen Angaben während ihrer Arbeitszeit einen Stiel vergleichbar mit der Standard-Variante (Stiel rot, siehe Tabelle 3). Eine Längenverstellbarkeit war bei ca. 50 % gegeben. Während der gelbe Stiel am meisten Zuspruch erhielt, wurde der grüne Stiel deutlich weniger gut als die Standard-Variante eingestuft. Die empfohlene Stiellänge wurde gut angenommen und, falls nicht ohnehin schon verwendet, als angemessen und komfortabel bewertet.

Tabelle 3 Fragebogenergebnisse

	Stiel rot	Stiel gelb	Stiel grün
Mit welchem Stieltyp arbeiten Sie üblicherweise?	17	0	0
Welcher Stiel hat Ihnen im Versuch am besten gefallen?	6	9	2
Welcher Stiel hat Ihnen im Versuch am wenigsten gefallen?	1	2	14
Mit welchem Stiel würden Sie am liebsten arbeiten?	5	10	2
	ja	nein	k.A./weiß nicht
Ist Ihr Stiel in der Länge verstellbar?	8	7	2
	selbst eingestellte Länge	empfohlene Länge	k.A./weiß nicht/egal
Welche Stiellänge gefällt Ihnen besser?	2	8	7

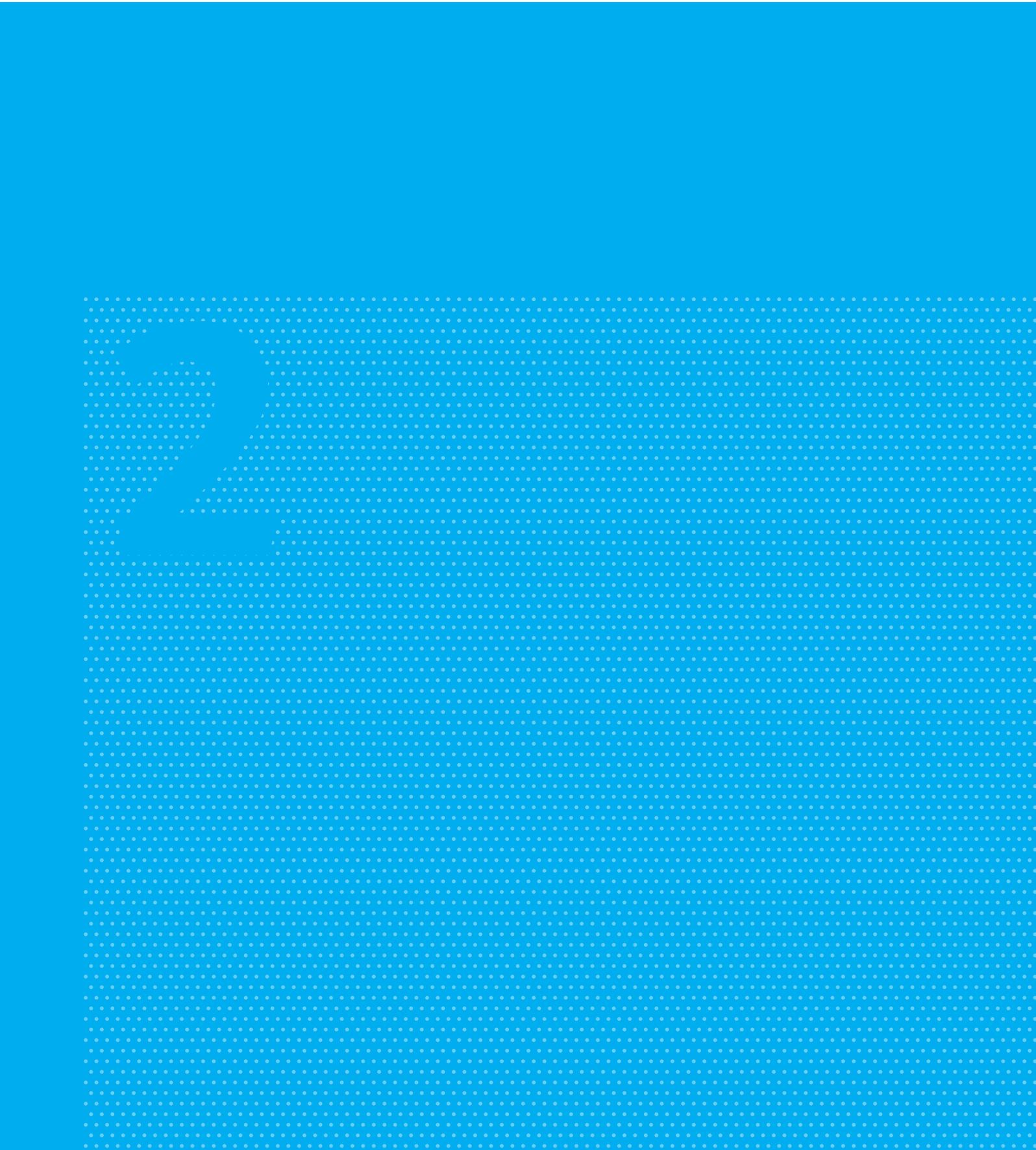
4 Fazit

Zusammenfassend empfiehlt es sich, die Wahl des Reinigungsgeräts von der voraussichtlichen Belastungszeit abhängig zu machen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen nahe, dass das gelegentlich wiederholte, nur kurzzeitig andauernde, Reinigen von kleinen Flächen durchaus mit einem herkömmlichen Bodenwischerstiel durchgeführt und dabei eine leicht erhöhte körperliche Belastung in Kauf genommen werden kann. Eine Teleskopierbarkeit des Bodenwischerstiels zur individuellen Anpassung an die Körperhöhe sollte dabei obligatorisch sein, um eine relativ aufrechte Körperhaltung zu gewährleisten. Verschiedene Greifmöglichkeiten, wie sie beim gelben und grünen Stiel gegeben sind, können dabei helfen, einseitige und gleichförmige Belastungen z. B. der Handgelenke durch gelegentliche Haltungs- bzw. Greifwechsel zu reduzieren. Dies kann eine Veränderung der gewohnten Arbeitsweise erfordern und sollte dementsprechend durch Informationsmaterial mit anschaulichen Beispielen begleitet werden. Die zurückhaltenden subjektiven Bewertungen zur Verwendung des grünen Stiels zeigen, dass innovative Lösungen unter Umständen neu zu lernende Bewegungsmuster erfordern.

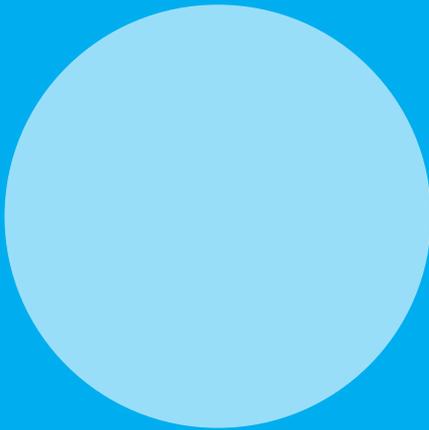
Das wiederkehrende Reinigen von größeren Flächen über einen längeren Zeitraum hinweg sollte dagegen nach wie vor durch maschinelle Unterstützung erfolgen, auch wenn dies eine höhere (finanzielle und zeitliche) Anfangsinvestition erfordert als die Anschaffung eines mit speziell ergonomischen Merkmalen ausgestatteten Bodenwischerstiels.

Literatur

- [1] *Knieps, F., Pfaff, H. (Hrsg.):* BKK Gesundheitsreport 2018 Arbeit und Gesundheit 50+, BKK Dachverband e. V., Mauerstraße 85, 10117 Berlin, 2018
- [2] *Marschall, J., Hildebrandt, S., Zich, K., Tisch, Th., Sörensen, J., Nolting, H.-D.:* DAK-Gesundheitsreport 2018, DAK-Gesundheit, Nagelsweg 27–31, 20097 Hamburg, 2018
- [3] *Badura, B., Ducki, A., Schröder, H., Klose, J., Meyer, M. (Hrsg.):* AOK Fehlzeitenreport 2017 Krise und Gesundheit – Ursachen, Prävention, Bewältigung, Springer, 2017
- [4] E-fact 38 – Work equipment, tools and cleaners, European Agency for Safety and Health at Work, 2008, <https://osha.europa.eu/publications/e-facts/efact38>
- [5] E-fact 39 – Cleaners and musculoskeletal disorders, European Agency for Safety and Health at Work, 2008, <https://osha.europa.eu/publications/e-facts/efact39>
- [6] *Kumar, R., Hägg, G., Öhring, Th.:* Evaluation of muscular activity while mopping on two different types of floor. <https://arbetsliv.eu/nes2008/papers/1738.doc>, 2008
- [7] *Kumar R., Chaikumarn M., Lundberg J.:* Participatory Ergonomics and an Evaluation of a Low-Cost Improvement Effect on Cleaners' Working Posture. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 11, (2), p. 203-210, 2005a
- [8] *Hopsu, L., Toivonen, R., Louhevaara, V., Sjøgaard, K.:* Muscular strain during floor mopping with different cleaning methods. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44(30), p. 521–524, 2000, <https://doi.org/10.1177/154193120004403033>

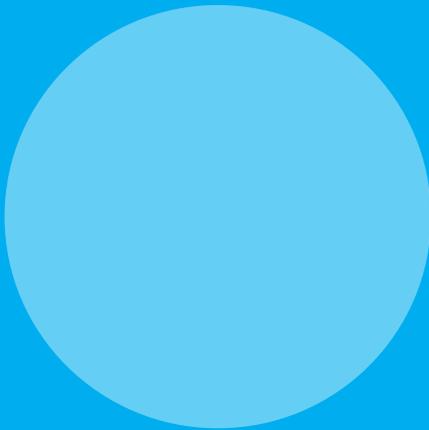


Bewertung arbeitsbezogener MSB



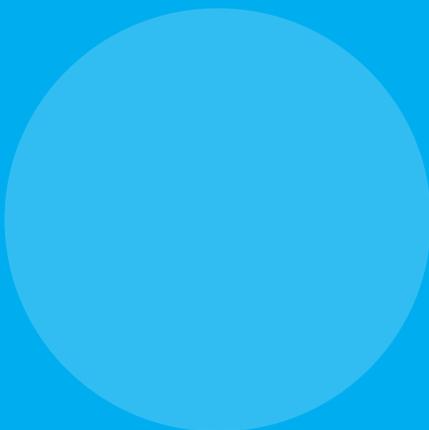
Ergebnisse des Kooperationsprojektes MEGAPHYS

*Britta Weber, Mark Brütting, Dirk Ditchen,
Michaela Eul, Ulrich Glitsch, Kai Heinrich,
Ingo Hermanns-Truxius, Ulrike Hoehne-Hückstädt,
Rainer Lietz, Markus Post, David Seidel, Rolf Ellegast*



Systematischer Review zu Arbeitsbelastungen und Koxarthrose – Dosis-Wirkungsbeziehung und Risikoverdopplungsdosis

Yi Sun, Annette Nold, Ulrich Glitsch, Frank Bochmann



Ergebnisse des Kooperationsprojektes MEGAPHYS

Britta Weber¹, Mark Brütting¹, Dirk Ditchen¹, Michaela Eul¹, Ulrich Glitsch¹, Kai Heinrich¹, Ingo Hermanns-Truxius¹, Ulrike Hoehne-Hückstädt¹, Rainer Lietz¹, Markus Post¹, David Seidel^{1,2}, Rolf Ellegast¹

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² Universitätsklinikum Tübingen, Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung (IASV), Tübingen

1 Das Projekt MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz

Im Projekt MEGAPHYS kooperierten die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) mit dem Ziel, ein umfassendes, aufeinander abgestimmtes Methodeninventar zur Gefährdungsbeurteilung bei physischer Belastung auf verschiedenen Differenzierungsebenen (Spezielles Screening, Experten-Screening, Messtechnische Analyse im Feld und Labormessungen/Simulation) zu erarbeiten und zu evaluieren. Um den präventiven Arbeitsschutz zu verbessern, wurden existierende Methoden der betrieblichen Gefährdungsanalyse weiterentwickelt und neue Instrumente ergänzt. Die Erprobung und Evaluierung der Methoden erfolgte in Studien im Feld und im Labor.

Um die Methoden zu validieren, wurden unter Federführung der BAuA und des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) Daten in einer Feldstudie erhoben. An etwa 200 Arbeitsplätzen wurde die Belastungssituation erhoben, nach arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten analysiert und hinsichtlich der Gesundheitsrisiken bewertet. Gleichzeitig wurden an den Arbeitsplätzen mehr als 800 Beschäftigte zur Belastungs- und Beschwerdesituation befragt und von medizinischem Personal hinsichtlich der muskuloskelettalen Gesundheit untersucht. Dadurch konnten Zusammenhänge zwischen der Belastungsbewertung einerseits und möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen andererseits betrachtet werden.

Für die (Weiter-)Entwicklung und Evaluierung von Bewertungsverfahren waren

- auf der Ebene des Speziellen Screenings die Projektpartner BAuA, Ergonomieberatung Steinberg, Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie aus Wuppertal (ASER) sowie ArbMedErgo aus Hamburg,
- auf der Ebene des Experten-Screenings das Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt (IAD),
- auf der Ebene der Messtechnischen Analyse im Feld das IFA

- und auf der Ebene der biomechanischen Laborsimulationen das Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der Technischen Universität Dortmund (IfADo) verantwortlich.

Die arbeitsmedizinischen Untersuchungen wurden im Auftrag der BAuA von Ärztinnen und Ärzten der Projektpartner Kern Medical Engineering (KME) und des Instituts für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung des Universitätsklinikums Tübingen (IASV) durchgeführt.

2 Ergebnisse Gesamtprojekt: Welche Methoden stehen jetzt zur Verfügung?

Auf der Ebene des Speziellen Screenings wurde unter Federführung der BAuA das System „Leitmerkmalmethoden“ weiterentwickelt und evaluiert. Bestehende Methoden wurden überarbeitet und es wurden drei neue Methoden entwickelt, so dass insgesamt Leitmerkmalmethoden zu folgenden sechs Belastungsarten vorliegen:

- Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten,
- Manuelles Ziehen und Schieben von Lasten,
- Manuelle Arbeitsprozesse,
- Ausübung von Ganzkörperkräften,
- Körperfortbewegung und
- Körperzwangshaltung.

Die neu- und weiterentwickelten Leitmerkmalmethoden haben eine umfangreiche Prüfung der Gütekriterien durchlaufen und werden zur Anwendung und Testung in der Praxis empfohlen. Ein detaillierter Bericht zur Entwicklung und Evaluierung findet sich in Band 1 des MEGAPHYS-Projektberichts [1].

Auf der Ebene des Experten-Screenings entwickelte das IAD Experten-Screening-Verfahren weiter und erweiterte deren Anwendungsbereiche. Vorhandene Verfahren für einzelne Belastungsarten (Körperhaltung, Körper-/Aktionskräfte, Manuelle Lasthandhabung, Repetitive Belastungen der oberen Extremitäten) wurden um spezifische Belastungskriterien ergänzt. Es wurden beispielsweise weitere Belastungsarten integriert (Körperfortbewegung) und die Belastungsarten Manuelle Lasthandhabung und

Körperkräfte wurden um die Bewertung von heterogenen Last- bzw. Kraftfällen erweitert und in rechnergestützte Tools umgesetzt („Megaphys-MonKras“, „Megaphys-MultipLa“). Darüber hinaus entwickelte das IAD einen Screening-Ansatz zur Körpersegment-bezogenen Bewertung der physischen Belastung. Die neu- und weiterentwickelten Experten-Screening-Verfahren wurden in der MEGAPHYS-Feldstudie überprüft.

Auf der Ebene der Messtechnischen Analyse entwickelte das IFA das CUELA-Verfahren [2] derart weiter, dass nun wesentliche Risikofaktoren für verschiedene Körperregionen sowie für das Herz-Kreislauf-System und den Energieumsatz quantifiziert und bewertet werden können. Für folgende Zielregionen stehen nun Belastungsindikatoren zur Beschreibung und Bewertung messtechnisch ermittelter Belastungsdaten zur Verfügung:

- Nacken/Halswirbelsäule (HWS),
- Schultern/Oberarme,
- Ellenbogen/Unterarme,
- Handgelenke/Hände,
- unterer Rücken/Lendenwirbelsäule (LWS),
- Hüfte,
- Knie,
- Herz-Kreislauf-System.

Hierzu wurden bereits bestehende Bewertungsansätze überarbeitet sowie neue Ansätze entwickelt, die u. a. verschiedene Belastungsfaktoren im Zeitverlauf berücksichtigen. Die Überprüfung der CUELA-Bewertungsverfahren erfolgte ebenfalls in der MEGAPHYS-Feldstudie.

Auf der Ebene der Labormessungen/Simulation hat das IfADo Verfahren zur Gefährdungsanalyse bei physischen Belastungen im Hinblick auf die biomechanischen Auswirkungen auf insbesondere die Wirbelsäule evaluiert oder weiterentwickelt. Bestehende Übersichten, Werkzeuge und Kriterien wurden aktualisiert und/oder ergänzt. Dabei ist die Kopplung der Systeme Der Dortmunder [3] und CUELA zum System CUELA-Dortmunder hervorzuheben, die eine optimierte Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen im Feld ermöglicht. Ebenfalls hervorzuheben ist die Erweiterung der Datenbasis der Dortmunder Richtwerte zu situationsbezogenen Maximalbelastungen des Rückens. Mit den Revidierten Dortmunder Richtwerten können Lumbalbelastungen nun auf einer gesicherteren Datenbasis bewertet werden [4].

Band 2 des MEGAPHYS-Projektberichts liefert eine ausführliche Beschreibung der Entwicklung und Evaluierung aller neu- und weiterentwickelten Methoden von IAD, IFA und IfADo [5]. Darüber hinaus werden in Band 2 die Vergleichsbetrachtungen der Belastungsbewertungen aller Methodenebenen dargestellt.

Im Folgenden werden die auf der Ebene der Messtechnischen Analyse entwickelten Ansätze detaillierter dargestellt.

3 Ergebnisse Messtechnische Analyse: Welche CUELA-Bewertungsverfahren stehen jetzt zur Verfügung?

Das Bewertungskonzept der Messtechnischen Analyse mit CUELA umfasst etablierte Methoden, überarbeitete Verfahren und neu entwickelte Bewertungsansätze. Die Bewertungsverfahren basieren auf den mit CUELA ermittelten Messparametern und Kenngrößen. In Tabelle 1 sind alle Belastungsindikatoren aufgelistet, die im Projekt neu und weiterentwickelt wurden und in der MEGAPHYS-Feldstudie zur Beschreibung und Bewertung der physischen Arbeitsbelastung zum Einsatz kamen. Einschließlich der Unterscheidung zwischen linker und rechter Körperseite ergeben sich insgesamt 28 Bewertungsansätze. Diese sind spezifisch auf die unterschiedlichen Körperregionen bezogen und umfassen sowohl biomechanische als auch leistungsphysiologische Betrachtungsweisen. Bei den biomechanischen Betrachtungsweisen kann unterschieden werden zwischen kinematischen Ansätzen (z. B. Bewertung von Haltungen und Bewegungen) und kinetischen Ansätzen (z. B. Gelenkmomente oder Kompressionskräfte). Die leistungsphysiologischen Betrachtungsweisen umfassen Ansätze zur Beschreibung und Bewertung der muskulären Aktivität sowie der Herzfrequenz und des Energieumsatzes. Daneben gibt es Indikatoren, die bestimmte Tätigkeiten oder Vorgänge quantifizieren.

Die im Projekt abgeleiteten CUELA-Indikatoren, insbesondere zur Beschreibung der Belastung des unteren Rückens und der Lendenwirbelsäule sowie zur Festlegung von Kriterien für eine angemessene Bewertung, wurden in enger Zusammenarbeit zwischen IfADo und IFA entwickelt.

Stellvertretend für das gesamte Bewertungskonzept wird im Anschluss eine Auswahl an Indikatoren kurz beschrieben. Eine ausführliche Beschreibung aller Indikatoren ist in Band 2 des Projektberichts zu finden [5].

Tabelle 1 Übersicht der CUELA-Belastungsindikatoren

Körperregion	Belastungsindikatoren
Nacken/HWS	Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Kopf [%]
Schultern/Oberarme	Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Oberarme links/rechts [%] Dosis Schultermoment links/rechts [Nmh]
Ellenbogen/Unterarme	Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Ellenbogen links/rechts [%] Repetitionsscore Ellenbogen links/rechts
Handgelenke/Hände	Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Handgelenk links/rechts [%] Repetitionsscore Handgelenk links/rechts P90 der %MVC-Werte EMG Unterarm links/rechts Zeitanteil Mikropausen EMG Unterarm links/rechts [%]
unterer Rücken/LWS	Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Rumpf [%] Dosis Bandscheibendruckkraft L5/S1 [kNh] Anzahl Richtwert-überschreitender Vorgänge LWS Anzahl der Lastgewichtshandhabungen
Hüfte	Dosis der Kompressionskraft in den Hüftgelenken bei hüftbelastenden Tätigkeiten [%BWh]
Knie	Kniebelastende Haltungen [%] Haltungswechsel in kniebelastende Haltungen
Herz-/Kreislauf-System/ Energieumsatz	mittlere Arbeitsherzfrequenz [bpm] mittlere Herzfrequenzreserve [%] Zeitanteil oberhalb Dauerleistungsgrenze [%] Arbeitsenergieumsatz [kJ]

3.1 Zeitanteil nicht empfohlener Haltungen/Bewegungen

Dieser Indikator bewertet die kinematische Belastung der Körperregionen Nacken/HWS, Schultern/Oberarme, Ellenbogen/Unterarme, Handgelenke/Hände und unterer Rücken/LWS. Körperhaltungen und -bewegungen werden unter kinematischen Gesichtspunkten in „akzeptabel“ und „nicht empfohlen“ unterteilt. Diese Unterscheidung wird für jeden Messzeitpunkt vorgenommen. Für den schichtbezogenen Indikator werden die Zeitanteile der nicht empfohlenen Situationen kumuliert.

Bei der situationsbezogenen Betrachtung erfolgt eine kombinierte Bewertung von Bewegungsintensitäten und Gelenkwinkelbereichen. Bei der Bewegungsintensität wird unterschieden zwischen statischen Haltungen, moderat dynamischen Bewegungen und hochdynamischen (repetitiven) Bewegungen. Die Bewertung der Gelenkwinkelbereiche orientiert sich an Normen [6, 7] und Literaturstellen [8, 9]. Zudem werden Haltungsdauern, die Abstützung von Körperteilen sowie die Körperstellung/Aktivität (Stehen, Sitzen, Gehen, ...) berücksichtigt. Für Körperregionen, bei denen mehrere Bewegungsrichtungen betrachtet werden (z. B. LWS: Rumpfvorneigung, Rumpfsitneigung und Rumpftorsion), erfolgt eine kombinierte Bewertung der einzelnen Bewegungsrichtungen (vgl. [10]).

3.2 Repetitionsscore Handgelenke und Ellenbogen

Zur Abbildung der Repetitivität der oberen Extremität werden drei kinematische Kenngrößen für die Handgelenke und Ellenbogen erfasst, berechnet und bewertet:

- Mean Power Frequency (MPF),
- Winkelgeschwindigkeit (ω) und
- kinematische Mikropausen (MP).

Die Kenngrößen werden in Anlehnung an etablierte Grenzwerte (u. a. [11 bis 14]) kategorisiert und zunächst mittels Einzelscores (MPF-Score: Wertebereich 0 – 4; ω -Score: Wertebereich 0 – 4; MP-Score: Wertebereich 0 – 2) bewertet (vgl. [15]). Die Einzelscores werden zu einem Gesamtscore (Repetitionsscore) addiert, der Werte zwischen 0 und 10 annehmen kann. Die Bewertung des Repetitionsscores orientiert sich an der Latko-Skala, die ebenfalls auf einer Skala von 0 bis 10 bewertet [16]. Die Bewertungen werden zunächst tätigkeitsspezifisch vorgenommen und anschließend zeitgewichtet auf die Arbeitsschicht hochgerechnet.

3.3 Dosis Bandscheibendruckkraft L5/S1

Die Abschätzung der an der untersten Bandscheibe (L5/S1) wirkenden Kompressionskraft spielt eine wichtige Rolle bei der Bewertung der biomechanischen Lendenwirbelsäulenbelastung. Hierfür wurde das Simulationsmodell Der Dortmund in die CUELA-Software integriert (s. [5] Teil C Kapitel 3.4). Mit dem CUELA-Dortmund können für die Bandscheibe L5/S1 kontinuierliche Kompressionskräfte abgeschätzt werden. Die so ermittelte Kompressionskraft geht im Quadrat in die Dosisberechnung ein, allerdings nur, wenn sie oberhalb der Schwelle von 1,8 kN [4] liegt oder die Rumpfhaltung gemäß Normung [6, 7] außerhalb des Neutralbereichs liegt. Eine detaillierte Beschreibung zur Herleitung der Dosisermittlung findet sich in [5] (Teil C Kapitel 3.6).

4 Ausblick

Durch das Gemeinschaftsprojekt MEGAPHYS steht dem präventiven Arbeitsschutz ein abgestimmtes Paket von in Feld und Labor erprobten und evaluierten Methoden zur Gefährdungsbeurteilung bei physischer Belastung zur Verfügung. Die unterschiedlichen Detailierungsgrade der neu- und weiterentwickelten Instrumente stellen sicher, dass den unterschiedlichen Anforderungen der Praxis an Genauigkeit und Komplexität der Belastungsanalyse Rechnung getragen wird. Dies gilt insbesondere auch für die CUELA-Bewertungsansätze. Das IFA bereitet derzeit neue Messsysteme vor, die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung als umfassendes Experten-Messsystem aber auch zur Fokussierung auf einzelne Körperregionen in Kombination mit einfacher Messtechnik in der betrieblichen Praxis eingesetzt werden können.

Literatur

- [1] *BAuA: MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Gemeinsamer Abschlussbericht der BAuA und der DGUV. Band 1. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund/Berlin/Dresden 2019*
- [2] *Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Schiefer, C.: Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. Z. Arb. Wiss. (2010) Nr. 64(2), S. 101–110*
- [3] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.; Laurig, W.: The Dortmund – Biomechanical model for quantification and assessment of the load on the lumbar spine. In: Soc. Automotive Engineers (Hrsg.): SAE Digital Human Modeling Conf. Proc. Arlington VA, USA (2001) Nr. 2001-01-2085*
- [4] *Jäger, M.: Extended compilation of autopsy-material measurements on lumbar ultimate compressive strength for deriving reference values in ergonomic work design: The Revised Dortmund Recommendations. EXCLI journal (2018) Nr. 17, S. 362–385*
- [5] *DGUV: MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Gemeinsamer Abschlussbericht der BAuA und der DGUV. Band 2. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin/Sankt Augustin [in Vorbereitung]*
- [6] *DIN EN 1005-4: Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen. Deutsche Fassung EN 1005-4. Beuth, Berlin 2005*
- [7] *ISO 11226: Ergonomics – Evaluation of static working postures. Beuth, Berlin, 2000.*
- [8] *Drury, C. G.: A Biomechanical Evaluation of the Repetitive Motion Injury Potential of Industrial Jobs. Seminars in Occupational Medicine 2 (1987) Nr. 1, S. 41–49*
- [9] *McAtamney, L.; Corlett, E. N.: RULA: a survey method for the investigations of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics 24 (1993) Nr. 2, S. 91–99*

- [10] *Ditchen, D.; Gebhardt, H.; Hartmann, B.; Hermanns, I.; Jäger, M.; Jordan, C.; Klußmann, A.; Schaub, K.; Schust, M.; Sinn-Behrendt, A.; Weber, B.; Brandstädt, F.; Bruder, R.; Brütting, M.; Glitsch, U.; Hoehne-Hückstädt, U.; Kern, G.; Lang, K.; Lietz, R.; Liebers, F.; Post, M.; Rieger, M. A.; Schäfer, A.; Seidel, D.; Serafin, P.; Steinberg, U.*: Gefährdungsbeurteilung physischer Belastungen – neue Ansätze im Projekt MEGAPHYS. DGUV Report 2/2017: 6. DGUV Fachgespräch Ergonomie – Zusammenfassung der Vorträge vom 2./3. November 2016. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2017. www.dguv.de/ifa/publikationen, Webcode d1159904
- [11] *Barrero, L. H.; Pulido, J. A.; Berrio, S.; Monroy, M.; Quintana, L. A.; Ceballos, C.; Hoehne-Hueckstaedt, U.; Ellegast, R.*: Physical workloads of the upper-extremity among workers of the Colombian flower industry. *Am J Ind Med* (2012) Nr. 55(10), S. 926–939
- [12] *Hansson, G. A.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Skerfving, S.*: Measurements of wrist and forearm positions and movements: effect of, and compensation for, goniometer crosstalk. *J Electromyogr Kinesiol* (2004) Nr. 14(3), S. 355–367
- [13] *Hansson, G.-Å.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Granqvist, L.; Nordander, C.; Arvidsson, I.; Åkesson, I.; Unge, J.; Rittner, R.; Strömberg, U.; Skerfving, S.*: Physical workload in various types of work: Part I. Wrist and forearm. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2009) Nr. 39(1), S. 221–233
- [14] *Nordander, C.; Ohlsson, K.; Åkesson, I.; Arvidsson, I.; Balogh, I.; Hansson, G. A.; Strömberg, U.; Rittner, R.; Skerfving, S.*: Exposure-response relationships in work-related musculoskeletal disorders in elbows and hands – A synthesis of group-level data on exposure and response obtained using uniform methods of data collection. *Appl Ergon* (2013) Nr. 44(2), S. 241–253
- [15] *Schedlbauer, G.; Glitsch U.; Hoehne-Hückstädt, U. M.*: Komplexe Analyse von Muskel-Skelett-Belastungen der oberen Extremität – Fallbeispiel Physiotherapie. DGUV Report 2/2014. 5. DGUV Fachgespräch Ergonomie – Zusammenfassung der Vorträge vom 26./27.11.2013. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2014. <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3005>
- [16] *Latko, W. A.; Armstrong, T. J.; Foulke, J. A.; Herrin, G. D.; Rouborn, R. A.; Ulin, S. S.*: Development and Evaluation of an Observational Method for Assessing Repetition in Hand Tasks. *Am Ind Hyg Assoc J* (1997) Nr. 58(4), S. 278–285

Systematischer Review zu Arbeitsbelastungen und Koxarthrose – Dosis-Wirkungsbeziehung und Risikoverdopplungsdosis

Yi Sun, Annette Nold, Ulrich Glitsch, Frank Bochmann

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Kurzfassung

Als ein relevanter modifizierbarer Risikofaktor für Koxarthrose wurden schwere körperliche Arbeitsbelastungen bisher mehrfach untersucht, wobei die Ergebnisse der einzelnen Studien sich erheblich voneinander unterscheiden. Es wird häufig vermutet, dass die Studienqualität einen Einfluss auf die Studienergebnisse haben könnte. Um dies zu untersuchen, haben wir eine Sensitivitätsmetaanalyse und Metaregressionsanalyse im Rahmen eines systematischen Literaturreviews durchgeführt. Unsere Analyse zeigt, dass Studien mit höherer methodischer Qualität geringere Risikomaße zeigen als Studien mit geringer methodischer Qualität. Bei diesem Literaturreview konnten 10 relevante Studien zur Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen schweren körperlichen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose identifiziert werden. Alle Studien zeigen eine konsistente Dosis-Wirkungsbeziehung bei Männern, jedoch nicht bei Frauen. Zwei qualitativ hochwertige Studien liefern die Daten für kumulative Arbeitsbelastungen, die für die Ableitung einer Risikoverdopplungsdosis verwendet werden können. Unsere Analyse zeigt, dass die Risikoverdopplungsdosis von schwerem Heben/Tragen für die Entwicklung von Koxarthrose bei 14 761–18 550 Tonnen liegt.

1 Einleitung

Koxarthrose ist eine degenerative Erkrankung des Hüftgelenks, insbesondere im höheren Alter, der ein Verschleiß der Knorpeloberfläche von Hüftpfanne und Hüftkopf zu Grunde liegt. Mögliche Ursachen einer Hüftgelenksarthrose können sowohl systemisch (wie z. B. Übergewicht oder metabolische Erkrankungen) als auch lokal bedingt (Vorerkrankungen oder Vorverletzungen) sein. Als ein relevanter modifizierbarer Risikofaktor für Koxarthrose wurden schwere körperliche Arbeitsbelastungen bisher mehrfach

untersucht, wobei die Ergebnisse der einzelnen Studien sich erheblich voneinander unterscheiden. Um die bisherigen Evidenzen zum Zusammenhang bzw. zur Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen schweren körperlichen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose kritisch zu bewerten, wurde ein systematisches Literaturreview bzw. eine Metaanalyse durchgeführt. Ziel dieses Literaturreviews ist eine möglichst qualitätsgesicherte Dosis-Wirkungsbeziehung bzw. Risikoverdopplungsdosis abzuleiten.

2 Methoden

Wir führten eine systematische Literaturrecherche bei den internationalen renommierten Literaturdatenbanken (PubMed, EMBASE, Cochrane Work, Google Scholar) durch, um relevante epidemiologische Studien zum Thema zu identifizieren. Um die Vollständigkeit der Literaturrecherche zu gewährleisten, haben wir die Ergebnisse unserer Recherchen mit den Literaturlisten von 15 relevanten Übersichtsarbeiten der letzten 10 Jahre verglichen.

Die Qualität der einzelnen Studien wurde in Bezug auf Studiendesign, Falldefinition, Expositionsermittlung zur Arbeitsbelastung und Berücksichtigung relevanter Störfaktoren (Confounder) bei der Analyse kritisch bewertet. Der Einfluss der Studienqualität auf die Ergebnisse der Studien wurde mittels Metaanalyse bzw. Metaegressionsanalyse quantifiziert [1].

Eine loglineare Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen schwerer körperlicher Arbeitsbelastung und Koxarthrose wurde auf Basis qualitätsgesicherter Studien abgeleitet [2]. Die Risikoverdopplungsdosis wurde anhand des Dosis-Wirkungsverlaufs direkt abgelesen.

3 Ergebnisse

Wir haben insgesamt 85 Publikationen zum Thema identifiziert, wobei 34 relevante Studien zum Zusammenhang Arbeitsbelastungen und Koxarthrose gefunden wurden. Die Qualität dieser 34 Studien wurde auf Basis standardisierter Qualitätskriterien kritisch bewertet [1]. Der Einfluss der Studienqualität auf die Studienergebnisse wurde in einer Metaanalyse bzw. Metaregressionsanalyse quantifiziert. Unsere Analysen zeigen, dass ein gutes Studiendesign (z. B. Inzidenz- vs. Prävalenzstudien) in der Regel zu geringen Zusammenhangsmaßen zwischen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose führen [1]. Eine höhere methodische Qualität einer Studie (Qualität der Diagnostik, Expositionsermittlung und Confounderadjustierung usw.) führt ebenfalls zu geringeren Zusammenhangsmaßen [1].

Von den 34 relevanten Studien liefern 10 Studien Angaben zu einer Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose (Tabelle 1). Obwohl diese 10 Studien unterschiedliche Studiendesigns und methodische Qualitäten besitzen, zeigen sie konsistente Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose bei Männern, aber nicht bei Frauen [2].

Kumulative Arbeitsbelastungen stehen nur in zwei Studien ([3] bis [4]) zur Verfügung, bei denen auch der Dosis-Wirkungsverlauf zwischen schwerem Heben/Tragen und Koxarthrose abgeleitet werden kann (Abbildung 1–2). Die beiden Studien haben die höchste methodische Qualität aller bisher publizierten Studien [2].

Auf Basis des Dosis-Wirkungsverlaufs wurde die Risikoverdopplungsdosis von 18 550 Tonnen in der Studie von Vingard [3] und 14 761 Tonnen in der Studie von Rubak abgeschätzt [2]. In einer gepoolten Analyse der beiden Studien liegt die Risikoverdopplungsdosis bei 18 277 Tonnen [2]. Die methodische Qualität des abgeleiteten Dosis-Wirkungsverlaufs sowie die abgeschätzte Risikoverdopplungsdosis wurden mittels Simulations- bzw. Sensitivitätsanalyse überprüft [2].

4 Schlussfolgerungen

Unser Review und unsere Metaanalyse weisen auf einen systemischen Einfluss der Studienqualität auf die Studienergebnisse hin. Höhere methodische Qualität führt in der Regel zu geringeren Zusammenhangsmaßen zwischen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose. Eine konsistente Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen schwerem Heben/Tragen und Koxarthrose zeigt sich nur bei Männern, aber nicht bei Frauen. Die abgeschätzte Risikoverdopplungsdosis für Koxarthrose liegt zwischen 14 761 und 18 550 Tonnen.

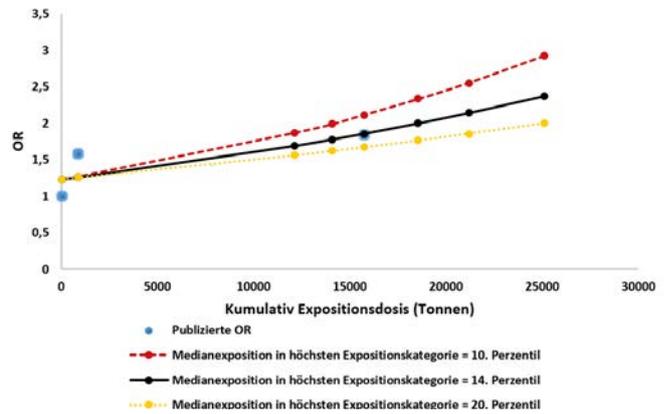


Abb. 1 Ableitung Dosis-Wirkungsverlauf für Vingard 1991

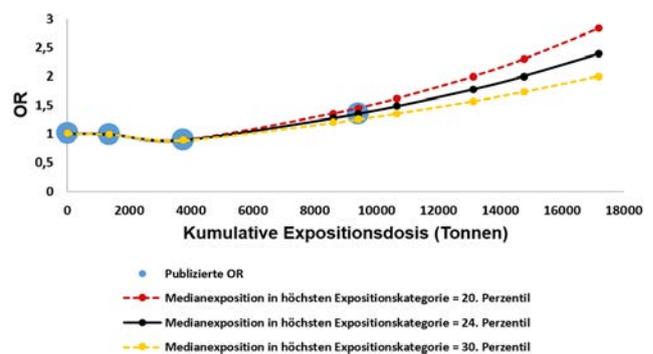


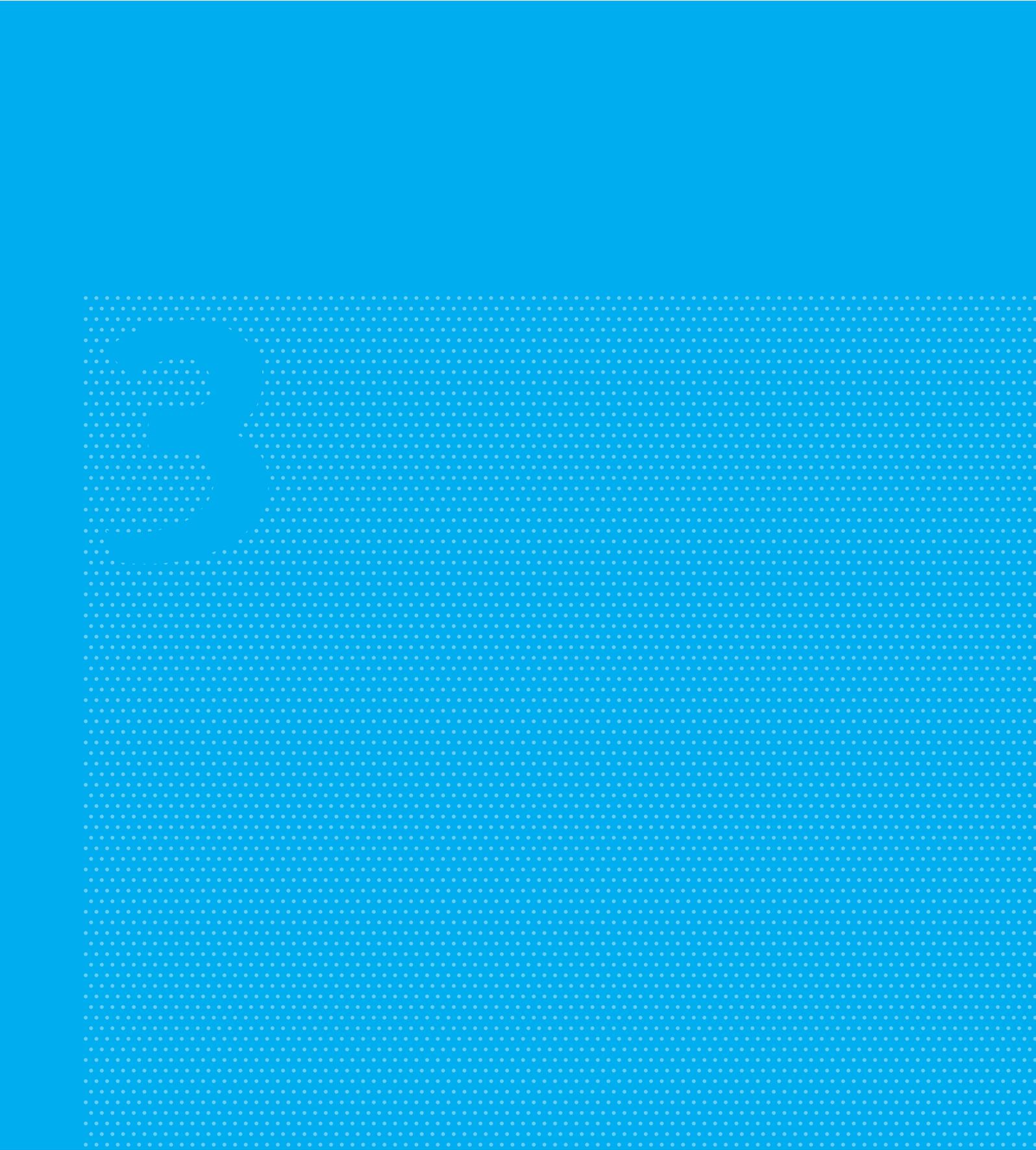
Abb. 2 Ableitung Dosis-Wirkungsverlauf für Rubak 2014

Literatur

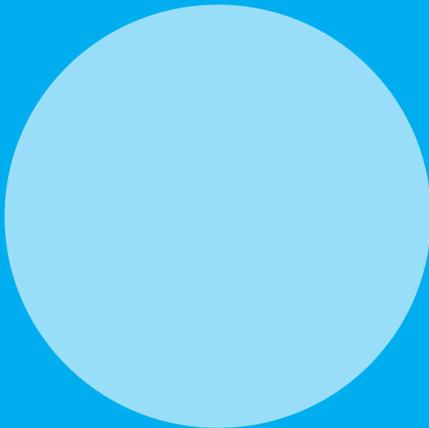
- [1] Sun Y.; Nold A.; Glitsch U.; Bochmann F.: Hip Osteoarthritis and Physical Workload: Influence of Study Quality on Risk Estimations – A Meta-Analysis of Epidemiological Findings. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16(3) (2019) Nr.3, S. 322. doi: 10.3390/ijerph16030322
- [2] Sun, Y.; Nold, A.; Glitsch, U.; Bochmann, F.: Exposure-Response Relationship and Doubling Risk Doses – A Systematic Review of Occupational Workload and Osteoarthritis of the Hip. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16 (2019), S. 3681. doi: 10.3390/ijerph16193681
- [3] Vingård, E.; Hogstedt, C.; Alfredsson, L.; Fellenius, E.; Goldie, I.; Koster, M.: Koxarthrosis and physical workload. *Scand. J. Work Environ. Health* 17(2) (1991), S. 104–109. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2047812>
- [4] Rubak, T.S.; Svendsen, S.W.; Soballe, K.; Frost, P.: Total hip replacement due to primary osteoarthritis in relation to cumulative occupational exposures and lifestyle factors: a nationwide nested casecontrol study. *Arthritis Care Res. (Hoboken)* 66(10) (2014), S. 1496–1505. DOI: 10.1002/acr.22326 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24664794>

Tabelle 1 Qualitätsbewertung und Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Arbeitsbelastungen und Koxarthrose

Design	Studien	Studien-population	Qualitätsscore		Confounder			Vorverletzung		Expositionsparameter	Dosis-Wirkungsbeziehung	
			Exposition	Diagnostik	Alter	Geschl.	BMI	Vorverletzung	Männer		Frauen	
Querschnitt	Kaila-Kangas 2011	6556	3	2	✓	✓	✓	✓	Heben/Tragen/Schieben	Vorhanden	Nichtvorhanden	
	Coggon 1998	611 Fälle	3	3	✓	✓	✓	✓	Heben	Vorhanden	Nichtvorhanden	
		611 Kontrollen										
	Croft 1992	245 Fälle	3	2	✓	✓	✓		Heben/Schieben	Vorhanden		
		294 Kontrollen										
	Pope 2003	352 Fälle	3	1	✓	✓	✓		Heben/Schieben	Vorhanden	(gemischt)	
		3002 Kontrollen										
	Vingard 1991	239 Fälle	3	3	✓	✓	✓	✓	Heben	Vorhanden		
		302 Kontrollen										
	Roach 1994	99 Fälle	3	3	✓	✓	✓	✓	Schwere Arbeit	Vorhanden		
233 Kontrollen												
Vingard 1997	230 Fälle	3	3	✓	✓	✓	✓	Heben		Vorhanden		
	273 Kontrollen											
Kohorten	Ratzlaff 2011	2918	2	3	✓	✓	✓	✓	„Peak hip joint force“	Vorhanden	(gemischt)	
	Rubak 2013	1.9 Millionen	3	3	✓	✓	✓		Schwere Arbeit	Vorhanden	Nichtvorhanden	
	Rubak 2014	1776 Fälle 1776 Kontrollen	3	3	✓	✓	✓	✓	Heben	Vorhanden	Nichtvorhanden	

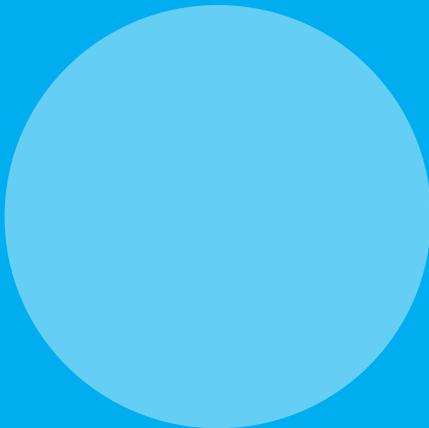


Physische Belastungen Hand – Arm



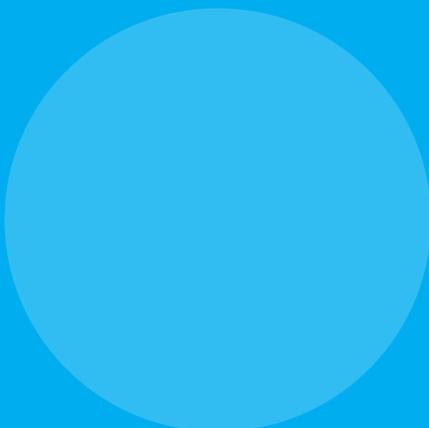
Messdatenbasierte Bewertung arbeitsbedingter Hand- und Ellenbogenbelastungen

David H. Seidel, Kai Heinrich, Ingo Hermanns-Truxius, Rolf Ellegast, Lope H. Barrero, Monika A. Rieger, Benjamin Steinhilber, Britta Weber



Katasterstudie Carpaltunnelsyndrom (CTS) – Tätigkeitsanalyse und messtechnische Erfassung von Handgelenksaktivitäten bei Gesundheitsberufen und Friseuren

Matthias Wansrath



Arbeitsgestaltungsmaßnahmen bei repetitiven Tätigkeiten

Torsten Wagner

Messdatenbasierte Bewertung arbeitsbedingter Hand- und Ellenbogenbelastungen

David H. Seidel^{1,2}, Kai Heinrich¹, Ingo Hermanns-Truxius¹, Rolf Ellegast¹, Lope H. Barrero^{1,3}, Monika A. Rieger², Benjamin Steinhilber², Britta Weber¹

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² Universitätsklinikum Tübingen, Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung (IASV), Tübingen

³ School of Engineering, Department of Industrial Engineering, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, Columbia

Kurzfassung

Messdatenbasierte Bewertungsansätze zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen im Bereich der oberen Extremitäten stellen ein Forschungsdefizit dar. Das Ziel dieser Studie war es daher ein messdatenbasiertes Bewertungsverfahren zu entwickeln, welches an den „Threshold Limit Value for Hand Activity Level“ („TLV for HAL“-Ansatz angelehnt ist und arbeitsbedingte Belastungen im Bereich der Hände bewertet. Zusätzlich wurde dieser Ansatz in dieser Studie erstmalig auf den Bereich des Ellenbogens übertragen und angewendet. Dabei wurden kinematische und elektromyografische Parameter in ein messdatenbasiertes Bewertungsverfahren überführt. Zusätzlich sollte der neue Bewertungsansatz an Expositionsdaten und gesundheitsbezogenen Outcomes (erfasst über standardisierte Fragebögen und medizinische Untersuchungen) getestet werden. Dazu wurden Zusammenhangsanalysen für 500 Probanden durchgeführt. Prinzipiell zeigten mit dem Bewertungsansatz bestimmte höhere Belastungen im Bereich der Hände und im Bereich der Ellenbogen zumeist positive Zusammenhänge mit Hinweisen auf spezifische Erkrankungen (Carpaltunnelsyndrom, Laterale Epicondylitis, Arthrose der distalen Gelenke) oder unspezifische Beschwerden im Bereich der Hände bzw. im Bereich der Ellenbogen. Das neue Bewertungsverfahren könnte einen Beitrag zu künftigen messdatenbasierten Bewertungsverfahren zur Beurteilung der arbeitsbedingten Belastungen im Bereich der Hände oder im Bereich der Ellenbogen liefern.

1 Einleitung

Die Kombination aus arbeitsbedingten physischen Risikofaktoren wie z. B. Repetition und Kraft ist oftmals die Ursache für die Entwicklung arbeitsbedingter Erkrankungen (z. B. Laterale Epicondylitis, LE), spezifischer Berufskrankheiten (z. B. BK 2101: Erkrankungen der Sehnenscheiden/ des Sehngleitgewebes / Sehnen- oder Muskelansätze) oder Beschwerden der distalen oberen Extremität (vgl. [1 bis 3]). Um Arbeitnehmer vor solchen kombinierten Risikofaktoren schützen zu können, ist eine adäquate Be-

wertung der Expositionen notwendig. In der Praxis hat sich dafür u. a. das „Threshold Limit Value for Hand Activity Level“ („TLV for HAL“-Verfahren der ACGIH¹ etabliert [4]. Das „TLV for HAL“-Verfahren bewertet die Handaktivität (HAL) sowie normierte Kraftspitzen („normalized peak force“, NPF), welche anschließend in ein gemeinsames Bewertungsverfahren überführt werden. Die Erhebung und Bewertung der Handaktivität basiert dabei nach dem bisherigen Stand der Wissenschaft auf unterschiedlichen Beobachtungsverfahren [5; 6]. Nach dem Wissensstand der Autoren wurde bisher keine Bewertung mittels des HAL-Verfahrens durchgeführt, die auf Messdaten basiert. Außerdem wurde das „TLV for HAL“-Verfahren bisher überwiegend verwendet, um arbeitsbedingte Belastungen im Bereich der Hände zu bewerten, nicht aber um die arbeitsbedingten Belastungen im Bereich des Ellenbogens durch Supination und Pronation zu beurteilen.

Durch den technischen Fortschritt und wegen ihrer Objektivität und Genauigkeit wird heutzutage der Einsatz technischer Instrumente empfohlen [7], was die Integration von messtechnisch erhobenen Belastungsdaten in bestehende Bewertungsansätze bzw. die Entwicklung neuer Bewertungsansätze erfordert.

Daher wurde eine Pilotstudie als Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), dem Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen, und dem „Department of Industrial Engineering“ der kolumbianischen Universität Pontificia Universidad Javeriana durchgeführt. Die Studie hatte das Ziel arbeitsbedingte Belastungen im Bereich der Hände und Ellenbogen zu bewerten. Dafür wurde ein an den „TLV for HAL“-Ansatz angelehntes messdatenbasiertes Bewertungsverfahren entwickelt. Dieser neue mit Messdaten hinterlegte Bewertungsansatz wurde zusätzlich an Expositionsdaten und gesundheitsbezogenen Outcome-Daten der Querschnittsstudie MEGAPHYS [8] getestet, indem Zusammenhangsanalysen zwischen Expositionsbewertungen und spezifischen Diagnosen oder unspezifischen Beschwerden durchgeführt wurden.

1 ACGIH = „American Conference of Governmental Industrial Hygienists“

2 Methodik

2.1 Bewertungsverfahren

Der messdatenbasierte Bewertungsansatz dieser Studie folgt der Idee der beobachtungs-basierten Bewertungsmethode „TLV for HAL“ [4]. In dem beobachtungs-basierten Ansatz dient HAL zur Abschätzung der Handaktivität und beinhaltet u. a. eine verbal verankerte Skala, welche Frequenzen, Bewegungsgeschwindigkeiten und Pausen berücksichtigt. Ausgehend von diesen Aspekten wurde eine eigenständige messdatenbasierte Bewertung der Handgelenksrepetition (Repetitionsscore) entwickelt. Zusätzlich wurde ein Ampelmodell implementiert und weiterentwickelt, welches die Medianwinkelgeschwindigkeit und Medianfrequenz von Handgelenksflexionen / -extensionen einschloss und bereits im 5. DGUV Fachgespräch Ergonomie 2013 vorgestellt wurde [9]. Durch narrative und systematische Literaturrecherchen [2] ließen sich weitere Schwellenwerte für detailliertere Einteilungen der Medianwinkelgeschwindigkeit und Medianfrequenz identifizieren. Kinematisch ermittelte Mikropausen (MP) wurden als weitere Komponente mit einbezogen, da die drei kinematischen Parameter („Mean Power Frequency“ (MPF), Winkelgeschwindigkeit (ω) und Mikropausen (MP)) als gute Abbildung von Repetitionen gelten [10]. Die gewählten drei Parameter wurden anhand von Literatur (u. a. [11 bis 14]) in einzelne Kategorien eingeteilt (MPF: 5 Kategorien; ω : 5 Kategorien; MP: 3 Kategorien), um eine Bewertung vornehmen zu können. Für jeden Parameter wurden zur Bewertung der Tätigkeiten Einzelscores (MPF-Score: Wertebereich 0 – 4; ω -Score: Wertebereich 0 – 4; MP-Score: Wertebereich 0 – 2) gebildet. Die Einzelscores wurden der im bisherigen „TLV for HAL“-Verfahren verbal verankerten Skala zugeordnet und über Summenbildung zum Repetitionsscore (RepSc) mit einer Skala von 0 bis 10 zusammengerechnet.

Die aus der Literatur übernommenen Schwellenwerte der drei kinematischen Parameter waren in Bezug auf die Freiheitsgrade Flexion / Extension des Handgelenks und Supination / Pronation des Unterarms sehr ähnlich (vgl. [11; 12]). Somit wurde die Berechnung des Repetitionsscores für beide Freiheitsgrade bzw. für beide Zielregionen (Bereich der Hand und Ellenbogenbereich) in der gleichen Art und Weise durchgeführt.

Für die Bestimmung der Kraftkomponente wurde das 90. Perzentil aus mittels Oberflächenelektromyographie (OEMG) ermittelten Daten bestimmt und mit dem 100 %-Wert der maximalen willkürlichen Kontraktion („maximum voluntary contraction“, MVC) normalisiert. Dieser individuelle %MVC-Wert wurde auf eine kontinuierliche Skala von 0–10 normiert, entsprechend dem Wertebereich des originalen „TLV for HAL“-Ansatzes [4].

Beide messdatenbasierten Verfahren (Repetitionsscore und Kraftbewertung) wurden in den „TLV for HAL“-Ansatz überführt, wie in Abbildung 1 dargestellt. Diese Einzelbewertungen von Repetition und Kraft wurden in die zwei linearen Gleichungen zur Berechnung des Schwellenwertes und des Aktionslimits [4] eingesetzt, wobei es sich beim Aktionslimit gemäß ACGIH [4] um den Wert handelt, ab welchem die Exposition bereits als erhöht eingestuft wird. Über die beiden Gleichungen wurde ein messdatenbasierter schicht- oder tätigkeitsspezifischer Wert errechnet, der folglich als „mTLV for HAL“ bezeichnet wurde. Dieser „mTLV for HAL“ wurde in 3 Expositionskategorien gemäß den Empfehlungen von Kapellusch et al. [6] eingeteilt.

Die genaue Berechnung des Repetitionsscores und weiterführende Informationen zu Schwellenwerten, sowie die komplette Bildung des „mTLV for HAL“ wurden bereits international diskutiert [15] und sind voraussichtlich demnächst als internationaler Zeitschriftenartikel verfügbar.

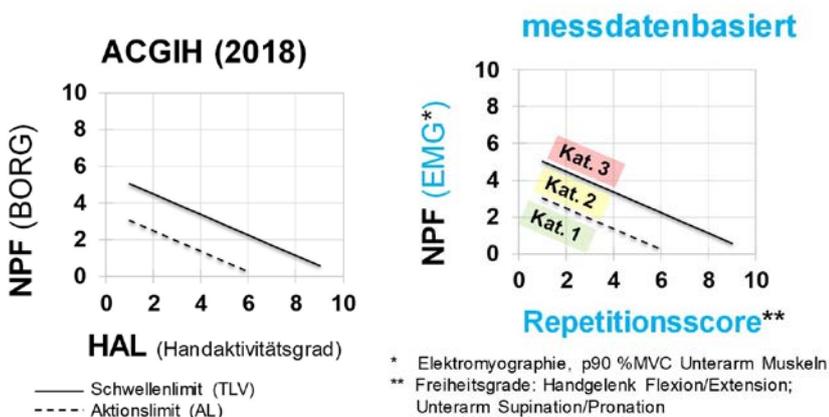


Abb. 1
 Modell Bewertungsverfahren (links: beobachtungs-basiert, „TLV for HAL“ nach ACGIH [4]; rechts: messdatenbasiert, „mTLV for HAL“); NPF = „normalized peak force“; HAL = „Hand Activity Level“; TLV = „Threshold Limit Value“, ACGIH = „American Conference of Governmental Industrial Hygienists“; EMG = Elektromyographie, p90 = 90. Perzentil, %MVC = „Maximum voluntary contraction“

2.2 Datenerhebung

Für diese Pilotstudie wurde der Datensatz der MEGAPHYS Querschnittsstudie [8] verwendet. In der Querschnittsstudie wurden von 2015 bis 2017 Expositionsdaten im Feld mittels arbeitswissenschaftlichen Befragungen, arbeitsplatzbezogenen Untersuchungen und technischen Messungen erfasst. Zusätzlich führten geschulte Ärzte medizinische und soziodemografische Fragebögen, sowie medizinische Untersuchungen durch und stellten Verdachtsdiagnosen. Insgesamt wurden 44 Firmen aus 17 unterschiedlichen Branchen rekrutiert und 808 Testpersonen durch firmeninterne Randomisierung ausgewählt. Genaue Informationen bzgl. der Rekrutierung, einschließlich Ein- und Ausschlusskriterien von Tätigkeiten und Testpersonen, dem Design der Feldstudie, Informationen zur Gesamtpopulation oder eingesetzten Fragebögen bzw. Instrumenten finden sich im Abschlussbericht zur MEGAPHYS-Studie [8] sowie im veröffentlichten Studienprotokoll der Studie [16]. Für MEGAPHYS und die vorliegende Studie liegen positive Voten der zuständigen Ethikkommissionen vor (Technische Universität Darmstadt: EK 2/2013, EK 12/2015; Medizinische Fakultät der Eberhard Karls Universität Tübingen: 004/2016BO2).

Die Expositionen (Kinematik) wurden mit einer Aufzeichnungsrate von 50 Hz gemessen, wobei das CUELA-Messsystem [17] mit einer modifizierten Schulter-Arm-Erweiterung verwendet wurde (Abbildung 2). Detaillierte Informationen zum Messsystem, zu Genauigkeiten oder zur Datenanalyse mit der CUELA-Software sind an anderer Stelle zu finden [11; 17]. Zusätzlich zur Kinematikmessung wurden elektrische Signale der Unterarmmuskulatur über Elektroden (vgl. Abbildung 2) und ein synchronisiertes 4-Kanal OEMG Modul (BioMed, Deutschland) erfasst.

Die OEMG-Daten wurden mit Hilfe eines Kraftgriffes (PAB-LO®, Tyromotion, Österreich) normalisiert, indem individuelle isometrische MVC-Aufgaben durchgeführt wurden. Schließlich wurden MPF, ω , MP, Repetitionsscore, NPF und „mTLV for HAL“-Werte mit der CUELA Software berechnet und mittels eines Software-internen Schichteditors zeitgewichtet auf volle Schichtwerte hochskaliert.

308 der 808 Testpersonen mussten aufgrund fehlender Informationen zur typischen Arbeitsschicht oder hinsichtlich der gesundheitsbezogenen Outcomes sowie aufgrund unvollständiger CUELA Messungen bzw. fehlender Informationen zu Confoundern ausgeschlossen werden. Andere Gründe für einen Ausschluss waren Sprachprobleme oder eine Arbeitsplatzzugehörigkeit von unter einem Jahr.

Unter Verwendung der Software SPSS v. 23 (IBM® SPSS®, Ehningen, Deutschland) wurden deskriptive Statistiken erstellt. Basierend auf der Annahme, dass mit steigender Exposition auch das Risiko für Erkrankungen bzw. die Prävalenz für typische Diagnosen oder Beschwerden steigt, wurden Zusammenhangsanalysen mittels generalisierter Schätzungsgleichungen durchgeführt. Dafür wurden die „mTLV for HAL“-Werte in Bezug gesetzt zu den individuellen gesundheitsbezogenen Outcomes (Carpaltunnelsyndrom (CTS), LE, Arthrose der distalen Gelenke, Beschwerden im Bereich der Hände und im Bereich der Ellenbogen). Es wurden Odds Ratios mit den zugehörigen 95 %-Konfidenzintervallen berechnet unter Berücksichtigung einer statistischen Signifikanz von $p < 0,05$. Alle Modelle wurden nicht adjustiert und adjustiert für Alter, Geschlecht, BMI, sportliche Betätigung, Rauchen, Arbeitszufriedenheit und Komorbidität gerechnet.

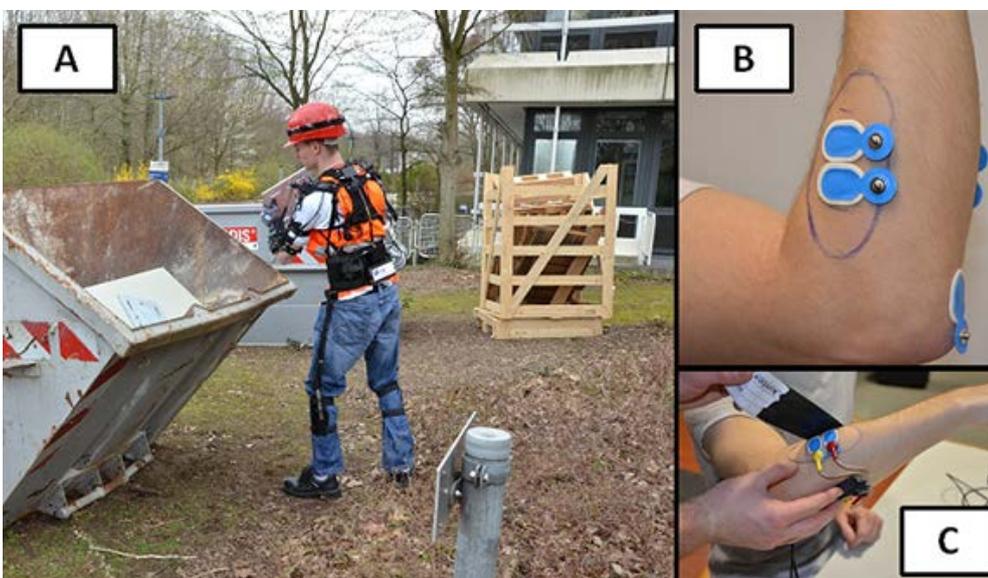


Abb. 2
Messtechnik in der Feldstudie;
A: CUELA-Messsystem mit
Schulter-Arm-Erweiterung;
B: Anbringung von OEMG
Elektroden;
C: zusätzliche Fixierung der
Elektroden gegen
Verrutschen

3 Ergebnisse

3.1 Stichprobe

Die 500 Testpersonen waren mehrheitlich Männer (81,6 %). Die Beschäftigten waren mehrheitlich unter 55 Jahren alt (87,0 %) und zeigten Übergewicht auf, d. h. sie hatten einen BMI $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ (61,4 %). Fast die Hälfte der Beschäftigten gab an, regelmäßig zu rauchen (47,8 %) und 86,8 % der Beschäftigten gaben an, rechtshändig zu sein. Die meisten Beschäftigten gaben an mit ihrer Arbeit zufrieden zu sein (Mittelwert der Arbeitszufriedenheit: 62,8 auf einer Skala von 0 (keine Zufriedenheit) bis 100 (hohe Zufriedenheit)).

3.2 Deskriptive Statistik und Zusammenhangsanalysen

In Abbildung 3 ist die Verteilung der Testpersonen über die „mTLV for HAL“-Expositionskategorien für die rechte Hand und für den rechten Ellenbogen dargestellt. Es wird deutlich, dass in der vorliegenden Stichprobe der Anteil von Testpersonen mit einer Belastung im Bereich der rechten Hand in Kategorie 2 (n=176) oder Kategorie 3 (n=126) höher war als mit einer entsprechenden Belastung im Bereich des Ellenbogens (Kategorie 2 (n=79); Kategorie 3 (n=33)). Insgesamt waren 302 von 500 Testpersonen im

Bereich der rechten Hand und nur 112 von 500 Testpersonen im Bereich des rechten Ellenbogens belastet.

Es wurden viele positive Zusammenhänge zwischen den „mTLV for HAL“-Werten mit Bezug zur Hand und den Erkrankungen CTS, Arthrose der distalen Gelenke oder Beschwerden im Bereich der Hände identifiziert. Signifikante Zusammenhänge konnten für Arthrose der distalen Gelenke und Beschwerden im Bereich der Hände identifiziert werden, wobei sich generell nur geringe Unterschiede zwischen der rechten und der linken Seite zeigten. Es waren nur geringe Unterschiede zwischen den nicht adjustierten und adjustierten Modellen festzustellen. Die signifikanten Odds Ratios erreichten Werte von 2,13 bis 3,06 über alle Handgelenkserkrankungen und -beschwerden.

In den Zusammenhangsanalysen zwischen den „mTLV for HAL“-Werten mit Bezug zum Ellenbogen und den Erkrankungen LE, Arthrose der distalen Gelenke oder Beschwerden im Bereich der Ellenbogen wurden auch viele positive Zusammenhänge identifiziert. Signifikante Zusammenhänge konnten für Arthrose der distalen Gelenke und Beschwerden im Bereich der Ellenbogen identifiziert werden. Hier wurden generell etwas weniger positive Zusammenhänge als im Vergleich zu den Analysen in Bezug auf die „mTLV for HAL“-Werte der Hand identifiziert. Auch bei den „mTLV for HAL“-Werten mit Bezug zum Ellenbogen waren nur geringe Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite bzw. zwischen den nicht adjustierten und adjustierten Modellen feststellbar. Die höchste OR wurde in den adjustierten Analysen zu Arthrose der distalen Gelenke für die Expositionskategorie 3 im „mTLV for HAL“-Wert für den Ellenbogen der linken Seite identifiziert (OR 9,23 [3,29 – 25,87]). Eine ausführliche Darstellung folgt in der oben erwähnten internationalen Publikation.

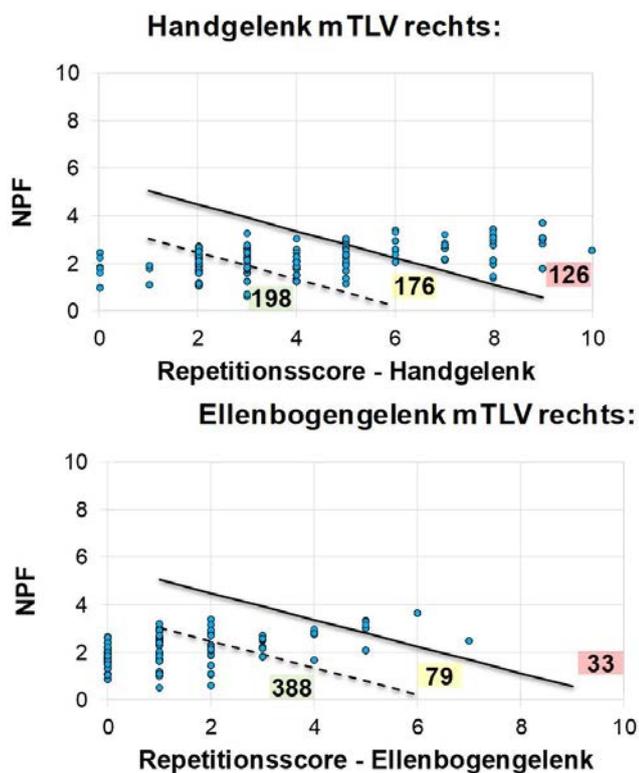


Abb. 3 Verteilungen der Testpersonen über die „mTLV for HAL“-Expositionskategorien 1, 2 und 3 (n=500) mit Bezug zur rechten Hand (links) und rechten Ellenbogen (rechts); NPF = „normalized peak force“

4 Diskussion und Ausblick

In dieser Studie wurde der Repetitionsscore neu entwickelt und gleichzeitig in einen messdatenbasierten „TLV for HAL“-Ansatz im Feld getestet. In den Zusammenhangsanalysen wurden meist plausible Zusammenhänge zwischen den „mTLV for HAL“-Werten im Bereich der Hände bzw. im Bereich der Ellenbogen und den gesundheitsbezogenen Outcomes wie CTS, LE, Arthrose der distalen Gelenke sowie Beschwerden im Bereich der Hände bzw. Beschwerden im Bereich der Ellenbogen identifiziert. Die Zusammenhänge zeigten in ähnliche Richtungen wie die Ergebnisse aus Studien zu den beobachtungs-basierten „TLV for HAL“-Ansätzen in Bezug auf verschiedene gesundheitsbasierte Outcomes (vgl. [18; 19]). Diese teilweise signifikanten Zusammenhänge der hier vorgestellten Studie bestätigten die während der Entwicklung des „mTLV for HAL“ getroffenen Annahmen zur Definition von

Wertebereichen und Bildung von Risikoscores. Vereinzelt wurden aber auch negative Zusammenhänge identifiziert. Diese Zusammenhänge zeigten alle geringe Odds Ratios ($OR < 1,00$), überwiegend in den höchsten Expositions-kategorien, welche überwiegend aber nicht signifikant waren. Mögliche Ursachen für diese nicht erwartungskonformen Zusammenhänge könnten ein „Healthy Worker Effekt“ oder Verzerrungen durch die Untersuchungssituation, Arbeitsplatz- oder Probandenauswahl sein.

Der vorliegende „mTLV for HAL“-Bewertungsansatz erscheint als ein mögliches Verfahren, um arbeitsbedingte Belastungen im Bereich der Hände und im Bereich der Ellenbogen messdatenbasiert zu bewerten. Der Repetitions-score wurde als eigenständige Bewertung entwickelt und könnte auch außerhalb des „mTLV for HAL“-Ansatzes separat eingesetzt werden, um Arbeitsbelastungen im Bereich der Hände oder im Bereich der Ellenbogen zu bewerten. Allerdings sind weitere Modifikationen und Forschung notwendig. So könnte der Startwert des Repetitionsscores von 0 auf 1 gesetzt werden. Gegenstand zukünftiger Forschung könnte bspw. auch eine Anpassung des „mTLV for HAL“-Bewertungsverfahrens (z. B. Wichtung der Parameter) sein, insbesondere unter der Verwendung von Längsschnittdaten. Auch ein Vergleich zwischen dem beobachtungsbasierten „TLV for HAL“-Ansatz und dem hier präsentierten „mTLV for HAL“-Bewertungsansatz wäre ein mögliches Forschungsfeld. Wenn entsprechend valide Bewertungen möglich sind, könnte zukünftig der Repetitionsscore oder der „mTLV for HAL“-Bewertungsansatz auch im Rahmen von Gefährdungsbeurteilungen eingesetzt werden, indem die Bewertungsansätze mit umfassenden Experten-Messsystemen verknüpft werden. Die Bildung des Repetitions-scores für die Hand bzw. für den Ellenbogen oder die NPF-Bestimmung zur Bewertung der Kraft wären aber auch in Kombination mit einer einfacheren Messtechnik denkbar, um vor allem betriebliche Praktiker zukünftig bei Gefährdungsbeurteilungen durch objektive messdatenbasierte Bewertungsverfahren unterstützen zu können.

Literatur

- [1] Melhorn, J. M.; Talmage, J. B.; Ackerman III, W. E.; Hyman, M. H.: *AMA Guides to the Evaluation of Disease and Injury Causation*. 2. Aufl., American Medical Association, Chicago 2014
- [2] Seidel, D. H.; Ditchen, D. M.; Hoehne-Hückstadt, U. M.; Rieger, M. A.; Steinhilber, B.: *Quantitative Measures of Physical Risk Factors Associated with Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Elbow: A Systematic Review*. *Int J Environ Res Public Health*, 2019. 16(1)
- [3] van Rijn, R. M.; Huisstede, B. M.; Koes, B. W.; Burdorf, A.: *Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: a systematic literature review*. *Rheumatology (Oxford)*, 2009. 48(5): S. 528–36
- [4] ACGIH: *TLVs® and BEIs®: based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices*. 2018, ACGIH, Cincinnati 2018
- [5] Akkas, O.; Azari, D. P.; Chen, C.-H. E.; Hu, Y. H.; Ulin, S. S.; Armstrong, T. J.; Rempel, D.; Radwin, R. G.: *A hand speed-duty cycle equation for estimating the ACGIH hand activity level rating*. *Ergonomics*, 2015. 58(2): S. 184–194
- [6] Kapellusch, J. M.; Bao, S. S.; Silverstein, B. A.; Merryweather, A. S.; Thiese, M. S.; Hegmann, K. T.; Garg, A.: *Risk assessments using the Strain Index and the TLV for HAL, Part I: Task and multi-task job exposure classifications*. *J Occup Environ Hyg*, 2017. 14(12): S. 1011–1019
- [7] Weber, B.; Douwes, M.; Forsman, M.; Könemann, R.; Heinrich, K.; Enquist, H.; Pinder, A.; Punakallio, A.; Uusitalo, A.; Ditchen, D.; Takala, E.-P.; Draicchio, F.; Desbrosses, K.; Wichtl, M.; Strebl, M.; Wærsted, M.; Gupta, N.; Lechner, N.; Alvarez Bayona, T.; Hoehne-Hückstadt, U.; Mathiassen, S. E.; Holtermann, A.; Veiersted, K. B.: *Assessing Arm Elevation at Work with Technical Assessment Systems*. *Partnership for European Research in Occupational Safety and Health (PEROSH)* 2018
- [8] BAuA: *Projekt Fb 2333, MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen*, Band 1, BAuA, Dortmund 2019
- [9] Schedlbauer, G.; Glitsch U.; Hoehne-Hückstadt, U. M.: *Komplexe Analyse von Muskel-Skelettbelastungen der oberen Extremität – Fallbeispiel Physiotherapie*. *DGUV Report 2/2014*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2013
- [10] Hansson, G. A.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Rylander, L.; Skerfving, S.: *Goniometer measurement and computer analysis of wrist angles and movements applied to occupational repetitive work*. *J Electromyogr Kinesiol*, 1996. 6(1): S. 23–35
- [11] Barrero, L. H.; Pulido, J. A.; Berrio, S.; Monroy, M.; Quintana, L. A.; Ceballos, C.; Hoehne-Hueckstaedt, U.; Ellegast, R.: *Physical workloads of the upper*

- extremity among workers of the Colombian flower industry. *Am J Ind Med*, 2012. 55(10): S. 926–39
- [12] *Hansson, G. A.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Skerfving, S.:* Measurements of wrist and forearm positions and movements: effect of, and compensation for, goniometer crosstalk. *J Electromyogr Kinesiol*, 2004. 14(3): S. 355–67
- [13] *Hansson, G.-Å.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Granqvist, L.; Nordander, C.; Arvidsson, I.; Åkesson, I.; Unge, J.; Rittner, R.; Strömberg, U.; Skerfving, S.:* Physical workload in various types of work: Part I. Wrist and forearm. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2009. 39(1): S. 221–233
- [14] *Nordander, C.; Ohlsson, K.; Åkesson, I.; Arvidsson, I.; Balogh, I.; Hansson, G. A.; Stromberg, U.; Rittner, R.; Skerfving, S.:* Exposure-response relationships in work-related musculoskeletal disorders in elbows and hands – A synthesis of group-level data on exposure and response obtained using uniform methods of data collection. *Appl Ergon*, 2013. 44(2): S. 241–253
- [15] *Seidel, D. H.; Hermanns, I.; Heinrich, K.; Ellegast, R.; Rieger, M. A.; Barrero, L. H.; Weber, B.; Steinhilber, B.:* Extension of a kinematic and force measurement-based tlv approach to assess workloads of the elbow joint – a field feasibility study. In *PREMUS 2019. 10th International Scientific Conference on the Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders*, Bologna, 2019. Hrsg.: PREMUS
- [16] *Klussmann, A.; Liebers, F.; Brandstadt, F.; Schust, M.; Serafin, P.; Schafer, A.; Gebhardt, H.; Hartmann, B.; Steinberg, U.:* Validation of newly developed and redesigned key indicator methods for assessment of different working conditions with physical workloads based on mixed-methods design: a study protocol. *BMJ open* 2017;7(8):e015412. doi: 10.1136/bmjopen-2016-015412
- [17] *Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Schiefer, C.:* Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 2010. 64(2): S. 101–110
- [18] *Garg, A.; Kapellusch, J. M.; Hegmann, K. T.; Thiese, M. S.; Merryweather, A. S.; Wang, Y. C.; Malloy, E. J.:* The strain index and TLV for HAL: risk of lateral epicondylitis in a prospective cohort. *Am J Ind Med*, 2014. 57(3): S. 286–302
- [19] *Werner, R.; Franzblau, A.; Gell, N.; Hartigan, A.; Ebersole-Wood, M.; Armstrong, T.:* Predictors of Persistent Elbow Tendonitis Among Auto Assembly Workers. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 2005. 15(3): S. 39–400

Katasterstudie Carpal tunnel syndrome (CTS) – Tätigkeitsanalyse und messtechnische Erfassung von Handgelenksaktivitäten bei Gesundheitsberufen und Frisuren

Matthias Wanstrath

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Hamburg

Kurzfassung

Die BGW plant die Durchführung eines Studienprojektes zur Vereinfachung und Modifizierung des BK-Verfahrens Carpal tunnel syndrome (CTS). Durch das Studienprojekt sollen neue wissenschaftliche Grundlagen geschaffen werden, die zur Vereinfachung und Modifizierung des BK-Verfahrens führen. Anhand einer videobasierten Mess- und Beobachtungsstudie in den Branchen mit den häufigsten BK-Meldungen sollen relevante Tätigkeiten identifiziert, in ein CTS-Kataster integriert und in Form einer Handlungshilfe den Präventionsdiensten zur Verfügung gestellt werden. Gemeinsam mit dem IFA soll langfristig ein DGUV-Kataster entstehen, welches auf messwertbasierten Daten entsteht.

1 Hintergrund

Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) hat am 01.05.2009 eine Empfehlung des Ärztlichen Sachverständigenbeirats „Berufskrankheiten“ beim BMAS bekanntgemacht, in die Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) das (CTS) als Berufskrankheit aufzunehmen. Zum 01.01.2015 wurde die neue Berufskrankheit (BK) „2113 – Druckschädigung des Nervus medianus im Carpal tunnel (Carpal tunnel syndrome) durch repetitive manuelle Tätigkeiten mit Beugung und Streckung der Handgelenke, durch erhöhten Kraftaufwand der Hände oder durch Hand-Arm-Schwingungen“ in die BKV aufgenommen. Zudem hat die Projektgruppe „Carpal tunnel syndrome“ jeweils eine Handlungsanleitung zur Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen für die Präventionsdienste und für die Verwaltungspraxis erarbeitet. Die Software der Handlungsanleitung für die Erhebung der arbeitstechnischen Voraussetzungen wird seit 2012 von den Präventionsdiensten der Unfallversicherungsträger angewendet. Sie bietet die Möglichkeit einer einheitlichen Erhebung der Exposition und der Erstellung eines einheitlichen Abschlussberichtes.

In den letzten Jahren gab es DGUV-übergreifend kritische Rückmeldungen von Akteuren des BK-Verfahrens über Probleme bei der Expositionsermittlung und -bewertung. Aufgrund dessen wurde eine vom IFA geführte

Unterarbeitsgruppe der DGUV (UAG CTS) gebildet. Die UAG hat die Aufgabe eine trägerübergreifende Modifizierung und Vereinfachung des Verfahrens zur Expositionsermittlung und -bewertung für die BK 2113 zu entwickeln. In die Überarbeitung des BK-Ermittlungsverfahrens sollen neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Erfahrungen aus Praxisberichten einfließen. Die BGW ist in der UAG CTS vertreten durch die Abteilung Arbeitsmedizin, Gefahrstoffe und Gesundheitswissenschaften (AGG). Durch das Studienprojekt wird von der BGW ein wichtiger Beitrag zur Modifizierung und Vereinfachung des Verfahrens geleistet.

Bei der BGW gibt es BK-Meldungen zum CTS von Beschäftigten unterschiedlicher Tätigkeiten und Berufe. Bei der Anerkennung nach Tätigkeit liegen in der DGUV-Statistik von 2015-2017 Beschäftigte aus der Physiotherapie und dem Friseurhandwerk an erster Stelle (Factsheet zu BK-Nr. 2113 Carpal tunnel syndrome, DGUV Referat Statistik; Stand: 29.01.2019). Zudem gibt es weitere Meldungen von Beschäftigten der BGW-Branche. Hierzu gehören Beschäftigte aus der Podologie, Kosmetik, Zahntechnik und -medizin sowie aus dem Pflegebereich. Im Jahr 2018 erfolgten insgesamt 151 BK-Meldungen von Versicherten (u. a. 21 Masseur/Physiotherapeuten und 25 Friseur). Es wurden im Jahr 2018 insgesamt 163 Fälle entschieden, davon waren 119 Ablehnungen und 44 Anerkennungen (39 ohne Rente, 5 mit Rente).

2 Ziele

Ziel der Studie ist es, die Exposition gegenüber Belastungsfaktoren zur Entstehung des Carpal tunnel syndrome bei Beschäftigten verschiedener BGW-Branchen zu erheben. Dabei werden relevante Tätigkeiten von Berufen identifiziert, bei denen die häufigsten Berufskrankheiten (BK)-Meldungen vorkommen. Aufbauend auf dieser Grundlage soll langfristig gemeinsam mit dem IFA ein Expositions-Kataster sowie eine Handlungshilfe für die Präventionsdienste erstellt werden. Das Verfahren wird durch die Handlungshilfe und das Expositions-Kataster für die Beteiligten am BK-Verfahren vereinfacht und der Aufwand der Ermittlung reduziert.

3 Methode

3.1 Durchführung einer videobasierten Mess-/ Beobachtungsstudie

Für die Präventionsarbeit sowie bei der Anerkennung und Entschädigung von CTS-Fällen als BK werden die arbeitsbedingten manuellen Belastungen zur Beurteilung herangezogen. In großen epidemiologischen Studien wurden die arbeitsbedingten Risikofaktoren für die Entstehung des CTS ermittelt. Zu den wichtigsten Risikofaktoren gehören Tätigkeiten mit einer hohen Handaktivität (repetitive Tätigkeiten), großem Kraftaufwand (z. B. wiederholtes, kraftvolles Greifen) und Hand-Arm-Vibrationen [1]. Expositionsanalysen zu manuellen Tätigkeiten aus der BGW-Branche sind in der Forschung bisher unterrepräsentiert. Infolgedessen sind branchenübergreifende Expositionsanalysen von Bedeutung, die die Frage beantworten, welche berufsspezifischen Tätigkeiten und Bewegungen zur Exposition führen. Diese berufsspezifischen Tätigkeiten werden als relevante Tätigkeiten bezeichnet. Unter relevanten Tätigkeiten sind alle Tätigkeiten zu verstehen, die als manuelle Arbeitsprozesse zu bezeichnen sind und in denen die genannten Risikofaktoren in geringer bis hoher Ausprägung vorkommen. Deren Erfassung über einen typischen Arbeitstag (wochentypische Arbeitsschicht pro Tag) ist wichtig, um auch Kombinationswirkungen der genannten Faktoren sicher zu ermitteln.

Die relevanten Tätigkeiten werden im Rahmen einer videobasierten Mess-/Beobachtungsstudie zur Beurteilung manueller Arbeitsprozesse bewertet. Für die Analyse der Videodaten werden evidenzbasierte Verfahren

zur physischen Gefährdungsbeurteilung von manuellen Arbeitsprozessen verwendet. Das HAL-TLV Verfahren besitzt die wissenschaftliche Güte und die notwendige Praxistauglichkeit für die Implementierung in ein BK-Verfahren [3],[4]. Beim HAL-TLV Verfahren (Abbildung 1) werden die wichtigsten Risikofaktoren (Kraft, Repetition und deren Kombinationswirkung) zur Entstehung des CTS beurteilt. Das HAL-TLV Verfahren besitzt die nötige Konstrukt- und Kriteriumsvalidität und wurde sowohl in Quer- als auch in Längsschnittstudien verwendet [5]. Das HAL-TLV Verfahren wird im Rahmen des Studienprojektes zur Bewertung der relevanten manuellen Arbeitsprozesse genutzt, die zu Expositionen führen.

Für das Studienprojekt werden umfangreiche Videoanalysen durchgeführt. Die Analyse der Videodaten wird von zwei unabhängigen Experten absolviert. Analysiert werden die elf Professionen (Friseurhandwerk, Physiotherapie, Masseur, Zahntechnik, Zahnmedizin, Zahnmedizinische Fachangestellte, Kosmetik, Podologie, Krankenpflege in der Dialyse und Alten- und Krankenpflege) mit den meisten BK-Meldungen bei der BGW. Aus jeder Profession werden jeweils fünf Beschäftigte analysiert. Hieraus ergibt sich ein Probandenkollektiv von insgesamt 55 Personen. Ausgeschlossen aus der Studie werden Beschäftigte mit einem bereits bestehenden Carpal tunnel syndrome oder anderen Krankheitsbildern an der Hand. Um die inter- und intraindividuellen Unterschiede bei der Ausführung der Tätigkeiten zu berücksichtigen werden jeweils mehrere Arbeitszyklen einer jeden relevanten Tätigkeit analysiert. Die Videodaten werden anhand eines standardisierten Prozedere ausgewertet.

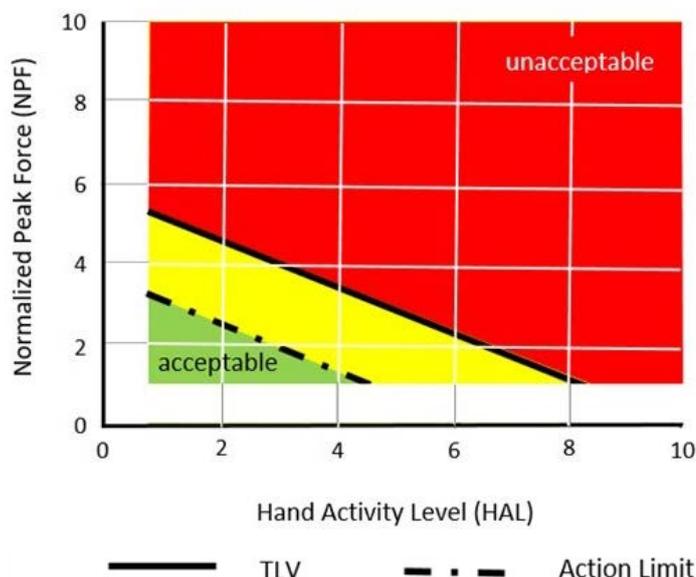


Abb. 1 HAL-TLV zur Reduzierung arbeitsbedingter Muskel-Skelett-Erkrankungen basierend auf dem Hand Activity Level (HAL) und der normalisierten Handkraft (Normalized Peak Force, NPF). Die obere Gerade zeigt den Threshold Limit Value (TLV), die untere Gerade das Action Limit (AL) (verändert nach [2])

3.2 Erstellung eines Tätigkeiten-Kataster CTS

Um der Heterogenität und Komplexität der untersuchten Berufe gerecht zu werden, werden die relevanten Tätigkeiten in Tätigkeitsmodule (vgl. GonKatast -Ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen-, [6]) unterteilt. Darunter sind typische Aktivitäten zu verstehen, die während einer vollständigen Arbeitsschicht durchgeführt werden (inklusive der Nebentätigkeiten wie Vorbereitung und Nachbereitung) und die sich in relevanter Anzahl während des Berufsleben wiederholen. Die Tätigkeitsmodule werden in Aufgabenmodelle (Beschreibungen der hierarchischen Zerlegung von Tätigkeiten in Teiltätigkeiten) zerlegt. Für die Visualisierung der Tätigkeiten werden Performance-Modelle (Aufgabenmodelle, die um Zeiten angereichert sind, die Beschäftigte für eine Tätigkeit benötigen) verwendet. Alle relevanten Tätigkeiten und Tätigkeitsmodule werden in einem Tätigkeiten-Kataster zusammengestellt und den Präventionsdiensten für die Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen zur Verfügung gestellt. Das Tätigkeiten-Kataster ermöglicht eine einheitliche Erfassung und Bewertung der arbeitstechnischen Voraussetzungen.

3.3 Entwicklung einer Handlungshilfe

Für eine Objektivierung der Erhebung der arbeitstechnischen Voraussetzungen werden die in der Expositionsanalyse ermittelten Daten in eine Handlungshilfe für die Präventionsdienste überführt. Das Verfahren wird durch die Handlungshilfe und das Tätigkeiten-Kataster für die Beteiligten am BK-Verfahren vereinfacht und der Aufwand der Ermittlung wird reduziert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Studienprojekt „Katasterstudie Carpal tunnel syndrome“ hat zum Ziel relevante Tätigkeiten in den Branchen mit den häufigsten BK-Meldungen bei der BGW zu identifizieren. Die relevanten Tätigkeiten werden in Tätigkeitsmodule unterteilt und in ein Expositions-kataster überführt. Die Expositionsdaten werden anhand einer videobasierenden Mess- und Beobachtungsstudie ermittelt und anhand des HAL-TLV Verfahrens bewertet. Die im Studienprojekt gewonnenen Daten bilden eine wichtige wissenschaftliche Grundlage für das BK-Verfahren 2113 und sollen zur Entwicklung von Präventionsansätzen beitragen. Langfristig ist geplant, in Zusammenarbeit mit dem IFA, ein messwertbasiertes Expositions-kataster zu erstellen.

Literatur

- [1] Kozak, A.; Schedlbauer, G.; Wirth, T.; Euler, U.; Westermann, C.; Nienhaus, A.: Association between work-related biomechanical risk factors and the occurrence of carpal tunnel syndrome: an overview of systematic reviews and a meta-analysis of current research. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2015 Sep 1; 16:231. doi 10.1186/s12891-015-0685-0
- [2] ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), „Chapter: Hand Activity,“ in TLVs and BEIs based on the documentation of the Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents AND Biological Exposure Indices, Cincinnati, ACGIH, 2018, p. S. 186 ff.
- [3] Garg, A.; Moore, J. S.; Kapellusch, J. M.: The Revised Strain Index: an improved upper extremity exposure assessment model, *Ergonomics* 2016 Oct 14, 912-922, doi: 10.1080/00140139.2016.1237678
- [4] Kapellusch, J. M.; Bao, S. S.; Silverstein, B. A.; Merryweather, A. S.; Thiese M. S.; Hegmann K. T.; Garg, A.: Risk assessments using the Strain Index and the TLV for HAL, Part I: Task and multi-task job exposure classifications. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2017 Nov 28, 1011-1019, doi: 10.1080/15459624.2017.1366037
- [5] Takala E. P.; Pehkonen. I.; Forsman, M.; Hansson G-Å.; Mathiassen S. E.; Neumann W. P.; Sjøgaard, G.; Veiersted, K. B.; Westgaard, R. H.; Winkel, J.: Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 2010 Jan, 3-24, doi:10.5271/sjweh.2876
- [6] Ditchen, D.; Ellegast, R. P.; Rehme, G.: GonKatast – Ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen. IFA-Report 1/2010. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin 2010. ISBN: 978-3-88383-841-0

Arbeitsgestaltungsmaßnahmen bei repetitiven Tätigkeiten

Torsten Wagner

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln

Kurzfassung

In den Mitgliedsunternehmen der BG ETEM treten branchenübergreifend Belastungen bei repetitiven Tätigkeiten auf. Aus eigener Beobachtung heraus handelt es sich bei diesen Tätigkeiten beispielsweise um die Montage von leichten Produkten (z. B. Haushaltsgeräte), eine manuelle Bestückung von Platinen oder es betrifft „Resttätigkeiten“ im Rahmen eines weitgehend automatisierten Prozesses, die im konkreten Unternehmen aus verschiedenen Gründen (noch) nicht durch eine technische Lösung substituiert werden können.

Wenn Handlungsbedarf zur Arbeitsgestaltung festgestellt wird, stellt sich für das Unternehmen die Frage, welche Maßnahmen in diesen manuellen Arbeitsprozessen angewandt werden können, um eine wirksame, ergonomische Verbesserung zu erzeugen ohne zeitgleich stärkere Einbußen in der Produktivität in Kauf nehmen zu müssen.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, für einen solchen Fall eine möglichst allgemeine, systematische Vorgehensweise bei der Suche nach geeigneten Maßnahmen aufzuzeigen. Die im Beitrag gezeigte Übersicht von Ansatzpunkten für Gestaltungsmaßnahmen erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern spiegelt im Wesentlichen die Erfahrung aus der Beratungspraxis des Autors zu diesem Zeitpunkt in einer strukturierten Darstellung wider.

1 Einleitung

Repetitive Tätigkeiten sind in der Regel bereits stark unter dem Aspekt der Produktivität optimiert. Das liegt daran, dass man einen Arbeitsprozess so wirtschaftlich wie möglich umsetzen möchte, wenn man ihn mehrere hundert oder tausend Mal pro Schicht durchführen muss. Die Aspekte einer ergonomischen Arbeitsgestaltung spielen im Vergleich zur Produktivität oft eine eher untergeordnete Rolle. Zusätzlich mangelt es gerade bei Tätigkeiten mit Zykluszeiten von wenigen Sekunden auch schlicht an Gestaltungsmöglichkeiten: Haben die Beschäftigten nur 2 Handgriffe/Zyklus durchzuführen, bestehen faktisch weniger Ansatzpunkte zur Verbesserung im Vergleich zu Tätigkeiten mit 20 Handgriffen/Zyklus.

Stellt sich nun ergonomischer Handlungsbedarf bei repetitiven Tätigkeiten heraus, ist die Suche nach wirkungsvollen Maßnahmen aufgrund der bereits durchgeführten Optimierung der Arbeitsabläufe oft eine Suche nach der „Nadel im Heuhaufen“. Besonders kritisch ist in einem solchen Szenario, dass manche gut gemeinten Maßnahmen in der Folge zu einer erhöhten Belastung für die Beschäftigten führen können, wenn sich dadurch beispielsweise die Zykluszeit reduziert und die Anzahl der Zyklen pro Schicht somit weiter zunimmt. Bei stark optimierten Arbeitsplätzen ist nämlich genau diese hochfrequente Wiederholung immer gleicher Handgriffe/Schicht die eigentliche Ursache der Belastung.

2 Übersicht der Ansatzpunkte für ergonomische Verbesserungen

Um die Suche nach wirksamen Maßnahmen bei repetitiven Tätigkeiten zu erleichtern, ist es hilfreich systematisch vorzugehen, um am Ende keine Gestaltungsmöglichkeit zu übersehen. Die in diesem Beitrag vorgestellte Übersicht (Abbildung 1) versucht die Ansatzpunkte zur Gestaltung zunächst grob nach „Strategien“ zu kategorisieren, wobei die Anordnung der Hauptkategorien (1-4) von links nach rechts dem TOP-Prinzip nachempfunden wurde: die Kategorien 1+2 sind T-Maßnahmen in Form von Gestaltungsansätzen für den Arbeitsplatz, Kategorie 3 enthält verschiedene O-Maßnahmen, die im Wesentlichen die Expositionszeit senken sollen und Kategorie 4 sind zu guter Letzt P-Maßnahmen auf individueller Ebene.

Die einzelnen Ansatzpunkte sind nummeriert, so dass sich für diesen Beitrag gezielt Elemente in der Darstellung referenzieren lassen (Beispiel: „2.1.1“ – „Lastgewichte reduzieren möglich?“).

Ausgangspunkt der Übersicht ist die Annahme, dass eine dauerhaft erhöhte Belastung nur einer der beiden oberen Extremitäten vorliegt, da sich auf diese Weise weitere Gestaltungsmöglichkeiten aufzeigen lassen – im Vergleich zu einer gleichmäßigen Belastung beider Hand-Arm-Systeme. Das Ziel dieser Übersicht ist es, möglichst viele Ansatzpunkte für Gestaltungsmaßnahmen in einer gemeinsamen Darstellung aufzuzeigen.

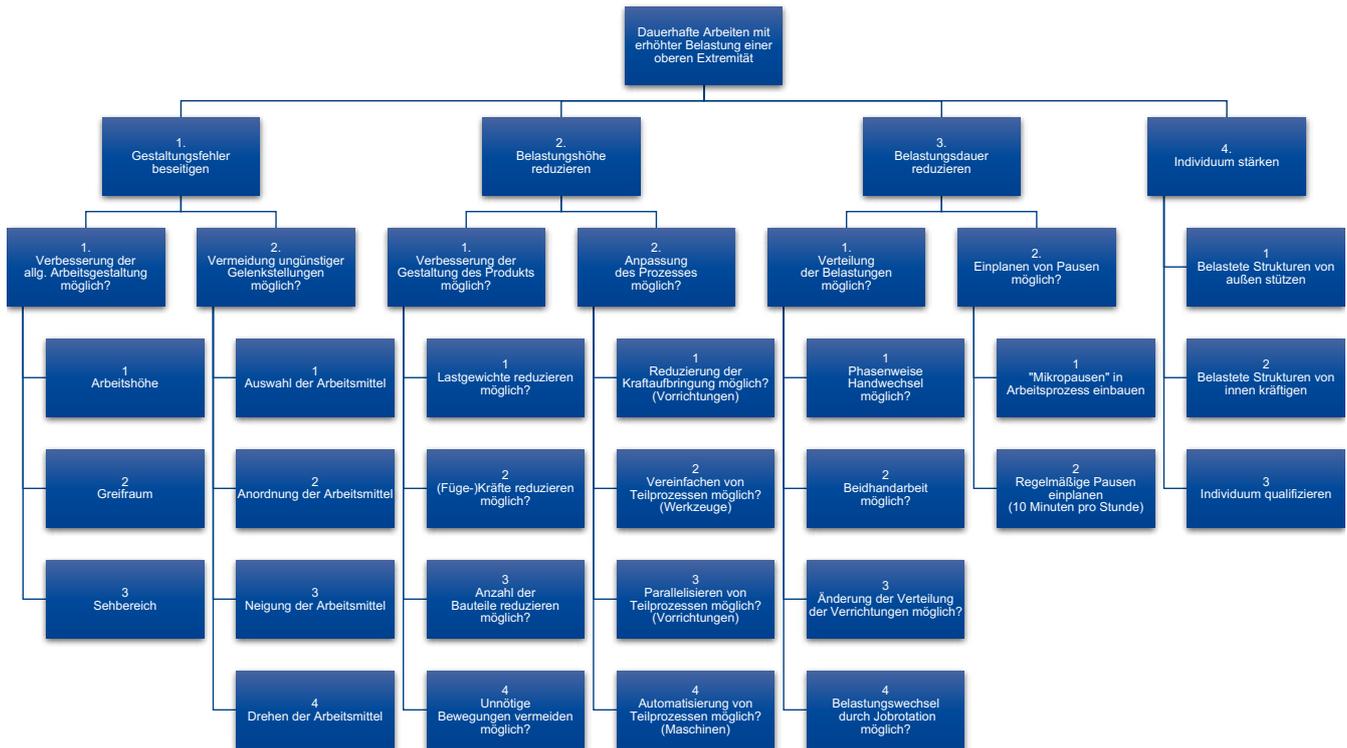


Abb. 1 Übersicht der Ansatzpunkte für ergonomische Verbesserungen

2.1 Vorstellung des repräsentativen Beispiels

Um die Übersicht der verschiedenen Ansatzpunkte für Maßnahmen zu veranschaulichen, soll die Montage eines einfachen Produkts aus 7 Einzelteilen stellvertretend für eine allgemeine, repetitive Tätigkeit betrachtet werden (vgl. Abbildung 2). Der für die Beschreibung genutzte „allgemeine Fall“ geht dabei von einer Montage in einem System aus verketteten Arbeitsplätzen mit 3 Stationen aus, bei der die Beschäftigten fest an ihren jeweiligen Arbeitsstationen bleiben und die ihnen zugeordneten Arbeitsschritte durchführen. Alternative Organisationsformen wie ein Einzelarbeitsplatz oder eine U-Linie, bei der sich die Beschäftigten mit dem Produkt mitbewegen, stellen dabei lediglich Spezialfälle dieses allgemeinen Falles dar, da sie im Vergleich im Wesentlichen die Zykluszeit erhöhen, bis sich die Handgriffe wiederholen.



Abb. 2 Montage eines Produkts an verketteten Arbeitsplätzen

2.2 Erläuterung der Ansatzpunkte am repräsentativen Beispiel

Besteht nun Handlungsbedarf zur ergonomischen Verbesserung, ist als erster Ansatzpunkt zu überprüfen, inwieweit **Gestaltungsfehler** bestehen, die man beseitigen kann. Diese Strategie hat den Vorteil, dass sie in der Regel keine Änderung des optimierten Prozesses bedarf und man dadurch manchmal mit wenigen Maßnahmen eine Verbesserung schaffen kann, ohne die Produktivität einzuschränken.

2.2.1 T-Maßnahmen

Zunächst gilt es, **allgemeine Fehler** in der Arbeitsgestaltung zu **beheben** (1.1, in Abbildung 1). Ein erster prüfender Blick könnte dabei auf die Arbeitshöhe gerichtet werden (1.1.1), da diese in der Praxis manchmal zu hoch eingestellt ist, da

- das konkrete Individuum kleiner ist als ein Durchschnittsmensch oder
- die Höhe des zu montierenden Produktes (oder einer Vorrichtung auf dem Tisch) bei der Einstellung der Tischhöhe nicht berücksichtigt wurde.

Als Konsequenz müssen die Beschäftigten nun stets ihre Arme bei der Arbeit anheben, was auf Dauer zu Schulterproblemen führen kann. An dieser Stelle kann man auch gleich noch weitere Blicke auf Greifraum (1.1.2) und Sehbereich (1.1.3) werfen. Diese haben zwar in ihrer Auswirkung mehr mit

der Rumpfhaltung als mit den oberen Extremitäten zu tun, sind jedoch der Vollständigkeit halber hier mit aufgeführt.

Danach geht der Fokus getreu dem Motto „vom Groben zum Feinen“ auf die **Vermeidung ungünstiger Gelenkstellungen** der oberen Extremitäten über (1.2). Hierzu muss zunächst eine Sensibilität für die Neutralstellungen der jeweiligen Gelenke hergestellt werden und der Arbeitsablauf gerade bei kurzen Zykluszeiten sehr genau beobachtet werden. Liegen ungünstige Gelenkstellungen nicht in einer unvorteilhaften Arbeitsweise des Individuums begründet (4.3), ist zu prüfen, ob die verwendeten Arbeitsmittel für die konkrete Arbeitsaufgabe geeignet sind (1.2.1). Wird z. B. ein Akkuschrauber mit Pistolengriff für vertikale Bohrungen auf Ellenbogenhöhe anstelle eines Stabschraubers verwendet, ergeben sich bereits aus dieser Griffgestaltung ungünstige Handgelenkstellungen.

Wurde zunächst der Greifraum nur in seiner Dimensionierung betrachtet (1.1.2), geht es nun an die Anordnung der Arbeitsmittel im Greifraum (1.2.2). Hierbei gibt es zunächst die Empfehlung, häufig genutzte Arbeitsmittel möglichst zentral im Arbeitsbereich anzuordnen und dadurch kurze Greifwege zu realisieren – aber danach geht es auch um die horizontale Ausrichtung der Arbeitsmittel. Der menschliche Greifraum besteht aus zwei sich überlappenden Sphären (mathematisch ausgedrückt handelt es sich näherungsweise um Kugelkoordinaten mit Ursprung im Schulterpunkt) und entspricht damit nicht unbedingt den sonst im Alltag üblichen rechtwinkligen Koordinatensystemen. Konsequenz: Sind beispielsweise Greifbehälter starr an der Rückwand der Arbeitsstation befestigt, kann es an den Enden der Greifbehälterreihe beim Entnehmen der Teile zu ungünstigen Haltungen und Winkelstellungen kommen.

Ähnliches gilt für die Entnahme einzelner Teile aus einem Ladungsträger (LT) in einem Regal. In diesem Fall geht es jedoch um leichte Neigung des LT nach vorne durch schräg befestigte Regalböden (mit Anschlägen gegen das Herausrutschen der LT) (1.2.3). Auf diese Weise lassen sich die in den Ladungsträgern befindlichen Bauteile mit einer weniger stark ausgelenkten Handgelenkstellung entnehmen (im Vergleich zu der üblichen Entnahmerichtung nach oben).

Der Vollständigkeit halber wird als letzter Aspekt bei den Gelenkstellungen das Drehen der Arbeitsmittel betrachtet (1.2.4): Ein regelmäßiges Umdrehen einer Komponente um 180° wäre beispielsweise ebenfalls als „auf Dauer belastend“ für die obere Extremität anzusehen.

Für den Einzelfall sind alle der genannten ungünstigen Gelenkstellungen unproblematisch und werden gerne bei der Gestaltung übersehen – sie werden jedoch dann zu-

nehmend relevant, wenn sich Vorgänge mit ungünstigen Gelenkstellungen mehrere hundert und tausend Mal pro Schicht wiederholen.

Die nächste Strategie setzt dabei an, die **Belastungshöhe** zu **reduzieren**, welches entweder im Produkt und dessen Gestaltung ansetzen kann (2.1) oder im **Prozess**, welcher festlegt, wie das Produkt schrittweise hergestellt wird (2.2).

Für Beschwerden der oberen Extremitäten sind dabei

- wiederholt hohe Kraftausübungen,
- hohe Repetition,
- starke Vibrationen
- sowie Kombinationen aus diesen Hauptrisikofaktoren verantwortlich.

Sind aufzubringende Kräfte am **Produkt** zu hoch, kann das zum Beispiel an hohen Komponentengewichten (2.1.1) oder hohen Fügekräften durch enge Passungen der Verbindungselemente liegen (2.1.2). Die Auswirkungen von schweren Komponenten kann man durch bereitgestellte Hebehilfen reduzieren oder indem schwere Baugruppen in leichtere Untereinheiten aufgeteilt werden, die so an den einzelnen Stationen leichter zu handhaben sind. Auch die Begrenzung des maximalen Gewichts von Ladungsträgern kann in dem Zusammenhang eine sinnvolle Maßnahme sein.

Hohe Kräfte beim Fügen von Bauteilen oder dem manuellen Bearbeiten von Produkten lassen sich u. a. durch die Verwendung anderer Verbindungselemente (Klipse, ...), das Nutzen alternativer Verbindungsverfahren oder die Zuhilfenahme von Hebeln reduzieren. Was die beiden Größen „Lastgewicht“ (2.1.1) und die „Anzahl der zu verbauenden Bauteile“ (2.1.3) betrifft, ist ein geeigneter Kompromiss zu finden: Sind zu viele Bauteile zu verbauen und die Repetition das Problem, könnte es helfen, Bauteile in ihrer Konstruktion zusammenzufassen, indem z. B. zwei getrennte Bauteile konstruktiv zu einem einzelnen verschmolzen (Integralbauweise) oder als bereits vormontierte Unterbaugruppe an die Arbeitsstation geliefert werden. In unserem Beispielprozess (Abbildung 2) wäre eine Vormontage der Teile 3+4 zu einem Teil 34 denkbar. Die letzte Maßnahme in der Produktgestaltung versucht ebenfalls, Verrichtungen im Prozess zu reduzieren, indem das Produkt konstruktiv verbessert wird und dadurch bisher notwendige Handgriffe entfallen können (2.1.4). Im Beispiel könnte eine Produktänderung dazu führen, dass alle Komponenten aus einer Zugangsrichtung montiert werden können, so dass das Drehen der Baugruppe an den Stationen 2+3 als unnötig entfallen könnte.

Ansatzpunkte für eine **Umgestaltung des Prozesses** zur Belastungsreduktion basieren auf der Nutzung von

geeigneten Vorrichtungen und Werkzeugen (2.2, vgl. Abbildung 3). Mechanische Vorrichtungen können mit Hebeln die aufzubringende Kraft reduzieren oder die Haltearbeit von Baugruppen für den Menschen übernehmen (2.2.1). Angetriebene, handgeführte Werkzeuge können Teilprozesse vereinfachen (2.2.2), indem nur noch Führungsbewegungen und geringe Betätigungskräfte durch den Menschen aufgebracht werden müssen.

In manchen Fällen kann eine Vorrichtung auch dazu beitragen, die Anzahl der belastenden Handgriffe zu reduzieren, indem man mehrere Komponenten in die Vorrichtung einlegt und diese Bauteile dann parallel „bearbeiten“ kann (2.2.3). Bei der Maßkontrolle von Bauteilen kann man beispielsweise den manuellen Prozess der Qualitätskontrolle erleichtern, in dem nicht jedes Einzelmaß von Hand mit einem Messschieber überprüft wird, sondern zugeordnete Maße wie Länge und Breite über Lehren (oder sogar ein optisches Messverfahren) parallel geprüft werden. Gerade das Parallelisieren von einfachen, aber repetitiven Handgriffen bietet einen vielversprechenden Ansatzpunkt, die Belastung zu reduzieren ohne auf der anderen Seite die Produktivität einzuschränken.

Ähnlich vielversprechend wie die Parallelisierung von Teilprozessen ist es, wenn sich Teilprozesse automatisieren lassen (2.2.4), so dass belastende Tätigkeiten von einer (Sonder-)Maschine übernommen werden können. Angenommen, das montierte Produkt wird in unserem Beispielprozess mit zunehmender Fertigstellung durch die hinzugefügten Komponenten deutlich schwerer (und ein Drehen der Baugruppe wäre konstruktiv weiterhin erforderlich) – dann könnte der Teilprozess „Drehen der Baugruppe“ an den Stationen 2+3 auch durch eine automatisierte Drehvorrichtung oder gar einem Roboter übernommen werden, so dass für den Menschen diese Vorrichtungen am Arbeitsplatz wegfallen würden (ohne den Beschäftigten jedoch komplett im Prozess zu ersetzen).

2.2.2 O-Maßnahmen

Organisatorische Maßnahmen haben gegenüber den genannten technischen Maßnahmen das Ziel, die **Belastungsdauer** des belasteten Organsystems zu **reduzieren**. Dies geht über die beiden Hauptstrategien der Belastungsverteilung (3.1) sowie der Einführung von Erholpausen (3.2). Ist eine Handseite beispielsweise stark belastet, können entweder phasenweise Handwechsel (3.1.1) oder (falls sich das motorisch umsetzen lässt) auch Beidhandarbeit (3.1.2) für Entlastung sorgen. Im Beispielprozess kann man auch überlegen, ob die Verteilung der zu montierenden Teile auf die 3 Personen so „gerecht“ ist oder einzelne Verrichtungen in einem angrenzenden Bereich ausgeführt werden können. Ein Einzelarbeitsplatz oder eine U-Linie, in der jede Person das komplette Produkt fertigt (und nicht nur spezialisierte Handgriffe ausführt) ist im Sinne des „Job-Enlargement“ ebenfalls eine Änderung der Verrichtungsverteilung. Wichtig dabei ist, dass gleichzeitig auch eine Tätigkeitsvielfalt zunimmt, da es für die belastenden Strukturen im Hand-Arm-System unerheblich ist, ob man 15 ähnliche Handgriffe in 30 Sekunden durchführt oder 30 ähnliche Handgriffe in 60 Sekunden.

Einen richtigen Belastungswechsel (3.1.4) würde man hinbekommen, wenn an einem Arbeitsplatz eine Tätigkeit ausgeführt wird, die den Menschen auch physiologisch „anders belastet“. Im Beispielprozess könnte das stellvertretend der Prüfvorgang an Station 3 sein: Würde man die Prüftätigkeiten an eine eigene Arbeitsstation am Ende einer U-Linie auslagern, könnten 2 der 3 Beschäftigten die Produkte in einer U-Linie stehend montieren, während die 3. Person am Prüfarbeitsplatz die Ergebnisse im Sitzen kontrolliert. Innerhalb einer Schicht werden die Positionen dann im Team mehrmals gewechselt.



Abb. 3 Vorrichtungen und Werkzeuge erleichtern Teilprozesse und reduzieren so die Belastung

Im Gegensatz zu Belastungswechseln, in denen der Mensch weiterhin für das Unternehmen produktiv tätig ist, hinterlassen Pausen (3.2) gerne den Eindruck von „Unproduktivität“ und Verschwendung. Mikropausen sind kurze Abschnitte im Arbeitsprozess, in denen ein belastetes Hand-Arm-System kurzzeitig ruhig gehalten wird und entspannen kann. Lassen sich diese sinnvoll in einen Arbeitsprozess integrieren (beispielsweise in einer U-Linie, wenn man an einer oder mehreren automatischen Stationen vorbeiläuft, um zur nächsten Montagestation zu gelangen), müssen solche Mikropausen keine unproduktiven Arbeitsunterbrechungen sein. Greifen keine der bisher genannten Ansatzpunkte, bleibt jedoch nur noch das regelmäßige „unproduktive“ Pausieren (3.2.2).

2.2.3 P-Maßnahmen

Flankierend zu den genannten T- und O-Maßnahmen kann man noch versuchen, ein belastetes Individuum zu stärken, sei es „von außen“ durch Bandagen (4.1) oder langsam „von innen“ heraus durch Kräftigungsübungen (4.2) von Stützstrukturen. In manchen Prozessen kann man den Beschäftigten auch ein belastungsarmes Verhalten aufzeigen und sie in einer schonenden Arbeitsmethode schulen (4.3), falls es nachteilige Abweichungen in den individuellen Arbeitsweisen gibt.

3 Ausblick

Produktivitätsoptimierte manuelle Arbeitsprozesse ergonomisch zu verbessern ist schwierig – insbesondere, wenn der wesentliche Risikofaktor „Repetition“ lautet und die Handhabungsfrequenz das eigentliche Problem darstellt. Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, Gestaltungsmaßnahmen zu finden, die eine ähnlich hohe Produktivität erreichen wie der Status Quo und dabei idealerweise nur geringe Investitionskosten verursachen. Gleichzeitig sollen Maßnahmen zur Verbesserung der Ergonomie aber auch nicht dazu führen, dass die Belastung für einen Menschen im Prozess zusätzlich steigt, indem sich die Zykluszeit weiter reduziert.

Vielversprechende Ansatzpunkte sind hierbei, zuerst bestehende, belastungsrelevante Gestaltungsfehler am Arbeitsplatz zu beseitigen und dann zunächst das Produkt und anschließend den Prozess kritisch zu hinterfragen. Organisatorische Maßnahmen wie Jobrotation sind manchmal das letzte Mittel zur Reduktion einer Belastung, falls es im Unternehmen überhaupt die faktische Möglichkeit von Belastungswechseln in der Produktion gibt und die Beschäftigten dieses Angebot dann auch annehmen würden.

Prozessnahe Möglichkeiten für einen Belastungswechsel zu den kurz getakteten Tätigkeiten wären aus physiologischer Sicht

- (Sicht-)Prüfarbeitsplätze oder
- Nacharbeitsplätze mit Reparaturtätigkeiten.

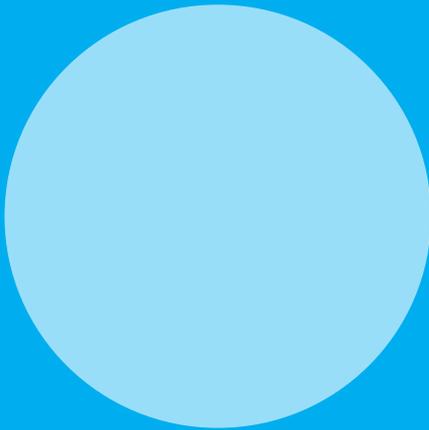
Prozessferne Möglichkeiten für sinnvolle Belastungswechsel wären im Vergleich dazu

- Überwachungstätigkeiten bei Mehrmaschinenbedienung,
- Logistiktätigkeiten (mit oder ohne Fahrtätigkeiten) sowie
- Bildschirmarbeit im Büro.

Diese prozessfernen Tätigkeiten haben jedoch in der Regel andere Tarifverträge und fallen dadurch oft als Wechselarbeitsplätze weg.

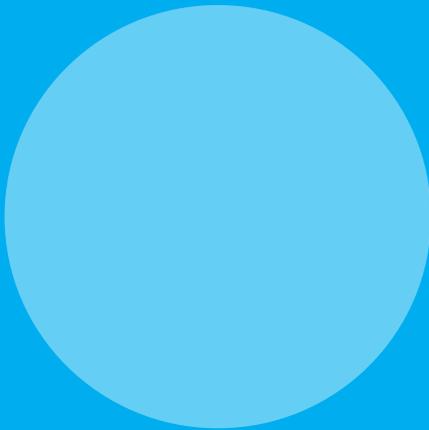


Ergonomie und Normung



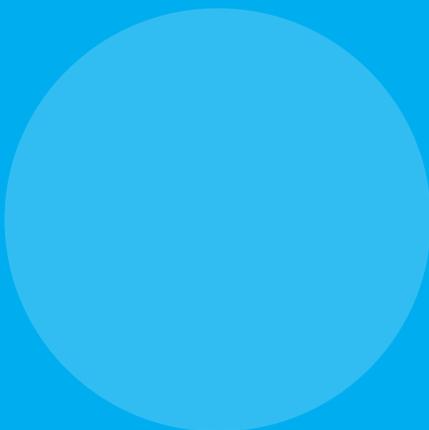
VDI-Richtlinie 4499 Blatt 5 – Digitale Fabrik – Prognose von Umgebungseinflüssen auf den arbeitenden Menschen

Martin Liedtke



Arbeitssystemgestaltung für Maschinen- und Systemsicherheit

*Peter Nickel, Peter Bärenz, Hans-Jürgen Bischoff,
Siegfried Radandt, Urs Kaufmann, Michael Wichtl,
Luigi Monica*



Stirnleuchten im Fahrleitungsbau

Karin Bieske, Sylvia Hubalek

VDI-Richtlinie 4499 Blatt 5 – Digitale Fabrik – Prognose von Umgebungseinflüssen auf den arbeitenden Menschen

Martin Liedtke

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Kurzfassung

Die Richtlinie befasst sich mit der Prognose von Belastungen des arbeitenden Menschen durch Umgebungseinflüsse in einem umschlossenen Arbeitsraum mittels Werkzeugen der Digitalen Fabrik. Es ergänzt damit die Richtlinie VDI 4499 Blatt 4, deren Inhalt analoge Effekte durch die Arbeitsaufgabe sind.

Die Gliederung der Richtlinie orientiert sich an physikalischen Grundgrößen in der Arbeitsumgebung. Die hier als wesentlich betrachteten Umgebungseinflüsse werden in die Gruppen Raum, Atemluft sowie mechanische und elektromagnetische Schwingungen eingeordnet. Chemische und biologische Faktoren, z. B. beim Umgang mit Arbeitsgegenständen und -stoffen, sowie arbeitssoziologische und organisatorische Faktoren werden nicht behandelt.

Mögliches Erscheinungsdatum

2020-08

Herausgeber

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik

Autor

VDI-Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb

Da die hier im Rahmen eines Vortrags vorgestellte Richtlinie noch nicht veröffentlicht wurde, können ihre Inhalte nicht an dieser Stelle – auch nicht in Auszügen – vorab veröffentlicht werden. Der Vortragende und der VDI bitten Sie dafür um Ihr Verständnis. Der hier abgedruckte Text ist ein Zitat und stammt von: www.vdi.de/4499. VDI weist darauf hin, dass Experten, die sich gern über die Richtlinie informieren wollen, dies (inklusive des Erscheinungsdatums etwa 6 Wochen vorher) über die oben genannte Website vornehmen können. Sobald der Gründruck erscheinen wird, kann dieser Druck dann auch von allen Interessierten gelesen und kommentiert werden.

Arbeitssystemgestaltung für Maschinen- und Systemsicherheit

Peter Nickel^{1,2}, Peter Bärenz^{1,3}, Hans-Jürgen Bischoff^{1,4}, Siegfried Radandt^{1,4}, Urs Kaufmann^{1,5}, Michael Wichtl^{1,6}, Luigi Monica^{1,7}

¹ IVSS Sektion Maschinen- und Systemsicherheit, AG Human Factors, Ergonomics and Safe Machines, Mannheim

² Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

³ Forschungsgesellschaft für Angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin (FSA), Mannheim

⁴ Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit, Sektion Maschinen- und Systemsicherheit (IVSS MSS), Mannheim

⁵ Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien, Österreich

⁶ Schweizer Unfallversicherungsanstalt (SUVA), Luzern, Schweiz

⁷ Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (INAIL), Rom, Italien

Kurzfassung

Der Beitrag zur Arbeitssystemgestaltung in der Maschinen- und Systemsicherheit wird anhand verschiedener Gestaltungsanforderungen aus Human Factors und Ergonomie beschrieben. Eine internationale Arbeitsgruppe der IVSS Sektion Maschinen- und Systemsicherheit führt wesentliche Erkenntnisse zur ergonomischen Gestaltung von Maschinen und technischen Anlagen für eine sichere und gesunde Mensch-System-Interaktion auf einer Internetplattform der Sektion zusammen. Inhalte werden kurz erläutert, Empfehlungen für die Gestaltung beispielhaft illustriert und auf relevante Normen und Fachliteratur verwiesen. Durch Digitalisierung, Vernetzung und Dynamisierung rückt die menschliche Informationsverarbeitung in Mensch-System-Interaktionen in den Fokus der Arbeitssystemgestaltung. Überlegungen zur Modellierung von Schnittstellen zwischen Mensch und technischen Systemen und besondere Herausforderungen für den Arbeitsschutz als Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz werden eingebunden. Die Internetplattform dient dem internationalen Erfahrungsaustausch zu Themen aus Human Factors und Ergonomie in der Maschinen- und Systemsicherheit und der Entwicklung von Lösungsansätzen für die Gestaltung von Mensch-System-Interaktion in zukünftigen Arbeitssystemen.

1 Human Factors, Ergonomie und Sichere Maschinen in der IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit

Die *Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS; engl.: International Social Security Association, ISSA)* setzt sich für soziale Sicherheit ein. Branchenspezifische Anforderungen zur Prävention im Arbeitsschutz und übergreifende Aufgaben werden in den 14 Sektionen der IVSS durch ihre Mitglieder und Partner bearbeitet [1].

1.1 IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit

Die IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit (IVSS-MSS) hat ihren Sitz bei der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN). Die Mitglieder und Partner der Sektion kommen derzeit aus verschiedenen europäischen und nordamerikanischen Ländern [2]. Engagement für Maschinen- und Systemsicherheit ist nicht nur national, sondern auch international erforderlich, um von jeweils nationalen Erfahrungen gemeinsam zu profitieren und um in internationalen Verbänden Arbeitsschutz effektiver umzusetzen.

In der Sektion werden derzeit fünf Themenbereiche in Arbeitsgruppen bearbeitet: Steuereinrichtungen, Digitalisierung technischer Systeme, Explosionsschutz, Human Factors / Ergonomie und Maschinensicherheit sowie Verhütung der Manipulation von Schutzeinrichtungen.

1.2 Arbeitsgruppe Human Factors, Ergonomie und Sichere Maschinen

Die internationale Arbeitsgruppe „Human Factors, Ergonomie und sichere Maschinen“ (kurz: Human Factors) der IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit präsentiert Anforderungen an die Gestaltung für eine sichere und gesunde Mensch-System-Interaktion. Gegenstände einer ergonomischen Gestaltung sind hier vorzugsweise Maschinen und technische Anlagen. Auf einer Internetplattform sind Informationen über die Sektion und ihre Arbeitsgruppen mit den jeweiligen Arbeitsgebieten zusammengestellt (Abbildung 1) [2, 3]. Im Bereich „Human Factors“ der Internetplattform beschreibt die Arbeitsgruppe das Konzept der Arbeitssystemgestaltung aus der Ergonomie [3, 4].

- Dieses Konzept bildet die Basis für die Gestaltung von Maschinen und technischen Anlagen nach Erkenntnissen aus Human Factors und Ergonomie und unter Berücksichtigung von Sicherheit, Wohlergehen und Produktivität [5]. Das Konzept systematisiert Anforderungen an eine ergonomische, sichere und gesunde Gestaltung von Arbeitssystemen. Es erleichtert eine Orientierung für den ergonomischen Gestaltungsprozess von Maschinen und technischen Anlagen. Einerseits können einzelne Themen und Empfehlungen der ergonomischen Gestaltung leichter zugeordnet werden (z. B. zur Arbeitsmittelgestaltung). Andererseits werden bei jedem Schritt im Gestaltungsprozess alle Dimensionen

der Arbeitssystemgestaltung offensichtlich, d. h. bei der ergonomischen Gestaltung von Anzeigen geht es z. B. um den Einsatzzweck (Anforderungen der Arbeitsaufgabe), die Informationsdarstellung (Anforderungen der Arbeitsmittel) und eine mögliche Blendung am Einsatzort (Anforderungen der Arbeitsumgebung).

- Die Arbeitsgruppe wählt Anforderungen an eine ergonomische Gestaltung aus und erläutert sie. Sie stellt praktische Empfehlungen für die Gestaltung anhand von Beispielen vor. Schwerpunkte sind unter anderem anthropometrische Anforderungen und solche bezogen auf die menschliche Informationsverarbeitung.
- Zur weiteren Information über ein Themenfeld wird auf relevante Normen und Fachliteratur verwiesen.
- Die Arbeitsgruppe versucht, mit den präsentierten Inhalten auch Empfehlungen für solche Arbeitsprozesse zu geben, die aktuell und zukünftig stärker von Digitalisierung, Dynamisierung und Vernetzung geprägt sind.
- Die Internetplattform wird laufend um weitere Inhalte aller Arbeitsgruppen ergänzt. Die im Folgenden dargestellte Struktur für die Inhalte gibt eine Übersicht über bereits vorhandene und zu entwickelnde Informationen für die Internetplattform und damit für den internationalen Austausch.

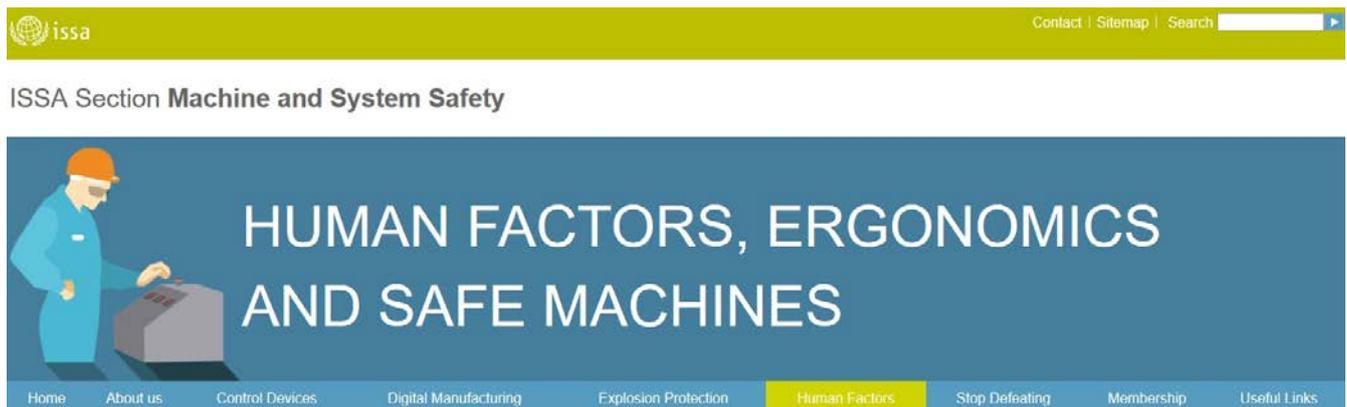


Abb. 1 Human Factors in der Maschinen- und Systemsicherheit [2, 3]

2 Arbeitssystemgestaltung für Maschinen- und Systemsicherheit

Anforderungen an eine ergonomische Gestaltung von Maschinen und technischen Anlagen zur sicheren und gesunden Mensch-System-Interaktion werden durch die Arbeitssystemgestaltung strukturiert. Die Arbeitssystemgestaltung bildet in der Ergonomie national und international ein systematisches Konzept der Analyse, Gestaltung und Evaluation von Arbeitssystemen, in denen jeweils hinreichend qualifizierte Beschäftigte in einer Arbeitsorganisation am Arbeitsplatz mithilfe von Arbeitsmitteln in ihrer Arbeitsumgebung ergonomisch gestaltete Arbeitsaufgaben bearbeiten [3, 6, 7]. Dadurch ergeben sich die Themenfelder der Arbeitsgruppe (Abbildung 2) als (1) das Konzept des Arbeitssystems, (2) das Arbeitsverhalten in der Arbeitsorganisation, (3) der Arbeitsplatz in einer Arbeitsumgebung und (4) die Arbeitsmittel für Arbeitsaufgaben, (5) die besonderen Anforderungen der digitalen Transformation sowie (6) Informationen zum Gestaltungsprozess. Für einige dieser sechs Themenfelder wurden bereits erste Inhalte erarbeitet und auf der Internetplattform eingestellt. Weitere Inhalte werden kontinuierlich ergänzt.

2.1 Die ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen

Im Arbeitsschutz (als Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz) hilft das *Konzept der Arbeitssystemgestaltung* aus Human Factors und Ergonomie die Herausforderungen von Digitalisierung, Dynamisierung und Vernetzung in Arbeits- und Produktionsprozessen zu bearbeiten. Für die Prävention werden Prozesse menschlicher Informationsverarbeitung während Mensch-System-Interaktionen besonders relevant. Mithilfe der Kriterien zur arbeitswissenschaftlichen Bewertung von Arbeitssystemen, d. h. Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit, Persönlichkeits- und Gesundheitsförderlichkeit [8] kann abgeschätzt werden, inwieweit Ziele von Human

Factors durch vorhandene oder geplante Gestaltungslösungen erreicht werden können. Durch eine Umsetzung der vorgestellten Anforderungen an eine ergonomische Gestaltung entstehen Arbeitssysteme, die höhere Ebenen der Kriterien erfüllen können.

Bedeutend ist eine prospektive Arbeitssystemgestaltung, die bereits während der Planung und Konstruktion von Maschinen und technischen Anlagen eine ergonomische Gestaltung umsetzt. Einerseits werden dadurch aufwändige Korrekturen an der fertiggestellten Maschine oder technischen Anlage vermieden. Andererseits können Ziele des Arbeitsschutzes (als Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz) leichter erreicht werden. Die Prävention von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren, die Bestandteil von Beurteilungsprozessen ist (z. B. Risikobeurteilung, Gefährdungsbeurteilung), ist immer an der Maßnahmenhierarchie des Arbeitsschutzes ausgerichtet (z. B. [9]). Strategien und Inhalte wurden dazu von der Projektgruppe präsentiert [10]. Im vorliegenden Themenfeld der Arbeitssystemgestaltung (siehe Abbildung 2) sind ebenso ergonomische Anforderungen an eine altersgerechte, barrierefreie und ergonomische Gestaltung vorgesehen, die sich auf verschiedene Personengruppen beziehen können. Während solche Anforderungen den einzelnen Gestaltungsbereichen direkt zugeordnet werden müssten, werden an dieser Stelle einzelne Anforderungen exemplarisch mit Lösungsmöglichkeiten präsentiert, damit die besondere Bedeutung im ergonomischen Gestaltungsprozess hervorgehoben wird.

2.2 Das Arbeitsverhalten des Menschen in der Arbeitsorganisation

Das Verhalten des Menschen in der Arbeitssystemgestaltung wird mit Zielen, Konzepten und Inhalten des Arbeitsschutzes als Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz verbunden (z. B. [11]). Erläuterungen zur Gestaltung der Arbeitsorganisation beziehen sich unter anderem auf eine



Abb. 2 Themenfelder zur Arbeitssystemgestaltung aus der Arbeitsgruppe Human Factors, Ergonomics and Safe Machines

Gestaltung der Arbeitszeit und geben den Bedingungen, unter denen Beschäftigte ihre Aufgaben arbeiten müssen, eine räumliche und zeitliche Struktur. Darüber hinaus werden Beziehungen zwischen Arbeitsverhalten sowie Arbeitsbedingungen durch Arbeitsleistung, Fehler im Arbeitsprozess sowie physische und psychische Arbeitsbelastung vorgestellt und erläutert.

2.3 Der Arbeitsplatz in der Arbeitsumgebung

Die Auslegung von Arbeitsplätzen bezieht sich auf die Aufgaben, die von Beschäftigten mit Arbeitsmitteln bearbeitet werden sollen [12, 13]. Daraus leiten sich z. B. Arbeitsverfahren, damit verbundene Bewegungen des Körpers, die Handhabung von Arbeitsmitteln am Arbeitsplatz und die räumlichen Anforderungen ab. Vorrangig für sitzende Körperpositionen konnten anhand von Untersuchungen zu anthropometrischen Körpermaßen und optimaler physischer Belastung ergonomische Anforderungen an optimale Greifräume ermittelt werden, die u. a. nach Häufigkeit der Greifbewegungen von beiden oder einer Hand, dem erforderlichen Kraftaufwand an der Greifposition nach bevorzugtem und maximalem horizontalem Greifraum differenziert werden können. Die Abbildung 3 skizziert einen bevorzugten und maximalen beidhändigen horizontalen Greifraum A bezogen auf die Tiefe sowie einen bevorzugten und maximalen einhändigen horizontalen Greifraum B und C bezogen auf die Breite [14]. Informationen zur Gestaltung des Arbeitsplatzes in der Arbeitsumgebung werden derzeit für die Präsentation auf der Internetplattform aufbereitet.

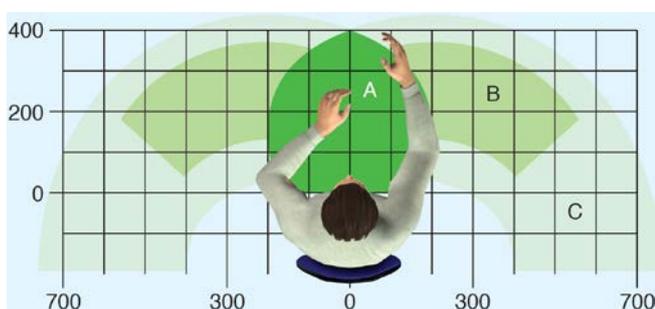


Abb. 3 Bevorzugte und maximale Greifräume für ein- und zweihändige Arbeiten (Maße in mm)

2.4 Die Arbeitsmittel für Arbeitsaufgaben

Die Gestaltung von Mensch-System-Interaktionen in der Arbeitssystemgestaltung bezieht sich auf drei miteinander verbundene Schnittstellen zum Informationsaustausch. Die ergonomische Gestaltung der Aufgabe (Aufgabenschnittstelle) ist immer der zentrale Ausgangspunkt im Gestaltungsprozess des Arbeitssystems. Ihr ist die Gestaltung der Ausführungsbedingungen der Arbeitsaufgabe untergeordnet („Primat der Arbeitsaufgabe“, [15, 12, 8]). Funktionen werden auf die beschäftigte Person und das technische System nach Anforderungen an die ergonomische Gestaltung verteilt. Das Ziel ist eine gesunde, sichere und zuverlässige Aufgabebearbeitung mithilfe von Arbeitsmitteln. Die Aufgabengestaltung bildet den Rahmen für eine ergonomische Gestaltung der *Interaktionsschnittstellen* (z. B. Anzeigen und Stellteile) und *Informationsschnittstellen* (z. B. Beschriftungen und Meldungen).

Eine der Anforderungen an eine ergonomische Gestaltung von Aufgaben für die Beschäftigten bezieht sich z. B. auf die Bereitstellung von Rückmeldungen zur Aufgabebearbeitung der Beschäftigten [16]. Für die Beschäftigten soll es möglich sein, dass sie einerseits Informationen über den Stand ihrer Aufgabebearbeitung erhalten und darüber hinaus auch bewerten und entscheiden können, ob Änderungen oder Korrekturen in der Bearbeitung ihrer Aufgaben vorgenommen werden müssen. Sie erhalten dadurch die Möglichkeit, auch selbst das Koordinieren von Interaktionen und Optimieren ihrer Arbeitsbelastung zu beeinflussen. Eine Anzeige zu Systemzustand und Bearbeitungsprozess einer Spritzgussmaschine wie in Abbildung 4 ermöglicht den Beschäftigten Rückmeldungen zur eigenen Aufgabe [3].

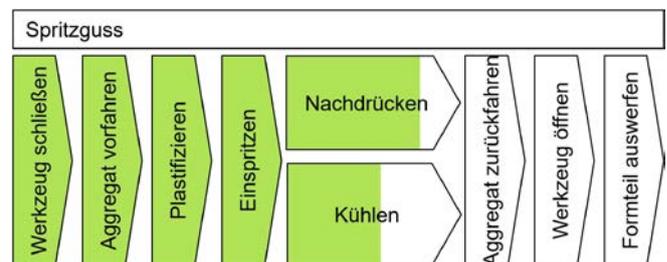


Abb. 4 Ergonomisch gestaltete Aufgaben melden Zustand und Prozess der Bearbeitung an Beschäftigte auch mithilfe einer ergonomischen Gestaltung von Arbeitsmitteln zurück

2.5 Digitale Transformation in Arbeitsprozessen

Einige Arbeitssysteme verändern sich mit fortschreitender Digitalisierung, Vernetzung und Dynamisierung in Arbeits- und Produktionsprozessen. Neue Herausforderungen für Human Factors im Arbeitsschutz liegen beispielsweise in einer dynamischen Zuweisung von Aufgaben und Funktionen zu Beschäftigten und technischen Systemen, in vernetzter technischer Intelligenz von Arbeitsumgebungen und in dynamischen Anpassungen von Risiko- und Gefährdungsbeurteilungen. Das Gestalten von Mensch-System-Interaktionen sollte sich zukünftig nicht nur auf klassisch ergonomische Anforderungen beschränken, sondern sich intensiv an Gestaltungsanforderungen aus Human Factors, bezogen auf Prozesse menschlicher Informationsverarbeitung, ausrichten [11].

2.6 Der Prozess der Arbeitssystemgestaltung

Der Prozess der Arbeitssystemgestaltung führt in Stufen von der Beschreibung und Bewertung einer Ausgangssituation über die ergonomische Gestaltung bis hin zur Evaluation. Dabei kommen verschiedene Methoden, Techniken und Strategien zum Einsatz, auf die an dieser Stelle der Internetplattform verwiesen werden soll.

3 Weitere arbeitswissenschaftliche Aktivitäten der IVSS

3.1 Arbeitsprozesse in der Arbeitsgruppe

Struktur und Inhalte zu Anforderungen der Arbeitssystemgestaltung aus der Perspektive Human Factors, Ergonomie und Sichere Maschinen werden von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe zusammengetragen, ausführlich diskutiert und für die Darstellung auf der Internetplattform aufbereitet. Da sich die Internetplattform dynamisch entwickeln wird, werden auch weiterhin Hinweise und Empfehlungen zur Erweiterung der Inhalte sowie aktive Beiträge in Form von Zuarbeit oder Mitarbeit gerne einbezogen.

3.2 Weitere Aktivitäten der IVSS im Bereich von Human Factors und Ergonomie

Fachliche Inhalte zur Arbeitssystemgestaltung, die für Maschinen- und Systemsicherheit herangezogen werden können, werden vereinzelt auch von anderen Sektionen der IVSS angeboten. So stellt die IVSS-Sektion Forschung Projektarbeiten zu arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren vor. Die IVSS-Sektion Bauwirtschaft informiert sprachunabhängig zur Sicherheit auf Baustellen und die IVSS-Sektion Chemischen Industrie stellt eine Unterweisung zu Gefahrstellen an Maschinen vor. Inhalte zur Gestaltung von Mensch-System-Interaktionen aus den Perspektiven von Human Factors, Ergonomie sowie des Arbeitsschutzes als Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz aus den bisher genannten und weiteren IVSS-Sektionen stoßen national und international auf großes Interesse [17].

Literatur

- [1] Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) [<https://ww1.issa.int/home>]
- [2] IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit (IVSS-MSS) [www.safe-machines-at-work.org/]
- [3] IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit (IVSS-MSS), WG HFESM [www.safe-machines-at-work.org/human-factors]
- [4] DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (12/2016). Beuth, Berlin 2016
- [5] International Ergonomics Association (IEA), What is Ergonomics? Definition, [<https://www.iea.cc/whats/index.html>]
- [6] *Lee, J. D.; Wickens, C. D.; Liu, Y.; Ng Boyle, L.: Designing for people. An introduction to human factors engineering.* CreateSpace, Charleston 2017
- [7] *Schmidtke, H.: Handbuch der Ergonomie (HdE) mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden (Ergänzungslieferung 9/2011).* Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz 2011
- [8] *Hacker, W.; Sachse, P.: Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten.* Hogrefe, Göttingen 2014
- [9] BGHM Information 102: Beurteilen von Gefährdungen und Belastung. Anleitungshilfe zur systematischen Vorgehensweise, sichere Schritte zum Ziel. Hrsg.: BGHM, Mainz 2016
- [10] *Wichtl, M.; Nickel, P.; Kaufmann, U.; Bärenz, P.; Monica, L.; Radandt, S.; Bischoff, H.-J.; Nellutla, M.: Improvements of machinery and systems safety by human factors, ergonomics and safety in human system interaction. Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC) 819 (2019), pp. 257–267 [doi.org/10.1007/978-3-319-96089-0_28]*
- [11] *Nickel, P.; Bärenz, P.; Radandt, S.; Wichtl, M.; Kaufmann, U.; Monica, L.; Bischoff, H.-J.; Nellutla, M.: Human-system interaction design requirements to improve machinery and systems safety. Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC) 969 (2020), pp. 3–13 [doi.org/10.1007/978-3-030-20497-6_1]*
- [12] DIN EN 614: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze (06/2009), Teil 2: Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben (12/2008). Beuth, Berlin 2008
- [13] DIN EN 894: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 1: Allgemeine Leitsätze für Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen (01/2009), Teil 2: Anzeigen (02/2009), Teil 3: Stellteile (01/2010), Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen (04/2010). Beuth, Berlin 2009
- [14] DIN EN ISO 14738: Sicherheit von Maschinen – Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen (07/2009). Beuth, Berlin 2009
- [15] *Ulich, E.: Arbeitspsychologie.* vdf Hochschulverlag, Zürich 2011
- [16] *Nickel, P.: Arbeitswissenschaftliche Kooperationen unter dem Dach der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS). Human Factors in der Systemsicherheit. DGUV Forum Fachzeitschrift für Prävention, Rehabilitation und Entschädigung 10 (2019), S. 34–35*
- [17] IVSS Gemeinschaften [www.issa.int/de/communities]

Stirnleuchten im Fahrleitungsbau

Karin Bieske¹, Sylvia Hubalek²

¹ Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau, Ilmenau

² Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Augsburg

Kurzfassung

Im Fahrleitungsbau müssen dringende Montage- und Reparaturarbeiten auch in der Nacht durchgeführt werden. In besonderen Situationen kommen zur Ausleuchtung des Arbeitsbereiches nur Helmleuchten in Frage. Bei derzeit üblichen Modellen besteht aus lichttechnischer Sicht Optimierungsbedarf.

Im Auftrag der BG ETEM wurden durch das Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau Untersuchungen für typische Arbeitssituationen vorgenommen und lichttechnische Anforderungen bestimmt. Die Ergebnisse sind:

- drei Lichtmodi sinnvoll
- soviel Licht wie nötig und so wenig Licht wie möglich
- gleichmäßige Lichtverteilung
- große Lichtkegel
- fließender Übergang vom Lichtkegel zur Dunkelheit.

Auf der Basis dieser Ergebnisse wird aktuell eine DGUV-Fachbereichsinformation Arbeiten an Oberleitungsanlagen erstellt, welche die Arbeitsstättenregel (ASR) A3.4 erläutern soll.

1 Hintergrund

Der Anhang 2 Punkt 5 der Arbeitsstättenregel (ASR) A3.4 enthält Anforderungen an die Beleuchtung von Gleisanlagen und Bahnbereichen. Konkrete Anforderungen an Oberleitungsanlagen bzw. Oberleitungsbaustellen werden dort nicht genannt.

Die Arbeitsstellen an Oberleitungen befinden sich meistens in 5,00 m bis 8,00 m Höhe. Sie reichen bis zum Mastkopf, wenn Arbeiten an Bauteilen von Masten (z. B. Schalter, Bahn-Energieleitungen, Träger usw.) durchzuführen sind.

Die Stirnleuchte, als mobile Arbeitsplatzbeleuchtung, wird am Helm angebracht. Daher wird im Weiteren auch der Begriff Helmleuchte verwendet.

Insbesondere bei kleinräumigen Arbeitsbereichen, wie dem Arbeiten auf dem Mast oder auf der Leiter, haben sich Helmleuchten bewährt. Damit kann bei Arbeiten an Oberleitungsanlagen sichergestellt werden, dass im direkten Handbereich – der die Montagearbeiten ausführende Person – die Sehaufgabe ausreichend ausgeleuchtet werden kann.

2 Die Sehaufgabe

Die Eigenschaften der Leuchte werden durch die Sehanforderungen (Größe der Sehdetails, Materialien, Kontraste usw.) und die Sehbedingungen bei Dunkelheit bestimmt. Für eine Abschätzung lichttechnischer Parameter wurden daher typische Einsatzfelder, Tätigkeiten und Sehbedingungen bei Arbeiten an Oberleitungen analysiert und Messungen der Stoffkennzahlen typischer Materialien durchgeführt.

2.1 Typische Tätigkeiten

Zu den typischen Tätigkeiten zählen (vgl. Abbildung 1):

- Arbeiten im Greifraum (Sehweiten 0,5 m)
- Gehen in der Gleisanlage (Sehweiten 3 m bis 5 m)
- Orientierungsblick zum Einsatzort und Sicherheitseinrichtungen (Sehweiten bis 10 m).

2.2 Sehdetails

Kleinste Sehdetails sind z. B. Splinte mit einem Durchmesser von 5 mm zur Lagesicherung von verbundenen Bauteilen. Gebräuchliche Materialien haben einen geringen bis mittleren Reflexionsgrad, wobei viele Materialien wie die Kupferfahrleitung, Schellen, Isolatoren oder Werkzeuge und Hilfsmittel z. T. deutlich spiegelnd glänzen.

2.3 Dunkle Umgebung

Besonders kritisch ist es nachts im unbeleuchteten Gelände. Beleuchtungsstärken betragen dann 0,1 lx bis 2 lx bei Vollmond. Für ungestörtes Sehen sollten die Helligkeitsunterschiede zwischen dem beleuchteten Objekt im Lichtkegel und der dunklen Umgebung im Idealfall 10:1 bis maximal 100:1 sein. Demnach sollte das Beleuchtungsniveau in der Arbeitsebene 1 lx bis 10 lx bzw. maximal 20 lx bis 200 lx betragen.

Das Auge passt sich an die jeweiligen Beleuchtungsverhältnisse an. Dieser Adaptationsprozess hat Einfluss auf elementare Sehfunktionen wie Sehschärfe, Farbwahrnehmung, Kontrast- und Blendempfindlichkeit. Die Dunkeladaptation benötigt einige Minuten und erst dann können auch sehr geringe Helligkeitskontraste gesehen werden, wie sie Objekte vor dem dunklen Himmel oder auf Wegen haben. Die Helladaptation erfolgt innerhalb weniger Sekunden. Zu helles Licht im Sehbereich in einer dunklen Umgebung beeinträchtigt das Sehen geringer Helligkeitsunterschiede. Außerdem blenden Lichtquellen in der Dunkelheit viel stärker als in heller Umgebung. Daher sollten Leuchten für den Fahrleitungsbau so viel Licht wie nötig und so wenig Licht wie möglich einsetzen, um die Adaptation der Augen an die Dunkelheit nicht zu stören und Blendung und damit unfallrelevante Sehstörungen zu vermeiden.

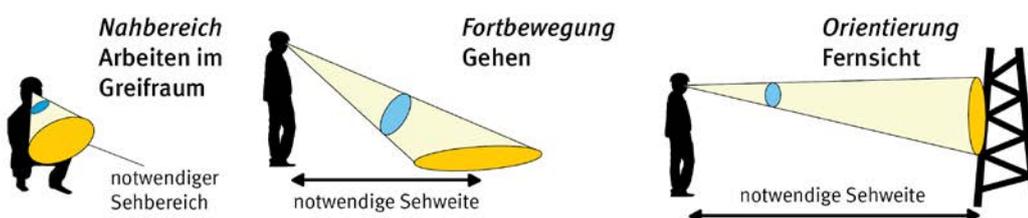


Abb. 1
Typische Tätigkeiten im Fahrleitungsbau (Quelle: IAG)

3 Leuchten

Um geeignete Leuchten empfehlen zu können, ist es notwendig, die erforderlichen lichttechnischen Parameter zu definieren. Wie viel Licht ist erforderlich? In welcher Entfernung von der Person? Wie groß muss der ausgeleuchtete Bereich sein? Wie muss das Licht innerhalb des Lichtkegels und im Übergang zur Umgebung verteilt werden? Wie lässt sich Blendungsgefährdung reduzieren?

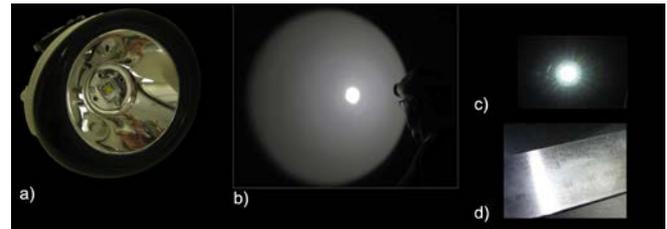


Abb. 2 a) Leuchte, die direkten Blick auf die LED erlaubt und stark blendet, b) inhomogene Lichtverteilung, c) Direktblendung und d) Reflexblendung an glänzenden Oberflächen, die das Sehen beeinträchtigen kann.

3.1 Laborversuch

Um Mindestanforderungen für Helmleuchten abschätzen zu können, erfolgte eine Laborstudie mit 22 Testpersonen im Alter zwischen 40 und 75 Jahren. Die getesteten Situationen sind beispielhaft in der Abbildung 3 gezeigt.



Abb. 3 a) Montagearbeiten im Greifraum, b) Gehen in der Gleisanlage, c) Orientierungsblick zum Einsatzort und Sicherheitseinrichtungen, d) Bewertung der Direktblendung beim Blick in einen Spiegel bei Tätigkeiten im Greifraum während der Laborstudie

Durch die drei Lichtmodi ist eine Anpassung von Lichtleistung und Lichtverteilung an die unterschiedlichen Einsatzzwecke möglich. Bei hoher Lichtleistung der Leuchte verbessert sich einerseits das Sehen im ausgeleuchteten

Bereich; jedoch nimmt auch die Blendungsgefährdung zu. Gleichzeitig reduziert sich das Sehvermögen in der dunklen Umgebung und nimmt die Leuchtdauer ab. Am besten wurden Leuchten bewertet, die über einen breiten ausgeleuchteten Bereich verfügen und es erlauben, den Sehbereich ohne zusätzliche Kopfbewegungen zu erfassen. Vorteilhaft ist ein fließender Übergang von der Helligkeit im Lichtkegel zum Dunkeln. Für die optimale Leuchte ist ein Kompromiss aus Anforderungen an Lichtstrom, Lichtverteilung, Leuchtdauer und Handhabung bei Vermeidung von Blendung und Störungen der Dunkeladaptation zu finden. Auf Basis der Messungen der Lichtstärkeverteilung und der orts aufgelösten Leuchtdichte für die Testeinstellungen war es möglich, Berechnungen und Abschätzungen für lichttechnische Parameter der Leuchte vorzunehmen.

3.2 Feldversuch

Eine Marktanalyse sowie die Vermessung und Bewertung der lichttechnischen Eigenschaften ausgewählter Stirnleuchten zeigten, dass eine Leuchte, die genau die erforderlichen Eigenschaften besitzt, derzeit auf dem Markt so nicht verfügbar ist. Es konnte ein Hersteller gewonnen werden, der Musterleuchten fertigte, deren lichttechnische Eigenschaften sich an den Empfehlungen orientieren. Diese wurden vermessen, getestet und hinsichtlich Flimmerfreiheit und Blendungsgefährdung optimiert.

Neunzehn Beschäftigte (27 bis 61 Jahre) in drei Unternehmen testeten die Leuchten im Arbeitskontext des Fahrleitungsbaus während der Nachtschicht an mehreren Tagen. Die Beurteilung erfolgte anhand von Fragebögen. Drei Beschäftigte wurden während einer Nachtschicht begleitet. Neben Angaben zu den Testbedingungen und dem Gesamturteil wurden die Bewertungen der einzelnen Leuchtmodi nach Helligkeit, Größe des ausgeleuchteten Bereichs sowie Störungen, Probleme und Hinweise erfasst.

Grundsätzlich konnte die Eignung der Testleuchte für Arbeiten im Oberleitungsbau gezeigt werden. Optimierungsbedarf bestand bei der Auslegung des Boost-Modus, der Blicke in größerer Sehentfernung erlaubt.

3.3 Lichttechnische Parameter

3.3.1 Beleuchtungsstärke

Für das Gehen im Gleisbett und die Orientierung sind aufgrund der größeren Sehdistanzen höhere Beleuchtungsstärkewerte erforderlich. Zur Vergleichbarkeit beziehen sich die Angaben zur Beleuchtungsstärke auf einen Abstand von 0,5 m senkrecht zur Leuchte.

Tabelle 1 Empfohlene Beleuchtungsstärkewerte, gemessen in 0,5 m Abstand

Einsatzzweck	Typische Sehdistanz	Beleuchtungsstärke E0 in 0,5 m Abstand
Greifraum	0,5 m	50 lx
Gehen im Gleisbett	1 m bis 2 m vor der Person	150 lx
Orientierung	bis 10 m	1 000 lx

Eine Beleuchtungsstärke im Greifraum von 50 lx scheint verglichen mit Arbeitsplätzen in Räumen wenig zu sein. Sie ist jedoch ausreichend, da sich das Auge an die dunklen Umgebungsverhältnisse anpasst (Adaptation).

3.3.2 Gleichmäßigkeit

Um gute Sehbedingungen zu schaffen, ist der Arbeitsbereich möglichst gleichmäßig auszuleuchten. Zu hohe Leuchtdichten oder große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld führen zu Blendung und Störungen des Sehens.

Im Oberleitungsbau ist es zudem sicherheitsrelevant, auch Gefahren in der Umgebung erkennen zu können. Zu helles Licht im Lichtkegel reduziert einerseits wegen der Adaptation das Erkennen geringer Helligkeitsunterschiede in der Umgebung. Andererseits kann Reflexblendung an glänzenden Teilen verursacht werden. Somit ergibt sich eine Obergrenze für die Beleuchtungsstärkewerte im Greifraum von 200 lx.

Das Licht muss zum Rand des Lichtkegels hin langsam abnehmen, um im Randbereich etwas erkennen zu können.

Abbildung 4 zeigt neben dem gleichmäßig hell ausgeleuchteten Bereich in der Mitte auch den Übergangsbereich zur Umgebung, in dem die Helligkeit langsam abnimmt. Bei $E_0/3$ beträgt die Beleuchtungsstärke noch $1/3$ bei $E_0/10$ noch $1/10$, bei einer zentralen Beleuchtungsstärke von $E_0 = 150 \text{ lx}$ also 50 lx und 15 lx .

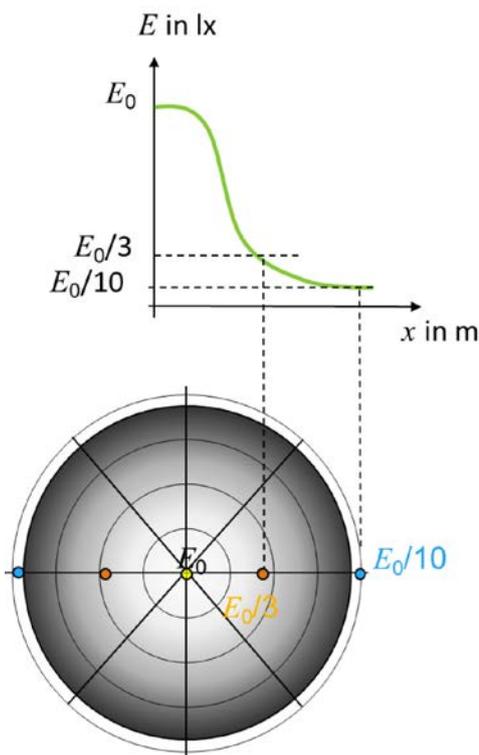
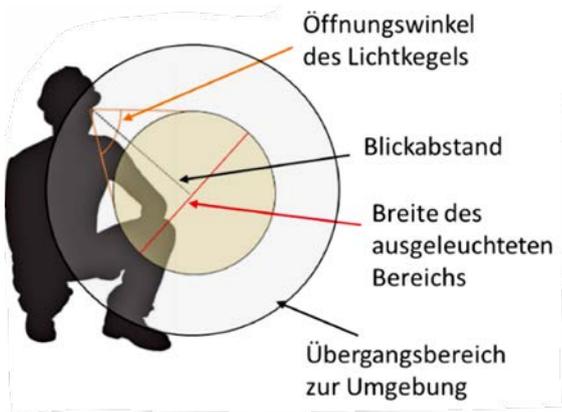


Abb. 4 Ein fließender Übergang der Helligkeit ermöglicht das Erkennen der Umgebung.

3.3.3 Öffnungswinkel des Lichtkegels

Je größer der Lichtkegel, umso größer ist auch der ohne zusätzliche Kopfbewegungen erkennbare Sehbereich.

Tabelle 2 Empfohlene Öffnungswinkel des Lichtkegels

Einsatzzweck	Lichtkegel Öffnungswinkel bei $E_0/3$	Lichtkegel Öffnungswinkel bei $E_0/10$
Greifraum	70°	75° bis 100°
Gehen im Gleisbett		75° bis 100°
Orientierung		$\approx 15^\circ$

3.3.4 Blendung

Im Oberleitungsbau wird üblicherweise in 2er- und 3er-Teams gearbeitet. Direkte gegenseitige Blendung ist aufgrund der Unfallgefahr zu vermeiden. Daher sollte

- die Lichtaustrittsfläche der Leuchte großflächig sein, da dies die Blendung reduzieren kann,
- die Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche möglichst $\leq 100.000 \text{ cd/m}^2$ betragen und
- kein direkter Blick auf den LED-Chip möglich sein.

Gelöst wird dies durch entsprechende Optiken oder Diffusoren, die über der LED-Lichtquelle angebracht sind. Diese bewirken auch eine Reduzierung störender Spiegelungen von hellen Lichtquellen auf der Sehaufgabe und hat zudem positive Auswirkungen auf den Zeitbedarf und die Qualität der Arbeit, weil Sehstörungen vermieden werden. Neben dem Einsatz einer geeigneten Stirnleuchte können hier auch deutliche Verbesserungen durch die Auswahl der Arbeitsmittel erzielt werden. Beispielsweise sollte beim Ablesen von Werten der Untergrund möglichst diffus reflektieren, die Zahlen selbst groß und mit hohem Helligkeitskontrast zum Untergrund sein.

3.3.5 Farbwiedergabe

Ein Farbwiedergabeindex Ra von mindestens 40 ist durch die marktverfügbaren Stirnleuchten gut erreichbar.

3.3.6 Flimmerfreiheit

Aktuell (Stand 2019) sind nur vereinzelt Stirnleuchten mit den o.g. Kriterien auf dem Markt erhältlich. Bei diesen wurde der Lichtstrom durch Dimmung stark reduziert. Flimmerfreiheit kann bislang nur durch die sogenannte Stromdimmung sichergestellt werden. Bei Dimmung mit Pulsweitenmodulation wurden z. T. störenden Effekte bei Bewegungen im Lichtkegel beobachtet.

4 Diskussion und Ausblick

Die Beleuchtung von Arbeiten an Oberleitungen ist nicht einfach zu realisieren. Die Arbeiten in der Höhe oder am Mast werden durch betriebstechnische Besonderheiten, wie z. B. der Konstruktion der spannungsführenden Oberleitungsanlagen, erschwert.

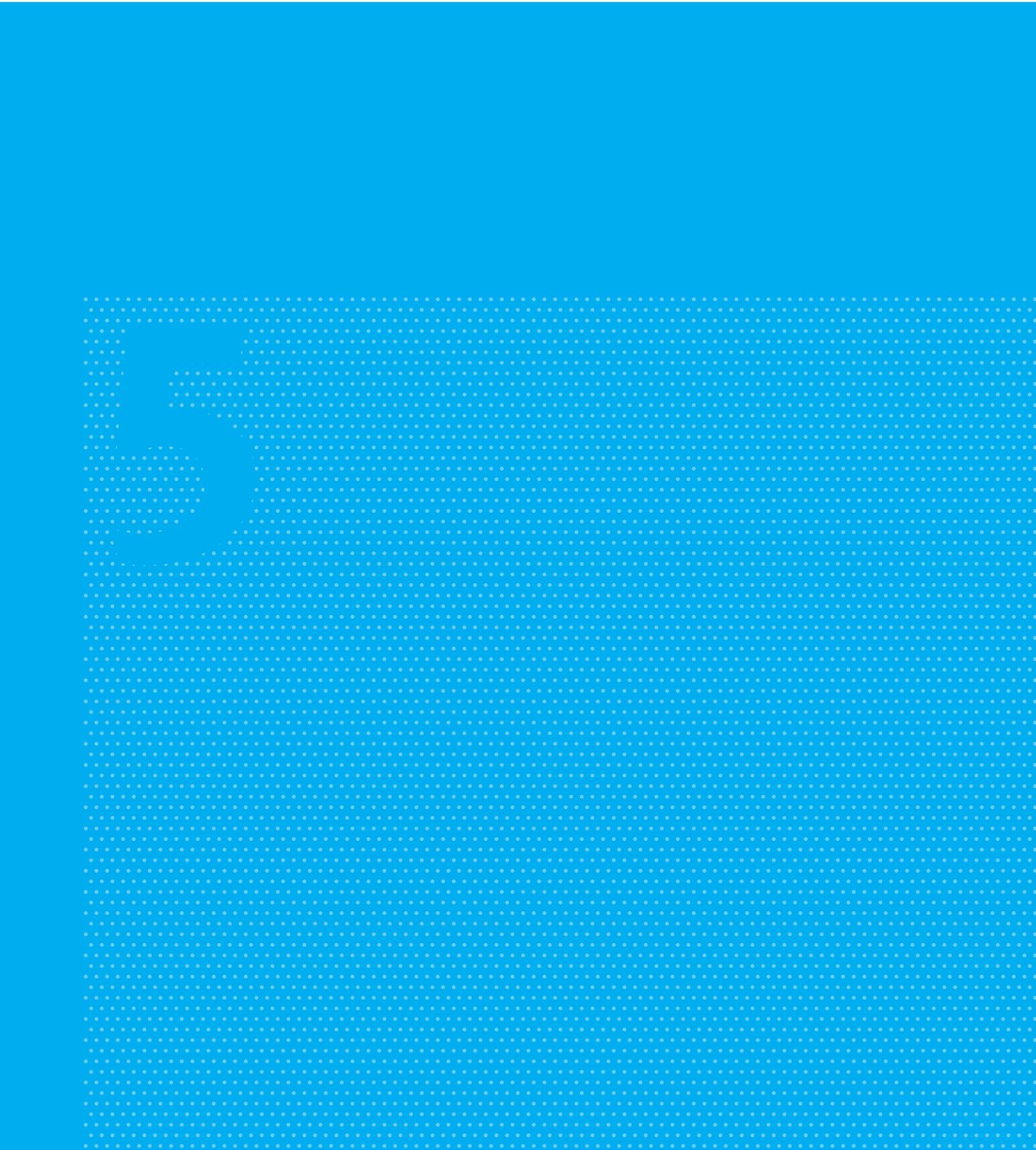
Durch die Zusammenarbeit von Berufsgenossenschaft, Versicherten und Hochschule konnte eine Grundlage für die Gefährdungsbeurteilung mit konkreten Anforderungen an die Stirnleuchten geschaffen werden.

Besteht bei bestimmten Tätigkeiten ein höherer Lichtbedarf, wie z. B. bei größeren Leuchtweiten, müssen zusätzliche Leuchten eingesetzt werden. Für planbare Baustellen sind die Anforderungen der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 zu erfüllen.

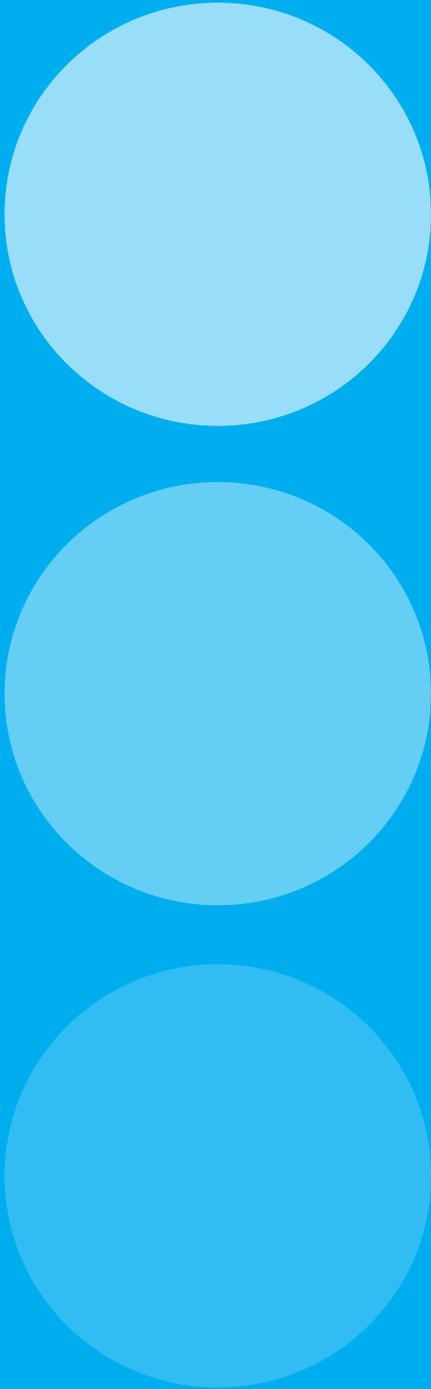
Zusätzlich wurden im Rahmen des Projektes Hinweise für die Auswahl geeigneter Leuchten und praktische Handlungsempfehlungen erarbeitet. Diese und die Ergebnisse des Projektes finden Eingang in die DGUV-Information Arbeiten an Oberleitungsanlagen als Erläuterung zur ASR A3.4.

Literatur

- [1] Arbeitsstättenregel: Beleuchtung (ASR A3.4). Ausg. 4/2011. Zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287
- [2] *Bieske, K.; Vandahl, C.; Schierz, C.*: Abschlussbericht – Projekt „Stirnleuchten im Oberleitungsbau“, im Auftrag der BG ETEM, Ilmenau, 2018; <https://www.tu-ilmenau.de/lichttechnik> → Publikationen → 2018
- [3] *Bieske, K.*: Lichtblick in der Dunkelheit – Helmleuchten im Fahrleitungsbau. etem – Magazin für Prävention, Rehabilitation und Entschädigung, Ausgabe Elektro, Feinmechanik 5/2018, S. 18–19; auch erschienen in BahnPraxis E1 2019, S. 10–12; http://etem.bgetem.de/5.2018/etem/lichtblick-in-der-dunkelheit/document_view
- [4] *Bieske, K.; Vandahl, C.; Schierz, Ch.; Holzschneider, M.; Hubalek, S.*: Anforderungen an Helmleuchten für den Einsatz im Oberleitungsbau Tagung LICHT 2018, Davos 9.–12. 9. 2018; <https://www.tu-ilmenau.de/lichttechnik> → Publikationen → 2018
- [5] *Bieske, K.; Vandahl, C.; Schierz, C.*: Abschlussbericht – Projekt „Stirnleuchten im Oberleitungsbau – Teil II“, im Auftrag der BG ETEM, Ilmenau 2019; <https://www.tu-ilmenau.de/lichttechnik> → Publikationen → 2019



Exoskelette



Forschungsprojekt Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt
Ralf Schick, Robert Weidner, Niclas Hoffmann

Methodik zur Analyse der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten
Ulrich Glitsch, Ines Bäuerle, Lisa Hertrich, Kai Heinrich, Martin Liedtke

Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten – Hoffnung oder Illusion?
Kai Heinrich, Mirko Kaufmann, Martin Liedtke, Ulrich Glitsch

Exoskelette – Aspekte der Gefährdungsbeurteilung
Martin Liedtke, Ulrich Glitsch, Kai Heinrich, Thomas Bömer, Christian Werner

Einsatz von Exoskeletten bei körperlicher Arbeit im Logistik- und Transportgewerbe
Gabriele Winter, Ulrich Glitsch, Christian Felten, Jörg Hedtmann

Forschungsprojekt „Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt“

Ralf Schick¹, Robert Weidner², Niclas Hoffmann²

¹ Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), Mannheim

² Universität Innsbruck

Kurzfassung

Der Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen hat gerade erst begonnen. In den verschiedenen Branchen zeichnen sich aber bereits jetzt zahlreiche Lösungen für die Unterstützung der Beschäftigten ab. Diese können auch teilweise käuflich erworben werden. Wie praxistauglich Prototypen in Produktions- und Logistikbereichen sind, wird von verschiedenen Unternehmen bereits untersucht. In den nächsten Jahren könnten die ersten Unternehmen Exoskelette im regulären Arbeitsprozess zur Unterstützung der Beschäftigten einsetzen.

Eine wissenschaftliche Untersuchung der möglichen Risiken, die durch die Benutzung von Exoskeletten entstehen können, ist dringend notwendig. Die Auswirkungen auf die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit müssen ermittelt und bewertet werden. Hierzu sind auch Informationen zur Wirksamkeit sowie zur Reduzierung biomechanischer und arbeitsphysiologischer Belastungen der verschiedenen Exoskelette erforderlich. Erst auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse können die Präventionsaufgaben für Exoskelette in der Arbeitswelt definiert werden.

Die Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) hat daher das Projekt „Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt“ initiiert. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Leitfadens als Hilfe für die betriebliche Praxis bei der Bewertung von Exoskeletten.

1 Einleitung

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme die mechanisch auf den Körper einwirken, um den menschlichen Bewegungsapparat zu unterstützen [1].

Mit Exoskeletten werden folgende Wirkungen angestrebt:

- Ausführbarkeit von Körperbewegungen und -haltungen
- Schädigungslosigkeit bei Körperbewegungen und -haltungen
- Beeinträchtigungsfreiheit bei Körperbewegungen und -haltungen.

Durch den Einsatz von Exoskeletten können die menschliche Leistungsfähigkeit und Einsetzbarkeit erhöht werden. Durch speziell für den Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen entwickelte Exoskelette, könnte somit bei gleich bleibender äußerer Belastung, die physische Beanspruchung der Beschäftigten bei der manuellen Handhabung von Lasten und bei Arbeiten in ungünstigen Körperhaltungen reduziert werden.

Exoskelette wurden ursprünglich für den militärischen Einsatz entwickelt, um die Belastungsgrenze der Soldaten zu erhöhen und somit deren Leistung zu steigern. Das Unternehmen General Electric entwickelte beispielsweise 1965 das Exoskelett „Hardiman“ [2] im Auftrag der US Army und US Navy. 2009 lizenzierte das Unternehmen Lockheed Martin das Exoskelett „Human Universal Load Carrier“ (HULC) für militärische Anwendungen [3]. Der HULC ist ein Exoskelett für die unteren Extremitäten mit dem beispielsweise das Gewicht eines Rucksacks in den Boden abgeleitet wird.

Auch in der medizinischen Rehabilitation unterstützen Exoskelette heute schon bewegungseingeschränkte Menschen. So wird dort beispielsweise das Exoskelett Hybrid Assistive Limb (HAL) der japanischen Firma Cyberdyne eingesetzt [4]. Dieses weit entwickelte Exoskelett wird über bioelektrische Nervensignale der Muskeln, die über Sensoren auf der Haut empfangen werden, angesteuert. Für den wirtschaftlichen Einsatz als körpergetragene Hebehilfe weniger geeignet, wird dieses System jedoch erfolgreich in der Therapie von querschnittgelähmten Patienten in Deutschland eingesetzt [5].

2 Potentieller Nutzen

An vielen gewerblichen Arbeitsplätzen müssen Beschäftigte schwere Lasten heben und tragen oder Arbeiten in ungünstigen Körperhaltungen ausführen. Der Bericht zum Stand von „Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2016“ (Su-GA 2016) hat ergeben, dass im Jahr 2016 etwa 23,5 Prozent der Erwerbstätigen schwere Lasten bewegen und 19,5 Prozent häufig in Zwangshaltungen arbeiten (gebückt, kniend, über Kopf etc.) mussten [6]. Diese Tätigkeiten können zu einer erhöhten körperlichen Belastung und bei entsprechender Dauer oder Stärke auch zu einer Gefährdung der Gesundheit führen. Dabei gelten Rückenbeschwerden als Volkskrankheit Nummer eins in Deutschland. So ergab der SuGA-Bericht weiterhin, dass 2016 etwa 23,3 Prozent aller Arbeitsunfähigkeitstage (AU-Tage) auf Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) entfallen [7]. Die Hälfte davon ist auf Rückenbeschwerden und -erkrankungen zurückzuführen. Im Vergleich zu anderen Diagnosegruppen verursachen MSE-bedingte Arbeitsunfähigkeiten jährlich die höchsten indirekten Kosten. Der Produktivitätsausfall beträgt etwa neun Milliarden Euro und der Ausfall an der Bruttowertschöpfung rund 16 Milliarden Euro [8].

Mit einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen und der Reduzierung der physischen Beanspruchung der Beschäftigten werben Entwickler und Hersteller von Exoskeletten. Durch den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen sollen Rückenbeschwerden und Muskel-Skelett-Erkrankungen sowie die darauf zurückzuführenden Fehlzeiten verringert werden. Gleichzeitig soll durch deren Einsatz die Produktivität und die Qualität gesteigert werden. Diese Argumente stoßen in vielen Unternehmen auf ein großes Interesse. Mit Exoskeletten könnten auch die immer älter werdenden Beschäftigten entlastet werden. Ebenso könnten die Einsatzmöglichkeiten von

leistungsgewandelten Personen erweitert werden. Nicht zuletzt besteht die Aussicht, dass durch den Einsatz von Exoskeletten ein Beitrag zur alters- und altersgerechten Gestaltung der Arbeit geleistet werden kann. In vielen Unternehmen der Industrie und Logistik wird daher aktuell an unterschiedlichen Arbeitsplätzen der Einsatz von Exoskeletten getestet. Im Rahmen dieser Pilotierung werden die Eignung und Wirksamkeit verschiedener Exoskelette geprüft und bewertet. Die Akzeptanz der Beschäftigten spielt hierbei ebenfalls eine Rolle und hat Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg der Pilotierung.

Das Unternehmen Otto Bock hat das passive Exoskelett Paexo (Abbildung 1) entwickelt [9]. Dieses Exoskelett soll die Schultergelenke und Oberarme der Beschäftigten bei Tätigkeiten über Schulterniveau, zum Beispiel bei Überkopparbeit in der Montage, entlasten. Die Benutzer tragen dabei das Paexo wie einen Rucksack eng am Körper. Über die Armschalen des Exoskeletts und mithilfe einer mechanischen Seilzugtechnik wird das Gewicht der erhobenen Arme auf die Hüfte abgeleitet.

Ein aktives Exoskelett ist das CRAY X des Unternehmens German Bionic (Abbildung 2). Es wurde speziell für die manuelle Handhabung von Waren und Werkzeugen konzipiert [10]. Es soll beim Heben schwerer Lasten die Druckkräfte im Lendenwirbelbereich des Rückens verringern. Die elektrischen Antriebe des CRAY X werden mit Hilfe der Sensoren eines Armbandes angesteuert, das bioelektrische Signale der Muskeln über die Haut empfangen kann. Aktive Exoskelette besitzen meist ein hohes Eigengewicht, welche durch die vorhandene Antriebstechnik und Energieversorgung (Akku) bedingt ist. Dies und die zum Teil noch recht hohen Anschaffungskosten für aktive Exoskelette sind der Grund für die aktuell geringe Akzeptanz der Industrie für diese Systeme.



Abb. 1 Passives Exoskelett Paexo Shoulder von Otto Bock, Foto: © Volkswagen



Abb. 2 Aktives Exoskelett Cray X, Foto: © German Bionic

3 Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte

Bei der Beurteilung der Gefährdungen müssen auch mögliche Risiken für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, die erst durch Einsatz eines Exoskelettes entstehen können, beachtet werden. Gemäß Arbeitsschutzgesetz muss der Unternehmer diese Gefährdungsbeurteilung durchführen. Dies gilt auch für den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. Im Rahmen dieser Gefährdungsbeurteilung sind alle Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten zu ermitteln und zu bewerten sowie wirksame Schutzmaßnahmen inklusive Unterweisungen abzuleiten und umzusetzen. Hierbei sind die Schutzziele und Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung zu berücksichtigen. Wird das Exoskelett als persönliche Schutzausrüstung eingesetzt, sind auch die Schutzziele und Anforderungen der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit zu beachten.

Aus sicherheitstechnischer Sicht könnten bei aktiven Exoskeletten, bei denen elektrische und pneumatische Antriebe die menschliche Kraft aktiv unterstützen, verstärken und auf den Körper einwirken, eine Fehlfunktion der Antriebstechnik oder ihrer Steuerung zu Verletzungen führen. Eine solche Gefährdung muss grundsätzlich durch den Inverkehrbringer mit Hilfe von geeigneten sicherheitstechnischen Maßnahmen ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für Fehlfunktionen auf Grund von Fehlbedienungen. Ebenso müssen elektrische Gefährdungen, die beim Ladevorgang oder bei Kombinationen von aktiven Exoskeletten mit Wasser z. B. mit Löschwasser im Brandfall entstehen können, ausgeschlossen werden. Es dürfen keine Kurzschlüsse ausgelöst werden, die die Beschäftigten verletzen können. Bei der Benutzung eines Exoskelettes können zusätzliche Gefährdungen im Zusammenhang mit Stolper- oder Sturzunfällen entstehen. Dabei ist das Risiko groß, dass die Beschäftigten, unter anderem aufgrund des zusätzlichen Gewichts, schwerere Verletzungen davontragen als ohne Exoskelett. Nach der Statistik zum Arbeitsunfallgeschehen 2015 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) sind etwa 21% aller meldepflichtigen Unfälle Stolper- und Rutschunfälle [11]. Diese verursachen etwa 26% aller neuen Unfallrenten. Ebenfalls muss ermittelt und bewertet werden, wie sicher und schnell eine Person mit angelegtem Exoskelett in einer plötzlichen auftretenden Gefahrensituation, z. B. im Brandfall, den Gefahrenbereich verlassen kann.

Zu beachten ist auch, dass bei den meisten Exoskeletten eine Verlagerung der Belastung (Lastumverteilung) stattfindet. D. h. die Kräfte durch die äußere Last werden nicht in den Boden abgeleitet, um beispielsweise den unteren Rücken zu entlasten, sondern an einer anderen Stelle des Körpers, z. B. Oberschenkel, wieder eingeleitet. Hierdurch

sind Druckstellen oder auch durch Reibung entstehende Verletzungen der Haut nach längerem Tragen möglich. Die Bewertung dieser und anderer Gefährdungen ist aber aktuell noch nicht möglich, da diese im Zusammenhang mit Exoskeletten noch nicht ausreichend untersucht wurden. Führt beispielsweise das arbeitstägliche Tragen eines Exoskelettes über einen längeren Zeitraum zu einer Verlagerung der Muskelaktivität, bzw. zu einer Reduzierung der Muskulatur und wie ist dies ggf. zu bewerten? Nach welcher Zeit sind bei länger andauernden Überkopfarbeiten mit Unterstützung eines Exoskelettes Durchblutungsstörungen der Arme zu erwarten? Dies sind nur zwei Beispiele für mögliche physische Auswirkungen auf die Gesundheit der Beschäftigten.

4 Überblick Exo@work

In Abstimmung mit der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) wird das Projekt „Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt“ von Wissenschaftlern der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (LFUI) und der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (HSU) in Kooperation mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) durchgeführt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen die möglichen Risiken, die durch die Benutzung von Exoskeletten entstehen können, wissenschaftlich untersucht werden. Die Auswirkungen auf die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit sollen ermittelt und bewertet werden. Hierzu sind auch Informationen zur Wirksamkeit sowie des Grades der Minderung biomechanischer und arbeitsphysiologischer Belastungen der verschiedenen Exoskelette erforderlich. Erst auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse können die Präventionsaufgaben für Exoskelette in der Arbeitswelt definiert werden.

Ziel des Projekts Exo@work ist die Entwicklung eines Leitfadens zur Evaluation von Exoskeletten für die Arbeitswelt. Aufbauend auf einer grundlegenden Analyse soll eine Vorgehensweise zur Evaluierung entsprechender Systeme erarbeitet werden. Die Validierung des methodischen Vorgehens zur Evaluation erfolgt im Rahmen von Labor- und Feldstudien mit exemplarischen Exoskeletten. Deren Auswahl soll derart erfolgen, dass eine Differenzierung zwischen möglichen grundsätzlichen Ansätzen (bspw. hinsichtlich morphologischer Struktur (Starrkörper-Exoskelette/textilbasierte Exoskelette)) und Aktuatorik (aktiv und passiv) erfolgen kann und dies in dem Leitfaden berücksichtigt werden kann. Durch dieses Vorhaben soll die Grundlage geschaffen werden, um zukünftig exoskelettale Systeme hinsichtlich ihrer biomechanischen und physiologischen Effekte zielgerichtet zu evaluieren.

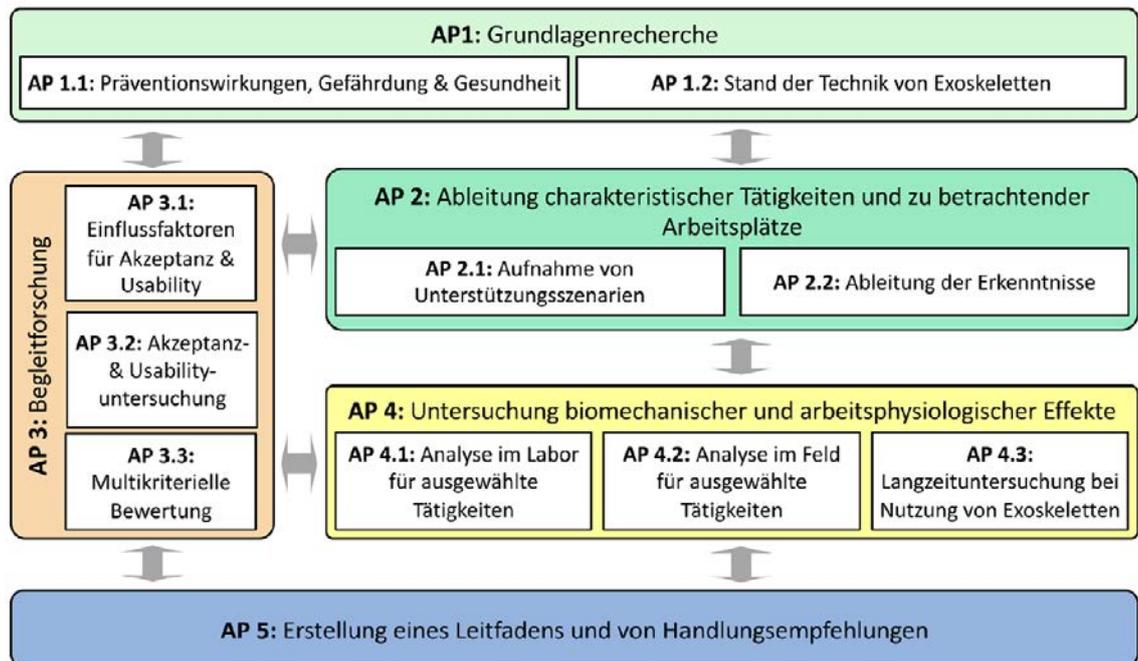


Abb. 3 Arbeitspakete Exo@work, Quelle: Prof. Dr.-Ing. Robert Weidner

Eine Systematik zur Evaluation von Systemen zur Nachweisbarkeit und des Grades der Minderung biomechanischer und arbeitsphysiologischer Belastungen inklusive begleitender Aspekte, welche beispielsweise die Akzeptanz und Usability betreffen, sind für die Überführung in die Praxis bisher nicht standardisiert, jedoch erforderlich.

Der zu entwickelnde Leitfaden greift an dieser Lücke an. In einem ersten Schritt werden relevante Grundlagen zum Stand der Forschung und charakteristischen Tätigkeitsprofilen sowie zur Präventionswirkung, Gefährdung und Gesundheit aufgenommen und systematisiert. Darauf aufbauend wird ein Methodenkatalog entwickelt und anhand

von Labor- und Feldstudien, bei der exemplarische Exoskelette zur Anwendung kommen, systematisch evaluiert sowie an die Bedürfnisse angepasst. Begleitend dazu werden übergeordnete Fragestellungen zur Akzeptanz und Usability bearbeitet sowie über eine multikriterielle Bewertung Kerneigenschaften für die Beurteilung von Exoskeletten abgeleitet. Abschließend werden die Ergebnisse in einem Leitfaden inklusive Handlungsempfehlungen zur Beurteilung zusammengefasst.

Das Projekt Exo@work hat eine geplante Laufzeit von 36 Monaten und wurde im Oktober 2018 inhaltlich gestartet.

Arbeitspaket	Quartal																																				
	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
AP 1 Dokumentation relevanter Grundlagen																																					
AP 1.1 Präventionswirkungen, Gefährdung und Gesundheit																																					
AP 1.2 Stand der Technik von Exoskeletten																																					
AP 2 Grundlegende Analyse charakteristischer Tätigkeiten																																					
AP 2.1 Aufnahme von relevanten Unterstützungsszenarien an gewerblichen Arbeitsplätzen																																					
AP 2.2 Ableitung der Erkenntnisse																																					
AP 3 Begleitforschung																																					
AP 3.1 Einflussfaktoren für Akzeptanz und Usability																																					
AP 3.2 Akzeptanz- und Usabilityuntersuchung																																					
AP 3.3 Multikriterielle Bewertung von Exoskeletten																																					
AP 4 Untersuchung biomechanischer und arbeitsphysiologischer Effekte																																					
AP 4.1 Analyse im Labor für ausgewählte Tätigkeiten																																					
AP 4.2 Analyse in Feldstudie für ausgewählte Tätigkeiten																																					
AP 4.3 Langzeituntersuchung bei Nutzung von Exoskeletten																																					
AP 5 Leitfaden und Handlungsempfehlungen																																					
AP 6 Berichterstattung und Besprechungen																																					

Abb. 4 Zeitplan Exo@work, Quelle: Prof. Dr.-Ing. Robert Weidner

Literatur

- [1] Fachbereich Handel und Logistik (FBHL): „Fachbereich AKTUELL: Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen“. FBHL 006. Ausgabe 04/2019
- [2] <http://files.gereports.com/wp-content/uploads/2010/11/GE-Hardiman-paper.pdf> – Online Verfügbar am 24. 2. 2020
- [3] <https://www.army-technology.com/projects/human-universal-load-carrier-hulc/> – Online Verfügbar am 24. 02. 2020
- [4] Nabeshima, C. et al.: Strength testing machines for wearable walking assistent robots based on risk assesment of Robot Suit, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 14.–18. 6. 2012, S. 2743–2748
- [5] Grasmücke, D. et al.: Against the odds: what to expect in rehabilitation of chronic spinal cord injury with a neurologically controlled Hybrid Assistive Limb exoskeleton. A subgroup analysis of 55 patients according to age and lesion level. Neurosurg Focus. 2017 May;42(5):E15. doi: 10.3171/2017.2.FOCUS171.
- [6] Bericht zum Stand von „Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2016“ (SuGA 2016), erstellt von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales
- [7] Ebd.
- [8] Gesundheit in Deutschland aktuell 2009, S. 107, Robert Koch-Institut 2011 – erwachsene Wohnbevölkerung ab 18 Jahre
- [9] <https://paexo.com/paexo-shoulder/> – Online Verfügbar am 24. 2. 2020
- [10] www.germanbionic.de/produkt – Online Verfügbar am 24. 2. 2020
- [11] Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2015 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)

Methodik zur Analyse der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten

Ulrich Glitsch¹; Ines Bäuerle²; Lisa Hertrich¹; Kai Heinrich¹; Martin Liedtke¹

¹ Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin

² Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE, Bonn

1 Einleitung

Aktuell werden verstärkt Exoskelette für den Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen auf den Markt gebracht. Diese mechanisch unterstützenden Systeme sollen das Muskel-Skelett-System entlasten und damit positive gesundheitliche Effekte haben. Als Exoskelett werden Konstruktionen bezeichnet, die der menschlichen Körperform folgend einzelne oder mehrere Bereiche des Körpers umschließen und durch ihre Gelenkkinematik die natürlichen Bewegungsmöglichkeiten weiterhin erlauben. Am häufigsten sind heutzutage Rücken- und Schulter-Arm-unterstützende Systeme am Markt vertreten [1].

Neben unterschiedlichen Körperregionen lassen sich Exoskelette auch hinsichtlich ihrer:

- Aktuatorik – passiv oder aktiv bzw.
- Struktur – steif oder soft

unterscheiden. Bislang sind passive Systeme mit einer mechanischen oder gasdruckunterstützten Federkonstruktion am häufigsten vertreten und nur sehr wenige verfügen über einen elektrischen oder pneumatischen Antrieb (Abbildung 1).

Im Rahmen eines vom DGUV-Fachbereich Handel und Logistik initiierten Projekts „exo@work“ beteiligt sich das IFA an der Entwicklung von Methoden und Analysen der biomechanischen Wirksamkeit von rumpfunterstützenden Exoskeletten. Das Projekt startete bereits Ende 2018 und hat eine Laufzeit von 36 Monaten.

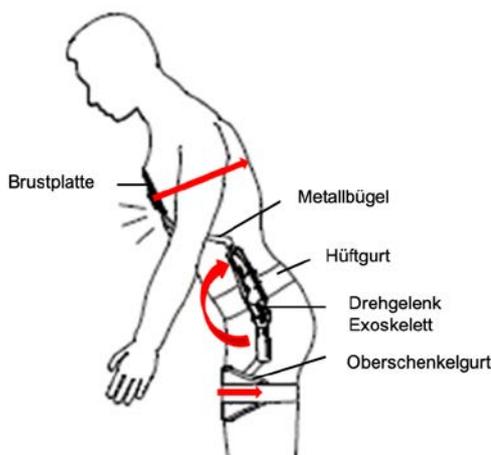


Abb. 1 Struktur und Funktionsweise des passiven Exoskeletts zur Unterstützung des Rumpfes

2 Methodik

Die als kombinierte Labor- und Feldmessung angelegte Interventionsstudie soll die biomechanischen Wirkeffekte von rumpfunterstützenden Exoskeletten bei Hebetätigkeiten und statischer Rumpfvorbeugung – aber auch die allgemeine Gebrauchstauglichkeit – evaluieren. Im Labor werden dazu von gesunden und beschwerdefreien männlichen wie weiblichen Testpersonen unter standardisierten Bedingungen verschiedene Hebetätigkeiten mit Variation des Lastgewichts ($m = 10/20 \text{ kg}$) und der Anfangshöhe ($h_0 = 40/60 \text{ m}$) sowie das statische Rumpfvorbeugen (ca. 40°) mit und ohne Halten eines Lastgewichts ($m = 10 \text{ kg}$) ausgeführt. Dabei ist jede Übung konsekutiv dreimal zu wiederholen, um ein stabileres und eingeschwungenes Bewegungsmuster zu gewährleisten. Jede Testperson absolviert den Testparcour einmal mit und einmal ohne Exoskelett, wobei die Intervention randomisiert wird, um mögliche systematische Verzerrungen zu kompensieren. Im Vorfeld bekommen die Testpersonen entsprechend ihrer persönlichen Bedürfnisse ausreichend Zeit, um sich an das Exoskelett zu gewöhnen und dies möglichst optimal hinsichtlich Passform einzustellen.

Die Haltungen und Bewegungen jeder Testperson werden mit einem 3D-Motion-Capturing-System (Vicon – 12 Cams, Vicon Motion System, GB) mit einer Abtastfrequenz von 100 Hz aufgezeichnet (Abbildung 2). Dazu



Abb. 2 Labormessung mit Motion Capturing System beim Anheben eines Lastgewichts mit Unterstützung eines Exoskeletts

müssen insgesamt 45 selbstreflektierende Marker über den ganzen Körper verteilt angebracht werden. Zusätzliche Marker am Exoskelett erlauben die Bestimmung des Beuge- und Streckverhaltens. Anhand der Federkennlinie des verwendeten Exoskeletts, die entweder aus den Herstellerangaben oder durch zusätzliche Drehmoment-Beugewinkel-Messungen ermittelt wird, kann die Unterstützungswirkung auf das Muskel-Skelett-System zu jedem Zeitpunkt berechnet werden.

Parallel dazu werden die muskelphysiologischen Aktionspotentiale (EMG) der Rückenstrecker beidseits auf Höhe der Lendenwirbelsäule und der unteren Brustwirbelsäule mit einem Vierkanal-EMG-System (Biomed, Jena) mit 1000 Hz Abtastrate aufgezeichnet. Aus den Rohsignalen werden zunächst gleitende RMS-Werte mit einer Fensterbreite von 0,2 s berechnet und diese anschließend bzgl. der isometrisch erzielten Maximalamplitude normalisiert [2].

Mit einem speziell entwickelten biomechanischen Menschmodell werden aus den zuvor beschriebenen Messdaten die Gelenkmomente – insbesondere die um L5/S1 – berechnet. Dazu werden unter Einbeziehung der äußeren Lasten im Sinne eines Top-Down-Modells mithilfe inversdynamischer Methoden die inneren Muskel-Skelett-Belastungen bestimmt (Abbildung 3). Das Exoskelett ist hierbei als eigenständiges Aktuator-System modelliert, das entsprechend der Beugewinkelabhängigen Federkennlinie eine senkrecht zur Längsachse des Rumpfes wirkende Kraft in A-P-Richtung (anterior-posterior) in der Mitte des Brustpolsters appliziert.

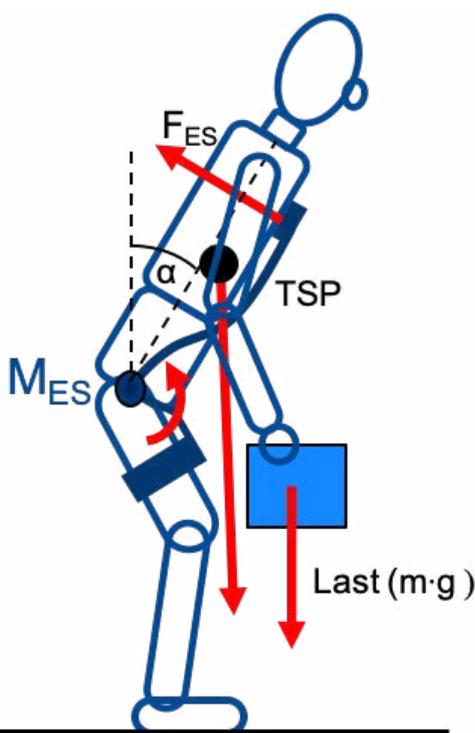


Abb. 4 Messsituation im betrieblichen Setting mit EMG-System (links) und während der Arbeit (rechts)

Bei den Feldmessungen wird das VICON-Messsystem durch ein einfacheres mobiles Messsystem – basierend auf Inertialsensoren (IMU) – ersetzt. Die Sensoren müssen dabei sowohl am Menschen wie auch am Exoskelett appliziert werden, um die Bewegungen der Person und des Exoskeletts erfassen zu können. Das EMG-System kann in gleicher Weise wie zuvor verwendet werden (Abbildung 4).

In dieser Konfiguration können Beschäftigte an ihren angestammten Arbeitsplätzen über mehrere Stunden mit und ohne Einsatz eines Exoskeletts analysiert werden. Hierbei werden nicht nur die evtl. belastungskritischen Haupttätigkeiten, sondern auch alle erforderlichen Nebentätigkeiten erfasst. Zusätzlich dienen eine Videodokumentation und ein detailliertes Tätigkeitsprotokoll einschließlich der einzelnen gehandhabten Lastgewichte zur Vervollständigung der Analyse.

Abb. 3 Biomechanisches Mehrkörpermodell zur Bestimmung des lumbalen Gelenkmoments um L5/S1 (Last = Gewichtskraft der Last, TSP=Gewichtskraft des Rumpfes einschließlich der des Kopfes, α = Beugewinkel des Exoskeletts, M_{ES} = Drehmoment des Exoskeletts, F_{ES}= Rückstellkraft des Exoskeletts). Der Teilschwerpunkt des Rumpfes inkludiert den des Kopfes. Die im Modell berücksichtigten Trägheitseffekte sind nicht in der Abbildung dargestellt.

Unmittelbar im Nachgang werden die Beschäftigten zu ihrem subjektiven Belastungsempfinden durch das Exoskelett und zur Akzeptanz des Exoskeletts befragt. Der Fragebogen lehnt sich an das Beurteilungsverfahren von Corlett und Bishop [3] an.

Anhand der Federkennlinie und des Bewegungsverhaltens der Testperson kann die Unterstützungswirkung zu jedem Zeitpunkt während der Arbeit berechnet werden. In Kombination mit den zu setzenden Tätigkeitsintervallen werden die Unterstützungswirkung aber auch evtl. störende Effekte – wie beispielsweise beim Tragen von Lasten – tätigkeitsspezifisch und kumulativ bestimmt. Somit ergibt sich hieraus ein objektives Instrument zur Beurteilung des möglichen Nutzeffekts an diesem Arbeitsplatz. Diese objektiven Messergebnisse werden mit den Befragungsdaten ergänzt und liefern so ein ganzheitlicheres Bild zur Beurteilung des Exoskeletts an diesem Arbeitsplatz.

3 Ergebnisse

Die nachfolgend beschriebenen Laborergebnisse beziehen sich auf ein kommerziell verfügbares passives rumpfunterstützendes Exoskelett, das von 12 Testpersonen (4 weiblich, 8 männlich) getestet wurde. Die Testpersonen waren durchschnittlich $35 \pm 10,2$ Jahre alt, $1,77 \pm 0,10$ m groß und $80 \pm 13,6$ kg schwer. Der BMI (body mass index) lag bei $25,2 \pm 2,5$ kg/m². Da hier vorwiegend die methodische Herangehensweise im Mittelpunkt stand, sollen die nachfolgenden Ergebnisse zum Heben von Lastengewichten nur als beispielhafter Auszug zum besseren Verständnis dienen.

Beim Anheben von Lastengewichten (20 kg) erreichten die Testpersonen maximale Hüftbeugewinkel in der tiefen Anfangsposition von durchschnittlich ca. 75°, wobei das Exoskelett in dieser Situation ein Rückstellmoment von etwa 40 Nm erzeugte und daraus eine Druckkraft von ca. 120 N am Brustpolster resultierte (Abbildung 5). Dadurch reduzierte sich das Gelenkmoment an der lumbalen Lendenwirbelsäule signifikant um durchschnittlich $0,52 \pm 0,17$ Nm/kg (bezogen auf das Körpergewicht der Testperson) (Abbildung 6).

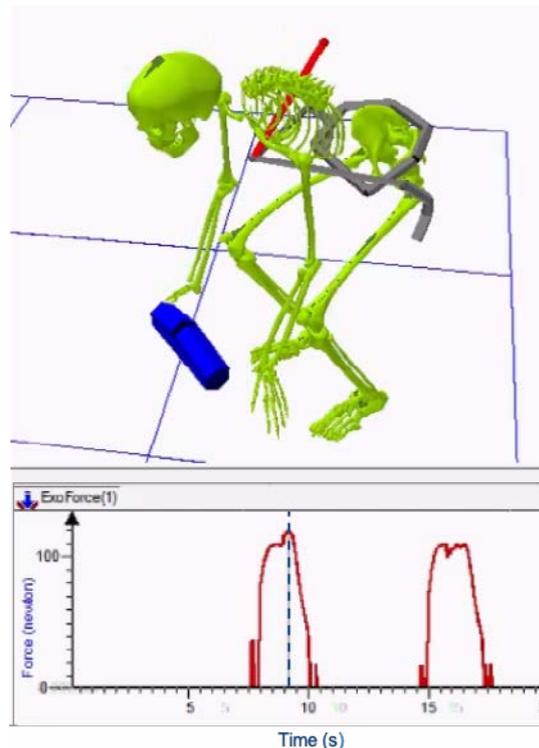


Abb. 5 Modellsimulation der Unterstützungswirkung (roter Kraftvektor) des Exoskeletts beim Anheben eines Lastgewichts mit zugehörigem Kraft-Zeitverlauf

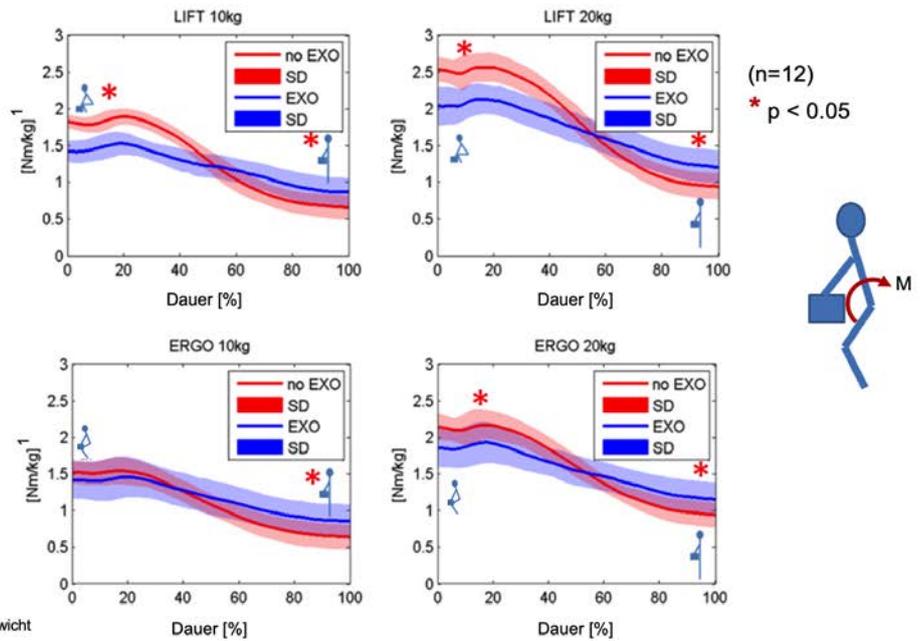
Im Verlauf des Aufrichtens bei der Lastenhandhabung verringert sich die Unterstützungswirkung des Exoskeletts zunehmend. Am Ende des Aufrichtens in nahezu gestreckter Körperhaltung war unter allen Versuchskonstellationen das lumbale Gelenkmoment mit Exoskelett zwar nur gering – aber signifikant – um durchschnittlich $0,22$ Nm/kg erhöht. Dies war durch das weiter vor dem Körper gehaltene Lastgewicht bedingt, was vermutlich auf eine Bewegungseinschränkung durch die seitlich am Brustkorb verlaufenden Metallstreben zurückzuführen ist.

Lumbalmoment L5/S1

Tiefe Ausgangslage (0,4 m)



Ergonomische Ausgangslage (0,6 m)



¹Gelenkmoment in Nm/kg¹

Abb. 6 Gemittelte Zeitverläufe des lumbalen Gelenkmoments (L5/S1) inklusive Standardabweichung (SD) – bezogen auf kg-Körpergewicht – mit (Exo) und ohne (no Exo) Exoskelett beim Anheben aus zwei unterschiedlichen Anfangshöhen (tief/ERGO) mit 10 kg und 20 kg Lastgewicht

Die EMG-Aktivität der Rückenstrecker war nur beim Anheben von Lasten aus tiefer Ausgangslage mit Exoskelett und nur hinsichtlich der Maximalwerte signifikant um $8,5 \pm 11,6\%$ MVC ($p = 0,046$) mit 10 kg bzw. $21,2 \pm 24,0\%$ MVC ($p = 0,021$) mit 20 kg Lastgewicht reduziert (Abbildung 7, Abbildung 1). Dies entspricht einer relativen Entlastung durch das Exoskelett von 17,5% bzw. 27,0%. Demgegenüber waren beim Halten des 10-kg-Lastgewichts in aufrechter Körperposition die EMG-Werte zwar nur gering – aber signifikant – zwischen 1,8 und 2,6% MVC erhöht.

Bezogen auf die gesamte Anhebephase wies die mittlere EMG-Aktivität keine signifikanten Unterschiede beim Einsatz des Exosketts auf.

Bei den Feldanalysen ist primär der Zeitanteil entscheidend, in denen das Exoskelett überhaupt nur unterstützend gewirkt haben kann – d. h. bei rumpfunterstützten Systemen die Oberkörpervorneigung hinreichend ausgeprägt war. Die bisher gewonnenen Daten im IFA aus dem Bereich der Logistik deuten an, dass selbst bei hohen Warenumsatzraten von 1t/h der wirksame Zeitanteil unter 20% der täglichen Arbeitszeit – meist jedoch noch deutlich niedriger – liegt. Demgegenüber können andere belastende Tätigkeiten, in denen das Exoskelett nicht unterstützt, wie beispielsweise das reine Tragen von Lastgewichten ins Gewicht fallen (Abbildung 8). Aber auch Nebentätigkeiten wie das Gehen – Zurücklegen freier Wegstrecken ohne Lastenhandhabung – oder das Sitzen auf einem Stuhl, wo das Exoskelett als i.d.R. störend empfunden wird, sind zu betrachten.

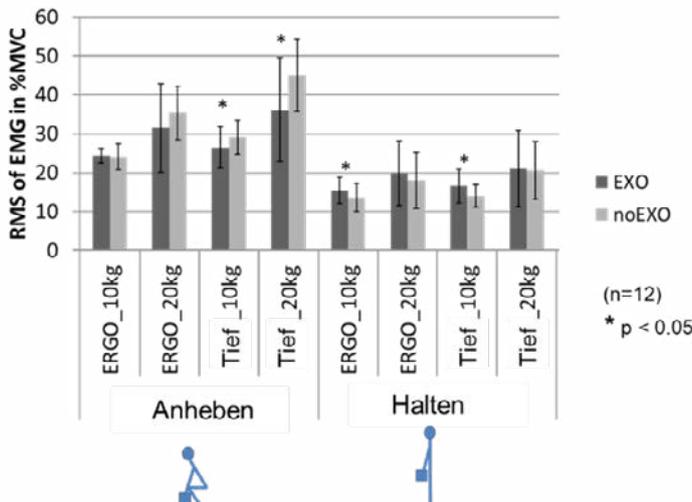


Abb. 7

Mittlere maximale Muskelaktivität der Rückenstrecker mit (Exo) und ohne (noExo) Exoskelett beim Anheben von Lastgewichten aus zwei unterschiedlichen Anfangshöhen

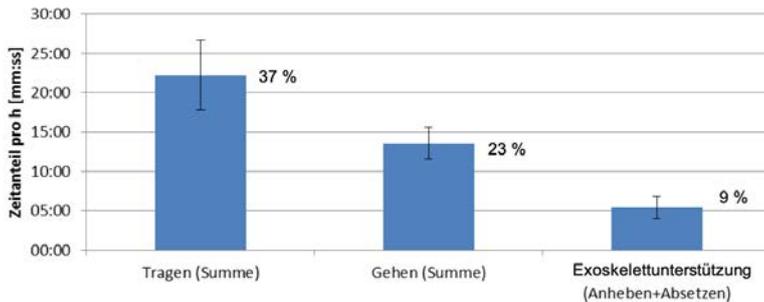


Abb. 8
Zeitliche Verteilung von Haupt- und Nebentätigkeiten in einem Logistikbetrieb

4 Diskussion und Ausblick

Die hier vorgestellte Methode ermöglicht die objektive Analyse der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten. Diese ist nicht nur unter Laborbedingungen einsetzbar, sondern zielt unmittelbar auf den Einsatz unter realen Praxisbedingungen ab. Anhand des Beugewinkels, der bei passiven Exoskeletten unmittelbar an dessen Unterstützungswirkung gekoppelt ist, wird mit einem biomechanischen Modell des Muskel-Skelett-Systems aus den Bewegungsdaten die Entlastungswirkung – hier am Beispiel der Lendenwirbelsäule (L5/S1) – berechnet.

Der Unterstützungseffekt von Exoskeletten bei exoskelettspezifischen Tätigkeiten wie beim Anheben und Absetzen von Lasten aus niedrigen Anfangs- bzw. Ablagehöhen ist zweifellos gegeben. Allerdings wirken passive und aktive Systeme nur assistierend, d. h. es werden überwiegend nur die Lastmomente der betreffenden Körperregion (teil-)kompensiert. Bei der Handhabung von Lastgewichten müssen die zusätzlichen Belastungen vom Muskel-Skelett-System eigenständig kompensiert werden. Dies führt beispielsweise in der Praxis beim Anheben eines Lastgewichts von 20 kg aus gebeugter Haltung zu einer punktuellen Reduktion der Maximalbelastung von ca. 20 %. Über die gesamte Anhebephase betrachtet verringert sich der Entlastungseffekt auf nur noch ca. 8 %. Ebenso können bei ergonomisch gestalteten Arbeitsbedingungen – respektive bei aufrechter Körperhaltung – konzeptbedingt nur noch marginale Unterstützungseffekte durch das Exoskelett erwartet werden [4].

In der betrieblichen Praxis ist die Verteilung der unterschiedlichen belastenden Tätigkeiten von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung des Nutzeffekts von Exoskeletten. Selbst bei sehr monotonen und einfach strukturierten Arbeitsaufgaben beschränkt sich der zeitliche Wirkanteil eines Exoskeletts nach den bisherigen Kenntnissen auf unter 20 % der Arbeitszeit. Neben den exoskelettspezifischen Tätigkeiten sind auch Nebentätigkeiten zu betrachten, bei denen das Exoskelett evtl. stört oder sogar zu zusätzlichen Gefährdungen führt. Hier kann die gesetzlich vorgeschriebene Gefährdungsbeurteilung, die vor dem Einsatz eines Exoskeletts durchzuführen ist, dazu dienen mögliche Problemlagen aufzudecken [5].

Nach dem bisherigen Stand der Forschung müssen noch viele weitere Arbeitsszenarien in der Praxis quantitativ untersucht werden, um mögliche gute Beispiele für den Einsatz von Exoskeletten zu finden. Darüber hinaus müssen die konkreten Anforderungen an Exoskelette weitaus präzisiert werden, damit die Entwickler dies bei der Planung neuer Systeme berücksichtigen können. Schlussendlich wird nur in solide angelegten Langzeitstudien, die Frage nach den Langzeitauswirkungen von Exoskeletten auf den Menschen beantwortet werden können.

Literatur

- [1] Exoskeleton Report: Exoskeleton Catalog. Hrsg.: Exoskeleton Report LLC. <https://exoskeletonreport.com/product-category/exoskeleton-catalog/> (abgerufen am 6. 6. 2019)
- [2] DGAUM; GfA: Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft Arbeitsmedizinische S2k-Leitlinie der Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) und der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA), 2013 <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/002-016.html> (abgerufen am: 12. 6. 2018)
- [3] Corlett, E. N.; Bishop, R. P.: A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics* 19 (1976) Nr. 2, S. 175–182
- [4] Glitsch, U.; Bäuerle, I.; Hertrich, L.; Heinrich, K.; Liedtke, M.: Biomechanische Beurteilung der Wirksamkeit von rumpfunterstützenden Exoskeletten für den industriellen Einsatz. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (2019)
- [5] IFA: Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette – Version 1.1. Hrsg. : Institut für Arbeitsschutz der DGUV, 2019 <https://www.dguv.de> Webcode: d1182315 (abgerufen am: 7. 10. 2019)

Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten – Hoffnung oder Illusion?

Kai Heinrich¹, Mirko Kaufmann^{1,2,3}, Martin Liedtke¹, Ulrich Glitsch¹

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin

² RheinAhrCampus, Hochschule Koblenz

³ Zentralinstitut für Arbeitsmedizin und Maritime Medizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Kurzfassung

Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) führen die Liste der Ursachen für Arbeitsunfähigkeitstage weiterhin an. Neben Rückenschmerzen stellen Schulterläsionen die zweitgrößte Problematik in der Gruppe der MSE dar. Eine Möglichkeit zur Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen (MSB) werden im Einsatz von Exoskeletten gesehen. Exoskelette bekommen zurzeit eine sehr hohe mediale und wissenschaftliche Aufmerksamkeit. Einerseits werden Exoskelette in Science-Fiction Filmen präsentiert, andererseits werden immer mehr reale Exoskelette zur Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen entwickelt und in Pilotversuchen an industriellen Arbeitsplätzen eingesetzt. Die Literatur bietet bislang nur eine unzureichende Evidenz bezüglich der Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten an. Oft werden nur einzelne Belastungsparameter in Laborstudien untersucht. Um aber die Frage zu beantworten, ob der Einsatz von Exoskeletten an den oberen Extremitäten eine Illusion oder eine Hoffnung zur nachhaltigen Reduktion von MSB darstellt, führt das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) ein Kooperationsprojekt zur Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten durch.

1 Einleitung

Zwischen 2008 und 2018 veränderte sich der Anteil der von Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) verursachten Arbeitsunfähigkeitstage von 24,6 % auf 21,9 % nur wenig [1; 2]. Ebenso sind die hohen Produktionsausfallkosten von 0,4 % vom Bruttonationaleinkommen im Jahr 2008 im Vergleich zu 0,5 % im Jahr 2018 konstant geblieben [1; 2]. MSE stellen, vor psychischen Erkrankungen (15,8 %) und Atemwegserkrankungen (14,6 %), nach wie vor die häufigste Ursache des Krankenstandes dar (Abbildung 1). Vor allem im produzierenden Gewerbe (25,7 %) und Baugewerbe (27,8 %) treten MSE erhöht auf [1]. Es fällt auf, dass sich die meisten durch MSE verursachten AU-Tage bei den 50- bis 64-Jährigen finden lassen [3]. Das könnte sich u. a. damit erklären lassen, dass die körperliche Leistungsfähigkeit ab einem Lebensalter von 50 Jahren vermehrt nachlässt [4] und die Personengruppe damit einhergehend ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von MSE besitzt (Abbildung 2). In der Gruppe der MSE besitzen Schulterläsionen nach Rückenschmerzen den zweitgrößten Anteil von etwa 8 % an den AU-Tagen [5]. Insgesamt gehören Schulterläsionen zu den zehn häufigsten Einzeldiagnosen (1,7 %) nach AU-Tagen [5–7]. Die hohe Prävalenz der Schulterläsionen stellt eine große Herausforderung für die Arbeitswissenschaft und medizin dar. Folglich besteht ein hoher Handlungsbedarf zur Reduktion berufsbedingter MSE der oberen Extremitäten.

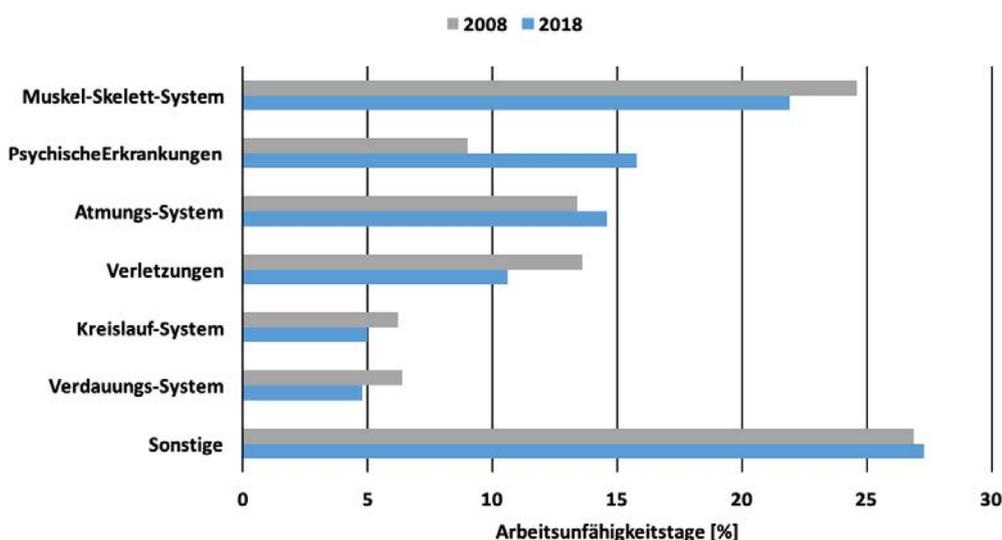


Abb. 1
Verteilung der Arbeitsunfähigkeitstage nach Diagnosegruppen zwischen 2008 und 2018 [1; 2]

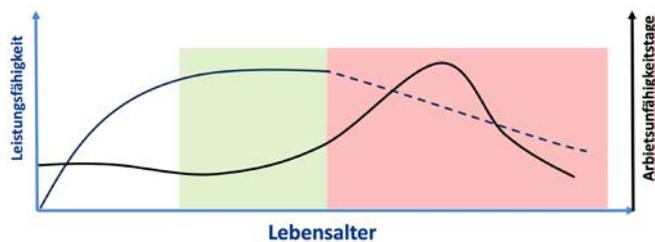


Abb. 2 Körperliche Leistungsfähigkeit und Arbeitsunfähigkeitstage in Abhängigkeit des Lebensalters. Rote Schraffur: Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit [4] und Anstieg der durch Muskel-Skelett-Erkrankungen verursachten Arbeitsunfähigkeitstage [3] ab dem 50. Lebensjahr

2 Möglichkeiten der Belastungsreduktion

Es existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten Muskel-Skelett-Belastungen bei körperlich anspruchsvollen industriellen Tätigkeiten zu reduzieren. Dies umfasst sowohl die Verhaltensprävention des Einzelnen als auch die Verhältnisprävention (strukturelle Prävention). Ziel der Verhältnisprävention ist eine zielgerichtete gesundheitsfördernde Gestaltung der Arbeitsverhältnisse und Strukturen. Nach dem § 4 Arbeitsschutzgesetz müssen auftretende Gefahren nach dem TOP-Prinzip zunächst direkt an deren Ursprung mithilfe von technischen Maßnahmen (T) beseitigt bzw. entschärft werden. Führt das nicht zum Ziel, kommen organisatorische Maßnahmen (O) zum Einsatz. Das letzte Mittel in der Hierarchie der Schutzmaßnahmen stellen die personenbezogenen Maßnahmen (P) dar. Zu den personenbezogenen Maßnahmen gehört u. a. Schutzkleidung.

In den letzten Jahren wird der Einsatz von Exoskeletten als eine Möglichkeit, die Zahl der Ausfälle aufgrund von arbeitsbedingten MSE nachhaltig zu verringern, vermehrt diskutiert. Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken [8]. Ihre hauptsächliche Aufgabe besteht in einer physischen Unterstützung durch Umverteilung der Kräfte auf weniger bedenkliche Körperregionen. Dementsprechend soll eine gezielte Entlastung bestimmter Körperregionen des Bewegungsapparates, kurzfristig eine Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen und nachhaltig einen positiven Einfluss auf die Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen bewirken.

Werden Exoskelette nach Gesichtspunkten der PSA-Benutzungsverordnung [9] betrachtet, müssen sie u. a. einen Schutz gegenüber der zu verhütenden Gefährdung bieten, ohne selbst eine größere Gefährdung mit sich zu bringen (vgl. Liedtke et al. „Exoskelette – Aspekte der

Gefährdungsbeurteilung“). Im vorliegenden Fall stellt eine hohe Muskel-Skelett-Belastung und die damit verbundene Entwicklung einer MSE die entsprechende Gefährdung dar. Das Exoskelett soll also die Muskel-Skelett-Belastung bestimmter stark belasteter Körperregionen reduzieren, ohne gleichzeitig andere Körperregionen aufgrund der Umverteilung von Kräften und Drehmomenten zu gefährden.

3 Exoskelett als Science-Fiction?

Das grundlegende Prinzip eines Exoskelettes ist relativ einfach. Es kann je nach Funktionsweise in passiv und aktiv unterteilt werden. Passive Exoskelette besitzen ausschließlich energiespeichernde oder –umlenkende Elemente wie z. B. Feder oder Seilzugsysteme. Aktive Exoskelette beinhalten zusätzliche kraftgenerierende Komponenten (Aktuatoren), wie Elektromotoren. Allerdings sind die Anforderungen an die Entwicklung eines am Arbeitsplatz einsetzbaren Exoskelettes sehr komplex. Das Exoskelett sollte einerseits komfortabel sein und eine möglichst natürliche Erscheinung besitzen. Andererseits ist seine Hauptaufgabe zuverlässig und vor allem zufriedenstellend zu funktionieren.

Das Konzept, eine Muskel-Skelett-Belastung mit einem orthetischen Exoskelett zu beeinflussen, ist nicht neu. Der Russe Nicholas Yagn reichte bereits im Jahr 1889 in den USA ein Patent über einen passiven Geh-Lauf-Sprung-Apparat ein [10]. Es stellt eines der ersten Exoskelette dar, die in der Literatur erwähnt werden. Es bestand aus einer Blattfeder, welche parallel zu den Beinen angeordnet war. Während des Bodenkontaktes sollte sie das Körpergewicht teilweise auf den Boden ableiten und so die Muskel-Skelett-Belastung der Beine reduzieren [10]. In den späten 1960er Jahren konstruierte General Electric Research den Prototyp eines Exoskelettes mit Ganzkörperantrieb. Das Exoskelett trug den Namen „Hardiman“. Es war eine hydraulisch angetriebene Maschine mit einem Gesamtgewicht von 680 kg [11]. Das erstgenannte wurde nie hergestellt [12] und das zweite stellte nur einen Prototyp dar.

Seit dem Jahr 2000 lässt sich eine wachsende Zahl von wissenschaftlichen Studien beobachten, die Effekte von Exoskeletten auf die Muskel-Skelett-Belastung untersuchten. Sucht man in der Meta-Datenbank PubMed nach dem Begriff „exoskeleton“, so erhält man in der Summe 2458 Publikationen (Stand: 31. 12. 2019). 20 % dieser Publikationen lassen sich auf die Kombination der Suchbegriffe „exoskeleton“ und „upper limb“ zuordnen. Der Anteil der Publikationen bis zum Ende des Jahres 2009 liegt bei nur 6 %. Ab 2010 kann eine wachsende Anzahl der Publikationen nach Erscheinungsjahr festgestellt werden, sodass 94 % der in PubMed gelisteten Veröffentlichungen in den

letzten zehn Jahren gefunden werden (Abbildung 3). Der Anstieg der Publikationen lässt sich einerseits aus den weiter entwickelten technischen Fortschritten erklären. Andererseits könnten auch exoskelettartige Anzüge und Maschinen, die in Hollywood-Produktionen zu sehen sind, zu dem stark gestiegenen Interesse an diesem Thema beigetragen haben. So fällt auf, dass seit dem Filmstart des Hollywood Blockbusters „Matrix“ im Jahr 1999 ein Anstieg der Publikationen zu verzeichnen ist. Darüber hinaus könnten andere Hollywood-Blockbuster, wie der zehn Jahre später erschienene Science-Fiction-Film „Avatar“ (2009), weiteres Interesse an einer Technologie geweckt haben, die Menschen mit scheinbar übermenschlichen Fähigkeiten ausstattet (Abbildung 3). Das bedeutet aber auch, dass Industrieunternehmen sich der Entwicklung von Exoskeletten vermehrt widmen und viele neuentwickelte Exoskelette auf den Markt eingeführt werden. Es liegt in der Natur der Wissenschaft, dass die für den flächendeckenden Einsatz nötige wissenschaftliche Evidenz dem Verlauf der sich ständig neu- bzw. weiterentwickelnden Exoskeletten zeitlich hinterher hinkt. Es stellt sich also die Frage, ob es eine Illusion der Science-Fiction Autoren und technischen Entwicklungsschmieden bleibt oder ob es eine Hoffnung für die nachhaltige Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen sein kann?

Zumindest unterstreicht die hohe Publikationsaktivität im vergangenen Jahrzehnt das gesteigerte wissenschaftliche Interesse an der Wirkungsweise von Exoskeletten. Dies lässt sich auch in industriellen Anwendungsfeldern beobachten. Dort wurden bereits in ersten Piloteinsätzen passive Exoskelette zur Unterstützung der oberen Extremitäten bei Überkopparbeiten eingesetzt.

Als gemeinsame Basis dient die Annahme, dass die Muskel-Skelett-Belastungen aufgrund der durch das Exoskelett erzeugten Reduktion der Schultermomente gelindert und die Entwicklung von MSE verlangsamt oder verhindert

werden können. Folglich ist die körperregionenspezifische Belastungsreduktion das vorrangige Ziel eines Exoskelettes, und damit die Verbesserung der Muskel-Skelett-Belastung. Aus diesem Grund applizieren die meisten der für die oberen Extremitäten verwendeten Exoskelette eine entsprechend gerichtete Kraft auf den Oberarm, um ein Entlastungsmoment am Schultergelenk zu generieren.

Daraus lassen sich folgende wissenschaftliche Fragestellungen ableiten. Zunächst ist es notwendig die grundsätzliche funktionelle Wirksamkeit (Überprüfung des Funktionsprinzips) der Intervention mit Exoskeletten unter kontrollierten Bedingungen in Querschnittstudien an gesunden Probanden im Labor zu überprüfen. Dazu gehört auch die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften der Exoskelette. Nur wenn die Federkennlinien der passiven Exoskelette bekannt sind, lassen sich mit Hilfe biomechanischer Modellrechnungen auf die resultierenden Gelenkmomente schließen. Die Federkennlinien könnten mit entsprechend an den Exoskeletten angebrachter Kraft-Sensorik bestimmt werden. Aus der Bestätigung der funktionellen Wirksamkeit der Exoskelette lässt sich aber noch keine nachhaltige Wirksamkeit bezüglich der Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen ableiten (biomechanische Wirksamkeit). Dafür ist es notwendig den Effekt der Exoskelette auf die Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen des menschlichen Körpers in prospektiven Feldstudien unter realen Bedingungen am Arbeitsplatz an der jeweiligen tatsächlichen Nutzergruppe zu untersuchen.

Folglich ist es die Aufgabe der Wissenschaft, die funktionelle und die biomechanische Wirksamkeit der Exoskelette zu hinterfragen, zu studieren und zu verstehen. Trotz der immer größer werdenden Zahl der Publikationen lassen sich nur wenige Studien finden, die ebendies zumindest teilweise hinsichtlich der oberen Extremitäten untersuchen.

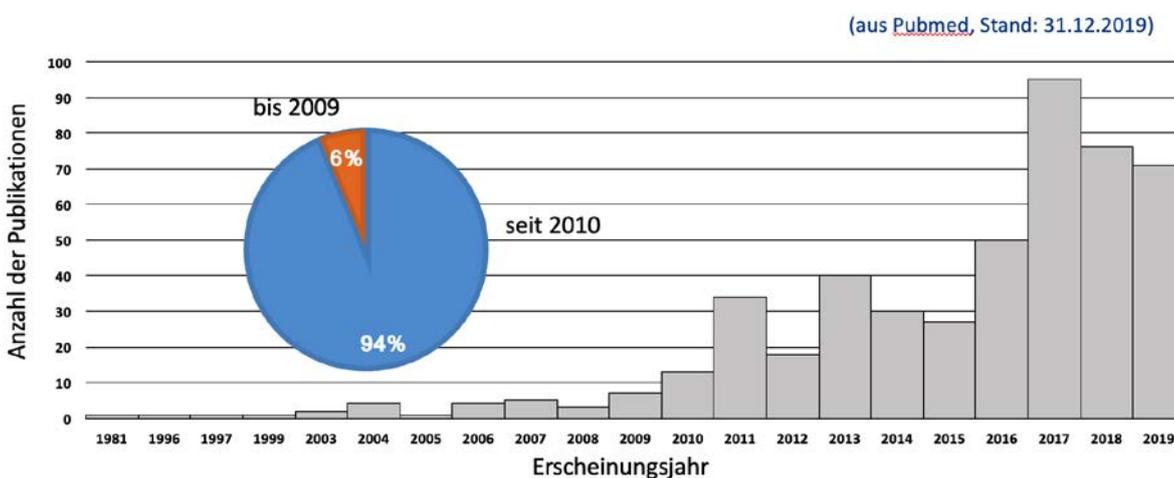


Abb. 3 Anzahl der Publikationen zum Thema „exoskeleton“ und „upper limb“ nach Erscheinungsjahr

4 Wirksamkeit von Exoskeletten

Die mit Hilfe der Elektromyografie (EMG) ermittelte Muskelaktivität stellt meist den einzigen biomechanischen/physiologischen Belastungsparameter dar. In einigen Studien konnte eine Reduktion der muskulären Aktivität der Schulter- und Nackenmuskulatur gezeigt werden. Die Studien stellten oft industrielle Arbeitstätigkeiten im Labor nach, die beispielsweise Bohren, Verdrahten, Anheben, Transportieren, Stapeln von Lasten, Montagetätigkeiten, Präzisionsaufgaben und quasistatische Überkopftätigkeiten umfassen [13–20].

Bezüglich des Einflusses eines Exoskelettes auf die antagonistischen Muskeln bei der Armelevation als auch auf die Bauch, Rumpf und Beinmuskulatur zeigen einige Studien gegensätzliche Effekte. Eine Studie konnte eine Reduktion der Muskelaktivität im M. Triceps Brachii bei der Durchführung einer nachgestellten Überkopfmontage-tätigkeit feststellen [18], während andere Studien erhöhte Muskelaktivitäten für diesen Muskel während der Nutzung eines Exoskelettes für die oberen Extremitäten beobachteten [20; 21]. Dies könnte nicht nur auf die Ausführung der unterschiedlichen Arbeitstätigkeit (z. B. Anheben und Stapeln von Lasten), sondern auch auf die Nutzung verschiedener Exoskelett-Bauarten zurückgeführt werden. Beispielsweise untersuchten Alabdulkarim & Nussbaum ein Exoskelett zur Unterstützung der Arme, während die Gruppe von Rashedi eine Exoskelett-Weste mit einem daran angebrachten mechanischen Arm zur Abstützung von Werkzeugen einsetzten [18; 21].

Das Tragen eines Exoskelettes hat nicht nur einen Einfluss auf die muskuläre Aktivität. Einige Studien ermittelten eine Veränderung der Bewegungsausführung, der Arbeitsqualität und der posturalen Kontrolle [15; 17; 20; 22]. Zusätzlich wird die Nutzbarkeit der Studienergebnisse für den Praxisbezug dadurch erschwert, dass größtenteils Laborstudien an jungen und gesunden Testpersonen (meist Studierende) durchgeführt wurden, welche nicht der Population der Endnutzer entspricht.

Neben einer Reduktion der Muskelaktivität wurden in einigen Studien auch subjektive Bewertungen analysiert. So konnte eine Verringerung der empfundenen Belastung/des Diskomforts im Bereich des Nackens, der Schultern und der Arme [16; 23; 24] identifiziert werden.

Die Autoren eines aktuellen Reviews, über die Auswirkungen aktiver und passiver Exoskelette für die oberen Extremitäten auf die physische Exposition, kommen zu der Schlussfolgerung, dass die Literatur zwar einige Hinweise über die funktionelle Wirksamkeit passiver Exoskelette für die oberen Extremitäten zur Verringerung der muskulären

Anforderungen während beruflicher Tätigkeiten anbietet [25]. Aber abgesehen davon existieren nur sehr wenige und unzureichende Anhaltspunkte für die Bestätigung der Wirksamkeit aufgrund weiterer gemessener Belastungsparameter. Den Autoren sind bisher nur einzelne veröffentlichte Studien bekannt, welche die mechanische Wirkung (Gelenkmoment, Gelenkkräfte, Gelenkkinematik, etc.) der Exoskelette auf das Schultergelenk bzw. auf den Oberarm untersuchten [17; 26]. Demzufolge lässt sich aus den Ergebnissen der genannten Studien nur eine indirekte Bestätigung der zugrundeliegenden funktionellen Wirksamkeit der jeweils im Labor untersuchten Exoskelette für die oberen Extremitäten vermuten. Wie das Exoskelett mechanisch auf den Körper wirkt, bleibt allerdings noch unbekannt.

Alle bisher genannten Studien sind Querschnittstudien und betrachten den Effekt eines Exoskelettes ausschließlich für den untersuchten kurzen Zeitraum. Langzeitstudien, welche über mehrere Monate den Einfluss der Intervention mit einem Exoskelette analysieren, sind nach aktuellem Stand kaum vorhanden. In einer Feldstudie von Smets wird von einem positiven Effekt eines Oberkörper-Exoskelettes über einen Zeitraum von drei Monaten auf das subjektive Empfinden berichtet [24]. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Studie über den Langzeiteffekt eines Exoskelettes aufgrund der niedrigen Probandenanzahl ($n = 3$) sehr gering. Folglich steht der Nachweis der nachhaltigen biomechanischen Wirksamkeit noch aus.

Zusätzlich ist ein Proband aufgrund des empfundenen Diskomforts nach zwei Wochen aus der Studie ausgetreten, was die Autoren auf Diskrepanzen zwischen der Anthropometrie des Probanden und den Herstellervorgaben zurückführten. Ähnliche Diskomfort- und Anthropometrie-Problematiken konnte in anderen Studien beobachtet werden [19; 23].

5 Studie zur Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten

Aufgrund des bestehenden Mangels an Evidenz der Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen bei der Verwendung von Exoskeletten, liegt weiterhin ein starker Bedarf an Studien vor, die den Effekt von Exoskeletten auf die Belastung des Muskel-Skelett-Systems und die Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen untersuchen [25].

In einer im Rahmen einer Kooperation mit der Firma Airbus Hamburg, dem Zentralinstitut für Arbeitsmedizin und Maritime Medizin Hamburg, der Hochschule Koblenz, den Medical Services von Airbus Hamburg und dem Institut für Arbeitsschutz der DGUV geplanten Studie zur Wirksam-

keit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten soll ein Beitrag zur übergeordneten Frage geleistet werden, ob Exoskelette möglicherweise zu einer positiven Antwort hinsichtlich Muskel-Skelett-Belastungen führen können. Dementsprechend befasst sich die Studie zunächst mit der funktionellen Wirksamkeit (grundsätzlichen Funktionsweise) und anschließend mit der nachhaltigen biomechanischen Wirksamkeit der Exoskelette. Sie gliedert sich in verschiedenen Teilstudien. In einer vorausgegangenen betrieblichen Pilot-Feldmessung im Jahr 2018 wurde die muskuloskelettale Aktivität (mittels EMG) und subjektive empfundene Belastungen bei Montagetätigkeiten mit und ohne angelegtem Exoskelett erfasst (Methodik vgl. Glitsch et al. „Methodik zur Analyse der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten“). Beschäftigte des Flugzeugherstellers führten Tätigkeiten in der Strukturmontage mit und ohne angelegtem Exoskelett für die oberen Extremitäten durch. Die Ergebnisse eines Probanden zeigten eine Reduktion der Muskelaktivität des M. Deltoideus (–5 %) und M. Trapezius (–3 %) bei der Ausführung von Bohrtätigkeiten während der Nutzung eines Exoskelettes. Bei Nietetätigkeiten mit angelegtem Exoskelett konnte eine Erhöhung der Muskelaktivität für den M. Deltoideus am rechten (+9 %) und eine Reduktion am linken Arm (–6 %) festgestellt werden. Genauso verhielt es sich beim M. Trapezius (+1,5 % bzw. –2,5 %) (Abbildung 4). Möglicherweise werden die Ergebnisse durch die besonderen Eigenschaften der Nietpistole oder die Veränderungen der für die Niettätigkeit notwendigen einarmigen Bewegungsdurchführung beeinflusst.

In einer geplanten Querschnitts-Laborstudie soll die funktionelle Wirksamkeit von drei unterschiedlichen Exoskeletten an 24 Testpersonen in vier Interventionsbedingungen bei Montagetätigkeiten an einem Demonstrator untersucht werden. Diese Studie sollte im März 2020 bei Airbus in Hamburg starten, wurde aber aufgrund der Entwicklung der „Corona Pandemie“ von Seiten der Firma Airbus und des IFA unterbrochen und bis auf weiteres verschoben. Auf Basis der Studienergebnisse wird ein Exoskelett ausgewählt, welches in einer nachfolgenden sechsmonatigen prospektiven Studie an 12 erfahrenen Beschäftigten auf seine biomechanische Wirksamkeit hinsichtlich der Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen untersucht werden soll. Die Beschäftigten werden die ausgewählten Exoskelette im Rahmen ihrer normalen innerbetrieblichen Abläufe tragen.

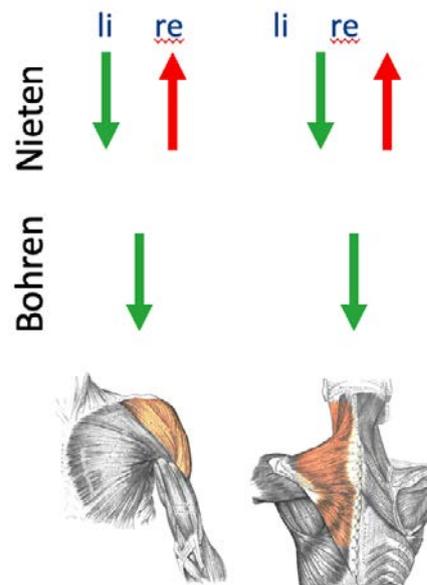


Abb. 4 Effekt eines Exoskelettes für die oberen Extremitäten auf die Muskelaktivität des M. Deltoideus und M. Trapezius beim Bohren und Nieten. Abbildung modifiziert nach Gray [27]¹

6 Fazit

Muskel-Skelett-Erkrankungen führen die Liste der Ursachen für Arbeitsunfähigkeitstage seit Jahren unverändert an. Obwohl ein dementsprechend hoher Bedarf besteht, Muskel-Skelett-Belastung zu lindern und die Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen zu reduzieren, bietet die wissenschaftliche Literatur bislang keine ausreichende Evidenz zur Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten an. Die überwiegende Zahl der Studien befassen sich nur mit einzelnen subjektiven beziehungsweise objektiven Belastungsparametern.

Es besteht die Hoffnung, dass zukünftige Studien die Wirksamkeit von Exoskeletten für die oberen Extremitäten unter bestimmten Umständen zeigen werden können. Dass Exoskelette Muskel-Skelett-Belastungen an den oberen Extremitäten verringern oder sogar die Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankung verhindern können, bleibt zu diesem Zeitpunkt folglich noch eine Illusion.

Zur Beantwortung dieser übergeordneten Fragestellung sind noch weitere Studien zur funktionellen und nachhaltigen biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten notwendig.

¹ Die Abbildung unterliegt der Gemeinfreiheit nach § 64, § 69 und § 71 des Urheberrechtsgesetzes [28]

Literatur

- [1] *BAuA: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2018: Unfallverhütungsbericht Arbeit.* (2019)
- [2] *BAuA: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2008: Unfallverhütungsbericht Arbeit.* Bundesministerium für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden 2010
- [3] *Knieps, F.; Pfaff, H.; BKK Dachverband (Hrsg.): Arbeit und Gesundheit Generation 50+: Zahlen, Daten, Fakten.* Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin 2018
- [4] *Kenney, W. L.; Wilmore, J. H.; Costill, D. L.; Wilmore, J. H.: Physiology of sport and exercise.* Human Kinetics, Champaign (Illinois) 2012
- [5] *Knieps, F.; Pfaff, H.; Adli, M.; BKK Dachverband: Psychische Gesundheit und Arbeit Zahlen, Daten, Fakten.* Berlin 2019
- [6] *Meyer, M.; Maisuradze, M.; Schenkel, A.: Krankheitsbedingte Fehlzeiten in der deutschen Wirtschaft im Jahr 2018 – Überblick.* In: *Badura, B.; Ducki, A.; Schröder, H.; Klose, J.; Meyer, M. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2019.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2019, S. 413–477
- [7] *Grobe, T. G.; Steinmann, S.; Gerr, J.: Gesundheitsreport 2018.* Schriftenreihe Zur Gesundheitsanalyse (2018), S. 133
- [8] *Schick, R.: Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen.* DGUV Forum (2018) Nr. 1–2, S. 8–11
- [9] *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung – PSA-BV).* (1996)
- [10] *Yagn, N.: Apparatus for facilitating walking, running, and jumping.* (1890)
- [11] *Mizen, N. J.: Powered exoskeletal apparatus for amplifying human strength in response to normal body movements.* (1969)
- [12] *Dollar, A. M.; Herr, H.: Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art.* IEEE Trans. Robot. (2008) Nr. 24, S. 144–158
- [13] *Huysamen, K.; Bosch, T.; de Looze, M.; Stadler, K. S.; Graf, E.; O’Sullivan, L. W.: Evaluation of a passive exoskeleton for static upper limb activities.* Appl. Ergon. (2018) Nr. 70, S. 148–155
- [14] *Kim, S.; Nussbaum, M. A.; Mokhlespour Esfahani, M. I.; Alemi, M. M.; Alabdulkarim, S.; Rashedi, E.: Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I – „Expected“ effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance.* Appl. Ergon. (2018) Nr. 70, S. 315–322
- [15] *Kim, S.; Nussbaum, M. A.; Mokhlespour Esfahani, M. I.; Alemi, M. M.; Jia, B.; Rashedi, E.: Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II – „Unexpected“ effects on shoulder motion, balance, and spine loading.* Appl. Ergon. (2018) Nr. 70, S. 323–330
- [16] *Kim, S.; Nussbaum, M. A.: A Follow-Up Study of the Effects of An Arm Support Exoskeleton on Physical Demands and Task Performance During Simulated Overhead Work.* IISE Trans. Occup. Ergon. Hum. Factors (2019) Nr. 7, S. 163–174
- [17] *Maurice, P.; Camernik, J.; Gorjan, D.; u. a.: Objective and Subjective Effects of a Passive Exoskeleton on Overhead Work.* IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. (2019), S. 1–1
- [18] *Rashedi, E.; Kim, S.; Nussbaum, M. A.; Agnew, M. J.: Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work.* Ergonomics (2014) Nr. 57, S. 1864–1874
- [19] *Spada, S.; Ghibaudo, L.; Gilotta, S.; Gastaldi, L.; Cavatorta, M. P.: Investigation into the Applicability of a Passive Upper-limb Exoskeleton in Automotive Industry.* Procedia Manuf. (2017) Nr. 11, S. 1255–1262
- [20] *Theurel, J.; Desbrosses, K.; Roux, T.; Savescu, A.: Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks.* Appl. Ergon. (2018) Nr. 67, S. 211–217
- [21] *Alabdulkarim, S.; Nussbaum, M. A.: Influences of different exoskeleton designs and tool mass on physical demands and performance in a simulated overhead drilling task.* Appl. Ergon. (2019) Nr. 74, S. 55–66

- [22] Sylla, N.; Bonnet, V.; Colledani, F.; Fraise, P.: Ergonomic contribution of ABLE exoskeleton in automotive industry. *Int. J. Ind. Ergon.* (2014) Nr. 44, S. 475–481
- [23] Liu, S.; Hemming, D.; Luo, R. B.; u. a.: Solving the surgeon ergonomic crisis with surgical exosuit. *Surg. Endosc.* (2018) Nr. 32, S. 236–244
- [24] Smets, M.: A Field Evaluation of Arm-Support Exoskeletons for Overhead Work Applications in Automotive Assembly. *IISE Trans. Occup. Ergon. Hum. Factors* (2019) Nr. 7, S. 192–198
- [25] McFarland, T.; Fischer, S.: Considerations for Industrial Use: A Systematic Review of the Impact of Active and Passive Upper Limb Exoskeletons on Physical Exposures. *IISE Trans. Occup. Ergon. Hum. Factors* (2019) Nr. 7, S. 322–347
- [26] Zhou, L.; Bai, S.; Andersen, M. S.; Rasmussen, J.: Modeling and Design of a Spring-loaded, Cable-driven, Wearable Exoskeleton for the Upper Extremity. *Model. Identif. Control Nor. Res. Bull.* (2015) Nr. 36, S. 167–177
- [27] Gray, H.: *Anatomy of the human body.* Lea & Febiger, Philadelphia 1918
- [28] Urheberrechtsgesetz vom 9. September 1965 (BGBl. I S. 1273), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. November 2018 (BGBl. I S. 2014) geändert worden ist. (2018)

Exoskelette – Aspekte der Gefährdungsbeurteilung

Martin Liedtke¹, Ulrich Glitsch¹, Kai Heinrich¹, Thomas Bömer², Christian Werner²

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Fachbereich „Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen“, Sankt Augustin

² Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Fachbereich „Unfallprävention: Digitalisierung-Technologien“, Sankt Augustin

Kurzfassung

Auch für die Nutzung von Exoskeletten ist eine Gefährdungsbeurteilung nach Paragraph 5 „Beurteilung der Arbeitsbedingungen“ des Arbeitsschutzgesetzes [1] erforderlich. Passive Exoskelette weisen ähnliche Gefährdungen wie Persönliche Schutzausrüstungen (PSA) auf. Für Exoskelette kann auch auf Erfahrungen und Handlungshilfen zur Behandlung der Gefährdungen durch Körperkontakt von Menschen mit Robotern aus dem Bereich der kollaborierenden Roboter zurückgegriffen werden. Das IFA hat für Hersteller, Prüfstellen, Arbeitsschutzexperten und Anwender auf der Grundlage öffentlich dokumentierter Erkenntnisse (z. B. EU-Richtlinien, EU-Verordnungen, harmonisierte Normen) und der eigenen Erfahrungen eine Auflistung aller relevanter, zu beachtender Gefährdungen bei der Nutzung von Exoskeletten [2] zusammengestellt.

1 Einleitung

Das Forschungsprojekt „Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt“ wird im Rahmen einer Forschungs Kooperation zwischen dem Institut für Mechatronik der Universität Innsbruck (Österreich) und dem DGUV-Fachbereich Handel und Logistik durchgeführt. An diesem Projekt ist auch das IFA beteiligt [3]. Dem IFA fiel die Aufgabe zu, eine Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette sowohl für den Einsatz im Labor als auch in Betrieben zu erarbeiten. Gründe für die Durchführung dieses Projektes war das Fehlen gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse zur Wirksamkeit sowie zu möglichen Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit und zu Langzeitfolgen durch die Nutzung von Exoskeletten. Es gab weder Verfahren zur Bewertung von Exoskeletten am Arbeitsplatz noch Handlungshilfen für die Nutzung von Exoskeletten in der Praxis. Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt des IFA in diesem Projekt liegt in der biomechanischen Analyse des Wirkeffekts von rumpf- bzw. hüftunterstützenden Exoskeletten und der ergonomischen Evaluation in der betrieblichen Praxis. Für die Ermittlung der zu beachtenden Aspekte bei der Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung, die sowohl vom Hersteller als auch vom Exoskelett einsetzenden Unternehmen nach geltenden europäischen gesetzlichen Regelungen durchgeführt werden muss, erschien das IFA im Kreis der Projektpartner besonders geeignet, da es auch seine Kompetenzen als Notifizierte Stelle für die Maschinen-Richtlinie [4] und für die PSA-Verordnung [5] einbringen konnte.

Die vom IFA erarbeitete Muster-Gefährdungsbeurteilung sollte zunächst den Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt werden. Sie sollte das Auffinden und Beurteilen von Gefährdungen für die Anwender erleichtern und somit zum sicheren Einsatz von Exoskeletten in der Praxis beitragen. Aufgrund der großen Nachfrage von außen wurde die Muster-Gefährdungsbeurteilung schon veröffentlicht [2], bevor sie vom Konsortium umfangreich getestet werden konnte.



Abb. 1 IFA-Website zur Muster-Gefährdungsbeurteilung

2 Spezielle EU-Produkt-Richtlinien/-Verordnungen

Exoskelette können unter spezielle europäische Produkt-Richtlinien/-Verordnungen fallen. Als Beispiele seien hier die Medizinprodukteverordnung der EU [6], die PSA-Verordnung der EU [5] und die Maschinenrichtlinie der EU [4] genannt. Diese europäischen, gesetzlichen Vorschriften fordern schon von den Herstellern im Rahmen der Entwicklung und Produktion eine Beurteilung hinsichtlich der Gefährdungen, die für die Benutzer und Dritte vom Produkt ausgehen können. Auch wenn ein technisches Produkt nicht unter diese Vorschriften fällt, muss ein Hersteller im Rahmen seiner allgemeinen Produkthaftung immer eine entsprechende Gefährdungs- bzw. Risikobeurteilung durchführen.

3 Rechtliche Grundlagen – Hersteller

Häufig wird verkürzend vom „Produkthaftungsrecht“ gesprochen. Darunter fallen aber drei verschiedene Rechtsbereiche:

1. Im Bereich des „Produkthaftungsrechts“ hat eine geschädigte Person zivilrechtlich einen Anspruch auf Ersatz aller ihr entstandenen Schäden, wenn es mit einem gefährlichen Produkt (zum Beispiel einer Maschine) zu einem Unfall kommt.

2. Wenn der Unfall kein Zufall, sondern menschliches Fehlverhalten war, wird die Staatsanwaltschaft im Rahmen der „strafrechtliche Produkthaftung“ eine strafrechtliche Untersuchung beginnen, die zu einer strafgerichtlichen Verurteilung führen kann.
3. Wenn staatliche Produktsicherheitsbehörden (zum Beispiel Gewerbeaufsichtsämter) einem Produkt dessen nicht akzeptable Gefährlichkeit nachweisen, können sie nach „Produktsicherheitsrecht“ intervenieren. Dies ist ihnen selbst dann möglich, wenn es noch gar nicht zu Unfällen gekommen ist. Produktsicherheitsrecht ist daher präventiver Verbraucherschutz beziehungsweise vorbeugendes Arbeitsschutzrecht.

Das herstellende Unternehmen hat daher auch im eigenen Interesse gute Gründe, seine Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung gewissenhaft durchzuführen. Ergebnisse der Hersteller- Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung finden sich in der Benutzerinformation wieder und können (bei Eignung in Teilen oder vollständig) auch vom Unternehmen genutzt werden.

4 Rechtliche Grundlagen – Arbeitgeber

Der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin ist nach Arbeitsschutzgesetz [1], § 5, verpflichtet, vor Verwendung von Arbeitsmitteln eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Außerdem ist er bzw. sie verantwortlich für die sichere Bereitstellung und Benutzung der im Unternehmen verwendeten Arbeitsmittel (§ 3 Betriebssicherheits-Verordnung [7]). Fachkunde für die Gefährdungsbeurteilung kann gesetzlich gefordert sein (z. B. nach [7] für Arbeitsmittel).

Das Vorhandensein einer CE-Kennzeichnung am Arbeitsmittel entbindet nicht von der Pflicht zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung [7, § 3 (1)] (nach PSA-Benutzungsverordnung [8] darf der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin nur PSA mit CE-Zeichen bereitstellen).

Nach PSA-Verordnung [5], Anhang II, Vorbemerkungen sind vom Hersteller bei Entwurf und Herstellung der PSA und bei Verfassung der Anleitungen nicht nur die bestimmungsgemäße Verwendung, sondern auch die normalerweise vorhersehbaren Verwendungen zu berücksichtigen. Zudem muss die Benutzerinformation Hinweise zu Verwendungsgrenzen enthalten (z. B. nach [5]), die das Unternehmen im Rahmen seiner Verantwortung berücksichtigen muss.

Ergibt sich im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz die Notwendigkeit von Maßnahmen (Beschaffung von Arbeitsmitteln, PSA, ...), so hat der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin (nach z. B. BetrSichV [7], PSA BV [8]) eine zweite Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, die auch die Gefährdungen erfasst, die durch diese Maßnahmen entstehen können. In diese Beurteilung sind alle Gefährdungen einzubeziehen, die bei der Verwendung von Arbeitsmitteln/PSA ausgehen, und zwar von (BetrSichV [7]):

- den Arbeitsmitteln selbst,
- der Arbeitsumgebung und
- den Arbeitsgegenständen, an denen Tätigkeiten mit Arbeitsmitteln durchgeführt werden.

Dabei sind unter „Tätigkeiten“ bei Verwendung von Exoskeletten auch die Tätigkeiten zu betrachten, die in Alltags- oder auch Ausnahmesituationen (Pause, Feueralarm, Anwendender erleidet Schwächeanfall ...) ausgeübt werden.

Die umfassende Betrachtung erfordert auch, dass im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung § 10 des Mutterschutzgesetzes der BRD [9] berücksichtigt werden muss, was die Betrachtung von Gefährdungen für werdende Mütter und ungeborene Kinder zur Folge hat.

Nach PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV [8]; EU: 89/656/EWG [10]) müssen PSA

- Schutz gegenüber der zu verhütenden Gefährdung bieten, ohne selbst eine größere Gefährdung mit sich zu bringen
- für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet sein
- den ergonomischen Anforderungen und den gesundheitlichen Erfordernissen der Beschäftigten entsprechen
- bei Benutzung einer Ausrüstung durch verschiedene Beschäftigte ohne Gesundheitsgefahren oder hygienische Probleme verwendet werden können
- bei Bedarf kompatibel mit anderen PSA sein
- ordnungsgemäß gewartet, repariert und ersetzt sowie gelagert werden
- mit Unterweisungen angeboten werden; soweit erforderlich Schulung in der Benutzung; Bereitstellung von Benutzerinformationen in verständlicher Form und Sprache

5 Was können Erfahrungen im Bereich PSA abdecken?

Wenn eine Ausrüstung dazu entworfen und hergestellt wurde, um gegen ein oder mehrere Risiken für die Gesundheit oder die Sicherheit der benutzenden Person zu schützen und von der benutzenden Person getragen oder gehalten wird, dann ist es nach PSA-Verordnung eine PSA!

Für detaillierte Anforderungen, wie sie in „Grundlegenden Gesundheitsschutz- und Sicherheitsanforderungen“ (Anhang II der PSA-Verordnung [5]) gelistet sind, und für Prüfverfahren für Exoskelette können PSA-Normen für z. B. Beweglichkeit mit Atemschutz und/oder Schutzanzügen und/oder PSA gegen Absturz herangezogen werden.

Der Anhang II der PSA-Verordnung [5] stellt Anforderungen u. a. an „**Ergonomie**“, „**Schutzgrade und Schutzklassen**“, „**Unschädlichkeit der PSA**“, „**Höchstzulässige Behinderung des Nutzers**“, „**Bequemlichkeit und Effizienz**“, „**Anleitungen und Informationen des Herstellers**“, „**PSA mit Verstellsystem**“, „**PSA, die die zu schützenden Körperteile umhüllen**“, „**PSA, die einer Alterung ausgesetzt sind**“, „**PSA, die bei ihrer Benutzung mitgerissen werden können**“, „**PSA zur Verwendung in explosionsfähigen Bereichen**“, „**PSA mit vom Nutzer einstellbaren oder abnehmbaren Bestandteilen**“ und „**PSA für mehrere Risiken**“.

Im Folgenden einige Auszüge im Detail:

1.1.2.1 Optimaler Schutzgrad

Als optimaler Schutzgrad, dem bei dem Entwurf Rechnung zu tragen ist, gilt der Schutzgrad, bei dessen Überschreitung die Beeinträchtigung beim Tragen der PSA einer tatsächlichen Benutzung während der Risikodauer oder einer normalen Ausführung der Tätigkeit entgegenstehen würde.

1.1.2.3 Höchstzulässige Behinderung des Nutzers

Jede durch die PSA hervorgerufene Behinderung bei den durchzuführenden Handlungen, den einzunehmenden Körperhaltungen sowie bei der Sinneswahrnehmung ist auf ein Mindestmaß zu beschränken. Außerdem darf die Nutzung von PSA nicht zu Handlungen führen, die den Nutzer gefährden könnten.

1.3.1 Anpassung der PSA an die Gestalt des Nutzers

PSA müssen so entworfen und hergestellt werden, dass sie so einfach wie möglich dem Nutzer in der geeigneten Position angelegt werden können und während der vorhersehbaren Tragedauer unter Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen, der auszuführenden Handlungen und der einzunehmenden Körperhaltungen in ihrer Position bleiben. Dazu müssen PSA mit allen geeigneten Mitteln wie passenden Verstell- und Haltesystemen oder einer ausreichenden Auswahl an Größen so gut wie möglich an die Gestalt des Nutzers angepasst werden können.

1.3.2 Leichtigkeit und Festigkeit

Unbeschadet ihrer Festigkeit und Wirksamkeit müssen PSA so leicht wie möglich sein. PSA müssen zusätzliche besondere Anforderungen erfüllen, damit ein wirksamer Schutz vor den Risiken, für die sie bestimmt sind, gewährleistet ist, und eine ausreichende Festigkeit gegen die unter den voraussehbaren Einsatzbedingungen üblichen Umweltbedingungen aufweisen.

6 Was können Erfahrungen im Bereich Maschinen abdecken?

Exoskelette sind gemäß der bekannten Definition nach DIN EN ISO12100 [11] – als Maschine anzusehen, da sie eine „mit einem Antriebssystem ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen [bilden], von denen mindestens eine(s) beweglich ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind“.

Nach Artikel 2 „Begriffsbestimmungen“ der Maschinen-Richtlinie [4] *bezeichnet der Ausdruck „Maschine“ „eine mit einem anderen Antriebssystem als der unmittelbar eingesetzten menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines bzw. eine beweglich ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind; ...“.*

Die Norm DIN EN ISO 13482 [12] zu persönlichen Assistenzrobotern bezeichnet ein Exoskelett als am Körper fixierten bewegungsunterstützenden Roboter, der während der Anwendung an einer Person befestigt ist. Als relevante Gefährdungen durch den Betrieb/das Tragen werden folgende aufgeführt:

- im Zusammenhang mit dem Laden der Batterie
- durch Energiespeicherung und -versorgung
- durch Einschalten des Roboters
- aufgrund der Form des Roboters
- durch Emissionen
- durch elektromagnetische Störung
- durch Stress, Körperhaltung und Benutzung
- durch die Bewegung des Roboters
- durch unzureichende Haltbarkeit
- durch falsche autonome Entscheidungen und Handlungen
- durch Kontakt mit beweglichen Bauteilen
- durch fehlende Wahrnehmung des Roboters durch den Menschen
- durch gefährdende Umgebungsbedingungen
- durch Lokalisierungs- und Navigationsfehler.

Die bisherigen Erkenntnisse aus der Forschung zu und Anwendung von kollaborierenden Robotersystemen können unter gewissen Voraussetzungen auch für den Einsatz von Exoskeletten Anwendung finden. Die dort zugrundeliegende Beurteilungs- und Messmethodik zu auf den Menschen einwirkenden Kräften und Drücken (siehe z. B. www.dguv.de/ifa/fachinfos/kollaborierende-roboter) kann aus heutiger Sicht adaptiert werden.

7 Analyse und Prüfung von Exoskeletten im Labor und in der Praxis

Das IFA widmet sich mit mehreren Projekten den Fragen zum Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. Dabei kooperiert es auch mit Unfallversicherungsträgern und mehreren Hochschulen.

Hauptaspekte hierbei sind:

- Biomechanische Analyse eines nachhaltigen Wirkeffekts von Exoskeletten an realen Arbeitsplätzen.
- Grundlegende Bewegungsanalysen von relevanten Tätigkeiten im Labor.
- Arbeitsschichtanalyse durch kontinuierliche Aufzeichnung aller erforderlichen Haupt- und Nebentätigkeiten.

Die Forschung und Untersuchungen müssen klären, ob durch den Einsatz von Exoskeletten zusätzliche Belastungen oder Risiken auftreten und falls ja, wie diese beseitigt oder minimiert werden können. Auch die steuerungstechnische Sicherheit darf in diesem Zusammenhang nicht vernachlässigt werden.

Zur Durchführung von Harmonisierungsrechtsvorschriften der EU (wie z. B. die PSA-Herstellerverordnung der EU [5]) kann die Europäische Kommission in Abstimmung mit den Mitgliedstaaten gemäß der Verordnung Nr. 1025 der EU zur europäischen Normung [13] die europäischen Normungsorganisationen auffordern, sogenannte „harmonisierte Normen“ zu erarbeiten. Bei Anwendung einer harmonisierten Norm ist automatisch von der Konformität mit den wesentlichen Anforderungen, die sie abdeckt, auszugehen („Konformitätsvermutung“). Für die sichere Gestaltung von Exoskeletten sind daher die entsprechenden Normen z. B. zu PSA und kollaborierenden Robotern gute Fundstellen, um aus den allgemeinen Anforderungen der zugehörigen Produkt-Richtlinien und –Verordnungen detaillierte Anforderungen an Exoskelette für die Praxis zu gewinnen.

8 Zusammenfassung

Bestehende Regelungen zur Produktsicherheit sind auch für Exoskelette gültig. Erfahrungen mit Produkten mit ähnlich engem Benutzerkontakt, wie z. B. Forschungsergebnisse, genormte und etablierte Prüfverfahren, sind nutzbar. Die Entwicklung von Prüfverfahren für Exoskelette ist notwendig und kann auf vorhandene Erfahrungen zurückgreifen.

Literatur

- [1] Arbeitsschutzgesetz vom 7.8.1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 113 des Gesetzes vom 20.11.2019 (BGBl. I S. 1626) geändert worden ist
- [2] Checkliste zur Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette, Version 1.1 – Entwurf <https://www.dguv.de/webcode/d1182315>
- [3] Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt Projekt-Nr. IFA 4235, Projektverzeichnis des Bereichs Forschung der DGUV <https://www.dguv.de/webcode/dp1316939>
- [4] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.6.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung), ABl. EU Nr. L 157 (2006), S. 24
- [5] Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9.3.2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates, ABl. EU Nr. L 81 (2016), S. 51
- [6] Verordnung (EU) 2017/745 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5.4.2017 über Medizinprodukte, zur Änderung der Richtlinie 2001/83/EG, der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 und der Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 und zur Aufhebung der Richtlinien 90/385/EWG und 93/42/EWG des Rates, ABl. EU Nr. L 117 (2017), S. 1
- [7] Betriebssicherheitsverordnung vom 3.2.2015 (BGBl. I S. 49), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30.4.2019 (BGBl. I S. 554) geändert worden ist
- [8] PSA-Benutzungsverordnung vom 4.12.1996 (BGBl. I S. 1841)
- [9] Mutterschutzgesetz vom 23.5.2017 (BGBl. I S. 1228), das durch Artikel 57 Absatz 8 des Gesetzes vom 12.12.2019 (BGBl. I S. 2652) geändert worden ist
- [10] Richtlinie 89/656/EWG des Rates vom 30.11.1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Dritte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), ABl. EG Nr. L 393 (1989), S. 18

- [11] DIN EN ISO 12100:2011-03 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risiko-
beurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010);
Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010; Beuth,
Berlin 2011
- [12] DIN EN ISO 13482:2014-11 – Roboter und Robotik-
geräte – Sicherheitsanforderungen für persönli-
che Assistenzroboter (ISO 13482:2014); Deutsche
Fassung EN ISO 13482:2014; Beuth, Berlin 2014
- [13] Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europäischen
Parlaments und des Rates vom 25. 10. 2012 zur
europäischen Normung, zur Änderung der Richtlini-
en 89/686/EWG und 93/15/EWG des Rates sowie der
Richtlinien 94/9/EG, 94/25/EG, 95/16/EG, 97/23/
EG, 98/34/EG, 2004/22/EG, 2007/23/EG, 2009/23/
EG und 2009/105/EG des Europäischen Parlaments
und des Rates und zur Aufhebung des Beschlus-
ses 87/95/EWG des Rates und des Beschlusses
Nr. 1673/2006/EG des Europäischen Parlaments und
des Rates; ABl. EU Nr. L 316 (2012), S. 12

Einsatz von Exoskeletten bei körperlicher Arbeit im Logistik- und Transportgewerbe

Gabriele Winter¹, Ulrich Glitsch², Christian Felten³, Jörg Hedtmann³

¹ Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation, Darmstadt

² Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

³ Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation, Hamburg

Zusammenfassung

Heben, Tragen und Absetzen von Lasten sind heute noch wesentliche Tätigkeitsinhalte der Logistik, beispielsweise beim Kommissionieren und Sortieren. Sogenannte Exoskelette sollen helfen, die Beschäftigten bei der manuellen Lastenhandhabung physisch zu entlasten. Sie sind in diesem Fall am Körper getragene Hebehilfen, die während der Lastenhandhabung den Beschäftigten eine Kraftunterstützung bieten sollen, mit dem Ziel, dass sich hierdurch möglichst Muskel-Skelett-Belastungen reduzieren lassen. Inzwischen liegen der BG Verkehr betriebliche Erfahrungen zur Eignung und Wirksamkeit von Exoskeletten bei der Lastenhandhabung aus fünf Betrieben vor, wobei jeweils baugleiche Exoskelette desselben Herstellers getestet wurden. Speziell im Rahmen einer mit dem Institut für Arbeitsschutz (IFA) durchgeführten Interventionsstudie mit acht Beschäftigten wurde ein passives rückenunterstützendes Exoskelett erprobt. Hierbei wurden u. a. Messungen der elektrischen Muskelaktivität von beanspruchten Rückenmuskeln, Erfassung kinematischer Daten sowie Befragungen (z. B. subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz) durchgeführt. Die Ergebnisse weisen für die untersuchten Arbeitsplätze nur moderate Entlastungseffekte auf. Adverse Effekte durch das Tragen der Assistenzsysteme machen eine sorgfältige Abwägung des Einsatzes für den untersuchten Exoskelett-Typ erforderlich.

1 Hintergrund und Ziele der Untersuchungen

Manuelle Lastenhandhabungen in der Kommissionierung, die durch erhöhte körperliche Belastungen, eine hohe Wiederholrate und/oder ungünstige Körperhaltungen gekennzeichnet sind, stellen heute noch eine gesundheitliche Gefährdung für die Beschäftigten dar. Insbesondere arbeitsbezogene Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes weisen immer noch laut einer Statistik der Betriebskrankenkasse (BKK) von 2016 einen erheblichen Anteil an den Arbeitsunfähigkeitstagen auf (über 30 %, vgl. [1]). Mitgliedsunternehmen aus dem Logistik- und Transportgewerbe sind daher auch bestrebt, ergonomische Lösungen zur Reduzierung der Wirbelsäulenbelastung zu finden. Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper

einwirken [2]. Sie werden unterteilt in aktive und passive (oder hybride) Exoskelette. Nach verschiedenen Feld- und Pilotstudien wurden durch die Verwendung von passiven Assistenzsystemen aufgrund einer Lastumverteilung beim Vorbeugen des Rumpfes positive Effekte auf den unteren Teil des Rückens festgestellt [3 bis 5].

Inzwischen führte das von der BG Verkehr beauftragte IFA in zwei Mitgliedsunternehmen arbeitswissenschaftliche Analysen beim Einsatz von Exoskeletten in verschiedenen Arbeitsbereichen durch. Beispielsweise bei der Kommissionierung im Lager- und Umschlagbetrieb, wo das Anheben und Absetzen schwerer Lasten als Ursache für erhöhte Beanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems angesehen werden kann, wurden in ausgewählten Arbeitsbereichen, in denen keine Alternativen, wie z. B. technische Hebevorrichtungen möglich sind, rumpfunterstützende Assistenzsysteme erprobt. Aus den derzeit am Markt verfügbaren Exoskeletten [2; 6] wurden passive Assistenzsysteme getestet, die mit Hilfe der Rückstellkraft eines Feder-Dämpfer-Systems das Aufrichten des Rumpfes bei der Lastenhandhabung unterstützen (vgl. [7], S. 254). Darüber hinaus sind weitere – bislang nicht publizierte – Feldstudien aus den Mitgliedsunternehmen des Logistik- und Transportgewerbes bekannt, die ein baugleiches Exoskelett ebenfalls mit Beschäftigten während der Arbeit getestet haben. Wesentliche Ziele von den hier vorgestellten Studien sind, das Ausmaß der Unterstützung durch ein passives Exoskelett am Arbeitsplatz quantitativ und qualitativ zu erfassen sowie die Vor- und Nachteile auch aus Sicht der Beschäftigten in den ausgewählten Arbeitsbereichen zu untersuchen. Ebenfalls sollten in Abhängigkeit des Arbeitsumfeldes auch sicherheitsrelevante Risiken (wie z. B. Einschränkung der Beweglichkeit, sich entledigen vom System bzw. uneingeschränktes Nutzen von Flucht- und Rettungswegen in Notfällen) beim Einsatz des Exosketts im betrieblichen Umfeld dokumentiert werden.

2 Methodik

Mittlerweile gibt es fünf Mitgliedsbetriebe der BG Verkehr, in denen Interventions-, Feld- und Pilotstudien zum Testen von Exoskeletten durchgeführt worden sind. Beim Testen des baugleichen Exoskeletts eines Herstellers zur manuellen Lastenumsetzung wurden in den einzelnen Betrieben unterschiedliche Analysetechniken eingesetzt. Im Folgenden wird die Vorgehensweise beim Testen von Exoskeletten für ausgewählte Betriebe aus dem Transport- und Logistikbereich dargestellt.

2.1 Analysetechniken

Um die exemplarische Vorgehensweise beim Testen der baugleichen Exoskelette eines Herstellers aufzuzeigen, wurden fünf Betriebe ausgewählt: Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Betriebe, von denen Daten über die einzelnen Testszenarien vorlagen (Anzahl der Probanden, Tätigkeitsspektrum, zu handhabendes Lastgewicht und eingesetzte Analysetechniken). Das IFA führte in zwei Betrieben (A und B) arbeitswissenschaftliche Analysen durch, die durch zusätzliche Laborstudien ergänzt wurden. Die Auswertung der Interventionsstudie von Betrieb B liegt zurzeit noch nicht vollständig vor und wird daher nur teilweise berücksichtigt. In der Durchführung der Studien aus weiteren Mitgliedsbetriebe (C, D und E) war das IFA nicht eingebunden. Da die Feldstudien dieser Betriebe aus methodischer Sicht abweichend von den Testszenarien der Betriebe A und B waren, werden die Ergebnisse dieser Studien nur vergleichend herangezogen. Während in den Studien der Betriebe A bis C messtechnische Analysen, Arbeitsablaufanalysen und eine Befragung der Beschäftigten durchgeführt worden sind, beruhen die Analysen in den Betrieben D und E im Wesentlichen auf empirischen Fragebogenuntersuchungen zur subjektiven Evaluation im Vorher-Nachher-Vergleich (Umsetzen von Lasten ohne bzw. mit Exoskelett).

Bei der empirischen Erhebung zur subjektiv wahrgenommenen Belastungs- und Beanspruchungssituation wurden u. a. folgende Fragestellungen untersucht:

- Wo und inwieweit ist eine körperliche Entlastung während der Tätigkeitsausübung mit Exoskelett spürbar?
- Sind die Bewegungsabläufe während der Tätigkeitsausübung mit Exoskelett eingeschränkt?
- Wie passt sich das Exoskelett an die Körperbereiche, auf die es einwirkt, an?
- Gibt es Probleme mit der Handhabung des Exoskeletts (z. B. die Verstellbarkeit) während der Tätigkeitsausübung?
- Gibt es Einschränkungen beim Tragen (z. B. einfache Einstellbarkeit, Fixierung an die Körperbereiche oder Verrutschen beim Tragen)?
- Wird das Arbeiten mit Exoskelett als „bequem“ (angenehm) empfunden oder stört es bei der Tätigkeit oder bei der Ausführung von Nebentätigkeiten?
- Wie hoch ist das Interesse, das eingesetzte Exoskelett weiterhin zu verwenden?

Darüber hinaus wurden auch sicherheitsrelevante Aspekte im Arbeitsumfeld betrachtet (wie z. B. ungestörtes Bewegen während der Exoskelett-Nutzung, sichere Positionierung bzw. kein Verrutschen sowie schnelles Ablegen des Assistenzsystems in Notfällen), so dass mögliche Risiken beim Arbeiten mit Exoskelett innerhalb der Haupt- und Nebentätigkeiten abgeleitet werden können.

2.2 Methodeninventar zum Testen eines Exoskeletts (Betrieb A)

Da die Ergebnisse der vom IFA durchgeführten Interventionsstudie vollständig vorliegen, wird nachfolgend anhand des Betriebes A zunächst das Methodeninventar beschrieben, mit welchem quantitative und qualitative Erhebungen in einem ausgewählten Arbeitsbereich durchgeführt wurden.

Tabelle 1 Übersicht der einbezogenen Studien (A bis E: Betriebe der BG Verkehr, ab 2017)

Betrieb	Anzahl Probanden	Tätigkeit	Lastgewicht (kg)	Analysetechnik (Einsatz Messtechnik, Schwerpunkte der Beschäftigtenbefragung)
A	8	Kornmissionieren	Ø 24	Elektromyographie (EMG), Zeitanalysen, Bewegungsanalysen, Arbeitsumfeld, subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz
B	5	Sendungen umsetzen, Gepäck umladen	Ø 10–15	EMG, Zeitanalysen, Bewegungsanalysen, Arbeitsumfeld, subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz
C	10	Gepäck umladen	Ø 15	Herzschlagfrequenzmessung, Zeitanalysen, Arbeitsumfeld, subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz
D	6	Gepäck umladen	Ø 15	Arbeitsumfeld, subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz
E	30	Sendungen umsetzen, Container entladen	Ø 8	Arbeitsumfeld, subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz

Im Wesentlichen wurden folgende arbeitswissenschaftliche Methoden eingesetzt:

- Arbeitsablaufanalyse: Ermittlung der Zeitanteile für die einzelnen Teiltätigkeiten
- Analyse der Körperhaltungen und -bewegungen
- Messung der elektrischen Muskelaktivität ausgewählter Muskeln
- Befragung der Beschäftigten zur subjektiv wahrgenommenen Belastungs- und Beanspruchungssituation.

Die im Mitgliedsunternehmen A analysierten Tätigkeiten im Arbeitsbereich Logistik beinhalten das Kommissionieren von Waren. Die umzusetzenden Waren wurden in Form von einzelnen Sendungen (Paketen) auf Paletten angeliefert. Das manuelle Handhaben umfasste das Anheben der Last von der Palette, das Tragen der Sendung (allein oder zu zweit; mit oder ohne Transportkarre) sowie das Absetzen der Last in einen Transportwagen (Corlette). In Abbildung 1 werden verschiedene typische Körperhaltungen und -bewegungen dargestellt: Die Abnahme einer Sendung aus der unteren Paletten-Ebene (Abbildung 1, links) bzw. das Tragen einer Sendung auf einer Schulter (Abbildung 1, rechts).

Darüber hinaus wurden Daten zu den Nebentätigkeiten (z. B. Gehen ohne Last) erhoben. Insgesamt konnten die Daten von acht Mitarbeitern, die jeweils in einem Zeitraum von zwei Stunden die Tätigkeiten als Paar ausführten, erfasst werden. Dabei arbeiteten die Testpersonen jeweils zu zweit mit und ohne Exoskelett zusammen.

Um über den gesamten Messzeitraum kinematische Daten der Körperhaltungen und Körperbewegungen zu erfassen, wurden vom IFA vier Dreikomponenten Beschleunigungssensoren (Typ AX3) der Firma Axivity eingesetzt. Zur Dokumentation der Tätigkeiten dienten zeitsynchron erstellte Videoaufzeichnungen. Aus den Sensordaten wurden der Rumpfbeugewinkel und der Beugewinkel des Exoskeletts (jeweils für die rechte und linke Seite) berechnet. Dabei erfolgte die Auswertung tätigkeitsbezogen, wobei jedem Messintervall die entsprechende Arbeitsausführung – per Video dokumentiert – zugeordnet wurde. Um die muskel-physiologischen Belastungsänderungen im Rückenbereich (aufgrund der zu erwartenden Reduktion durch Umverteilung der Last) durch das Exoskelett im Feld zu quantifizieren, wurden elektromyographische Messungen (EMG) an der beanspruchten Rückenmuskulatur (*Musculus erector spinae (longissimus)* und *Musculus erector spinae (iliocostalis)*) durchgeführt.

Die im IFA vorab durchgeführten Laborstudien mit dem betreffenden Exoskelett lieferten Vergleichsdaten für das Anheben von Lasten bis maximal 25 kg. Das am IFA entwickelte Messsystem mit dem Auswertungsprogramm WIDA-AN ist unter [8] beschrieben (inklusive weiterer Hinweise zur Literatur). Unmittelbar nach der Messphase fand eine Probandenbefragung statt: Neben dem subjektiven Belastungsempfinden bei den Tätigkeiten wurden Daten zur wahrgenommenen Unterstützung und zum Tragekomfort des verwendeten Assistenzsystems erhoben.



Abb. 1 Aufnahme einer Sendung und Tragen einer Sendung mit Exoskelett

3 Ergebnisse

Nachfolgend werden die wesentlichen Studienergebnisse für die ausgewählten Betriebe vorgestellt. Zunächst sollen die Ergebnisse der Interventionsstudie für Betrieb A aufgezeigt werden, da die durch das IFA durchgeführten physiologischen Messungen ermittelten Wirkeffekte von dem eingesetzten Exoskelett-Typ quantifizierbar sind. Die Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung (Betriebe C bis E) werden zusammengefasst erläutert und ergänzen damit die Studienergebnisse zur subjektiv wahrgenommenen Belastungs- und Beanspruchungssituation.

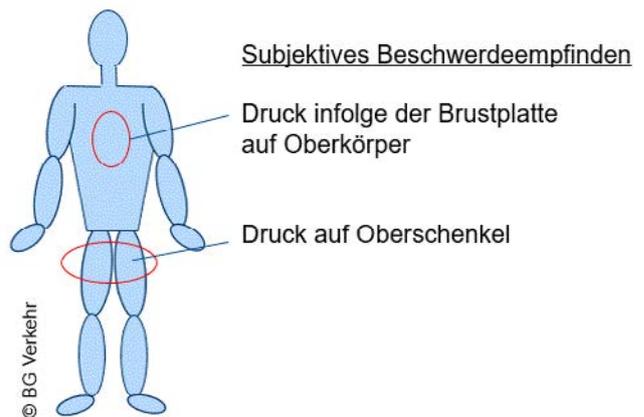


Abb. 3 Beschwerderegionen, an denen das Exoskelett als unangenehm empfunden wird (z. B. Druckstellen)

3.1 Ergebnisse der Interventionsstudie – Betrieb A

Aus der differenzierten Tätigkeitsanalyse ergaben sich im Zusammenhang mit dem verwendeten Exoskelett als relevante Teiltätigkeiten das Anheben der Last, Tragen der Last allein, Tragen der Last zu zweit, Absetzen der Last und Gehen ohne Last. Weitere Teil- oder Nebentätigkeiten wie z. B. im Sitzen oder statisches Rumpfvorbeugen ohne Lastenhandhabungen (vgl. [9]) kamen im Untersuchungszeitraum nicht vor. Nach den Arbeitsablaufanalysen ergab sich pro Lastenhandhabung ein durchschnittliches Lastgewicht von ca. 24 kg (Spanne von 3 kg bis maximal ca. 50 kg) pro Mitarbeiter. Der zurückgelegte Weg beim Tragen der Last reichte von 5 m bis maximal ca. 15 m. Pro Stunde fallen durchschnittlich 46 Hebe-, Trage- und Absetzvorgänge an. Je nach Mitarbeiteranzahl werden hierbei zwischen 0,8 und ca. 1,1 Tonnen Lastgewicht pro Stunde umgesetzt. Alle acht Probanden, die an den Tests teilnahmen, waren berufserfahren (im Mittel ca. 2,7 Jahre) und zum Zeitpunkt der Untersuchung durchschnittlich ca. 29 Jahre (Standardabweichung 5,7 Jahre) alt.

Das Tragen des Exoskeletts beeinflusste die Rumpfhaltungen bzw. die Rumpfbewegungen bezogen auf den Median des Rumpfbewegungswinkels nicht grundsätzlich. Tendenziell traten allerdings die starke Vorbeugung und die aufrechte bis leicht überstreckte Rumpfhaltung häufiger

auf. Funktionsbedingt kann das passive Exoskelett in dem hier untersuchten Arbeitsumfeld nur beim Anheben und Absetzen von Lasten positiv unterstützend wirken. Die Drehmomentunterstützung auf Höhe der Hüftgelenke liegt nach Herstellerangabe hierbei richtungsabhängig zwischen 15 Nm und 30 Nm. Dadurch kann das System beim Anheben und Absetzen schwerer Lasten (bei ca. 25 kg) nur ca. 6 % des aufzubringenden gesamten Drehmoments auf Höhe der Hüftgelenke kompensieren.

Die vom IFA durchgeführten Labormessungen werden in Abbildung 2 mit den Messergebnissen aus einer in der Fachwelt häufig zitierten Laborstudie [5] verglichen. Die gemessenen Entlastungseffekte sind im Trend sehr ähnlich.

In der Befragung attestierten alle acht Testpersonen aus Betrieb A dem hier verwendeten Exoskelett eine spürbare Unterstützung (Mittelwert 29 %, Entlastungswirkung auf der visuellen Analogskala von maximal 50 %), insbesondere beim Anheben von Lasten und in vorbeugender Haltung. Der Tragekomfort des Systems wurde eher negativ beurteilt. Fünf Testpersonen beklagten Druckstellen nach dem einstündigen Gebrauch am Brustkorb und an den Oberschenkeln (vgl. Abbildung 3) – drei Testpersonen dagegen nicht.

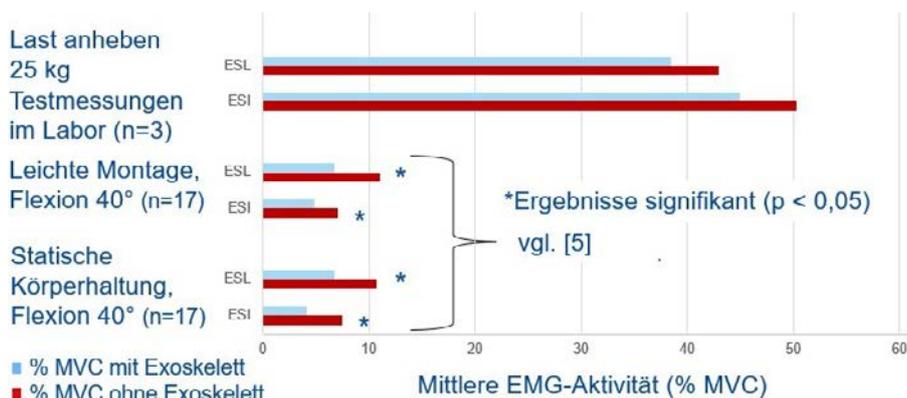


Abb. 2 Messungen der elektrischen Muskelaktivität
Abkürzungen (Muskulatur Rückenstrecker):
ESL: *Musculus erector spinae (longissimus)*,
ESI: *Musculus erector spinae (iliocostalis)*
EMG: Elektromyographie

Insgesamt beurteilten die Testpersonen den Nutzwert im Hinblick auf die gegebenen Arbeitsplatzanforderungen als mittelgradig.

3.2 Ausgewählte Ergebnisse der Befragung von Beschäftigten im Gesamtvergleich

Da nicht alle Betriebe messtechnische Untersuchungen durchgeführt haben, jedoch alle Studien die Befragung der Beschäftigten beinhalteten, werden Ergebnisse zur individuell wahrgenommenen Belastungs- und Beanspruchungssituation ergänzend herangezogen. Insgesamt zeigten die Ergebnisse (Betrieb C, D und E) einen ähnlichen Trend wie die in Abschnitt 3.1 dargelegten Studienergebnisse aus Befragungen in Betrieb A: Bei den Beschäftigten war eine spürbare Entlastung im unteren Rückenbereich durch das Tragen eines Exoskeletts z. B. beim Anheben von Lasten wahrnehmbar. Hingegen wurde angemerkt, dass die Bewegungsabläufe während der Tätigkeitsausübung mit Exoskelett teilweise als eingeschränkt wahrgenommen wurden, was bei einigen Haupttätigkeiten sogar zu Zeitverlusten führte. Das Gestänge behinderte an Arbeitsplätzen mit geringem Bewegungsspielraum (Gefahr des Verhakens). Die körperlichen Beschwerden wurden auch in den zusätzlich belasteten Körperbereichen (Brust, Oberschenkel) wahrgenommen. Da nur ein geringes Verbesserungspotenzial feststellbar war und Nachteile beim Einsatz des Exoskeletts noch bestehen, lehnten die meisten Beschäftigten das Arbeiten mit Exoskelett vorerst ab.

4 Diskussion und Fazit

Als Fazit ergibt sich aus ergonomischer Sicht ein grundsätzlich nachweisbarer Entlastungseffekt bei vorgebeugter Körperhaltung ohne Lastgewicht und beim Anheben und Absetzen von Lasten. Die Höhe des Entlastungseffekts, gemessen anhand der Muskelaktivität (EMG), ist allerdings nur moderat (5–10 % MVC, MVC: Maximum Voluntary Contraction) und wird bei zunehmendem Lastgewicht geringer (Abbildung 2). Im Gegensatz zur leichten Montagetätigkeit bzw. bei statischer Körperhaltung ohne Lastenhandhabung (vgl. Referenzstudie [5]) sind demnach beim Handhaben von höheren Lastgewichten auch eine wesentlich erhöhte Muskelaktivität zu erwarten. In Bezug auf das aufzubringende Hüftgelenksmoment beim Anheben schwerer Lasten (25 kg) ergibt sich eine ähnliche Bilanz, so dass der biomechanische Nutzeffekt hier auch als nur moderat bezeichnet werden kann.

Da außerdem die effektive Gesamtdauer des reinen Hebens und Absetzens am gegebenen Arbeitsplatz des Betriebes A durchschnittlich unter sechs Minuten pro Stunde beträgt und bei anderen wesentlich länger andauernden Teiltätigkeiten wie Tragen der Last und Gehen ohne Last eher eine Störwirkung des Systems zu befürchten ist, relativiert sich die Geeignetheit des hier eingesetzten Exoskeletts deutlich. Da im Arbeitsbereich (Betrieb A) relativ häufig auch sehr schwere Sendungen mit über 25 kg Gewicht transportiert werden müssen, erscheint generell der Einsatz eines passiven Exoskeletts wenig zielführend, da hier immer nur ein Anteil der Grundlast abgenommen wird und damit insgesamt die Wirksamkeit mit zunehmender Last tendenziell sinkt.

Auch der subjektiv wahrgenommene Diskomfort in den Bereichen Brust und Oberschenkel zeigen den Optimierungsbedarf solcher Exoskelette auf. Werden die Ergebnisse von Feldstudien mit Exoskeletten in der Automobilindustrie vergleichend herangezogen, so zeigt sich bei den Ergebnissen der Personalbefragung ein ähnliches Beschwerdeempfinden. Nach [7] spürten die Beschäftigten beim Tragen eines baugleichen Exoskeletts eine Zunahme an Beschwerden in der Brustregion (hohe Effektstärke von 0,3) sowie an den Oberschenkeln (kleine Effektstärke von 0,1). Durch das Prinzip der Lastumverteilung wird quasi ein zunehmender Diskomfort für die zusätzlich belasteten Körperregionen Brust und Oberschenkel wahrgenommen (vgl. [7], S. 255). Die Ergebnisse weisen für die untersuchten Arbeitsplätze nur moderate Entlastungseffekte auf. Adverse Effekte durch das Tragen der Exoskelette erfordern eine sorgfältige Abwägung des Einsatzes für den hier untersuchten Exoskelett-Typ.

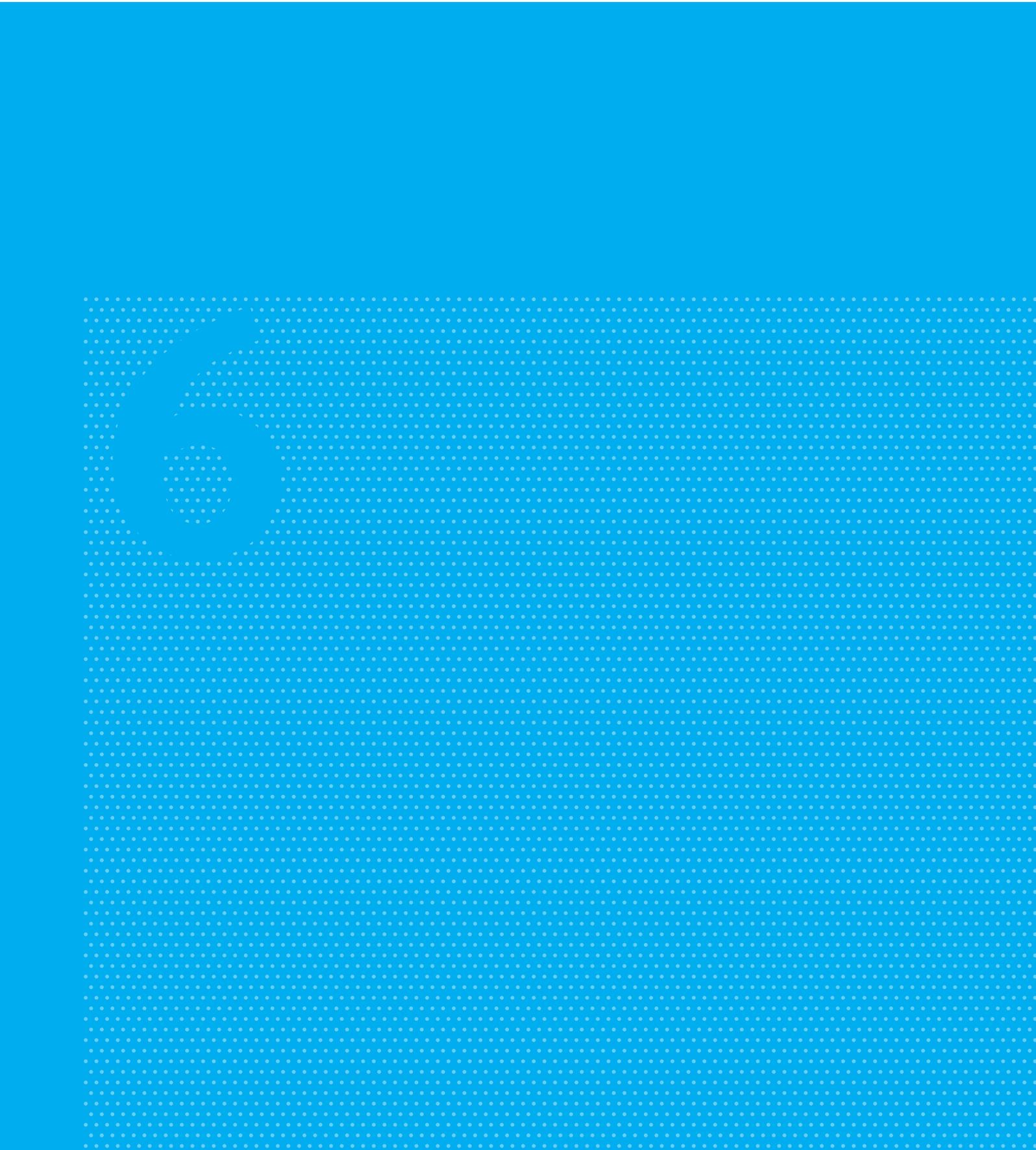
5 Ausblick

Da bis heute noch keine Langzeitstudien zum Einsatz des hier getesteten Exoskeletts existieren [4], können mögliche Spätfolgen nicht ausgeschlossen werden. Beispielsweise könnte sich infolge der Arbeiterleichterung ein Koordinationsverlust einstellen, der in der Folge beim Arbeiten ohne Assistenzsystem zu einer erhöhten Beanspruchung des Rückens führen könnte.

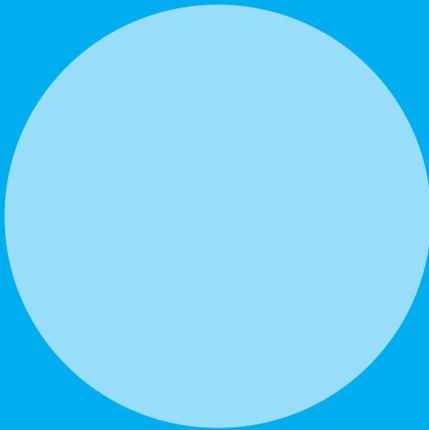
Grundsätzlich ist zu bedenken, dass die Verwendung eines solchen Exoskeletts beim Anheben und Absetzen von Lasten zwar eine Umverteilung der Rückenbelastung (auf Brustbereich und Oberschenkel) herbeiführt, eine Verhaltensänderung zugunsten eines rückengerechteren Arbeitens (hinsichtlich der Körperhaltung) aber nicht unterstellt werden kann. Insgesamt zeigte sich, dass ein passives Exoskelett dieser Art speziell in den untersuchten Arbeitsbereichen überwiegend unzweckmäßig erscheint. Eine weitere Schlussfolgerung ist, dass sich Exoskelette derzeit noch in der Entwicklungsphase befinden und weitere Anpassungen notwendig sind, bevor sie regulär an den Arbeitsplätzen im betrieblichen Umfeld eingesetzt werden können.

Literatur

- [1] BKK 2016: AU-Kennzahlen nach Wirtschaftsgruppen, Bundesländern, Altersgruppen, Berufsgruppen und Diagnosehauptgruppen (Januar 2016); https://www.bkk-dachverband.de/fileadmin/gesundheit/monatsauswertungen/Summen_Gesamtergebnis_01_Januar_2016.pdf (letzter Zugriff 11. 12. 2018)
- [2] Fachbereichs-Information. Fachbereich Handel und Logistik, BGHW. FBHL 006, Webcode p012807
- [3] *Hensel R.; Keil M.; Bawin S.*: Feldstudie zur Untersuchung des Laevo-Ergoskelettes hinsichtlich Usability, Diskomfort und Nutzungsintention. In: Tagungsband des 64. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 2018
- [4] *Steinhilber B.; Seibt R.; Luger T.*: Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext – Wirkung und Nebenwirkung. In: Zeitschrift ASU Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed (2018) 53: 662-664
- [5] *Bosch T.; van Eck J.; Knitel K.; de Looze M.*: The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Appl. Ergon.* (2016) 54, 212–217
- [6] BGHM 2017: Einsatz von Exoskeletten an (gewerblichen) Arbeitsplätzen. Fach-Information Nr. 0059, Webcode 2868
- [7] *Hensel R.; Keil M.*: Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (2018), Jg. 72, Heft 4, S. 252–263
- [8] CUELA-Messsystem und Rückenmonitor. <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/ergonomie/cuela-messsystem-und-rueckenmonitor/index.jsp> (10. 1. 2019) Webcode d5128
- [9] *Baltrusch S.J.; van Dieën J.H.; van Bennekom C.A.M.; Houdijk H.*: The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Appl Ergon* 2018; 72: 94–106

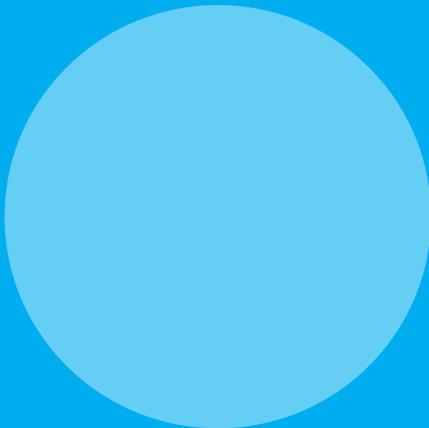


Virtuelle Realität



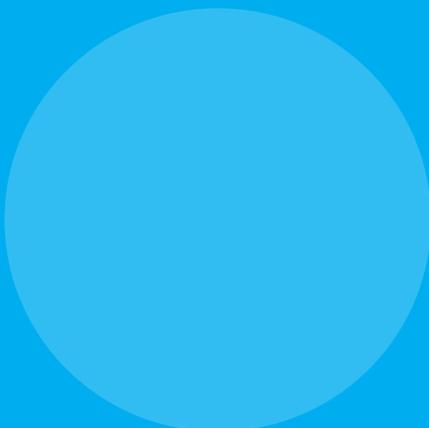
Auswirkungen von Datenbrillen auf Arbeitssicherheit und Gesundheit: Projekt ADAG
Ergebnisse der Literaturrecherche zur Akzeptanz von Datenbrillen

Daniel Friemert, Claudia Terschüren, Benno Groß, Robert Herold, Nicolai Leuthner, Christopher Braun, Ulrich Hartmann, Volker Harth



Absturzprävention durch den Einsatz von Virtual Reality in Sicherheitsunterweisungen

Robin Griefel, Stephanie Griemsmann, Vera Schellewald, Christoph Schiefer



Risikobeurteilung trainieren – unterstützt durch virtuelle Realität

Katrin Gomoll, Peter Nickel, Stephan Huis

Auswirkungen von Datenbrillen auf Arbeitssicherheit und Gesundheit: Projekt ADAG

Ergebnisse der Literaturrecherche zur Akzeptanz von Datenbrillen

Daniel Friemert¹, Claudia Terschüren², Benno Groß³, Robert Herold², Nicolai Leuthner¹, Christopher Braun¹, Ulrich Hartmann¹, Volker Harth²

¹ Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus, Fachbereich Mathematik und Technik, Labor für Ergonomie und Virtuelle Realität

² Zentralinstitut für Arbeitsmedizin und Maritime Medizin, Hamburg

³ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin

Zusammenfassung

Das Interesse am Einsatz von Datenbrillen in der Arbeitswelt hat in den letzten Jahren rasant zugenommen. Insbesondere im Bereich der Lagerlogistik und der Kommissionierung von Produkten werden Datenbrillen international inzwischen eingesetzt. Aber auch im Bereich Service und Montage gibt es inzwischen vielversprechende Pilotprojekte.

Auf der einen Seite ermöglichen Datenbrillen, bestehende Arbeitsprozesse effizienter, anschaulicher und flexibler zu gestalten. Auf der anderen Seite können beim Einsatz von Datenbrillen aber auch neue Gefahren für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen entstehen. Eine Reihe von Fragen in diesem Zusammenhang sind noch nicht ausreichend untersucht und strukturiert zusammengefasst worden. In einer Literaturrecherche, die im Rahmen des von der BGHW geförderten Datenbrillenprojekts ADAG (Auswirkungen von Datenbrillen auf Arbeitssicherheit und Gesundheit) erstellt wurde, wurden über 2950 veröffentlichte Arbeiten mit Bezug zu Datenbrillen am Arbeitsplatz hinsichtlich verschiedener Kategorien gefunden. Dieser Beitrag beschränkt sich auf die Zusammenfassung der Veröffentlichungen, die der Thematik der Akzeptanz von Datenbrillen zuzuordnen sind. Im Rahmen der Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass die Kategorie Akzeptanz eine hohe Relevanz aufweist und die Anzahl von Artikeln in diesem Bereich relativ groß ist.

1 Einführung und Methodik

Datenbrillen werden seit einigen Jahren in verschiedenen Bereichen der Arbeitswelt erprobt und auch unter realen Bedingungen eingesetzt. Die Anwendungsbereiche reichen von der Logistik über die Bauindustrie bis hin zum Automobilsektor. Aufgrund ihres Designs werden den Datenbrillen spezifische Vorteile gegenüber den in diesen Bereichen typischerweise eingesetzten digitalen Arbeitsmitteln (z. B. Handscanner) zugeschrieben. Obwohl die herkömmlichen Arbeitsmittel bezüglich ihrer Funktionalität mit Datenbrillen vergleichbar sind, müssen sie beim

Gebrauch in der Hand gehalten werden, was dazu führt, dass die nutzende Person bei der Informationsaufnahme vom Arbeitsprozess wegblicken muss. Dies führt offensichtlich zu deutlichen Unterschieden im Arbeitsprozess, die es ergonomisch zu bewerten gilt.

Für die betriebliche Praxis lassen sich folgende Anwendungsfelder für Datenbrillen identifizieren: In der Lagerlogistik erhalten Beschäftigte, die mit Datenbrillen kommissionieren (pick-by-vision), relevante Informationen wie Lagerort, Produktdetails und Wegführung über eine Datenbrille. Im Montage- und Produktionsbereich können Datenbrillen zur Aus- und Weiterbildung („training on the job“) und zur Endkontrolle eingesetzt werden, da den Beschäftigten kontextbezogene Informationen zu den jeweiligen Arbeitsschritten über Datenbrillen visuell dargeboten werden.

Unsere Literaturübersicht basiert auf den Cochrane-Richtlinien für wissenschaftliche Übersichtsarbeiten mit der Ausnahme, dass unser Ziel nicht die Beantwortung einer spezifischen Forschungsfrage war, sondern einen Überblick über die Ergebnisse der datenbrillenbezogenen Forschung in Bezug auf den Arbeitsschutz zu geben. Eine Gruppe von Fachleuten auf dem Gebiet der Ergonomie und Datenbrillen diskutierte, welche Schlüsselwörter gute Ergebnisse für einen Überblick über das Thema liefern würden. Diese Schlagwörter wurden im November 2018 für eine Literaturrecherche mit Citavi verwendet.

Das Ergebnis waren 2965 Veröffentlichungen (einschließlich der Dubletten), die anhand der für die Suche verwendeten Schlüsselwörter in Kategorien unterteilt wurden. 1627 Duplikate und Artikel, die vor dem Jahr 2000 (= 101) veröffentlicht wurden, wurden entfernt, so dass 1237 übrigblieben. Die Überschriften dieser Artikel wurden von zwei Fachleuten auf Grundlage der Frage, ob der Titel mit Datenbrillen in Zusammenhang steht, überprüft. Wenn beide Fachleute in ihrer Einschätzung übereinstimmten, wurde das Papier ein- bzw. ausgeschlossen. Wenn die Fachleute sich nicht einig waren, wurde der Titel des Papiers einem Rat von fünf anderen Fachleuten vorgelegt,

die für oder gegen die Aufnahme stimmten. Erstaunlich für die Experten und Expertinnen war die Tatsache, dass in sehr vielen Studien die Begriffe Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality und Assisted Reality sehr frei und ohne weitere Definition verwendet wurden. Dies führte zum Ausschluss eines großen Teils der Studien (1172) aufgrund ihrer Relevanz für andere Arten von simulierter Realität. Die Zusammenfassung der übrigen 65 Papiere wurde von denselben Fachleuten gelesen, und der Prozess wurde in gleicher Weise wiederholt. Das Ausschlusskriterium in dieser Phase war die Frage, ob die Autoren relevante Ergebnisse zu Datenbrillen präsentierten oder ob sie lediglich ein laufendes Projekt vorstellten (Ausschluss). Die verbliebenen 22 Veröffentlichungen enthielten 4 Doktorarbeiten, die aufgrund ihres Umfangs für diesen Beitrag nicht berücksichtigt wurden. Die nach dem Ausschlussverfahren übrig gebliebenen Veröffentlichungen wurden in verschiedene Kategorien eingeteilt (z. B. Augenbelastung, Strahlungsbelastung, körperliche Belastung). Aufgrund der hohen Relevanz werden im Folgenden nur die Ergebnisse für die Kategorie Akzeptanz zusammengefasst.

2 Ergebnisse der Literaturrecherche bezüglich Akzeptanz

2.1 Beschreibung der Studien

Die Faktoren, die die Akzeptanz von Datenbrillen bestimmen, wurden in der Publikation von Basoglu et al. [1] aus zwei Perspektiven, den Produktmerkmalen und der Nutzerabsicht, untersucht. Im Hinblick auf die Produkteigenschaften von Datenbrillen wurden in einer experimentellen Studie die Auswirkungen ausgewählter Designmerkmale wie Sichtfeld und Displaytechnologie auf die Akzeptanz analysiert. Als entscheidend für die Akzeptanz einer neuen Technologie wurden die Faktoren Selbstwirksamkeit, Fremd- und Peer-Einfluss, Risiko, Einstellung, Nutzen, Benutzerfreundlichkeit, Angst, gesundheitliche Bedenken und Komplexität identifiziert. Die Conjoint-Analyse wurde zur Untersuchung der Produkteigenschaften verwendet. Es wurden verschiedene Produktbeschreibungen entwickelt und den Teilnehmenden zur Präferenzbewertung vorgelegt. Für diese Studie wurden zudem verschiedene Produkteigenschaften und damit verbundene Bewertungsebenen definiert, um die Benutzerfreundlichkeit zu messen. Aus diesen Produkteigenschaften wurden insgesamt acht Produktalternativen generiert. Die insgesamt 81 Teilnehmenden bewerteten diese Alternativen als am meisten (1) bis am wenigsten (8) wünschenswert. Zur Untersuchung der Nutzerabsicht wurden weitere 122 Personen befragt.

Die Studie von Berkemeier et al. [2] enthält eine Analyse der Akzeptanz von Datenbrillen im Self-Service. Es wurden Forschungsfragen zur Akzeptanz und Usability untersucht. Eine Android-Anwendung für die Smart Glass Vuzix M100 wurde entwickelt, um einen simulierten Wartungsprozess durchzuführen. Die Bestimmung der Akzeptanz umfasste Faktoren wie z. B. erwartete Leistung, erwarteter Aufwand, sozialer Einfluss, Datenschutzbelange, Vertrauen, Risiko und Verwendungszweck. Die Bewertung basierte auf einer siebenstufigen Likert-Skala (Punkteergebnisse zwischen 0 und 100). Ergebnisse ab 70 Punkten aufwärts wurden als gut bewertet. Die Stichprobe umfasste 29 Probanden und Probandinnen. Die Testpersonen hatten keine Erfahrung mit Datenbrillen.

Koelle et al. [5] berichten über die quantitativen Ergebnisse einer mehrjährigen Studie, die in den Jahren 2014, 2015 und 2016 durchgeführt wurde, um die Einstellung der Nutzer zu Datenbrillen zu untersuchen. Die Prognosen wurden von 51 Fachleuten bewertet. Diese Studie sollte klären, unter welchen Bedingungen die Datenbrille den Schritt zu einer gesellschaftlich akzeptierten Technologie machen kann. Das in der Studie verwendete Technologie-Akzeptanz-Modell (TAM) definiert die Akzeptanz neuer Technologien durch den Einzelnen auf der Grundlage von zwei Hauptfaktoren: Nutzen und wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit. Die 118 Teilnehmer und Teilnehmerinnen im Alter zwischen 18 und 58 Jahren (47% weiblich) bewerteten 56 Szenarien (28 mit einer Datenbrille, 28 mit einem Smartphone) auf der Grundlage eines so genannten semantischen Differentials.

Auf der Grundlage von Expertenmeinungen wurde im gleichen Papier untersucht, ob die negativen Einstellungen zur Datenbrille mit einer mangelnden gesellschaftlichen Akzeptanz zusammenhängen und ob die Vorteile, die sich aus der Nutzung der Brille ergeben, in der Lage sind, Vorbehalte zu überwinden. Der Hauptteil der Expertenbefragung bestand aus zwei zweistufigen Fragen (siehe Q1, Q3 mit einer 6-stufigen Likert-Skala) und einer Frage (siehe Q2), in der die Teilnehmenden gebeten wurden, die Verbesserungskriterien nach Relevanz zu sortieren. 51 Fachleute (15 Frauen) füllten den Fragebogen vollständig aus.

- Q1: Innerhalb der nächsten 10 Jahre: Expecten Sie, dass die Menschen routinemäßig eine Datenbrille tragen werden?
- Q2: Was müsste verbessert werden, damit die Menschen Datenbrillen im Alltag benutzen können?
- Q3: Inwieweit glauben Sie, dass die gesellschaftliche Akzeptanz für den Erfolg der Datenbrille relevant ist?

In einer weiteren Akzeptanzstudie untersuchten die Kim et al. [4] den Einfluss, den verschiedene HMD-Typen (mono- vs. binokular), verschiedene Präsentationsformen (Grafik vs. Text) und die Dauer der Informationsverfügbarkeit (permanent vs. on-demand) auf die subjektiv empfundene Arbeitsbelastung, den Nutzen und die Arbeitsleistung hatten. Sie verglichen ihre Ergebnisse mit einer auf herkömmlichen Papierlisten basierenden Kommissioniermethode. Insgesamt nahmen 16 Testpersonen an der Studie teil. Brillenträger wurden vor Beginn der Studie ausgeschlossen. In einem Durchlauf führten die Testpersonen mit Hilfe einer Papierliste oder einer Datenbrille an einem nachgebildeten Arbeitsplatz vier Kommissionier- und vier Teilmontageaufgaben durch. Die subjektiven Parameter umfassten Akzeptanzanalyse, kognitive Belastung, Effizienzanalyse und Anzeichen für Simulatorkrankheit. Um die objektiven Parameter zu messen, wurden die Zeit und die Anzahl der Fehler bei der Erledigung der Aufgaben gemessen.

In dem Projekt Glass@Service, in dem Datenbrillen für den industriellen Einsatz in Logistik, Montage und optischer Qualitätskontrolle entwickelt und getestet werden, untersuchten Terhoeven et al. [7] die subjektiv bewertete Nützlichkeit, die Gebrauchstauglichkeit und die Akzeptanz. Die subjektiv erwartete Anwendbarkeit wurde mittels eines quantitativen Fragebogens gemessen und enthielt Konstrukte zur Lernfähigkeit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Kontrollierbarkeit, Übereinstimmung mit den Nutzererwartungen, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit. Der subjektive Nutzen sowie die Nutzerakzeptanz wurden anhand des Fragebogens „Technologie-Akzeptanz-Modell (TAM)“ bewertet. Insgesamt nahmen 59 Testpersonen an der Studie teil.

Die experimentelle Laborstudie von Wille et al. [8] untersuchte die Unterschiede zwischen der Verwendung eines so genannten Head Mounted Displays (HMD) und eines Tablet-Displays in Bezug auf die mentale Arbeitsbelastung, die allgemeine subjektive Arbeitsbelastung, die Ermüdung des visuellen Systems und die technische Affinität von 41 Probandinnen und Probanden, die mit Hilfe des TA-EG-Fragebogens ermittelt wurde. Nach Abschluss der Studie wurden mit den Testpersonen Interviews zur Anwendung des HMD und des Tablet-Displays durchgeführt.

Borisov et al. [3] entwickelten in ihrer Studie in Zusammenarbeit mit einem Automobilhersteller sechs verschiedene Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMIs). In Phase 1 wurde der Arbeitsplatz durch Feldbeobachtung und Interviews analysiert. Phase 2 bestand aus einem

Feldversuch, in dem die sechs neu entwickelten Systeme getestet wurden. In Phase 3 wurden zwei der sechs Geräte mit zwei Arbeitern unter realen Arbeitsbedingungen getestet. Am ursprünglichen Arbeitsplatz benutzten die Arbeiter „Handheld“-Geräte, die über das Testprogramm Anweisungen gaben. Die vom Autohersteller bereitgestellten Geräte waren schwer und unhandlich. Als Ergebnis der ersten Phase stellten die Autoren der Studie ein hohes Potenzial für die Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit und des Benutzerkomforts fest. In Phase 2 wurde ein Bewertungskonzept entwickelt, das es ermöglichte, die neu entwickelten Schnittstellen in einer realistischen Studie mit 67 Beschäftigten zu bewerten. Dabei wurden verschiedene Kombinationen von Ein- und Ausgabegeräten getestet.

Basierend auf den Ergebnissen der Phase 1 wurde auch ein so genanntes Device Score Model (DSM) entwickelt. Ergonomie und Benutzerschnittstelle wurden mit Fragen zum freihändigen Arbeiten, Gewicht und Größe der Geräte, der erforderlichen Augenbewegung sowie der Interaktionsflexibilität und Interaktionsgeschwindigkeit untersucht. Die Leistung wurde durch die Analyse von Eye-Tracking-Daten ermittelt. Die Motivation, die ein Mitarbeiter bei der Arbeit mit dem Gerät empfand, wurde abgefragt. Zusätzlich wurde ein Fragebogen entworfen, um die Akzeptanz zu messen.

In Phase 2 arbeiteten die 67 Teilnehmenden mit den neu entwickelten Geräten und bewerteten sie mit dem DSM. Der gesamte Feldversuch dauerte 12 Arbeitstage. Jeder Mitarbeitende verwendete zwei der sechs Geräte nacheinander. In Phase 3 ging es um den direkten Vergleich von zwei HMIs mit einem neuen Diagnosegerät. Anstelle eines Mikrofons wurde eine Smartwatch als Eingabegerät für die Datenbrillen verwendet. Als zweites Vergleichsgerät wurde ein Smartphone mit zusätzlichen Software-Optionen gewählt. Das Feldexperiment wurde mit nur zwei Personen durchgeführt. Der gesamte Prozess dauerte etwa 300 Minuten für jeden Mitarbeitenden.

Die Akzeptanzstudie von Rauschnabel und Ro [6] basiert auf einem modifizierten TAM. In der Studie wurden die Microsoft HoloLens und Google Glass verwendet. Eine Befragung von 201 zufällig ausgewählten Testpersonen wurde in einem deutschen Einkaufszentrum durchgeführt. Die Befragung umfasste u. a. die Konstrukte Wissen über die Datenbrille, soziale Normen, Erwartung bezüglich der Einfachheit der Nutzung und Datenschutz.

2.2 Ergebnisse

In der Studie von Basoglu et al. [1] nimmt das Stand-alone-Gerät mit großem Sichtfeld, Spracherkennung und Touchpad-Interaktion bei der Auswahl von acht Produkialternativen den ersten Platz ein. Die Testpersonen wurden in ihrer Meinung über eine Datenbrille stark von ihren Freunden, ihrer Familie und ihrer Nachbarschaft beeinflusst (3,0, Maximalwert: 4). Die Teilnehmenden wurden auch durch Nachrichten und Werbung beeinflusst (2,9). Einige gaben an, dass die Verwendung von Datenbrillen ein Risiko darstellen könnte (2,7). Ihre Haltung gegenüber der Verwendung von Datenbrillen war aber eher positiv (2,6). Die Teilnehmenden waren sich einig, dass sie einfach zu verwenden (2,4) und nützlich (2,6) sind.

Die Ergebnisse der Studie von Berkemeier et al. [2] lassen sich bezüglich der Kategorien Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit zusammenfassen. Die in ihrer Untersuchung erzielten Medianwerte wurden in die folgenden Klassen eingeteilt:

- 1–3: Ablehnung,
- 4: neutrale Einstellung,
- 5–7: Zustimmung.

Die Ergebnisse waren erwartete Leistung (5), erwarteter Aufwand (6), wahrgenommenes Risiko (5), Vertrauen (5), sozialer Einfluss (4), allgemeine Bedingungen der Nutzung (4), Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes (3) und des Verwendungszwecks (2). Die Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit lag unter dem Durchschnitt. Die Autoren schließen auch einige Beobachtungen und Kommentare ein: drei Teilnehmende rieben sich nach der Verwendung der Brille die Augen, sieben benutzende Personen mussten ein Auge schließen, zehn mussten die Brille während der Benutzung anpassen. Zwei Teilnehmende legten die Brille zwischenzeitlich ab. Drei Teilnehmende schalteten die Brillen versehentlich aus. Acht Teilnehmende erwähnten Probleme mit Informationen am Bildschirmrand.

Daraus leiteten Berkemeier et al. [2] Handlungsempfehlungen ab, um die IT-Sicherheit zu erhöhen, Datensparsamkeit zur Reduzierung des wahrgenommenen Risikos zu berücksichtigen, den Tragekomfort zu erhöhen, eine flexible Positionierung des Displays zu ermöglichen und die Navigation zu erleichtern, um Fehleingaben zu vermeiden und die Lesbarkeit der Informationen zu verbessern.

Die Auswertung der mehrjährigen Studie von Koelle et al. [5] ergab, dass die Einstellung bezüglich Datenbrillen über die Jahre negativ stabil blieb. Die Expertenbefragung

ergab, dass die Mehrheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer schätzte, dass eine Datenbrille in den nächsten 10 Jahren routinemäßig getragen werden wird. Die Teilnehmenden schätzten den Vorteil der Freisprechfunktion, des leichten Zugangs zu Informationen und der natürlichen Interaktion. Sie erwähnten auch technologische und soziale Probleme, die gelöst werden müssen, bevor eine breite Verwendung von Datenbrillen möglich sein wird. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erwarteten, dass Datenbrillen in speziellen Anwendungsbereichen erfolgreich sein werden.

Faktoren, die die Akzeptanz behindern, sind nach der Expertenbefragung fehlende Anwendungsfälle, mangelnder Tragekomfort, zu hohe Anschaffungskosten, mangelnde Benutzerfreundlichkeit, soziale Scham, mangelnder Datenschutz und ethische Probleme.

Kim et al. [4] stellten in ihrer Arbeit fest, dass die Durchschnittswerte des Fragebogens zur Benutzerfreundlichkeit signifikant durch die Verfügbarkeit von Informationen beeinflusst wurden. So waren die Durchschnittswerte für die permanente Präsentation von Informationen höher als die für die On-Demand-Präsentation. Zwölf Teilnehmende (75 %) bevorzugten die grafische Dauerpräsentation von Informationen. Sechs der zwölf Befragten bevorzugten eine binokulare Brille, fünf bevorzugten eine monokulare Brille, und ein Befragter gab keine Präferenz bezüglich der Art der Brille an. Zehn Befragte (62,5 %) gaben an, dass sie die textbasierte On-Demand-Informationsdarstellung am wenigsten bevorzugen würden. Fünf der zehn Befragten lehnten eine monokulare Brille ab, und die übrigen fünf lehnten eine binokulare Brille ab.

Terhoeven et al. [7] kamen in ihrem Glass@Service-Projekt zu signifikanten Ergebnissen für den Anwendungsfall „Kommissionierung“. Die erwarteten Durchschnittswerte lagen bei 3,0 für alle Fragebogenelemente. Der Durchschnittswert für „wahrgenommener Nutzen“ war daher mit einem Wert von 0,68 signifikant niedriger. Die Durchschnittswerte der Dimension „Eignung für die Aufgabe“ des Anwendungsfalles „Kommissionierung“ lagen mit 0,7 signifikant unter dem Durchschnittswert von 3,17 des Anwendungsfalles „Ausstattung einer Montagelinie“. Die Durchschnittswerte der Dimension „Fehlertoleranz“ des Anwendungsfalles „Kommissionierung“ waren mit 0,69 signifikant niedriger als der Durchschnittswert von 2,93 des Anwendungsfalles „Bestückung einer Montagelinie“.

In der Studie von Wille et al. [8] hinsichtlich Technikaffinität und Akzeptanz konnte eine signifikante Wechselwirkung zwischen Technologieaffinität und dem verwendeten

Displaytypen gezeigt werden. Testpersonen mit einer geringeren Technikaffinität zeigten sowohl allgemein höhere Belastungswerte als auch eine geringere Abnahme der Belastung durch die Verwendung des Tablet-Displays als Testpersonen mit einer höheren Technikaffinität. 40 der 41 Testpersonen zogen die Arbeit mit dem Tablet-Display der Arbeit mit dem HMD vor.

Die Studie von Borisov et al. [3] zeigt, dass das Smartphone mit einer Gesamtnote von 2,1 der Gewinner des Vergleichs war. Die Smartbrille mit Mikrofoneingang schnitt in Bezug auf die Leistung sehr gut ab, aber die Bewertung der Benutzererfahrung und der Akzeptanz dieses HMI war eher mittelmäßig. Bei Geräten mit Gesten- und Spracheingabe sehen die Autoren die Zuverlässigkeit der Erkennung als das größte Problem an. Leistung und Fehlerquote waren unabhängig von Geschlecht, Alter und Arbeitserfahrung. Gut ausgebildete Beschäftigte waren jedoch weniger überzeugt von der Datenbrille.

Die Ergebnisse von Phase 3 zeigen, dass das Smartphone erneut die besten Noten erhielt. Mit einer Gesamtnote von 1,7 lässt es das neue Diagnosegerät (2,8) und die Brille (3,9) weit hinter sich. Die Brille wurde vor allem wegen gesundheitlicher Bedenken sowie wegen ihres Gewichts und ihrer Größe abgelehnt. In einigen Fällen wurde über Kopfschmerzen berichtet. Die Einstellung der Arbeitnehmenden zu Datenbrillen hat sich während der Feldstudie nicht wesentlich verändert.

In der Befragung von Rauschnabel und Ro [6] fanden die Autoren signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Bezug auf die Vorkenntnisse bzgl. Datenbrillen. Auch die Einstellung der jüngeren Altersgruppen gegenüber einer Datenbrille war signifikant besser als die der älteren Teilnehmenden, was aber nicht zu einer signifikant höheren Kaufabsicht führte.

2.3 Zusammenfassung

Die Literaturrecherche ergab eine große Anzahl von Treffern zum Thema Akzeptanz von Datenbrillen. Einige der Studien untersuchten die Akzeptanz in der Bevölkerung [1, 6] und nur wenige Analysen wurden mit Spezialisten in Unternehmen [3] oder Experten durchgeführt [5]. Die Methodik zur Messung der Akzeptanz ist in den Studien sehr einheitlich. Einige bestehende Fragebögen wurden verwendet [7] oder durch Hinzufügen eigener Bewertungskriterien modifiziert [6]. Aber auch Webumfragen [1] und Experteninterviews [8] wurden eingesetzt. In der Gesamtschau aller Ergebnisse wird deutlich, dass die Themen Datenschutz und Gesundheit kritisch bewertet wurden. Auch der Tragekomfort, der mit dem Gewicht und der Fixierung der Brille auf dem Kopf zusammenhängt, wurde häufig kritisiert. Die anwendenden Personen wünschten sich eine flexible Displaypositionierung mit hoher Displayauflösung [5]. Als Ergebnis einer Studie wurde empfohlen, die grafikbasierten Informationen zu forcieren [4].

Koelle et al. [5] sahen während ihrer mehrjährigen Studie keine Veränderung der eher negativen Einstellung gegenüber Datenbrillen. Eine unter 51 Fachleuten durchgeführte Umfrage ergab, dass sich die Akzeptanz von Datenbrillen bis 2026 erhöhen dürfte. Als wichtigste Faktoren für die langfristige Akzeptanz identifizierten die Fachleute Nützlichkeit, Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit. In keiner dieser Studien rangierte die Datenbrille beim Vergleich mit alternativen Displaytypen an erster Stelle.

Die Studie von Borisov et al. [3] ist die einzige, die die Akzeptanz von Datenbrillen in Feldtests untersucht hat. Das Smartphone erhielt die besten Noten, weil es durch sein geringes Gewicht und sein ergonomisches Design ein geeignetes Werkzeug für den Einsatz in der Produktkontrolle darstellt. Die Autoren sehen ein hohes Potenzial für den Einsatz von Datenbrillen im industriellen Umfeld.

Literatur

- [1] *Basoglu, N., Ok, A., & Daim, T.* (2017). What will it take to adopt smart glasses: A consumer choice based review. *Technology in Society*, 50, S. 50–56. doi:10.1016/j.techsoc.2017.04.005.
- [2] *Berkemeier, L., Werning, S., Zobel, B., Ickerott, I., & Thomas, O.* (Oktober 2017). Der Kunde als Dienstleister: Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Smart Glasses im Self-Service. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 54(5), S. 781–794. doi:https://doi.org/10.1365/s40702-017-0342-1
- [3] *Borisov, N., Weyers, B., & Kluge, A.* (2018). Designing a Human Machine Interface for Quality Assurance in Car Manufacturing: An Attempt to Address the “Functionality versus User Experience Contradiction” in Professional Production Environments. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2018. doi:https://doi.org/10.1155/2018/9502692
- [4] *Kim, S., Nussbaum, M., & Gabbard, J.* (2019). Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design in performance and usability in simulated warehouse order picking. *Applied Ergonomics*, 74, S. 186–193. doi:https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.026
- [5] *Koelle, M., El Ali, A., Cobus, V., Heuten, W., & Boll, S.* (2017). All about Acceptability?: Identifying Factors for the Adoption of Data Glasses. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 295–300). Denver: ACM.
- [6] *Rauschnabel, P., & Ro, Y.* (2016). Augmented reality smart glasses: An investigation of technology acceptance drivers. *International Journal of Technology Marketing*, 11(2), S. 123–148.
- [7] *Terhoeven, J., Schiefelbein, F., & Wischniewski, S.* (2018). User expectations on smart glasses as work assistance in electronics manufacturing. *Procedia CIRP*, 72, S. 1028–1032. doi:https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.060
- [8] *Wille, M., Grauel, B., & Adolph, L.* (2014). Strain caused by Head Mounted Displays. In D. de Waard (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe 2013*, (S. 267–277).

Absturzprävention durch den Einsatz von Virtual Reality in Sicherheitsunterweisungen

Robin Grießel, Stephanie Griemsmann, Vera Schellewald, Christoph Schiefer
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) –
Stabsstelle Gestaltung neuer Arbeitsformen, Sankt Augustin

Kurzfassung

Die klassische Sicherheitsunterweisung mit einem Virtual Reality-Tool zu ergänzen kann unter Anbetracht der hohen Behaltenswahrscheinlichkeit beim selbst Tun und Handeln eine sinnvolle Anwendung der Digitalisierung sein. Voraussetzung hierfür sind jedoch die Akzeptanz und Anwendbarkeit durch die Zielgruppe. Insbesondere die Akzeptanz und Zielführung der Verwendung von virtueller Realität (VR) für Unterweisungen und Schulungen soll im Rahmen des Projektes im Auftrag der BG ETEM erforscht werden.

1 Hintergrund

Sicherheitsunterweisungen finden auf Grund einer Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen und anderen Vorschriften verpflichtend in Betrieben statt. Diese sind regelmäßig, aber auch verhaltens- und situationsabhängig durchzuführen. Für die Methodik der Unterweisung bieten sich viele verschiedene Möglichkeiten an. Deren Einsatz und vor allem auch deren Erfolg, also die Vermittlung an und die praktische Anwendung durch den Mitarbeitenden, sind unterschiedlich und abhängig vom jeweiligen Lerntyp [1 bis 3]. Moderne und digitale Sicherheitsunterweisungen, beispielweise durch den Einsatz von virtueller Realität (VR), sollen die methodischen Mittel erweitern.

1.1 Sicherheitsunterweisungen

Als Bestandteil des betrieblichen Arbeitsschutzes haben Sicherheitsunterweisungen das Ziel „sicherheits- und gesundheitsgerechte Zustände und Verhaltensweisen zu erreichen, oder zu erhalten“ [2]. Unter Einbindung des Mitarbeitenden werden durch sie Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Motivation und Führung vermittelt. All dies sind Aspekte, die zum sicheren Arbeiten notwendig sind. Die Methodik der Unterweisung ist dabei ein wesentlicher Faktor für den Erfolg der Unterweisung.

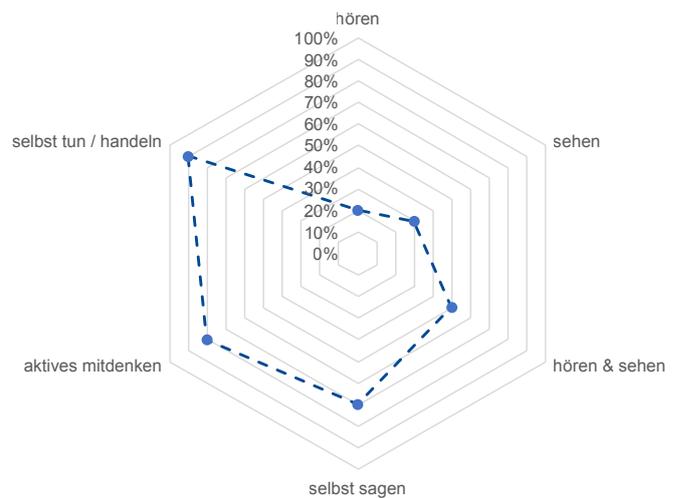


Abb. 1 Behaltenswahrscheinlichkeit bei unterschiedlichen Lernformen und Eingangskanälen nach [2]

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, steigt die Behaltenswahrscheinlichkeit durch das Aktivieren der Mitarbeitenden und durch das Nutzen von mehreren Eingangskanälen. So liegt die Wahrscheinlichkeit, Inhalte durch alleiniges Hören zu behalten bei 20 %, durch alleiniges Sehen bei 30 %, bei der Kombination von Hören und Sehen jedoch schon bei 50 %. Die Behaltenswahrscheinlichkeit bei selbst tun/handeln ist mit 90 % demnach am höchsten.



Abb. 2 Mögliche Zusammensetzung eines VR-Systems. Quelle: nach Dörner, et al.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR) [4].

1.2 Virtual Reality

Die menschliche Gesamtwahrnehmung setzt sich aus den Teilaspekten Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen zusammen. Ersetzt man die realen Reize durch künstliche Reize, so kann man durch eine perfekte Imitation der realen Reize die Wahrnehmung manipulieren und erzeugt eine virtuelle Realität (VR). Durch den „willing suspension of disbelief“, also die Fähigkeit des Menschen Unglauben bewusst auszublenden, kann der Effekt noch verstärkt werden [4].

Zur Umsetzung wird ein VR-System benötigt, das sich, je nach Bedarf, aus mehreren Teilsystemen (vgl. Abbildung 2) zusammensetzen kann. Der VR geht eine jahrzehntelange Entwicklung voraus, doch erst in den letzten Jahren hat die Technik große Fortschritte gemacht und mittlerweile sind eine Vielzahl von Consumer-Produkten am Markt erhältlich [5].

Neben den Vorteilen, die ein VR-System bieten kann, muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass VR nicht uneingeschränkt von jedem Anwendenden genutzt werden kann. So führen Simulatorsickness, Migräne oder psychische Kontraindikationen (wie z. B. Klaustrophobie) zu einer eingeschränkten Nutzung oder gar zu einer Nichtanwendbarkeit.

2 Projektvorstellung

Die klassische Vermittlung von Arbeitsschutzthemen in der jährlichen Sicherheitsunterweisung basiert auf einer Präsentation theoretischer Informationen. Der Einsatz moderner Technik ermöglicht einen neuen Ansatz in der Unterweisung. In diesem Projekt werden basierend auf dem Blended-Learning-Ansatz Theorie und virtuelle Praxis miteinander verknüpft. Die Sensibilisierung der Mitarbeitenden an Arbeitsplätzen in großer Höhe für den korrekten Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung steht dabei im Mittelpunkt des virtuellen Schulungstools. Durch die

Simulation der gefährdenden Arbeitsplätze und Situationen kann den Mitarbeitenden die Wichtigkeit des sicherheitsrelevanten Verhaltens nahegebracht werden, ohne sie realen Gefährdungen bei tatsächlichem Fehlverhalten auszusetzen.

In diesem Projekt werden in mehreren Szenen Tätigkeiten am Arbeitsplatz von Lackierern auf einem Flugzeugflügel virtuell dargestellt. Hierzu wurden zusammen mit dem Auftraggeber BG ETEM die Arbeitsplätze bei einem Vor-Ort-Termin in der Firma besichtigt und typische Gefahrenstellen identifiziert. Das Schulungstool in virtueller Realität soll Bestandteil der jährlichen Sicherheitsunterweisung werden.

3 Projektumsetzung

Das VR-Tool soll als Ergänzung zur klassischen Sicherheitsunterweisung eingesetzt werden, sodass nicht die gesamte Unterweisung in die VR gebracht werden muss, sondern im Rahmen des Projektes sicherheitsrelevante Situationen zum „durchspielen“ implementiert werden. Zu diesen gehören das Aufnehmen und Überprüfen der persönlichen Schutzausrüstung (PSA), das Betreten der Teleplattform (TLP), die korrekte Positionierung der TLP, das Absteigen von dieser, die Ordnung der Arbeitsmittel sowie die Bewegung auf dem Flugzeugflügel.

Jede der relevanten Kernthematiken wird ein spielbares Level ergeben, welches unter Aufsicht von geschulten Supervisoren von den zu Unterweisenden absolviert werden muss. Eine Ansicht der VR-Umgebung ist in Abbildung 3 zu sehen. Damit sich die Anwendenden schnell zurechtfinden, werden die Levelziele auf einem Klemmbrett in der VR (vgl. Abbildung 4) aufgeführt und nach Erledigung visuell abgehakt. Die Level für die Einführung in die Interaktion mit der VR-Brille sowie das Aufnehmen und Überprüfen der PSA sind obligatorisch, alle Weiteren können durch den Supervisor für jeden Anwendenden individuell zu und abgewählt werden. Um die Verträglichkeit der

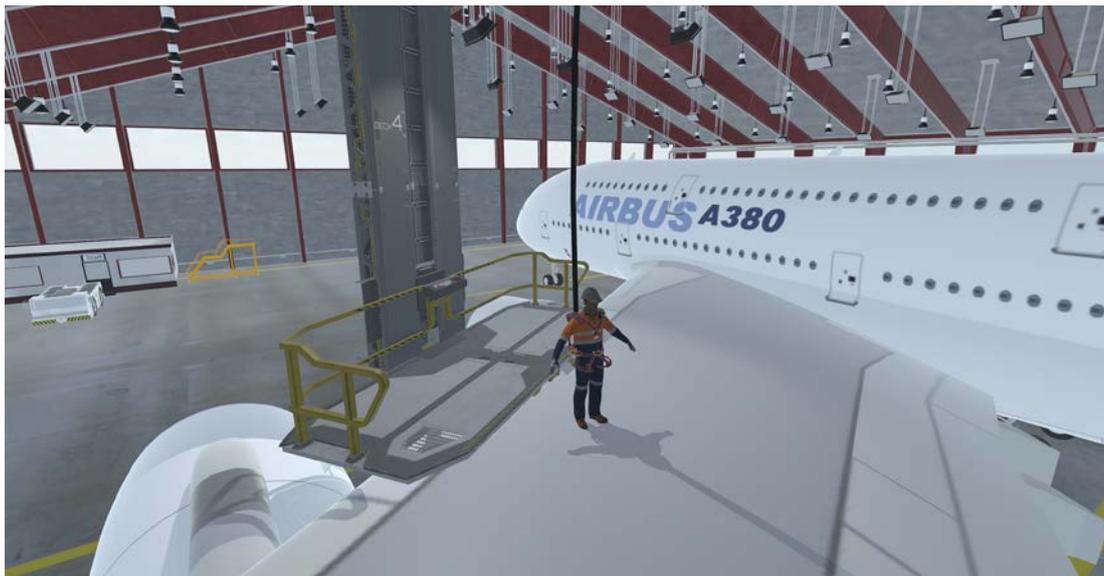


Abb. 3 Blick in das VR-Tool – Arbeiten auf der Tragfläche eines virtuellen A380.

VR-Anwendung zu erhöhen, wird der Absturz vom Flügel nicht möglich sein. Stattdessen erfolgt beim Überschreiten der kritischen Grenze eine Einblendung im Sichtfeld.

4 Ausblick und Fazit

Aktuell befindet sich das Projekt in der Phase der Umsetzung und Implementierung der VR-Szenen. Nach ihrem Abschluss folgen Anwender-Tests durch die Verantwortlichen der Projektpartner. Anschließend wird das VR-Tool ergänzend zur Sicherheitsunterweisung bei Airbus eingesetzt und in der Praxis erprobt.

Da der Erfolg des VR-Tools stark von der Akzeptanz der Anwendenden abhängt, soll die Praxistauglichkeit evaluiert werden. Hierfür wird nach Erstkontakt mit dem Tool einmalig ein Fragebogen ausgefüllt. Der Fragebogen basiert auf dem Training Evaluation Inventory (TEI), der Ruhr-

Universität Bochum (Frau Prof. Dr. Kluge) und der Universität Bremen (Frau Prof. Dr. Hagemann) und wurde in enger Absprache mit ihnen entwickelt. Als Outcome-Dimensionen sollen subjektiver Spaß, wahrgenommene Nützlichkeit & Schwierigkeit, Gestaltungsaspekte, subjektiver Wissenszuwachs sowie die Einstellung gegenüber dem Training erfasst werden.

Da Blended Learning bereits an Hochschulen erfolgreich eingesetzt wird, die praxisnahe Wiederholung des Gelernten zu einem nachhaltigen Lernerfolg führt, das Tool das problem- und handlungsbasierte Lernen fördert und die Fehler in der VR keine Folgen für die Gesundheit des Anwendenden haben, kann das VR-Tool eine sinnvolle Ergänzung zur klassischen Sicherheitsunterweisung werden. Dieses ist jedoch maßgeblich von der Akzeptanz der Zielgruppe abhängig und die eingeschränkte Anwendbarkeit für einige Personengruppen (vgl. 1.2) darf nicht außer Acht gelassen werden.



Abb. 4 Exemplarische To-Do Liste eines Levels des VR-Tools

Literatur

- [1] BGW Themen: **Unterweisen im Betrieb – ein Leitfaden.** Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, Hamburg 2008
- [2] DGUV Information: **Unterweisung – Bestandteil des betrieblichen Arbeitsschutzes** (211-005, bisher BGI 527). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Mainz 2012
- [3] **Unterweisen – Unterweisung planen und durchführen.** Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln.
- [4] *Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., Jung, B.:* Virtual und Augmented Reality (VR / AR), Springer, Berlin 2013
- [5] VR-Brillen – Das sind die 14 besten in [2020]. Hrsg.: mobfish, Braunschweig. <https://mobfish.net/de/blog/vr-brillen/>

Risikobeurteilung trainieren – unterstützt durch virtuelle Realität

Katrin Gomoll¹, Peter Nickel¹, Stephan Huis²

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), Mannheim

Kurzfassung

Risikobeurteilungen nach der Maschinenrichtlinie sind nicht nur für Hersteller von Maschinen, sondern auch für Betreiber relevant, wenn Maschinen für den Einsatz im Betrieb wesentlich verändert und für den Produktionsprozess ggf. verkettet werden. Damit Maschinen und Anlagen sicher gestaltet, umgebaut und betrieben werden können, unterstützt die Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN) Unternehmen bei der Risikobeurteilung u. a. durch Beratung und Schulung. In Seminaren zu Maschinensicherheit und Risikobeurteilung der BGN, wird neben Fachwissen der Maschinensicherheit vermittelt, wann und wie Risikobeurteilungen durchzuführen und zu dokumentieren sind. Dabei sollen praxisnahe Arbeitssituationen den Erwerb von prozeduralem Wissen ermöglichen. In einem von der BGN initiierten Forschungsprojekt integriert das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) ein Qualifizierungsmodul zur Risikobeurteilung unter Einsatz von virtueller Realität (VR) in ein bestehendes Schulungskonzept der BGN und orientiert sich dabei am Human Factors-Konzept zur strukturierten Entwicklung virtueller Umgebungen.

1 Einleitung

Maschinen und technische Anlagen, die auf dem Markt der EU in Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden sollen, müssen den Anforderungen der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes nach Maschinenrichtlinie [1] entsprechen. Danach sind Risikobeurteilungen durch den Maschinenhersteller vorgegeben, die sich als iterativer Prozess auf alle Nutzungsszenarien von Maschinen und technischen Anlagen entlang ihres Lebenszyklus beziehen [1, 2]. Auf eine Identifizierung von Gefährdungen und Bewertung von Risiken folgen Maßnahmen der Risikominderung. Werden Maschinen in Produktionsprozessen wesentlich verändert oder verkettet, ist die Durchführung von Risikobeurteilungen und ggf. die Risikominderung für Maschinenbetreiber relevant, um das erforderliche Schutzniveau zur Unfallverhütung für Maschinen im Betrieb sicherzustellen.

Dabei stellt die Beachtung und Umsetzung der aus der Maschinenrichtlinie und den harmonisierten Normen resultierenden Anforderungen z. B. in Bezug auf Ergonomie, Mensch-System-Interaktion, Sicherheitsabstände und Maschinenzugänge (z. B. [3, 4, 5]) eine Herausforderung dar. Neben Fachwissen zur Beurteilung und Ableitung geeigneter Schutzmaßnahmen, ist Erfahrung in der professionellen Durchführung und Dokumentation von Risikobeurteilungen erforderlich.

Die BGN unterstützt Unternehmen bei der Risikobeurteilung u. a. durch Seminare, die nicht nur Fachwissen und Regeln vermitteln, sondern auch Fertigkeiten und erste Erfahrungen in der Risikobeurteilung einschließlich der Entwicklung und Evaluation von Maßnahmen nach dem STOP-Prinzip (Maßnahmenhierarchie, [6]) ermöglichen. Dabei sollen praxisnahe Arbeitssituationen den Erwerb von prozeduralem Wissen fördern.

Um zu untersuchen, ob und wie virtuelle Realität (VR) für die Risikobewertung im gegebenen Kontext von Vorteil sein kann, hat die BGN ein Forschungsprojekt initiiert, im Zuge dessen das IFA ein VR-gestütztes Qualifizierungsmodul für Risikobeurteilungen entsprechend der EU-Maschinenrichtlinie [1, 2] entwickelt hat. In dem Qualifizierungsmodul für bestehende Schulungen der BGN werden Mensch-System-Interaktionen in virtuellen Arbeitsszenarien ermöglicht, um betriebspraktisch relevantes und problemorientiertes Lernen zu fördern. In den Seminaren erproben Teilnehmende zukünftig die Risikobeurteilung in virtuellen Arbeitsszenarien. Der Analyse von Gefährdungen und Bewertung ermittelter Risiken, folgt ggf. die Ableitung von Schutzmaßnahmen entsprechend der Maßnahmenhierarchie. Schutzeinrichtungen (z. B. trennende Schutzeinrichtungen, Lasergitter) werden ausgewählt und virtuell installiert, um ermittelte Risiken zu eliminieren oder ausreichend zu mindern.

2 Methode

2.1 Qualifizierung und Schulung unterstützt durch Techniken der VR

Die Gestaltung von virtuellen Umgebungen (VE) ist dann erfolgreich, wenn sie die menschliche Informationsverarbeitung zielgerichtet und begründet unterstützen. Dabei ist die multi-sensorische Wahrnehmung von besonderem Nutzen für den Aufbau von mentalen Modellen, die planerisches Denken, problemorientiertes Handeln und Verständnis für die Grenzen einer Lösung ermöglichen [7]. Besondere Möglichkeiten von VR für Qualifizierungsprozesse beziehen sich auf das Paradigma des Instruktionsdesigns und Prinzipien des Konstruktivismus [8], nach denen Wissen von der oder dem Lernenden aktiv konstruiert wird (d. h. Lehrkraft als Moderator, nicht als Wissensvermittler) und „zu wissen“ ein adaptiver Prozess ist, welcher die Erfahrungswelt der oder des Lernenden organisiert [9, 10]. Das Werkzeug einer VR-Anwendung kann solchen Prinzipien durch die Möglichkeit zur Exploration und Konstruktion der Welt, der Abbildung einer Benutzerin bzw. eines Benutzers auf beliebige Charaktere und die Bereitstellung gemeinsamer virtueller Welten gerecht werden [11].

Potenzielle Vorteile von VR-Anwendungen in der Trainingsgestaltung liegen in

- der Verbindung von expliziter Instruktion und konstruktiver Lernaktivität,
- der Unterstützung problemorientierten und selbstgesteuerten Lernens und
- dem Gestalten multimodalen Feedbacks zur Aufgabebearbeitung.

Um die Potenziale virtueller Lernumgebungen auszuschöpfen, sind neben einem an ergonomischen Prinzipien und Anforderungen ausgerichteten Gestaltungsprozess auch psychologische Konzepte wie Präsenz und Immersion in 3D-Visualisierungen sowie ein darauf abgestimmtes Instruktionsdesign zu berücksichtigen [12].

2.2 Human Factors-Konzept zur Integration von Techniken der VR in ein Qualifizierungsmodul

Das Forschungsprojekt beinhaltet die Entwicklung eines VR-Simulationsmodells zur Risikobeurteilung, die Integration als VR-Qualifizierungsmodul in ein adaptiertes Schulungskonzept und die Evaluation als Methode zur Qualifizierung. Es orientiert sich bei der Umsetzung an einem Human Factors-Konzept zur strukturierten VR-Entwicklung (SDVE, 13).

SDVE beinhaltet u. a. eine Trainingsanforderungsanalyse sowie die Gestaltung, Entwicklung und Evaluation von Lernprozessen als Phasen des Instruktionsdesigns [12]. Der iterative Gestaltungsprozess beinhaltet Rückkopplungsschleifen, formative und summative Evaluationen und ermöglicht dadurch die Verfeinerung des Designs. So kann eine VR-Anwendung für eine Trainingsaufgabe (top-down) konzipiert werden und Lernprozesse effektiv unterstützen. Gleichzeitig werden Anforderungen erfüllt (bottom-up), die sich z. B. auf das Leistungsverhalten im Training beziehen [14]. SDVE ist ein schrittweiser Prozess (siehe Auflistung unten) mit Kontextelementen (siehe Informationen in Klammern in der Auflistung) und stützt sich auf verschiedene Methoden zur Informationsermittlung (Abbildung 1) ([16]).

- Projektdefinition (Ziel, Beschreibung, Beteiligte, Möglichkeiten und Grenzen) basierend auf z. B. Trainingsdokumentationen und Interviews.
- Anforderungsanalysen (Analysen von Aufgaben und Nutzern) basierend auf z. B. hierarchischer Aufgabenanalyse und Personas.
- Spezifikationen (Arbeitsszenarien, Storyboards) basierend auf z. B. Trainingsdokumentationen und Interviews.
- Konzeptdesign (Grundlagenwissen, Szenarienwahl, Mensch-System-Interaktion in VE, Trainingsunterlagen, Reflexionen) basierend auf z. B. Trainingsdokumentationen und Diskussionen.
- VR Programmierung (Modellierung, Funktionen, Zusammenhänge) basierend auf z. B. Softwareentwicklungsprozesse und Usability-Studien.
- Umsetzung (Einsatz als VR-Qualifizierungsmodul im Seminar) basierend auf z. B. Gruppenarbeiten, Beobachtungen und Interviews.
- Evaluation (Untersuchung von Lerneffekten) basierend auf z. B. Workshops, Befragungen und Interviews.



Abb. 1 Human-Factors Konzept des SDVE mit Hauptschritten

3 Ergebnisse

3.1 Projektdefinition

Zur Entwicklung des Qualifizierungsmoduls wurden, orientiert an SDVE (Abbildung 1), Ziele definiert, Anforderungen analysiert, Spezifikationen abgeleitet, in einem Trainingskonzept verankert und als Mensch-System-Interaktion in VR programmtechnisch abgebildet. Die virtuelle Umgebung wurde in ein adaptiertes Schulungskonzept integriert und die Praxiserprobung des erarbeiteten Schulungskonzepts wurde zur Optimierung des Trainings genutzt.

3.2 Anforderungsanalysen

Aus den Trainingsanforderungen der bestehenden Schulung zur Risikobeurteilung der BGN leitet sich ab, dass eine Risikobeurteilung schrittweise für die Maschine als Ganzes und nicht für einzelne Risiken durchgeführt wird. In der Schulung werden für jeden Schritt der Risikobeurteilung zunächst Wissen und Regeln durch Vortrag und Beispielanwendung vermittelt, bevor das erworbene Wissen durch die Trainees in virtuellen Szenarien angewandt und Risikobeurteilung erprobt werden soll, um Regeln und Fertigkeiten zu verstetigen.

Auf Grundlage von Interviews und Gruppendiskussionen wurden Benutzeranalysen individuell für Trainingsleitende und Trainees durchgeführt und dokumentiert. Aufgabenanalysen waren für den Erwerb von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten in Risikobeurteilungen im Seminar, einschließlich der Transformationen von instruktionalen Informationen zu prozeduralem Wissen, erforderlich [15].

3.3 Spezifikationen

Abgeleitet aus der hierarchischen Aufgabenanalyse [17] als Zerlegung einer Aufgabe in erforderliche Schritte und Vorgänge zur Durchführung und Dokumentation einer Risikobeurteilung wurde für jeden Schritt der Risikobeurteilung ein Szenario spezifiziert. Jedes Szenario besteht aus (a) einer virtuellen Darstellung der relevanten Umgebung im Nutzungskontext (z. B. Maschine mit und ohne Maßnahmen zur Risikominderung), (b) Mensch-System-Interaktionen (z. B. Begehen der VR-Anwendung im Maßstab 1:1) und (c) Funktionalitäten für Trainingsanforderungen (z. B. Bereitstellung bewährter Lösungen für angemessene Risikoreduktion).

3.4 Konzeptdesign

Das Einpassen der relevanten Charakteristika der virtuellen Aufgabe mit der realen Aufgabe ist dabei maßgeblich um gewünschte Ergebnisse zu orchestrieren und den Lerntransfer sicherzustellen. Der modulare Aufbau des Trainingskonzepts erforderte die sorgfältige Abstimmung der VR-Szenarien mit Anweisungen, Informationen und Operationen der anderen Module.

Eine wichtige Anforderung bestand darin, dass die Lernenden sich selbst intensiv mit der Problematik befassen und eigenständig die Inhalte erarbeiten. Zu diesem Zweck wurden Szenarien entwickelt, die die benutzenden Personen nicht nur durch die Fragestellungen mit den Anforderungen der Lernziele konfrontieren, sondern sie vor allem durch Feedback bei der Identifizierung von Fehlern und falschen Lösungswegen unterstützen.

3.5 VR-Entwicklung und Programmierung

Das dynamische VR-Modell wurde systematisch entwickelt und orientiert sich dabei an den Anforderungen des vorliegenden Projekts. Entwicklungsschritte umfassten die Integration eines 3D-Maschinenmodells in eine virtuelle Umgebung und die Entwicklung von Mensch-System-Interaktionen in virtuellen Arbeitsszenarien. Unity (Unity Technologies ApS, USA) wurde als VR-Entwicklungsumgebung genutzt. Für die Modellentwicklung wird auf 2D Bildmaterial eines Produktionsabschnitts sowie ein 3D-CAD Modell einer Eisfiguren-Fräsmaschine der BGN zurückgegriffen.

Anforderungen aus Risikobeurteilung und den zu berücksichtigenden Szenarien bestimmen Anzahl, Detailierungsgrad und Zusammensetzung der zu modellierenden Einzelkomponenten. Trainingsanforderungen und die aus der Maschinenrichtlinie [1] resultierenden Anforderungen haben dabei technische und gestalterische Auswirkungen auf zusätzliche Bestandteile eines Nutzungskontexts.

In der explorativen Trainingsumgebung folgen auf die selbstinitiierten Aktionen der Benutzerinnen und Benutzer automatisch bestimmte Konsequenzen, durch die eigene Hypothesen über die Wirkungsweise bestimmter Operationen validiert werden können. Implementierte Interaktionsprozesse mit Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen ermöglichen die Evaluation der Maßnahmen im Nutzungskontext. Für die berufspraktische Tätigkeit notwendige Begriffe und Regeln können aus der Wahrnehmung abstrahiert bzw. an diese adaptiert werden.

Das VR-Modell enthält alle wichtigen Informationen zur Maschine, welche für die Beurteilung der Anforderungen aus der Maschinenrichtlinie im Rahmen der Risikobeurteilung notwendig sind. Bewegungsabläufe (z. B. von Fräsrobotern, Eisblöcken) werden dynamisch dargestellt, sodass der Ablauf des Produktionsprozesses einschließlich potentieller Gefährdungen in die Beurteilung miteinbezogen werden kann. Mensch-System-Interaktionen zur Risikobeurteilung wurden zur Förderung von selbstgesteuertem und erfahrungsgeleitetem Aneignen von Fachwissen in virtuellen Trainingszenarien umgesetzt (z. B. die Navigation im VR-Modell zur Beurteilung virtueller Gefährdungen, s. Abbildung 2; oder die Platzierung einer trennenden Schutteinrichtung zur Risikominderung, s. Abbildung 3).

Weitere Trainingsanforderungen zur Integration in das Trainingskonzept wie z. B. die Konservierung von Bearbeitungszuständen (speichern) wurden implementiert.

3.6 Integration und Evaluation

Die virtuelle Umgebung soll in ein adaptiertes Schulungskonzept integriert werden. Erste Praxiserprobungen der VR-Anwendung im erarbeiteten Schulungskonzept wurden zur Optimierung von VR Techniken und Schulungskonzept genutzt. Zur Evaluation des Qualifizierungsmoduls befindet sich eine Untersuchung in Planung.



Abb. 2 VR-Modell mit Mensch-System-Interaktionen für Trainingsanforderungen: Begehen einer virtuellen Maschine

4 Diskussion

Das Human Factors-Konzept des SDVE (inklusive des Instruktionsdesigns) erwies sich zur Entwicklung und Integration des VR-basierten Trainingsmoduls zur Risikobewertung als handlungsleitend und zielführend.

Durch SDVE konnte Ziel und Nutzungskontext der VE-Anwendung auf die Programmierung der VE heruntergebrochen werden. Daher ist die Anforderungsanalyse eng mit organisatorischen Zielen wie dem Arbeitsschutz, strategischen Zielen wie der Risikobeurteilung und spezifischen Zielsetzungen wie Qualifizierung verbunden und schließt Anforderungen der Benutzer bzw. Benutzerinnen mit ein [13]. Für eine ergonomisch erfolgreiche Integration der VR-Anwendung in den Anwendungskontext wurden neben inhaltlichen und zielbezogenen auch methodische und technologische Aspekte berücksichtigt [13]. VR Techniken sind Werkzeuge, die integriert in einen Anwendungskontext Qualifizierungsmodule in Schulungen zu Risikobeurteilungen unterstützen können.

5 Fazit und Ausblick

Die zielführende und erfolgreiche Nutzung eines Human Factors-Konzepts, wie des SDVE im Kontext des Arbeitsschutzes, das im aktuellen Forschungsprojekt eingesetzt wurde, bietet eine solide Grundlage, um weitere Projekte in Industrie und Dienstleistung zu bearbeiten.



Abb. 3 Platzieren einer trennenden Schutteinrichtung im VR-Modell

Die Nutzung eines Human Factors-Konzepts ist wichtig, da Technologien der virtuellen und erweiterten Realität künftig immer öfter praktische Anwendung in Prävention und Arbeitsschutz finden werden, z. B. bei der Planung von Maschinen und Arbeitsplätzen.

Das Potential virtueller Realität für die Prävention besteht darin, bereits während der Konstruktion von Maschinen und Anlagen Sicherheitsdefizite frühzeitig aufzudecken und vormals schwer Darstellbares, wie Zugangsmöglichkeiten und Verkehrs- und Fluchtwege bei komplexen Anlagen, zu visualisieren [18]. Die Analyse und Evaluation zukünftiger Mensch-System-Interaktionen im Rahmen virtueller Arbeitsschutzbeurteilungen kann Sicherheit und Gesundheitsschutz an zukünftigen Arbeitsplätzen fördern [19]. Durch Innovationen und Digitalisierung ändern sich Arbeitssysteme und damit Risiken, denen Menschen am Arbeitsplatz ausgesetzt sind. Der frühzeitigen Beachtung von Arbeitsschutzanforderungen während der Planung von Maschinen und Arbeitsplätzen kommt zunehmend Bedeutung zu.

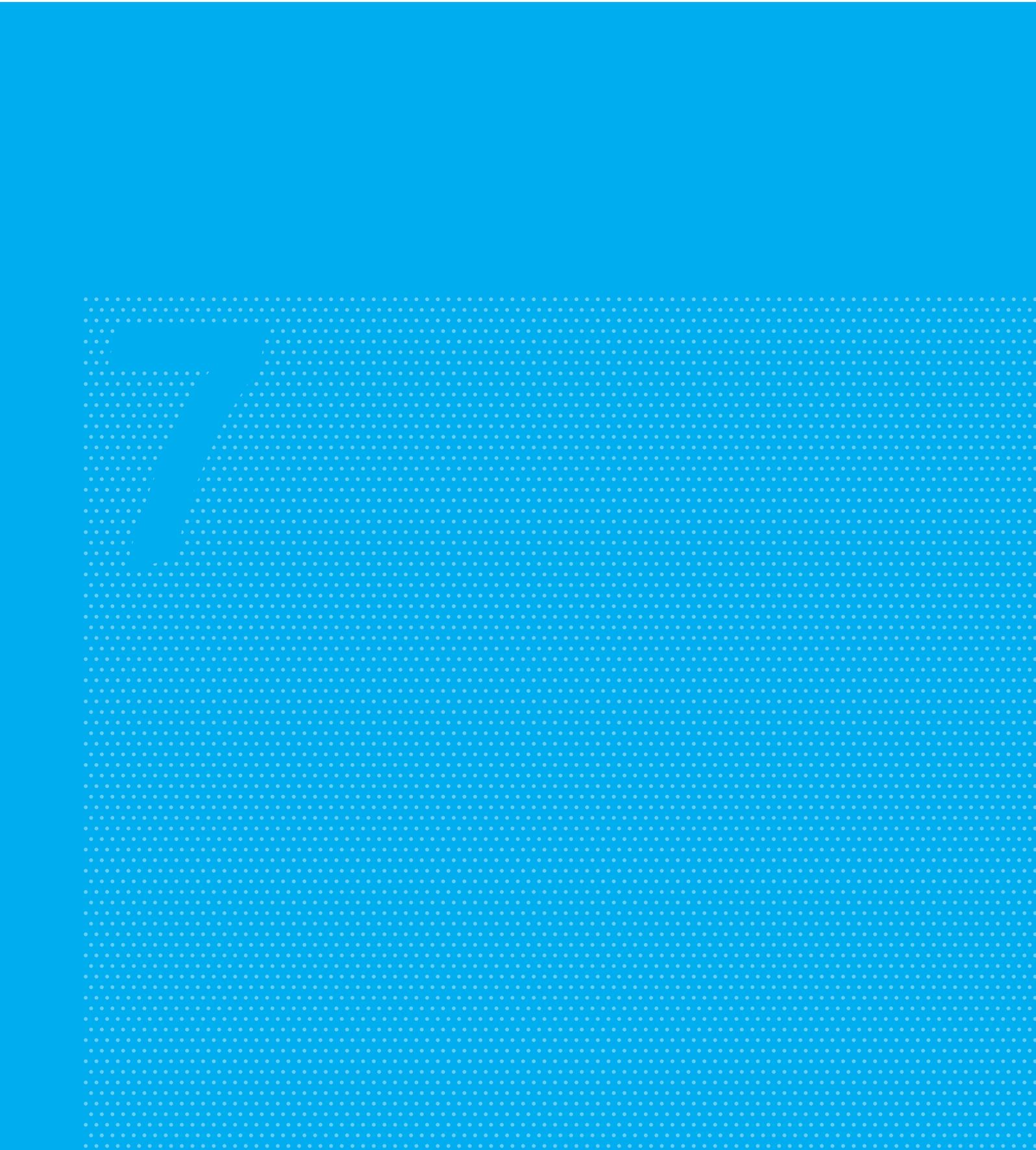
Danksagung:

Die Autoren danken Herrn Christopher Braun und Herrn Nicolai Leuthner der Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus, Remagen sowie Herrn Andy Lungfiel und Herrn Albert Bohlscheid des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin für die technische Entwicklung des dynamischen VR-Modells mit Unity (Unity Technologies ApS, USA).

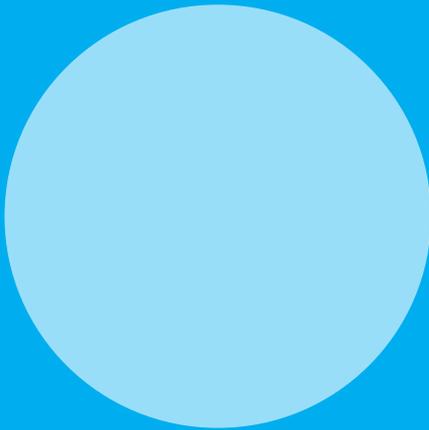
Literatur

- [1] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.5.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L, 157 (2006), S. 24
- [2] DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobewertung und Risikominderung. Beuth, Berlin 2011
- [3] DIN EN 614: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze (06/2009), Teil 2: Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben (12/2008). Beuth, Berlin, 2008
- [4] DIN EN 547: Sicherheit von Maschinen – Körpermaße des Menschen – Teil 1: Grundlagen zur Bestimmung von Abmessungen für Ganzkörper-Zugänge an Maschinenarbeitsplätze (01/2009), Teil 2: Grundlagen für die Bemessung von Zugangsöffnungen, Teil 3: Körpermaßdaten. Beuth, Berlin, 2009
- [5] DIN EN ISO 13855: Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen (10/2010). Beuth, Berlin, 2010
- [6] BGHM Information 102: Beurteilen von Gefährdungen und Belastung. Anleitungshilfe zur systematischen Vorgehensweise, sichere Schritte zum Ziel. Hrsg.: BGHM, Mainz 2016
- [7] *Lindgren, R.; Moshell, M.; Hughes, C. E.:* Virtual Environments as a Tool for Conceptual Learning. In: Hale, K.S.; Stanney, K.M. (Hrsg.): Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications. 2. Aufl. CRC Press, Boca Raton (2015), S. 1043–1055
- [8] *Chen, C.J.; Teh, C. S.:* An affordable virtual reality technology for constructivist learning environments. In: Proceedings of the 4th Global Chinese Conference on Computers in Education (GCCCE2000), Singapore, Mai 2000. GCCCE, Singapore 2000, S. 414–421
- [9] *Chuah, K.M.; Chen, C.J.:* Unleashing the Potentials of Desktop Virtual Reality as an Educational Tool: A Look into the Design and Development Process of ViSTREET. In: Proceedings of the 2nd International Malaysian Educational Technology Convention (IMETC2008), Kuantan, Nov 2008. IMETC, Kuantan 2008, S. 81–86

- [10] Merrill, M.D.: Constructivism and instructional design. *Educational Technology* 31 (1991) Nr. 5, S. 45–53
- [11] Burdea, G. C.; Coiffet, P.: *Virtual reality technology*. 2. Aufl. Wiley, Hoboken, 2003.
- [12] D’Cruz, M.: *Structured evaluation of training in virtual environments*. Doktorarbeit. University of Nottingham (1999)
- [13] Eastgate, R. M.; Wilson, J. R.; D’Cruz, M.: *Structured Development of Virtual Environments*. In: Hale, K. S.; Stanney, K. M. (Hrsg.): *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications*. 2. Aufl. CRC Press, Boca Raton 2015, S. 353–390
- [14] Gomoll, K.; Nickel, P.; Huis, S.: *Development of a VR based qualification module in trainings on risk assessments according to the EU Directive on Safety of Machinery*. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2018)*, Nancy, Oct 2018. Hrsg.: INRS, Nancy 2018, S. 306–311
- [15] Gomoll K.; Nickel P.; Huis S.: *Systematische Entwicklung eines Qualifizierungsmoduls zur Risikobeurteilung unter Einsatz von virtueller Realität*. In: 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dresden, März 2019. Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA-Press, Dortmund 2019, A. 11.2 S. 1–5
- [16] Nickel, P.; Gomoll, K.; Huis, S.: *Dynamische VR-Szenarien in Seminarmodulen zur Qualifizierung für Risikobeurteilungen – Posterpräsentation*. 7. DGUV-Fachgespräch Ergonomie, DGUV Congress – Tagungszentrum des IAG, Dresden, November 2019.
- [17] Stanton, N.A.: *Hierarchical task analysis: developments, applications, and extensions*. *Applied Ergonomics* 37 (2006) Nr. 1, S. 55–79
- [18] Huis, S.: *Risikobeurteilung mit der VR-Brille*. bgn akzente Magazin für Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz und Rehabilitation (2019), Nr. 6, S. 8–9
- [19] Nickel, P.; Janning, M.; Wachholz, T.; Pröger, E.: *Shaping Future Work Systems by OSH Risk Assessments Early On*. In: Bagnara, S.; Tartaglia, R.; Albolino, S.; Alexander, T.; Fujita, Y. (Hrsg.): *Proceedings of the 20th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Vol. II, Safety and Health, Slips, Trips and Falls (IEA 2018, August 26–30, 2018, Florence, Italy)*. Springer Nature, Cham, 2019, S. 247–256

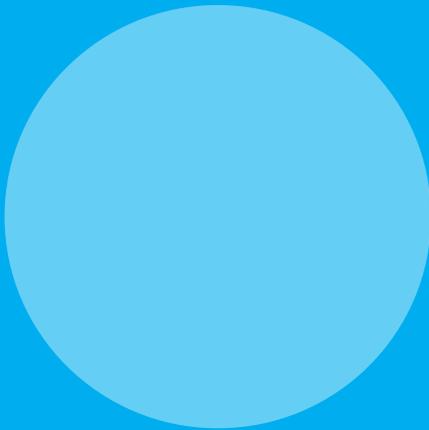


Individuelle Prävention



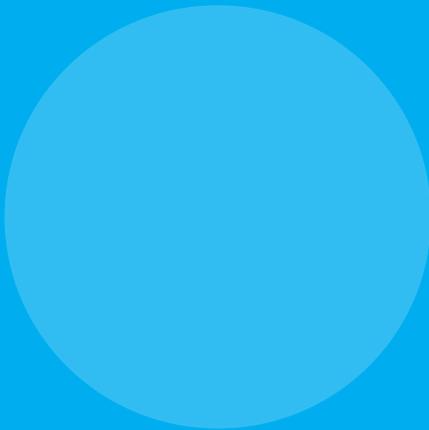
Training zur Stolperprävention mit Hilfe von virtueller Realität – erste Ergebnisse

Anika Weber, Peter Nickel, Daniel Friemert, Ulrich Hartmann, Kiros Karamanidis



Vielfalt in der Individualprävention – Orientierungshilfe für Beschäftigte

Thomas Fietz, Tobias Belz



Individualprävention bei arbeitsbezogenen Muskel-Skeletterkrankungen

Rolf Ellegast

Training zur Stolperprävention mit Hilfe von virtueller Realität – erste Ergebnisse

Anika Weber^{1, 2, 3}, Peter Nickel³, Daniel Friemert¹, Ulrich Hartmann¹, Kiros Karamanidis²

¹ Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus (RAC), Remagen

² London Southbank University, London

³ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Kurzfassung

Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle zählen zu der häufigsten Unfallursache im Arbeitsleben. Mit Hilfe von Techniken virtueller Realität und biomechanischer Bewegungsanalyse wurde ein Trainingsprogramm zur Untersuchung von Gangparametern entwickelt, das nach erfolgreicher Überprüfung der Effekte die Ausarbeitung von Präventionsmaßnahmen für Stolperunfälle unterstützen soll. Vorgestellt werden Ergebnisse aus einer Pilotmessung zur Vorbereitung einer Untersuchungsreihe, bei der ein Proband auf einem Laufband mit Sturzsicherung geht und in einer virtuellen Umgebung über plötzlich auftauchende virtuelle Hindernisse steigt. Währenddessen werden Koordinations- und Gleichgewichtsparameter erfasst und ausgewertet. Mit der Pilotmessung werden Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung sowie das Vorgehen zur Datenerhebung und -auswertung vorbereitet. Anhand der Ergebnisse zeichnen sich Verbesserungen der Gangstabilität ab, die erste Hinweise auf Lerneffekte durch das Trainingsprogramm mithilfe von Techniken virtueller Realität nahelegen. Allerdings kann erst eine nun folgende, systematische Studie ermitteln, ob Effekte auftreten und worauf sie zurückzuführen sind.

1 Einleitung

Ein Fünftel aller Arbeitsunfälle in Deutschland werden mit Stolpern, Rutschen und Stürzen (SRS) in Verbindung gebracht [1]. Neben schmerzhaften Verletzungen bis hin zu bleibenden Schäden bei den Betroffenen ergeben sich für die unfallversicherten Unternehmen zusätzliche Aufwendungen durch Arbeitsausfalltage der Beschäftigten. Die Prävention von SRS-Unfällen hat daher nicht nur für den Arbeitsschutz hohe Priorität, sondern ist auch aus volkswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Gründen relevant.

Unfallursachen sind in diesem Bereich multikausal und vielfältig. Sie reichen von baulichen Mängeln begehrter Arbeitsbereiche, über rutschige oder durch Gegenstände verstellte Verkehrswege bis hin zu im Gehbereich liegende gebliebene Arbeits- und Betriebsmittel oder geschehen aus unbekanntem Gründen auf Treppen oder Wegen. Ebenso vielfältig orientieren sich Präventionsmaßnahmen

am STOP-Modell [2] und beziehen sich auf bauliche Neu- und Umgestaltungen, die SRS-Gefährdungen möglichst nicht entstehen lassen (z. B. stufenlose Arbeitsbereiche, rutschhemmende Fußböden), sowie auf organisatorische und personale Maßnahmen (z. B. Aufräumen von Arbeitsbereichen und Arbeitsschuhe als persönliche Schutzausrüstung). Je höher die verwendete Maßnahme in der Hierarchie von der Substitution über technische, organisationale bis hinunter zu personalen Maßnahmen sind, desto nachhaltiger ist die Prävention für alle Beschäftigten. Allerdings erscheinen beim aktuellen Stand der Zahlen zu Unfällen und zu Neuverletzungen Maßnahmen dringend auf allen Hierarchieebenen erforderlich.

Personale Maßnahmen, wie etwa Trainingsprogramme, mit denen zur Unfallprävention beigetragen werden soll, werden häufig angeboten. Allerdings mangelt es generell an Nachweisen zur Wirksamkeit. Beschreibungen zur Relevanz in der betriebspraktischen Prävention bleiben vage [3]. So werden etwa Kraft- und Gleichgewichtstrainings angeboten, die auch der Unfallprävention dienen sollen (z. B. „FitForFire – Stabilitäts- und Koordinationstraining zur Reduzierung von SRS-Unfällen“, [4]). Auch wenn Studienergebnisse kurzfristig auf leichte Verbesserungen im dynamischen Gleichgewicht und der Reaktionsfähigkeit hindeuten sollen, so bleiben Auswirkungen auf Unfallzahlen offen [5]. Neben einem notwendigen Nachweis von langfristigen und für die Unfallprävention relevanten Effekten bestehen einige grundsätzliche Nachteile von Kraft- und Gleichgewichtstrainings (z. B. sinkende Motivation und Ausdauer der Teilnahme, hoher und lang andauernder zeitlicher Aufwand, Verfügbarkeit von Trainingsgeräten). In den Sportwissenschaften konnte durch mechanisches Training mit älteren Menschen gezeigt werden, dass das neuromotorische System eine hohe Plastizität für wiederholte unerwartete Perturbationen (Störungen) während des Gehens besitzt und die Fähigkeit hat, diese Adaptionen über einen langen Zeitraum (1,5 Jahre) beizubehalten [6]. Solche erlernten neuen Verhaltensstrategien könnten auch dazu beitragen, dass langfristig Stürze ganz vermieden oder zumindest in ihrer Schwere reduziert werden.

In der Trainingsforschung und für die Entwicklung von Trainingsprogrammen werden zunehmend Simulations-

techniken wie z. B. virtuelle Realität (VR) eingesetzt, die den Aufwand an physischen Trainingsgeräten reduzieren, orts- und zeitflexibel einsetzbar sind und neben einem realitätsnahen Kontext von Trainings szenarien auch neue Interventionen zur Umsetzung von Trainingsinhalten bieten sollen [7]. Unterstützt durch VR-Techniken wurden bereits einige Trainingsprogramme entwickelt, die im Kontext der SRS-Unfallprävention durchaus relevant werden können. Ein Laufbandtraining, bei dem eine Perturbation durch eine plötzliche Neigung des virtuellen Bildes ausgelöst wird, zeigte beim Transfer in echte Rutschsituationen eine bessere Abfangstrategie [8]. Zudem konnten proaktive und reaktive Anpassungen festgestellt werden [9]. Dadurch kann das Auftreten von Stürzen reduziert werden. Langzeiteffekte wurden allerdings nicht untersucht. In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass ein Training in virtueller Realität zu ähnlichen Reaktionen und Anpassungen des Gangs führt wie ein Training bei dem mechanische mit virtuellen Perturbationen gekoppelt werden [10]. Bisherige Studien, die SRS-Trainingsprogramme in der virtuellen Realität umsetzen, beschäftigen sich vorrangig mit Rutschgefahren. Im Bereich der Stolperprävention sind kaum Studien zu finden.

Durch diese positiven Befunde angeregt, soll mittelfristig ein Trainingsprogramm zur Stolperprävention mit Hilfe einer virtuellen Umgebung entwickelt werden. In einer ersten Studie wird der Fragestellung nachgegangen, ob und inwieweit Kriterien aus realen Trainingssettings Aspekte des Lernerfolgs auch aus virtuellen Settings abbilden können. Zur Vorbereitung dieser Studie wurde eine Pilotmessung durchgeführt, um den Versuchsaufbau vorzubereiten und das Vorgehen zur Erhebung und Auswertung der Daten zu überprüfen. Erste Ergebnisse dieser Pilotmessung werden vorgestellt.

2 Methode

Eine zurzeit laufende Studie im Biomechaniklabor der Hochschule Koblenz, Rhein-Ahr-Campus, Remagen untersucht den Lernerfolg und Transfer eines Stolpertrainingsprogrammes mit Hilfe von Techniken virtueller Realität. Dazu sollen jeweils junge (18–30 Jahre) und ältere (50–65 Jahre) Testpersonen das Trainingsprogramm absolvieren. Die Aufgabe der Testpersonen besteht darin, plötzlich auftauchende virtuelle Hindernisse zu übersteigen. Dazu gehen sie auf einem realen Laufband (Pulsar, h/p/cosmos, Deutschland) mit Sturzsicherung während sie über ein Head-Mounted-Display (HMD) (HTC Vive Pro, HTC Corporation, Taiwan) eine virtuelle Umgebung sehen. Währenddessen werden Bewegungsdaten des gesamten Körpers über ein Motion-Capturing-System (Oqus, Qualisys AB, Schweden) in hoher Auflösung erhoben. Dazu werden relevante Körperpunkte mit Markern versehen, die als Zeitserien mit einer Auflösung von 120 Hz erfasst werden.

Damit die Testpersonen ihre eigenen Körperbewegungen in der virtuellen Umgebung erkennen können, werden Daten eines Körpermodells aus den erfassten Markern ermittelt und in der virtuellen Umgebung als eigene Körperbewegungen dargestellt. Zudem werden mithilfe des Motion-Capturing-Systems potenziell relevante Bewegungsdaten über die gesamte Versuchszeit und besonders während des Übersteigens von virtuellen Objekten erhoben, die u. a. auf eine Plastizität neuromotorischer Systeme hinweisen sollen (z. B. Vertical Toe Clearance, Trail/Lead Foot Distance, Crossing step length, Precrossing stride length, Dynamic stability; siehe Abbildung 1).

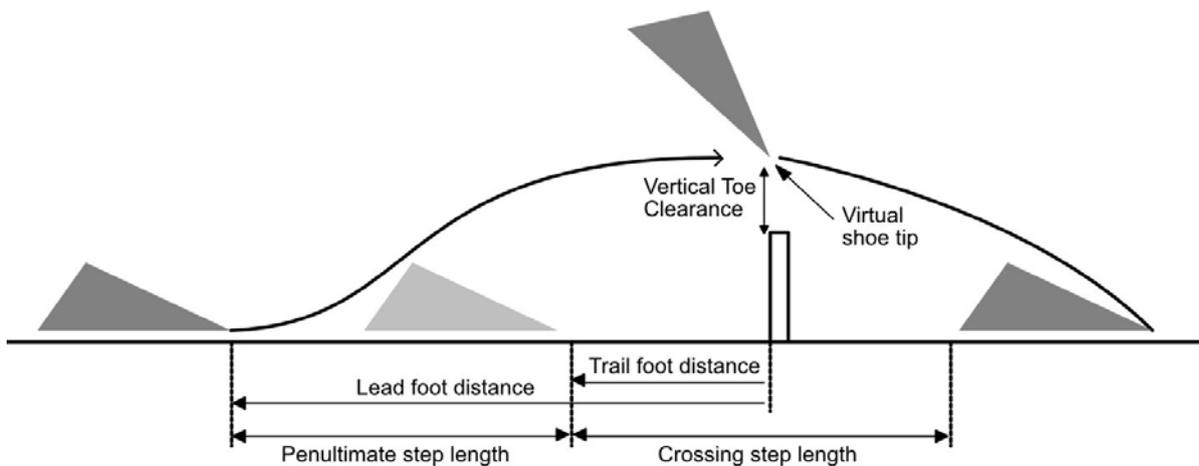


Abb. 1 Darstellung einiger erfasster Gangparameter für beide Füße beim Übersteigen von Objekten

Neben den Bewegungsdaten werden auch demographische Informationen der Testpersonen sowie Daten zur allgemeinen Bearbeitungsleistung und dem Empfinden zugänglichen Verhaltensdimensionen bezogen auf die virtuelle Umgebung (z. B. SSQ, [11]; ITQ, PQ, [12]) sowie bezogen auf die Aktivitäten während des Parcours vorab und nach Versuchsabschnitten erhoben.

3 Ergebnisse einer Pilotmessung

Mithilfe einer Pilotmessung werden der Versuchsaufbau der oben genannten Studie und das Vorgehen zur Erhebung und Auswertung der Daten vorbereitet. Die Margin of Stability (MoS) beschreibt in Abbildung 2 das dynamische Gleichgewicht zum Zeitpunkt des Fersenauftritts während des Gehens eines männlichen Probanden, der auf dem Laufband virtuelle Hindernisse übersteigt. Je höher die MoS ist, desto besser kann der Proband seinen Körper im Gleichgewicht halten.

Im ersten Abschnitt (Schritte 0-105 des rechten Beins, siehe Abbildung 2) geht der Proband auf dem Laufband, während er sich am Handlauf festhält. Dies dient der Gewöhnung des Probanden an das Gehen auf dem Laufband, während er eine virtuelle Umgebung sieht und noch

keine virtuellen Hindernisse übersteigen muss. Zudem gewöhnt sich der Proband in dieser Phase an die Geschwindigkeit, die ihm vom Laufband vorgegeben wird. Im zweiten Abschnitt (Schritte 105–270 des rechten Beins, siehe Abbildung 2) lässt der Proband den Handlauf des Laufbands los und bewegt sich frei auf dem Laufband während er im virtuellen Szenario voranschreitet. Dabei fällt die MoS im Mittel wieder ab und die Streuung der MoS wird größer.

Im dritten Abschnitt (Schritte 270–810 des rechten Beins, siehe Abbildung 2) erscheinen unerwartet virtuelle Hindernisse, die der Proband übersteigen soll. Während des Übersteigens der Hindernisse wird die MoS und damit der Gang deutlich instabiler (hellblaue Punkte in Abbildung 2) im Vergleich zu den Schritten ohne Hindernisse (dunkelblaue Punkte in Abbildung 2). Die Streuung ist sehr groß. Über diesen Abschnitt ist kein Lerneffekt sichtbar, der sich in einer steigenden MoS über die Zeit abbilden würde. Im vierten Abschnitt (Schritte 810–900 des rechten Beins, siehe Abbildung 2) geht der Proband wieder, ohne dass er virtuelle Hindernisse übersteigen muss. Dabei wird deutlich, dass die MoS und damit der Gang stabiler ist als vor dem Abschnitt, in dem Hindernisse übersteigen werden mussten, d. h. im zweiten Abschnitt bzw. der Schritte 105–270 des rechten Beins.

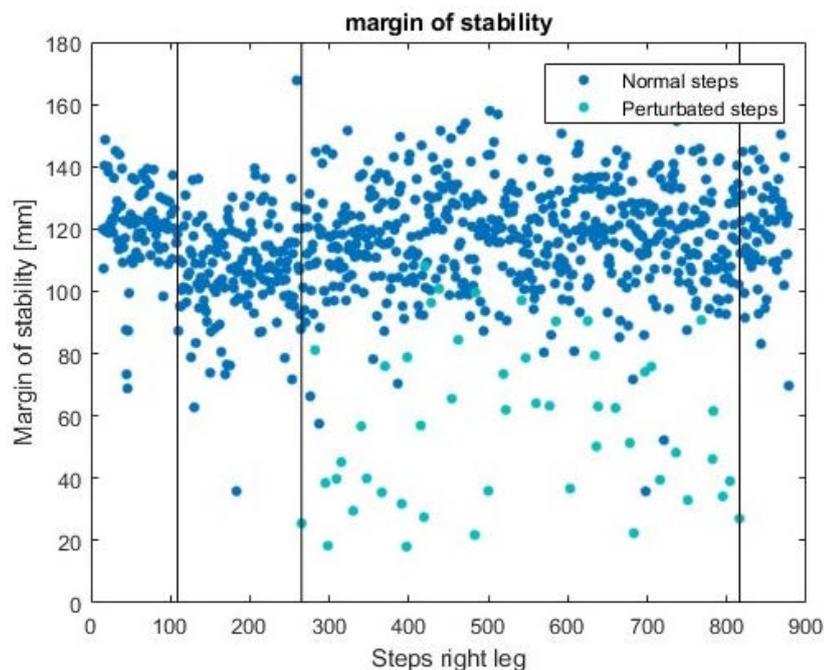


Abb. 2 In Abschnitte aufgeteilte Pilotmessung der MoS über 900 Schritte mit dem rechten Bein während des Gehens auf dem Laufband

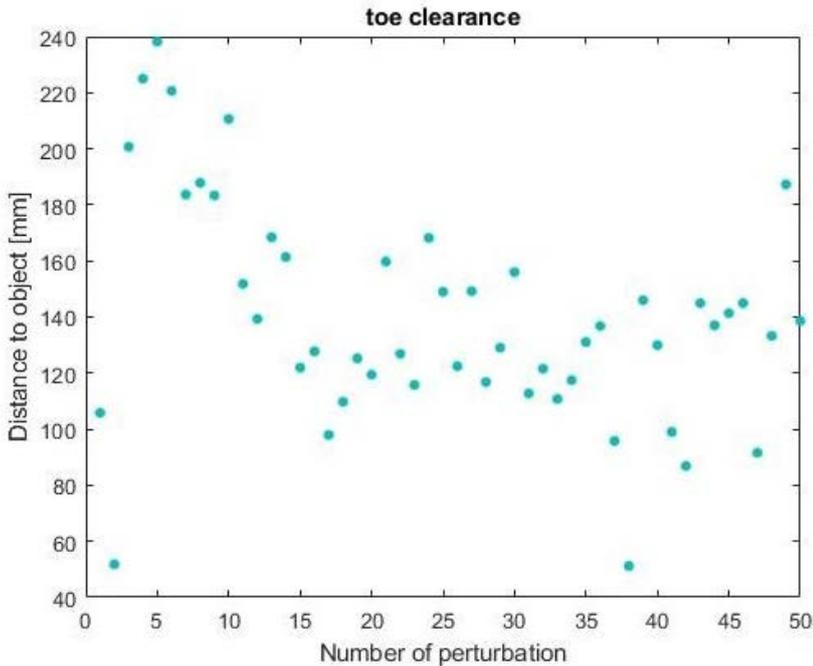


Abb. 3
ToC des rechten Beins beim Übersteigen der Hindernisse im Abschnitt der Schritte 270–810 aus Abbildung 2

In Abbildung 3 ist die Toe Clearance (ToC) des männlichen Probanden beim Übersteigen der virtuellen Hindernisse dargestellt. Die ToC beschreibt den vertikalen Abstand des Zehenmarkers zum Hindernis beim Überschreiten, d. h. bei einem Abstand > 0 wird das Hindernis berührungslos überschritten und bei einem Abstand < 0 wird das Hindernis berührt und es besteht die Gefahr des Stolperns. Dieser Ausschnitt bezieht sich auf den dritten Abschnitt aus Abbildung 2. Aus den Ergebnissen zur ToC wird zunächst ein steiler und danach abflachender Abfall sichtbar, der als abfallende Lernkurve mit anschließendem Plateau interpretiert werden kann. Bei den ersten virtuellen Hindernissen in Höhe von 100 mm hebt der Proband den rechten Fuß bis zu 240 mm über das Hindernis an. Der Proband übersteigt das Hindernis also mit dreifacher Höhe als theoretisch notwendig. Anschließend sinkt der Wert, bis ein Plateau bei im Mittel etwa 125 mm erreicht wird (d. h. gut die doppelte Höhe als theoretisch notwendig). Die Streuung bei diesem Plateau ist jedoch sehr hoch.

4 Diskussion

Anhand der hier vorgestellten ersten Ergebnisse aus einer Pilotmessung deutet sich an, dass es mit dem entwickelten Mess- und Versuchsaufbau möglich ist, die Fragestellungen einer nachfolgenden Hauptstudie zu bearbeiten. Die beiden wesentlichen Parameter MoS und ToC können ermittelt, ausgewertet und im Verlauf abgebildet werden. Damit lassen sich Aspekte von Lernprozessen zur Gangstabilität nicht nur in realen, sondern auch in virtuellen Trainingssettings abbilden.

Der hier präsentierte und nicht repräsentative Einzelfall zeigt zwar eine Anpassung der ToC über die Zeit, allerdings keine Verbesserung der MoS im Verlauf. Ein Lernerfolg wird bei dieser Pilotmessung vor allem anhand der ToC sichtbar. Während des Übersteigens kommt es durch die plötzlich auftauchenden Hindernisse zu einer starken Störung der Gangstabilität des Probanden. Zum Ende des Trainingsabschnittes ist die Gangstabilität tendenziell etwas besser als zu Beginn des Trainings und kann durch die Gewöhnung des Probanden an die Trainingssituation oder durch Lerneffekte bzw. das Ausbleiben weiterer Verschlechterungen während des Übersteigens von Hindernissen erklärt werden. Allerdings wird wider Erwarten keine Verbesserung der Gangstabilität über die Perturbationen hinweg deutlich. Da es sich hierbei um eine einzelne Pilotmessung handelt, können Aussagen über tatsächliche und generalisierbare Auswirkungen erst durch systematische Studien getroffen werden.

Das vorgestellte Einzelergebnis diente auch der Vorbereitung einer Studie zur Erfassung von Lerneffekten und Transfereffekten eines Trainingsprogramms mit Techniken virtueller Realität bei unterschiedlichen Altersgruppen. In einer nachfolgenden Studie soll zudem der Transfer des gelernten motorischen Verhaltens auf ein reales Hindernis und deren Beibehaltung überprüft werden. Langfristig könnte ein auf dieser Basis weiterentwickeltes Trainingsprogramm dann einen Baustein für Präventionsmaßnahmen von SRS-Unfällen bieten.

Literatur

- [1] DGUV: Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2018. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin (DGUV) 2019. [<https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3680>]
- [2] BGHM-Information 102: Beurteilen von Gefährdungen und Belastung. Anleitungshilfe zur systematischen Vorgehensweise, sichere Schritte zum Ziel. BGHM, Mainz 2016
- [3] *Weber, A.; Nickel, P.; Hartmann, U.; Friemert, D.; Karamanidis, K.*: Contributions of Training Programs Supported by VR Techniques to the Prevention of STF Accidents. Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 2020 (in press)
- [4] HFUK: Das FitForFire Stabilitäts- und Koordinations-training zur Reduzierung von SRS-Unfällen. Hanseatische Feuerwehr-Unfallkasse Nord (HFUK Nord), Kiel 2020 [<https://www.hfuknord.de/hfuk/praevention/projekte-und-aktionen/fitforfire-und-jffit/fitforfire-und-jffit--trainingsbroschuere-srs-unfaelle.php>]; Zugriff: 25. 2. 2020
- [5] *Mohr, J.-O.*: Fit gegen das Stolpern – Projektstudie der HFUK Nord. In: DGUV (Hg) 6. DGUV-Fachgespräch Ergonomie. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2017, S. 125–127
- [6] *Epro, G.; Mierau, A.; McCrum, C.; Leyendecker, M.; Brüggemann, G-P.; Karamanidis K.*: Retention of gait stability improvements over 1.5 years in older adults: effects of perturbation exposure and triceps surae neuromuscular exercise. *Journal of Neurophysiology* 119 (2018), No. 6, S. 2229–2240.
- [7] *Simpson, B. D.; Cowgill, J. L.; Gilkey, R.H.; Weisenberger, J. M.*: Technological Considerations in the Design of Multisensory Virtual Environments: How Real Does It Need to Be? In: Hale, K. S., Stanney, K. M. (Eds.): *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications*. CRC Press, Boca Raton 2015, S. 313–333
- [8] *Parijat, P.; Lockhart, T.E.; Liu, J.*: Effects of perturbation-based slip training using a virtual reality environment on slip-induced falls. *Annals of Biomedical Engineering* 43 (2014) No. 4, S. 958–967 [<https://doi.org/10.1007/s10439-014-1128-z>]
- [9] *Parijat, P.; Lockhart, T.E.; Liu, J.*: EMG and kinematic responses to unexpected slips after slip training in virtual reality. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 62 (2015), No. 2, S. 593–599. [<https://doi.org/10.1109/tbme.2014.2361324>]
- [10] *Riem, L.; Van Dehy, J.; Onushko, T.; Beardsley, S.*: Inducing compensatory changes in gait similar to external perturbations using an immersive head mounted display. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces 2018*, S. 128–135. [<https://doi.org/10.1109/vr.2018.8446432>]
- [11] *Kennedy, R. S.; Lane, N. E.; Berbaum, K. S.; Lilienthal, M. G.*: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology* 3 (1993), No. 3, S. 203–220
- [12] *Witmer, B. G.; Jerome, C. J.; Singer, M. J.*: The factor structure of the Presence Questionnaire. *Presence* 14 (2005), No. 3, S. 298–312

Vielfalt in der Individualprävention – Orientierungshilfe für Beschäftigte

Thomas Fietz¹, Tobias Belz²

¹ Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG), Dresden

² Verwaltungsberufsgenossenschaft (VBG), Mainz

Erstellt vom Sachgebiet „Beschäftigungsfähigkeit“ im Fachbereich „Gesundheit im Betrieb“

Kurzfassung

Diversity bedeutet Verschiedenheit bzw. Vielfältigkeit und bezieht sich insbesondere auf wirtschaftliche, kulturelle und soziale Vielfalt in der menschlichen Gesellschaft. Der Diversity-Gedanke hilft, eine sich rasch wandelnde Arbeitswelt in ihrer Komplexität besser zu verstehen. Diese Komplexität, kann durch Normen und Regeln allein nicht abgebildet werden. Um die Vielfalt bei den Beschäftigten und im Arbeitsleben beurteilen zu können ist Komplexitätskompetenz erforderlich. Nur so kann eine erfolgreiche vorausschauende Kultur der Prävention entwickelt werden. In der Arbeitswelt unterstützt dabei der Diversity-Gedanke, diese komplexen Zusammenhänge besser zu verstehen und eine proaktive bzw. wertschöpfende Haltung zu entwickeln. Dieser Beitrag wurde zuerst veröffentlicht in der Zeitschrift „sicher ist sicher“ [1].

Konstruktiver Umgang mit Diversity

In der heutigen Arbeitswelt entsteht eine zunehmende personelle, soziale und kulturelle Vielfalt in der Belegschaft. Diese zu fördern, ist eine wichtige Herausforderung. Teams werden heterogener. Gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklungen gehen über Ländergrenzen hinaus und beeinflussen die Lebens- und Arbeitswelt weltweit. Neben den dynamischen gesellschaftlichen Veränderungen entstehen neue Formen der Arbeit, welche die Entwicklung unserer Arbeitsgesellschaft stark beeinflussen. Treiber dieser Entwicklung sind vor allem der technische Fortschritt und wirtschaftliche Interessen [2].

Auch in Zeiten zunehmender Technisierung der Arbeitswelt bleiben Arbeitsergebnisse in erster Linie das Resultat der Zusammenarbeit von Menschen mit ihren individuellen Eigenschaften. Vor diesem Hintergrund gewinnt das Thema Diversity auch für die gesetzliche Unfallversicherung weiter an Bedeutung. Das Sachgebiet „Beschäftigungsfähigkeit“ des Fachbereichs „Gesundheit im Betrieb“ setzt daher mit dem Aspekt Diversity einen Themenschwerpunkt für seine Arbeit. Das Sachgebiet stellt in diesem Zusammenhang die Ergebnisse einer Arbeitsgruppe in Form einer Orientierungshilfe zum Thema Diversity vor.

Die Orientierungshilfe soll Beschäftigten der Unfallversicherungsträger einen Überblick über die verschiedenen Facetten von Vielfalt in der Arbeitswelt geben. Sie bietet neben einer Definition und einer erläuterten Übersicht zu den Dimensionen von Vielfalt auch Beispiele, welchen Einfluss Vielfalt in der Arbeitswelt auf Sicherheit und Gesundheit im Betrieb hat.

Entscheidend für die dauerhafte erfolgreiche Bewältigung der Herausforderungen in der Arbeitswelt von heute und morgen ist der konstruktive Umgang mit Diversity und dessen Verankerung in der Unternehmenskultur. Dabei sind sowohl die angeborenen Merkmale von Personen als auch äußere Einflüsse gleichermaßen wichtig bei der Betrachtung von Vielfalt in den Betrieben.

Was ist mit Diversity/Vielfalt gemeint?

Zuerst gilt es jedoch zu klären, was eigentlich Diversity bzw. Vielfalt ist. Eine einheitliche Definition von “Diversity” gibt es nicht. Der englische Begriff “Diversity” bedeutet Verschiedenheit bzw. Vielfältigkeit. Im Rahmen der Orientierungshilfe bzw. im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff mit “Vielfalt in der Arbeitswelt” übersetzt. Diversity wird dabei auf die Arbeitswelt bezogen und als vielfältige Eigenschaften, individuelle Blickwinkel und verschiedene, sich wandelnde Arbeitskontexte von Beschäftigten verstanden. Dabei bezieht sich Diversity insbesondere auf wirtschaftliche, kulturelle und soziale Vielfalt in der menschlichen Gesellschaft. Zum grundsätzlichen Verständnis von Diversity gehört, dass man zwischen sichtbaren und unsichtbaren Merkmalen in der Persönlichkeit von Beschäftigten unterscheiden kann.

Dimensionen der Vielfalt

In der Praxis hat sich das Modell von Lee Gardenswartz und Anita Rowe [3] bewährt. Danach werden in Bezug auf die Persönlichkeit der Beschäftigten folgende Dimensionen definiert:

Die Innere Dimension einer Persönlichkeit umfasst biologisch angeborne und nicht ohne weiteres veränderbare Merkmale, wie Alter, Geschlecht und sexuelle Orientierung. Die Äußere Dimension wird insbesondere familiär oder durch berufliche Sozialisation beeinflusst, wie z. B. Berufserfahrung, Familienstand und Lebensphasenorientierung aber auch Weltanschauung, Auftreten, Geografische Lage, Einkommen, Gewohnheiten, Freizeitverhalten sowie Aus- und Weiterbildung. Die Organisatorische Dimension hingegen wird durch das äußere Umfeld bestimmt, wie Funktion/Einstufung, Arbeitsort, Abteilung, Einheit, Gruppe, Betriebliche Interessenvertretung, Management/Status, Arbeitsfelder/-inhalt und Dauer und Zugehörigkeit im Betrieb.

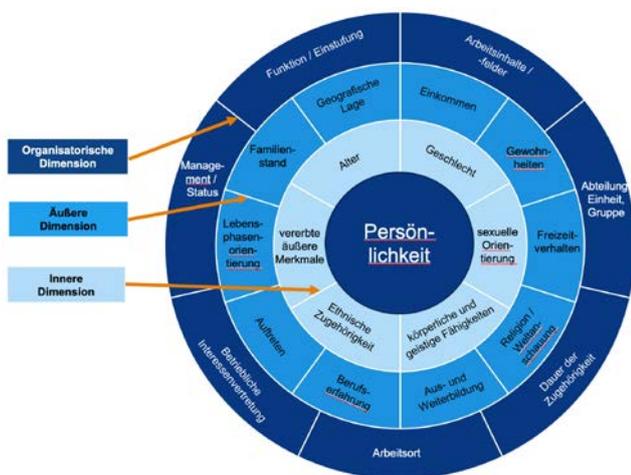


Abb. 1 Das Modell der Vielfalt, frei nach Gardenswartz und Rowe, 2003; adaptiert nach Loden und Rosener, 1991 [4]

Damit deutlich wird, welchen Bezug das Konzept der Vielfältigkeit auf Sicherheit und Gesundheit und letztlich auf den Aspekt der Ergonomie hat, lohnt es sich, die einzelnen Aspekte der Dimensionen im Detail zu betrachten.

Dazu kann das Modell der Vielfalt von innen nach außen interpretiert werden, von den kaum veränderbaren zu den stark veränderbaren Merkmalen.

Innere Dimension

Wie kann man am besten den Bezug zu Sicherheit und Gesundheit beschreiben? Beispiel für die innere Dimension ist das Alter. Jeder Mensch altert zwar unterschiedlich, aber es gibt eine grundsätzliche Entwicklung die sich nicht umkehren lässt und für alle Menschen ähnliche Chancen und Herausforderungen bietet. So gibt es unterschiedliche Beanspruchungen je nach Altersgruppe. Dies sollte zu einer alters- und altersgerechten ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen animieren. Dabei geht es nicht um Arbeitsplätze für ältere Beschäf-

tigte, sondern um eine gesunde und sichere Arbeitsumgebung für alle Beschäftigten. Innerhalb des gesetzlichen Rahmens werden diese Aspekte zwar berücksichtigt, aber die individuellen Bedürfnisse lassen sich dadurch nicht abbilden. Am Beispiel des Arbeitszeitgesetzes und Pausenfestlegungen kann sich jeder gut vorstellen, dass hier die Bedürfnisse je nach Alter sehr unterschiedlich sein können. Im Gesetzesrahmen gelten die Anforderungen jedoch für alle Altersgruppen gleichermaßen. Die besonderen Bedürfnisse zum Schutz Jugendlicher werden durch das Jugendarbeitsschutzgesetz genauer gefasst. Aber es gibt auch Aspekte die nicht bzw. nur schwierig in einen gesetzlichen Rahmen gefasst werden können, wie z. B. die Risikobereitschaft oder der Wunsch nach Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben.

Äußere Dimension

Als Beispiel für die äußere Dimension ist die Lebensphasenorientierung typisch für die Veränderlichkeit dieses individuellen Persönlichkeitsaspektes. In jungen Jahren liegen die Schwerpunkte häufig auf Erfahrungsgewinn und hoher Flexibilität. Hingegen in den mittleren Berufsjahren spielt die Vereinbarkeit von Familie und Beruf bei vielen Beschäftigten eine zentrale Rolle. Später ändert sich die Rolle möglicherweise durch Mehrfachbelastungen wie z. B. Pflege einer Person und andere berufliche und familiäre Einflüsse.

Organisatorische Dimension

Die organisatorische Dimension lässt sich gut am Beispiel Arbeitsort erklären, welcher im Laufe eines Berufslebens aber auch innerhalb einer Tätigkeit sehr unterschiedlich sein kann. Aspekte wie die ergonomische Gestaltung des Arbeitsortes und die Art der Beschäftigung beeinflussen sich dabei gegenseitig.

Den Zusammenhang zwischen den einzelnen Dimensionen und die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Aspekten, soll ein Beispiel aus der Prävention zeigen.

Fallbeispiel

In einem Unternehmen findet eine Evakuierungsübung statt. Der Belegschaft ist dieser Übungsfall nicht bekannt. Normalerweise sieht das Evakuierungskonzept im Ernstfall für gehbehinderte Beschäftigte die Entfluchtung per Feuerwehraufzug vor. Da die Übung jedoch nicht gut vorbereitet ist, ist der Feuerwehraufzug aufgrund der Übungssituation nicht aktiviert und die regulären Aufzüge sind deaktiviert. In dieser Situation wartet ein gehbehinderter Beschäftigter vergeblich vor dem Feuerwehraufzug und kann über diesen Weg nicht fliehen. Schließlich geht der behinderte Beschäftigte dann die 16 Etagen zu Fuß hinunter aus dem Gebäude.

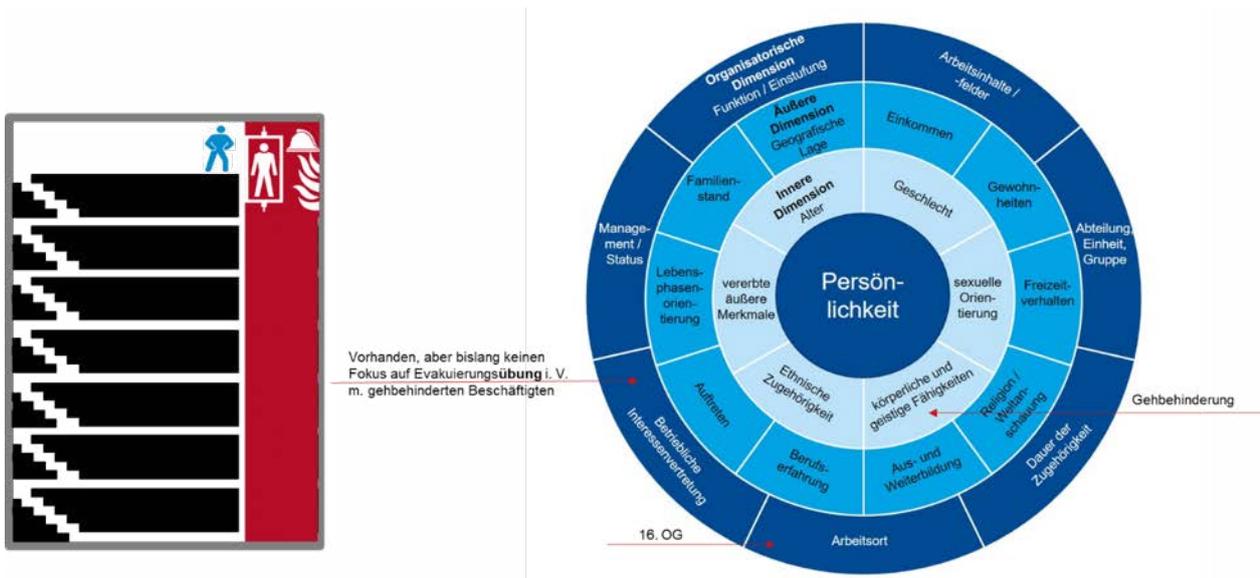


Abb. 2 Evakuierungsübung in einem Bürogebäude Abbildung: DGUV

Bei einer differenzierten Betrachtung der Ursachen dieser missglückten Evakuierung unter Diversitätsaspekten sind sowohl die innere Dimension als auch die organisatorische Dimension dieser gehbehinderten Person wichtig. Es liegt auf der Hand, dass die körperlichen Fähigkeiten der gehbehinderten Person bei der Übung nicht berücksichtigt wurden bzw. nicht auf den Arbeitsort abgestimmt waren. Es gibt zwar eine betriebliche Interessenvertretung für behinderte Beschäftigte, aber bisher lag kein Fokus auf Evakuierungsübungen in Verbindung mit gehbehinderten Beschäftigten.

Bei einer differenzierten Betrachtungsweise nach dem Modell der Vielfalt wird deutlich, dass die Zusammenhänge komplex dargestellt werden können und damit auch die daraus ableitbaren Präventionsansätze. Ursprünglich wurde das Diversity-Modell im Bereich der Personalgewinnung eingesetzt, um die vielschichtige Persönlichkeit eines jeden Beschäftigten auf die vielschichtigen Aufgaben im Arbeitseinsatz optimal abzustimmen. Dies diente nicht nur dazu, die Beschäftigten besonders effizient einzusetzen, sondern auch einer optimalen Sicherheits- und Gesundheitsvorsorge. So überrascht es nicht, wenn das Diversity-Modell auch im Bereich der Rehabilitation eine sinnvolle Anwendung findet, da auch hier die Berücksichtigung der vielfältigen Eigenschaften einer Person den Erfolg von Rehabilitationsmaßnahmen entscheidend beeinflussen kann.

Vielfalt als Teil einer neuen Kultur der Prävention

Diese komplexe und differenzierte Herangehensweise korrespondiert mit den Zielen einer neuen Kultur der Prävention, wie sie die Kampagne *kommitmensch* formuliert.

Betrachten wir das Stufenmodell der Kampagne, so sind die obersten Stufen mit *proaktiv* und *wertschöpfend* überschrieben, damit ein Perspektivwechsel möglich wird, hin zu einer neuen Kultur der Prävention. Dies bedeutet für den Zusammenhang von Diversity-Modell und Kampagne, *proaktiv* und *wertschöpfend* mit der Vielfalt in der Arbeitswelt umzugehen.

Im Einzelnen bedeutet das, dass der Diversity-Gedanke hilft, eine sich rasch wandelnde Arbeitswelt in ihrer Komplexität besser zu verstehen indem man sich bewusst damit auseinandersetzt. Dynamische Veränderungen der Arbeitswelt und die Individualität von Persönlichkeiten in einer sich ebenso dynamisch verändernden Gesellschaft führen zu einer wachsenden Komplexität. Dies sollte aber nicht als eine negative Entwicklung gesehen werden, sondern als Entwicklung mit vielen Chancen und Herausforderungen. Um diese komplexen Zusammenhänge von Gesundheit und Sicherheit bei der Arbeit besser zu verstehen und die Chancen besser zu nutzen, sowie die Herausforderungen zu meistern, bedarf es entsprechender Diversity-Kompetenzen, die es Schritt für Schritt aufzubauen gilt.

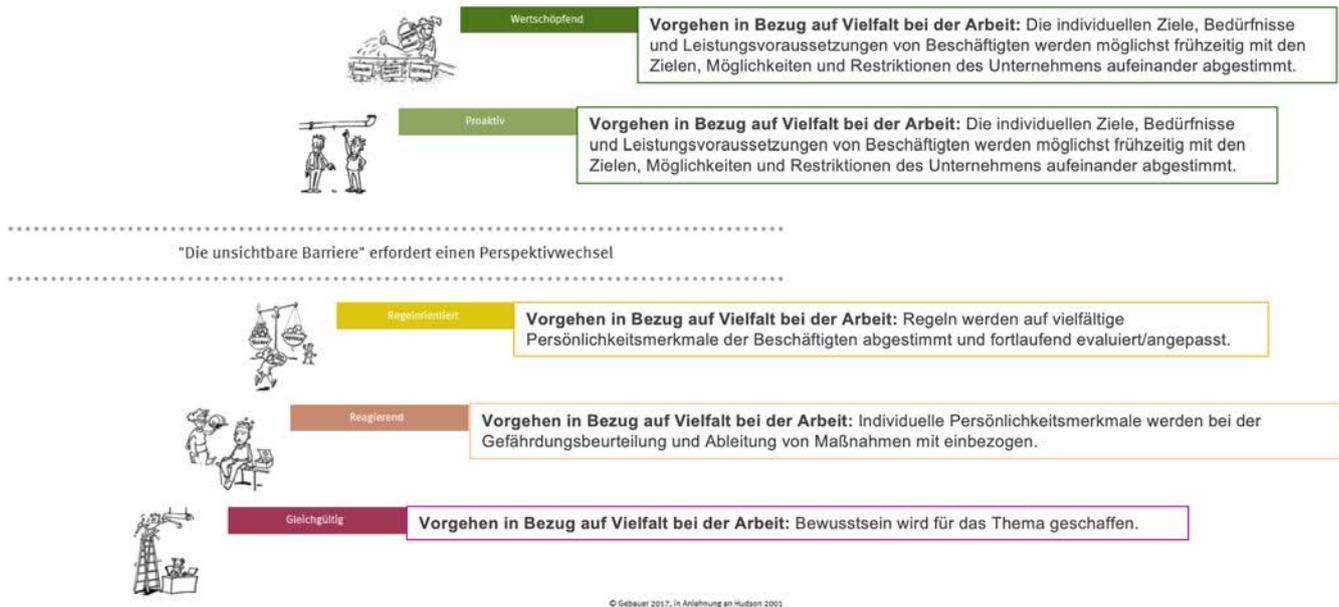


Abb. 3 Bezug zur Kampagne „kommitmensch“ [5]

Dazu können die einzelnen Stufen der Kampagne hinzugezogen werden. Auf der untersten Stufe der Gleichgültigkeit, gehen individuelle Bedürfnisse von Beschäftigten im Rahmen von Sicherheit und Gesundheit verloren, wenn Vielfalt nicht berücksichtigt wird. Es gehen Chancen verloren, positive Auswirkungen von Vielfalt im Betrieb für den Arbeitsschutz und die Beschäftigungsfähigkeit zu realisieren. Ein erster Schritt wäre daher Bewusstsein für Vielfalt schaffen.

Die zweite, reagierende Stufe, ist dadurch gekennzeichnet, dass erst im Nachhinein erkannt wird, dass individuelle Persönlichkeitsmerkmale eine Ressource oder eine mögliche Gefährdung darstellen. In diesem Falle können persönlichkeitswirksame Aspekte im Arbeitssystem nicht präventiv gestaltet werden. In dieser Phase sollte versucht werden, die individuellen Persönlichkeitsmerkmale bei der Gefährdungsbeurteilung und Ableitung von Maßnahmen mit einzubeziehen.

In der regelorientierten Stufe besteht immer die Gefahr, dass Regeln und Normen die komplexe Wirklichkeit und deren Dynamik bei Veränderungen nicht abbilden können. Risiken und Chancen können durch ein starres Regelwerk nicht umfänglich erfasst werden. Daher ist es in einem dritten Schritt wichtig, dass Regeln auf vielfältige Persönlichkeitsmerkmale der Beschäftigten abgestimmt und fortlaufend evaluiert bzw. angepasst werden.

In Stufe vier erfolgt der Perspektivwechsel. Das bedeutet vor dem Hintergrund des Diversity-Modells, dass durch den raschen Wandel in der Arbeitswelt hinsichtlich der technischen Entwicklung und anderer Trends (wie z. B. demografischer Wandel und Migration) Prävention nicht nur vorausschauend, sondern auch unter Berücksichtigung individueller bzw. persönlichkeitsorientierter Aspekte zu gestalten ist. Dies hilft, mögliche Risiken einzudämmen bzw. zu vermeiden sowie Chancen nutzbar zu machen. Im vierten Schritt müssen daher alle Tätigkeiten von Beschäftigten vorausschauend geplant und gestaltet werden.

Das Ziel ist erreicht, wenn die individuellen Ziele, Bedürfnisse und Leistungsvoraussetzungen von Beschäftigten möglichst frühzeitig mit den Zielen, Möglichkeiten und Restriktionen des Unternehmens aufeinander abgestimmt werden. Dieser Zustand wird als wertschöpfend definiert.

Literatur

- [1] *Fietz, Thomas; Belz, Tobias*: Vielfalt in der Arbeitswelt – Eine Orientierungshilfe für Beschäftigte. In: „sicher ist sicher“ Ausgabe 01/2020 S.7, Berlin 2020
- [2] *Hofmann, J. (Hrsg.)*: Arbeit 4.0 – Digitalisierung, IT und Arbeit, IT als Treiber der digitalen Transformation, 2008
- [3] *Gardenswartz, L.; Rowe, A. (2003)*: Diverse teams at work. Capitalizing on the power of diversity. In: Abdul-Hussain; Baig, Samira (Hrsg.): Diversity in Supervision, Coaching und Beratung. Facultas. Wien 2009
- [4] *Loden, M.; Rosner, J. B.*: Workforce America: Managing Employee Diversity as a Vital Resource, Homewood, 1991
- [5] Gebauer, in Anlehnung an Hudson 2001, in Kommittensch, Handlungshilfe für Präventionsfachkräfte der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung, Hürth 2017

Individualprävention bei arbeitsbezogenen Muskel-Skeletterkrankungen

Rolf Ellegast

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

1 Einleitung

An vielen Arbeitsplätzen gehören arbeitsbezogene Muskel-Skeletterkrankungen immer noch zum Alltag. Sie stellen mit einem Anteil von ca. 21,9% die häufigste Ursache für krankheitsbedingte Arbeitsunfähigkeit in Deutschland dar [1]. Neben Primärpräventionsmaßnahmen am Arbeitsplatz, z. B. Arbeitsgestaltungsmaßnahmen zur Optimierung zugehöriger physischer Risikofaktoren, spielen individualpräventive Präventionsmaßnahmen eine zunehmend wichtige Rolle. Insbesondere bei Beschäftigten, die bereits an einer arbeitsbezogenen Muskel-Skeletterkrankung leiden, sind spezifische individualisierte Sekundär- und Tertiärpräventionsangebote besonders wichtig für den Erhalt der Arbeitsfähigkeit. Bisher gibt es nur wenige, sehr spezifische Individualpräventionsprogramme bei arbeitsbezogenen Muskel-Skeletterkrankungen.

Durch den im Zuge der Reform des Berufskrankheiten-Rechts beschlossenen Wegfall des Unterlassungszwangs, z. B. bei der Berufskrankheit BK 2108 „Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch

langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung ...“, werden spezifische Individualpräventionsprogramme benötigt. Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht der gesellschaftlichen Diskussion zu Erhöhungen des Renteneintrittsalters, bei denen Beschäftigte bei Erhaltung der Gesundheit länger im Berufsleben verbleiben sollen, kommt der systematischen Entwicklung individualpräventiver Programme zur Verringerung von Muskel-Skeletterkrankungen eine besondere Bedeutung zu. In Abbildung 1 ist eine Betreuungssituation während eines Individualpräventionsprogramms bei arbeitsbezogenen Muskel-Skelett-Erkrankungen dargestellt.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, Beispiele zu existierenden Individualpräventionsprogrammen bei Berufskrankheiten-spezifischen Muskel-Skelett-Erkrankungen darzustellen. Ferner sollen in einem Ausblick Ansätze für die Weiter- bzw. Neuentwicklung benötigter MSE-Individualpräventionsprogramme gegeben werden.



Abb. 1
Begleitung eines Teilnehmers in einem Programm zur Individualprävention bei arbeitsbezogenen Muskel-Skelettbeschwerden
Foto: DGUV, Scheurlen

2 Beispiele laufender Individualpräventionsprogramme bei arbeitsbezogenen Muskel-Skeletterkrankungen

Bereits jetzt gibt es Individualpräventionsprogramme bei Unfallversicherungsträgern, die sich an Beschäftigte mit chronischen Muskel-Skeletterkrankungen richten und eine Verschlimmerung der Beschwerden verhüten sowie eine Sicherung der Erwerbsfähigkeit im gelernten Beruf ermöglichen sollen. Diese Programme sind spezifisch auf bestimmte Berufsgruppen und Beschwerdelokalisationen/Muskel-Skeletterkrankungen ausgerichtet. Im Folgenden werden beispielhaft zwei derartige Programme vorgestellt:

Das sogenannte Kniekolleg der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft wurde nach Aufnahme der Berufskrankheit BK Nr. 2112 „Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knieen oder vergleichbare Kniebelastung mit einer kumulativen Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13000 Stunden und einer Mindesteinwirkungsdauer von insgesamt einer Stunde pro Schicht“ in die Berufskrankheitenliste entwickelt. Es richtet sich insbesondere an Beschäftigte in den im Merkblatt zur BK 2112 [2] aufgeführten elf betroffenen Berufen des Baugewerbes (z. B. Fliesenleger, Pflasterer), die bei voller Arbeitsfähigkeit an Kniegelenkbeschwerden leiden [3]. Das Kniekolleg umfasst insgesamt fünf Phasen (1 Aufbauphase, 2 Trainings- und 2 Auffrischungsphasen), in denen die Beschäftigten intensiv von einer Rehabilitationseinrichtung über einen Zeitraum von über zwei Jahren betreut werden. Inhalte des Programms sind u. a. ärztliche Untersuchungen, physiotherapeutische Betreuung, Muskelaufbautraining, Beratungen und Schulungen (Ergonomie, Ernährung, ...) sowie Ganganalysen/-therapien.

In Abbildung 2 ist eine Betreuungssituation während eines Individualpräventionsprogramms bei arbeitsbezogenen Kniegelenkserkrankungen dargestellt.



Abb. 2 Begleitung einer Teilnehmerin in einem Programm zur Individualprävention bei arbeitsbezogenen Kniegelenkbeschwerden
Foto: DGUV, Becker

Das Kniekolleg wird bzgl. seiner Wirksamkeit evaluiert und erste Erkenntnisse bezüglich der ersten Aufbau- und Trainingsphase liegen bei einem Probandenkollektiv von über 300 männlichen Beschäftigten im Baugewerbe vor [4]. Demnach zeigten alle Teilnehmer nach Abschluss der ersten Aufbauphase signifikante Verbesserungen der untersuchten Parameter Maximalkraft der Oberschenkelmuskulatur, Gangsymmetrie, Kniegelenkbeschwerden, Schmerzreduktion und körperliche Leistungsfähigkeit. Die Probanden, die sich in der anschließenden Trainingsphase freiwillig für ein weiterführendes Training in einem wohnortnahen Fitnesszentrum entschieden, konnten die o. g. Parameter nach zwölf Monaten weiter verbessern. Der Anteil der Probanden, die stattdessen ein individuelles Heimtraining absolvierten, zeigten überwiegend moderate Rückgänge der Parameter (Ausnahme: Muskelkraft), so dass sich das organisierte Training im Fitnesszentrum dem Heimtraining als deutlich überlegen darstellte. Für die Probanden, die in der Trainingsphase jede sportliche Aktivität einstellten, war ein deutlicher Rückgang der untersuchten Wirksamkeitsparameter zu beobachten.

Insgesamt scheinen daher die individualpräventiven Maßnahmen des Kniekollegs bei kontinuierlicher Teilnahme der Beschäftigten wirksam bezüglich der Erhaltung der Arbeitsfähigkeit und der Schmerzreduktion zu sein.

Ein weiteres Beispiel für ein erfolgreiches Individualpräventionsprogramm ist das Rückenkolleg der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) [5]. Das Programm richtet sich an Beschäftigte im Pflegebereich mit Rückenschmerzen und drohender Berufskrankheit BK Nr. 2108 „Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung“ [6].

Das BGW-Rückenkolleg ist ein multimodales Individualpräventionsprogramm, bestehend aus einer sportmedizinischen Therapie (u. a. Muskelkräftigung, ergonomische Bewegungsmuster), einem berufsspezifischen Übungsteil (u. a. Ergonomie, Patiententransfer, Koordination), einer psychologischen Betreuung und auch Beratungsangeboten (z. B. Ernährung, Einsatz von Hilfsmitteln). Eine Nachsorge beinhaltet eine Arbeitsplatzbegehung und einen Auffrischkurs, der den Teilnehmenden 1 bis 1,5 Jahre nach Abschluss des Rückenkollegs angeboten wird. Das BGW-Rückenkolleg wird seit 1994 vom Berufsgenossenschaftlichen Unfallkrankenhaus Hamburg und seit 2011/12 auch in zwei weiteren Standorten (Berufsgenossenschaftliche Kliniken Halle und St. Peter-Ording) angeboten und wurde stetig weiterentwickelt und mehrfach evaluiert. In einer Kohortenstudie nahmen über 1200 Versicherte der BGW, die in den Jahren 2009 – 2011 eine Verdachtsanzeige auf Anerkennung einer Berufskrankheit Nr. 2108 gestellt hatten, teil [7]. In der Studie ergaben sich statistisch signifikante Schmerzreduktionen für alle Teilnehmenden, wobei diese für Beschäftigte in Krankenhäusern besser als für Beschäftigte in Altenheimen ausfielen. Insbesondere die Kombination aus BGW-Rückenkolleg und Auffrischkurs führte zu einer besonders positiven Schmerzreduktion.

Diese Individualpräventionsprogramme mit deren Evaluationen und auch Erkenntnisse aus weiteren internationalen Beispielen, wie der populationsbasierten randomisierten klinischen Sherbrooke-Studie für Rückenschmerzpatienten [8] bestätigen, dass in der Entwicklung wirksamer Sekundärpräventionsprogramme Potential zur nachhaltigen Verbesserung der Lebens- und Arbeitssituation von Beschäftigten mit Muskel-Skelettbeschwerden steckt.

3 Weiterentwicklung existierender Individualpräventionsprogramme für andere Berufsgruppen und Beschwerdelokalisationen

Auf Basis existierender Individualpräventionsprogramme für Beschäftigte mit Erkrankungen der Lendenwirbelsäule und des Kniegelenks sollten in einem ersten Schritt Möglichkeiten der Erweiterung dieser Programme auf betroffene Berufsgruppen, die bisher nicht adressiert werden, geprüft werden. Hierzu ist es erforderlich, die Bestandteile dieser Programme auf Generalisierbarkeit zu sichten und Module zur Prävention arbeitsbezogener zugehöriger Belastungsfaktoren zu entwickeln.

In Tabelle 1 ist eine Übersicht von Beschwerdelokalisationen mit deren Berufskrankheiten-Bezug und zugehörigen bekannten physischen Belastungsfaktoren dargestellt.

Tabelle 1 Beschwerdelokalisationen mit deren Berufskrankheiten-Bezug und zugehörigen bekannten physischen Belastungsfaktoren

Lokalisation	Berufskrankheiten-Bezug (BK-Nummer)	Wesentlich erhöhte arbeitsbezogene physische Belastungen
LWS	bandscheibenbedingte LWS-Erkrankungen (BK 2108, BK 2110)	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Lastenhandhabungen (Heben, Tragen, Ziehen und Schieben) • Körperzwangshaltungen des Rumpfes • Ganzkörpervibration
HWS	Bandscheibenbedingte HWS-Erkrankungen (BK 2109)	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Lastenhandhabungen (z. B. auf der Schulter, hohe Lastgewichte) • Zwangshaltungen (HWS)
Hüfte	Coxarthrose (BK 21xx)*	<ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Lastenhandhabungen (Heben, Tragen, Ziehen und Schieben) • Kraftbetonte Tätigkeiten mit hohen Arbeitskräften
Knie	Meniskopathie (BK 2102) Gonarthrose (BK 2112)	<ul style="list-style-type: none"> • Kniebelastende Tätigkeiten (Knien, Hocken, Fersensitz) • Hohe Anzahl Wechsel Stand/Hocke/Knien • Dauerhaft statische Zwangshaltungen der Kniegelenke
Schulter	Rotatorenmanschette (BK 21xx)*	<ul style="list-style-type: none"> • Zwangshaltungen der oberen Extremitäten (Überkopfarbeiten, repetitive Tätigkeiten, ...) • kraftaufwändige Tätigkeiten • Hand-Arm-Vibrationen
Ellbogen/ Handgelenk	Sehnenscheidenentzündung (BK 2101)	<ul style="list-style-type: none"> • Repetitive Tätigkeiten • Kraftaufwändige Tätigkeiten (Hand-Arm)
	Frakturen (BK 2103) Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen (BK2104)	<ul style="list-style-type: none"> • Hand-Arm-Vibrationen
	Carpaltunnelsyndrom CTS (BK 2113)	<ul style="list-style-type: none"> • Repetitive Tätigkeiten • Ungünstige Handgelenkshaltungen • Hand-Arm-Vibrationen
	Hypothenar-Hammer-Syndrom (BK 2114)	<ul style="list-style-type: none"> • Stoßartige Krafteinwirkungen auf das Hand-Arm-System, z. B. durch Schlagbewegungen

* Berufskrankheit steht kurz vor der Verabschiedung und hat noch keine BK-Nummer

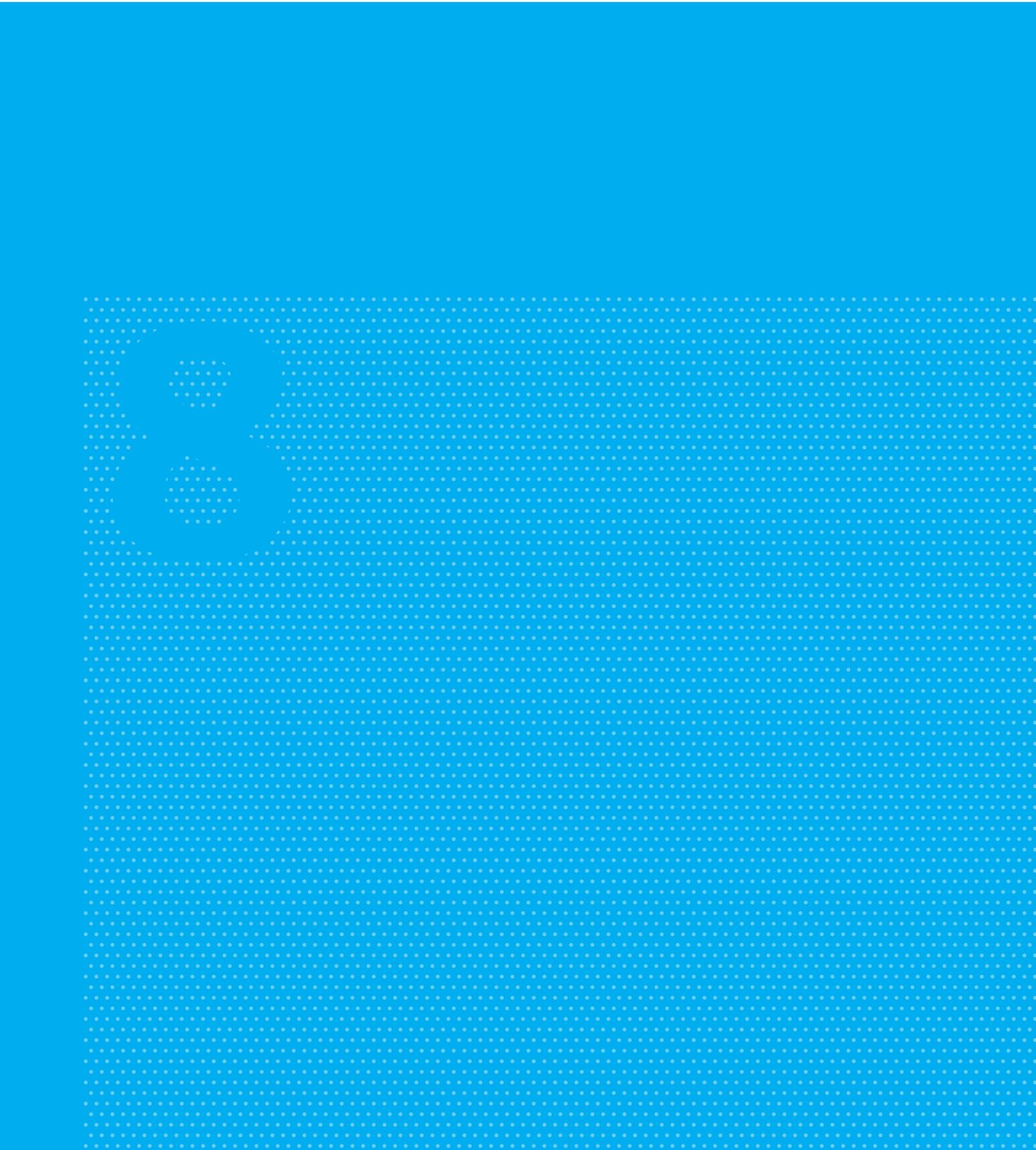
Nach aktuellem Kenntnisstand gibt es außer für die Lokalisationen Lendenwirbelsäule (LWS) und Kniegelenk keine Individualpräventionsprogramme für Muskel-Skeletterkrankungen. Bezüglich der in Tabelle 1 dargestellten möglichen weiteren Lokalisationen, für die Individualpräventionsprogramme entwickelt werden könnten, werden die Lokalisationen Hüfte und Schulter wegen der kurz bevorstehenden Einführung neuer Berufskrankheiten als prioritär angesehen. Für die Entwicklung derartig neuer Individualpräventionsprogramme könnte eine ähnliche Struktur bestehender Individualpräventionsprogramme mit Modulen, wie Untersuchungsmodule, Physiotherapiemodule, Beratungsmodule (z. B. Ergonomie, Ernährung, ...) genutzt werden.

Wünschenswert wäre es daher, basierend auf den Erkenntnissen existierender, nationaler und internationaler Programme, den Erkenntnisstand zu sekundärpräventiven Maßnahmen zusammenzutragen und diesen als Ausgangspunkt für die Entwicklung weiterer Programme für andere Berufsgruppen und Beschwerdelokalisationen zu nutzen.

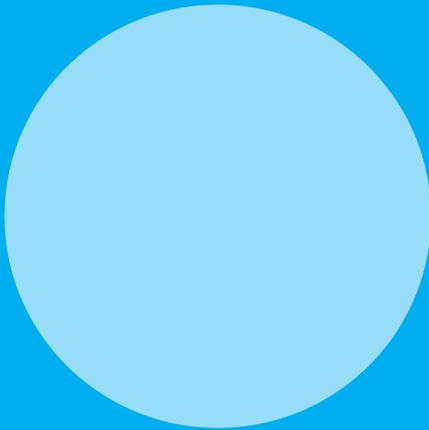
Im ersten Schritt wird hierzu eine Literaturrecherche zu Erkenntnissen existierender Individualpräventionsprogramme für die Beschwerdelokalisationen Schulter und Hüfte durchgeführt werden. Die hieraus resultierenden Erkenntnisse sollen für den Aufbau von ersten Pilotprogrammen genutzt werden, die dann anschließend bzgl. ihrer Wirksamkeit evaluiert werden sollten.

Literatur

- [1] Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2018 (SUGA 2018). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.). Dortmund/Berlin/Dresden. 2020. https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Suga-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=8
- [2] Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 2112. Bek. des BMAS vom 30.12.2009 – IVa 4-45222-2112 – GMBI 5/6/2010, S. 98 ff. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Berufskrankheiten/pdf/Merkblatt-2112.pdf> [Stand: 10.5.2020]
- [3] Das Kniekolleg, BG Bau Forum für physiologische Kniebelastung in Alltag und Beruf, BG Bau, September 2017, https://www.bgbau.de/leistung/grundsatz/praevention_vor_entschaedigung [Stand: 10.5.2020]
- [4] Dalichau, S., Giemsa, M., Solbach, T., Büschke, M., Engel, D., Möller, T., Wahl-Wachendorf, A.: Profitieren beschäftigte des Baugewerbes mit Kniegelenksbeschwerden vom kniekolleg? Ergebnisse des 12-Monats-Follow-up. *Zbl Arbeitsmed*, Springer Medizin Verlag, online pub 30.8.2018, <https://doi.org/10.1007/s40664-018-0300-y> [Stand: 10.5.2020]
- [5] Behl-Schön, S., Deparade, D., Kuhn, D., Moriße, J., Pietsch, A., Wegner, A.: Das BGW-Rückenkolleg. Stand 1/2016, Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Hamburg 2016, https://www.bgw-online.de/DE/Medien-Service/Medien-Center/Medientypen/BGW-Broschueren/BGW07-00-006_Das-BGW-Rueckenkolleg.html [Stand: 10.5.2020]
- [6] Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 2108. Bek. des BMAS vom 1.9.2006 – IVa 4-45222-2108 – Bundesarbeitsblatt 10-2006, S. 30 ff. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Berufskrankheiten/pdf/Merkblatt-2108.pdf> [Stand: 10.5.2020]
- [7] Koch, P., Behl-Schön, S., Pietsch, A., Nienhaus, A.: Sekundäre Individualprävention von Rückenschmerzen bei Pflegepersonal. Evaluation des Rückenkollegs im Zentrum für Rehabilitationsmedizin des Berufsgenossenschaftlichen Unfallkrankenhauses Hamburg (BUK Hamburg). *Trauma und Berufskrankheit*, September 2014, Vol 16, 3, Springer Verlag, S. 191–196
- [8] Loisel, P., Abenhaim, L., Durand, P., Esdaile, J., Suissa, S., Gosselin L., Simard R., Turcotte J., Lemaire J.: A Population-based randomized clinical trial on back pain management. *Spine* 1997, Vol. 22, No. 24, p. 2911–2918

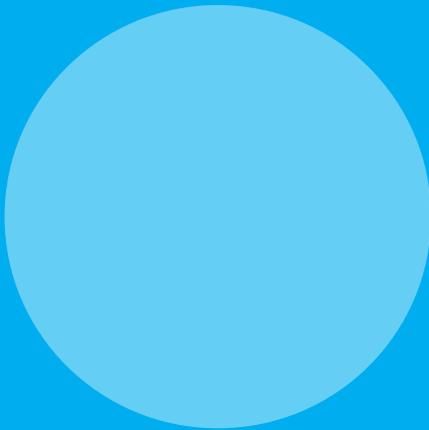


Prävention und Vielfalt



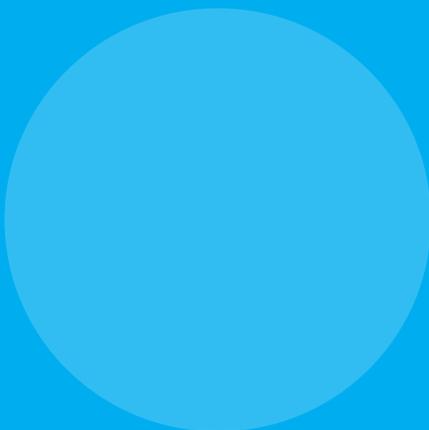
**Arbeitsbedingte erweiterte Erreichbarkeit –
Bedeutung und Präventionsansätze**

Marlen Cosmar



**Dynamische Arbeitsstationen – Erfahrungen
und Erkenntnisse aus der Forschung und der
betrieblichen Praxis**

Vera Schellewald, Britta Weber, Rolf Ellegast



Arbeitsbedingte erweiterte Erreichbarkeit – Bedeutung und Präventionsansätze

Marlen Cosmar

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG), Dresden

Kurzfassung

Arbeit ist dank vielfältiger technischer Möglichkeiten heute für viele Beschäftigte von verschiedenen Orten und auch außerhalb klassischer Arbeitszeitmodelle möglich. Doch damit verbindet sich auch die Möglichkeit, praktisch zu jeder Zeit für Arbeitsbelange erreichbar zu sein. Die Risiken einer solchen arbeitsbedingten erweiterten Erreichbarkeit wurden bereits in mehreren Studien intensiv betrachtet. Das IAG hat 2018 eine Studie durchgeführt, die diese Erkenntnisse bestätigt und erweitert.

1 Einführung

Erreichbarkeit ist ein viel diskutiertes Thema und medial stark vertreten. Teilweise vermitteln Beiträge zum Thema, dass nahezu jede und jeder heute ständig für berufliche Belange erreichbar ist. Um ein realistisches Bild von der Relevanz ständiger Erreichbarkeit zu erhalten, ist es wichtig den Begriff genau zu definieren.

Der iga.Report 23, Teil 2 der Initiative Gesundheit und Arbeit [2] enthält die folgende Definition. Ständige Erreichbarkeit ist „die unregulierte Verfügbarkeit der Beschäftigten für berufliche Belange außerhalb der regulären Arbeitszeit. Dies kann vor oder nach der Arbeit, am Wochenende, im Urlaub, an Feiertagen oder bei Krankheit sein, ohne dass dafür eine vertragliche oder tarifliche Regelung besteht. Dabei können die Betroffenen durch Vorgesetzte, Kolleginnen bzw. Kollegen oder Kundinnen bzw. Kunden mittels Telefon, E-Mail, SMS, Instant-Messenger-Nachrichten etc. kontaktiert werden. In der Regel besteht aber keine klare Vorgabe hinsichtlich der Reaktionszeit auf einen Ruf.“

Da in der Realität natürlich praktisch niemand wirklich „ständig“ erreichbar sein kann, wird inzwischen häufig auch der Begriff der „arbeitsbedingten erweiterten Erreichbarkeit“ genutzt, der hinsichtlich der Definition im Wesentlichen aber deckungsgleich ist.

Im Unterschied zu dieser unregulierten Form der Erreichbarkeit, die eher einer Erreichbarkeitskultur entspricht [2], handelt es sich bei Bereitschaftszeiten und Rufbereitschaften um regulierte, arbeitsvertraglich festgelegte Formen erweiterter Erreichbarkeit. Diese Formen der Erreichbarkeit wurden in der Studie des IAG nicht betrachtet.

2 Bedeutung

Arbeitsbedingte erweiterte Erreichbarkeit war in den vergangenen Jahren ein häufiges Thema in der medialen Berichterstattung. Mitunter wirkt es, als könne sich dem praktisch kaum noch jemand entziehen. Forschungsergebnisse zeigen, dass das Problem nicht ganz so groß ist, aber für die Prävention trotzdem große Bedeutung hat.

Der iga.Report 27 [3] zeigte, dass von 22 Prozent der befragten Beschäftigten immer oder fast immer erwartet wird, auch in der Freizeit erreichbar zu sein.

3 Gesundheitliche und soziale Folgen erweiterter Erreichbarkeit

Diese Form der Erreichbarkeit führt in der Regel dazu, dass die Zeit für Erholung reduziert wird [5, 6]. Langfristig betrachtet bedeutet die Beeinträchtigung von Erholung ein Gesundheitsrisiko [1].

Darüber hinaus kann auch das Sozialleben der betroffenen Erwerbstätigen negativ beeinträchtigt werden, weil gemeinsame Unternehmungen mit Familie oder Freunden gestört oder sogar unterbrochen werden [2].

4 Rechtlicher Hintergrund

Rechtlich ist eine unregelmäßige Erreichbarkeit außerhalb der Arbeitszeit nicht zulässig, auch wenn eine Arbeitnehmerin oder ein Arbeitnehmer dem zugestimmt hat. Auch ein kurzes Telefonat stellt eine Unterbrechung der nach Arbeitszeitgesetz § 5 Abs. 1 ArbZG vorgeschriebenen Ruhezeit von elf Stunden dar. Diese würde nach einem solchen Kontakt aus rechtlicher Sicht von vorn beginnen. In eingeschränktem Maße und nur mit vertraglicher Regelung ist eine Reduzierung der Ruhezeit für die Gewährleistung von Erreichbarkeit auf neun Stunden möglich (§ 7 Abs. 1 Nr. 3 ArbZG). Dafür muss aber zeitnah ein Zeitausgleich, also eine Verlängerung der Ruhezeit an späteren Tagen erfolgen.

5 Studie zur gefühlten und tatsächlichen Relevanz erweiterter Erreichbarkeit

Vor dem Hintergrund der intensiven Berichterstattung zum Thema hat das Institut für Arbeit und Gesundheit der DGUV (IAG) eine Studie beauftragt, in der ermittelt werden sollte, ob diese Berichterstattung zu einer Überschätzung der Relevanz des Themas führt. Grundlage für die Annahme ist der sogenannte Verfügbarkeitsfehler [4].

Verfügbarkeitsfehler entstehen, weil Menschen die Bedeutung von Ereignissen überschätzen, wenn sie sich besonders gut daran erinnern können. Mediale Berichterstattung beeinflusst diese Erinnerungsfähigkeit sehr stark, weil sie darauf ausgerichtet ist, zu beeindrucken und zu fesseln. Das beste Beispiel dafür sind Flugzeugabstürze. Diese sind deutlich unwahrscheinlicher als

Autounfälle, in den Medien aber deutlich überrepräsentiert, da sie mit immensm menschlichen Leid und materiellem Schaden verbunden sind.

In der Studie des IAG wurde außerdem auch gefragt, ob die Teilnehmenden selbst erweitert erreichbar sind und welche Gründe sie dafür haben.

5.1 Methodischer Ansatz und Stichprobe

Für die Studie wurde eine Zufallsauswahl aus einem aktiv rekrutierten Online-Panel (Onlinebefragung) und zufallsgenerierten Telefonnummern nach dem Gabler-Häder-Verfahren im Dual-Frame-Design (Telefonbefragung) vorgenommen. Es handelte sich somit um ein Mixed-Method-Design. Insgesamt nahmen 1002 Personen teil. Die Stichprobe wies eine bevölkerungsrepräsentative Gewichtung nach den Merkmalen Alter, Geschlecht, Haushaltsgröße, Schulbildung und Bundesland auf.

5.2 Ergebnisse

Schätzung zur Bedeutung erweiterter Erreichbarkeit

Die Befragten schätzen, dass 45% aller Erwerbstätigen in Deutschland ständig in ihrer Freizeit erreichbar sind (Abbildung 1). Die höchsten Anteile werden von Befragten aus den Branchen Gesundheits- und Sozialwesen, Handwerk sowie Handel und Gastronomie vermutet, die auch am häufigsten über eine eigene erweiterte Erreichbarkeit berichten.

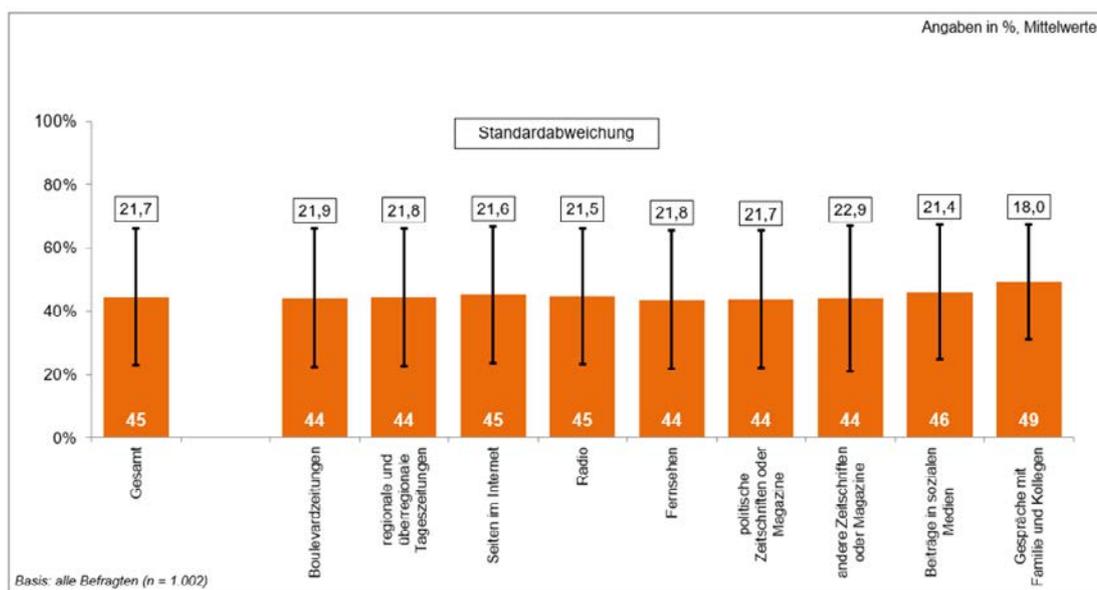


Abb. 1 Geschätzter Anteil ständig erreichbarer Erwerbstätiger in Deutschland insgesamt und nach Medien, die überwiegend genutzt werden

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der berichteten Mediennutzung und der Vermutung zum Umfang ständiger beruflicher Erreichbarkeit von Beschäftigten ist kaum auszumachen. Lediglich von den Personen, die soziale Medien nutzen, sowie von denjenigen, die sich in Gesprächen mit Freunden und Kollegen informieren, werden etwas höhere Anteile ständig erreichbarer Beschäftigter vermutet (Abbildung 1).

Als wichtigster Grund für eine ständige Erreichbarkeit wird eine zu hohe Arbeitsintensität vermutet (75%). Danach folgen die Vermutungen, dass die Beschäftigten einfach nicht Nein sagen können (74%) bzw. dass sie keine andere Wahl haben (71%). 60% der Befragten glauben, dass viele Beschäftigte ihre Arbeitszeit aus privaten Gründen in die Freizeit verlegen, immerhin 40% machen als Ursache aus, dass die Beschäftigten sich selbst schlecht organisieren.

Erweiterte Erreichbarkeit in der Stichprobe

Die Angaben zur eigenen Erreichbarkeit der Stichprobenvertreter fielen geringer aus als bei dieser Schätzung (Abbildung 2). So gaben 29% an, immer oder zumindest fast immer für das Unternehmen erreichbar zu sein. Diese Zahl bestätigt in etwa zum Beispiel die Ergebnisse des iga.Reports 27 [2]. Weitere 21% sind zumindest häufig erreichbar. Die mediale Präsenz des Themas hat also offenbar zu keiner allzu starken Überschätzung erweiterter Erreichbarkeit geführt.

Am häufigsten sind jüngere Beschäftigte (70%), Beschäftigte in Führungspositionen (76%), Beschäftigte mit Projektarbeit (70%) sowie Beschäftigte mit Kundenkontakt (67%) auch außerhalb ihrer Arbeitszeit ohne feste Absprachen erreichbar.

Überwiegend erfolgt die Erreichbarkeit außerhalb der regulären Arbeitszeit auf freiwilliger Basis, nahezu zwei Drittel der Erreichbaren (46% aller Befragten) geben dies an. Lediglich von 7% der Erreichbaren (5% aller Befragten) wird eine erweiterte Erreichbarkeit explizit verlangt (Abbildung 3), 29% der Erreichbaren geben an, dass dies zwar nicht verlangt, aber vom Arbeitgeber bzw. der Arbeitgeberin erwartet wird (21% aller Befragten).

Hauptursachen für eine erweiterte berufliche Erreichbarkeit sind vor allem die hohe Arbeitsintensität (40%) sowie die Erwartungen des Arbeitgebers (39%). Auf ähnlich hohem Niveau (37%) wird gesagt, dass man einfach nicht Nein sagen kann und deshalb Arbeitsaufgaben mit in die Freizeit nehmen muss. Abbildung 4 zeigt Ergebnisse im Vergleich von Personen mit und ohne Führungsposition.

33% der Betroffenen geben andererseits an, dass sie aus privaten Gründen gerne Teile ihrer Arbeitszeit in den Abend oder in das Wochenende verlegen, lediglich 8% nennen eine schlechte Selbstorganisation als Ursache ihrer Erreichbarkeit.

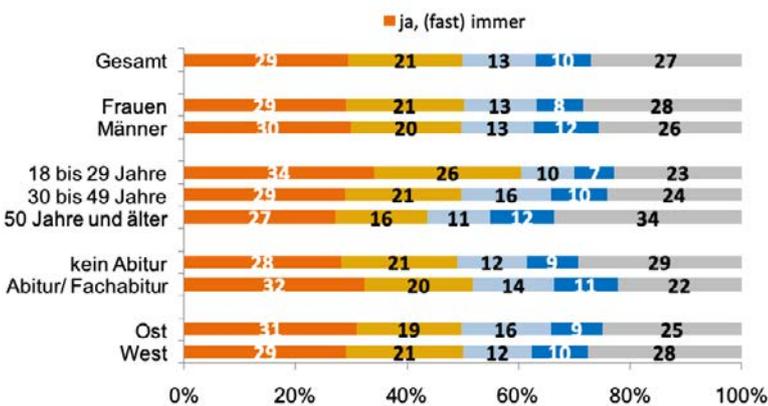


Abb. 2
Erweiterte Erreichbarkeit in der Gesamtstichprobe und in verschiedenen Teilstichproben

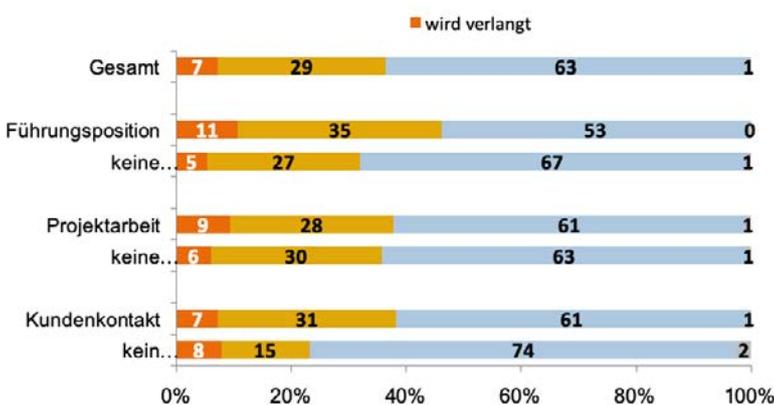
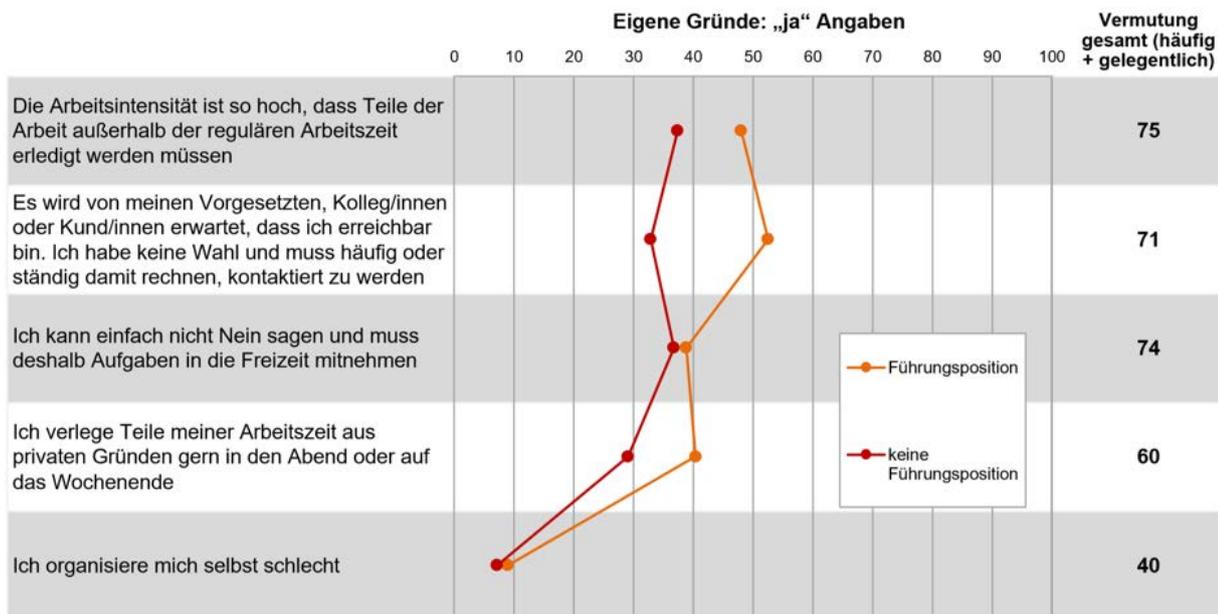


Abb. 3
Gründe für die erweiterte Erreichbarkeit



Basis: außerhalb der regulären Arbeitszeit erreichbar (n = 728)

Abb. 4 Ursachen für erweiterte Erreichbarkeit bei Personen mit bzw. ohne Führungsposition

6 Fazit

Die Studie zeigt, dass das Thema nur leicht in seiner Bedeutung überschätzt wird und insgesamt nahezu die Hälfte aller Beschäftigten zumindest häufig betrifft. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen:

1. In der medialen Darstellung sollte noch stärker darauf geachtet werden, arbeitsbedingte erweiterte Erreichbarkeit als Thema differenziert darzustellen ohne übermäßig zu dramatisieren. Es sollte vorsichtig mit Formulierungen wie „Abschalten kaum noch möglich“ oder „große Teile“ umgegangen werden, da diese suggerieren, dass eine Mehrheit der Beschäftigten betroffen ist.
2. Präventionsansätze sollten konsequent weiterverfolgt werden. Hier ist vor allem auch die Unternehmenskultur ein wichtiger Ansatzpunkt. Wenn es selbstverständlich ist, Beschäftigte in ihrer Freizeit nicht zu kontaktieren oder Arbeit mit nach Hause zu nehmen, ist es für die Beschäftigten leichter, in der Freizeit tatsächlich „Nein“ zu sagen. Dafür bedarf es klarer Ansagen im Unternehmen und einer Vorbildwirkung durch Leitung und Führungskräfte. Mehr Informationen zur Berücksichtigung von Sicherheit und Gesundheit in der Unternehmenskultur bietet die aktuelle Kampagne der Unfallversicherungsträger und der DGUV kommitmentsch (www.kommitmentsch.de).

Eine gute Arbeitsgestaltung und Personalauswahl sind ebenfalls wichtige Aspekte, denn wenn Arbeit und Absprachen gut in der regulären Zeit erledigt werden können, ist ständige Erreichbarkeit weitestgehend unnötig.

Literatur

- [1] Akerstedt, T., Fredlund, P., Gillberg, M. & Jansson, B. (2002). Work load and work hours in relation to disturbed sleep and fatigue in a large representative sample. *Journal of Psychosomatic Research*, 53, 585–588
- [2] Hassler, M., Rau, R., Hupfeld, J., & Paridon, H. (2016). iga.Report 23 Auswirkungen von ständiger Erreichbarkeit und Präventionsmöglichkeiten. Teil 2: Wissenschaftliche Untersuchung zu potenziellen Folgen für Erholung und Gesundheit und Gestaltungsvorschläge für einen guten Umgang mit ständiger Erreichbarkeit im Unternehmen. Dresden: iga
- [3] Hessenmöller, A.-M., Pangert, B., Pieper, C., Schiml, N., Schröder, S. & Schüpbach, H. (2014). iga.Report 27. iga. Barometer 4. Welle 2013: Die Arbeitssituation in Unternehmen – Eine repräsentative Befragung der Erwerbsbevölkerung in Deutschland. Dresden: iga
- [4] Kahneman, D. (2011): Schnelles Denken, langsames Denken, Siedler
- [5] Rau, R. (2012). Erholung als Indikator für gesundheitsförderlich gestaltete Arbeit. In: B. Badura, A. Ducki, L. Schröder, J. Klose & M. Meyer (Hrsg.), Fehlzeitenreport 2012 – „Gesundheit in der flexiblen Arbeitswelt. Chancen nutzen, Risiken minimieren“. (S. 181–190). Berlin: Springer
- [6] Rydenstam, K. (2002). Time consumption in Swedish households. Präsentation beim Woman, Work and Health Congress, Stockholm, 02.–05. 6. 2002

Dynamische Arbeitsstationen – Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Forschung und der betrieblichen Praxis

Vera Schellewald, Britta Weber, Rolf Ellegast

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Kurzfassung

Der Wandel der modernen Arbeitswelt bringt eine geminderte physische Belastung und eine erhöhte psychische Belastung mit sich für Beschäftigte, die im Büro tätig sind. Insbesondere langandauernde Sitzhaltungen tragen zu bewegungsarmen Verhaltensweisen bei und durch Zeit- und Leistungsdruck kann sich das Stressempfinden erhöhen. Dies zieht eine Vielzahl an möglichen negativen Konsequenzen für die physische und psychische Gesundheit nach sich. Bei momentan ca. 18 Mio. Büroarbeitsplätzen in Deutschland stellt sich die Frage nach effektiven Präventionsmaßnahmen. Dynamische Arbeitsstationen sind innerhalb der letzten Jahre vermehrt in der Forschung sowie in der betrieblichen Praxis als Maßnahme der Verhaltensprävention in Erscheinung getreten. Dieser Beitrag bietet einen Einblick in aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und schildert Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis.

1 Einleitung

Im Jahre 1989 wurde das Potenzial einer dynamischen Arbeitsstation, ein Laufband-Arbeitsplatz, zur Reduzierung des sitzenden Verhaltens am Arbeitsplatz erstmalig evaluiert [1]. Inzwischen sind unterschiedliche Arten dieser Stationen (Untertisch-Geräte, stationäre Fahrräder, Ellipsentrainer) entwickelt und untersucht worden und ihre Effektivität zur Reduktion von Sitzzeiten am Arbeitsplatz ist wissenschaftlich weitgehend bestätigt [2,3]. Zusätzlich wird durch ihre Nutzung die Herzfrequenz und der Energieverbrauch im Vergleich zur Arbeit im Sitzen oder Stehen signifikant erhöht [4–8]. Um dynamische Arbeitsstationen universell einsetzbar zu gestalten, wurden insbesondere Fahrräder und Untertisch-Geräte entwickelt, welche in unterschiedlichen Büroumgebungen mobil eingesetzt werden können (z. B. LifeSpan, Deskbike; MagneTrainer, activeLife Trainer).



Abb. 1 Nutzung des Deskbikes (li) und activeLife Trainers (re) bei der Büroarbeit (Quelle: IFA)

Hinsichtlich der Bewertung ihrer Eignung als Maßnahme der Verhaltensprävention in der betrieblichen Praxis ist jedoch die Studienlage zur wissenschaftlichen Evaluierung dieser Geräte in realen Büroumgebungen noch nicht ausreichend. Hier interessiert vor allem das tatsächliche Nutzungsverhalten der Beschäftigten. Daneben sind die möglichen Effekte auf Parameter physischer Aktivität (z. B. Herzfrequenz, Energieumsatz) und auf psychische Parameter, wie das Wohlbefinden, beim Einsatz in realen Büroumgebungen von Interesse. Zudem könnte ihre Nutzung einen möglichen Einfluss auf kognitive Parameter und die Arbeitsleistung haben. Daher sollen in diesem Beitrag aktuelle Forschungsergebnisse zu dynamischen Arbeitsstationen (reale Nutzungszeiten im Büro, physische und psychische Effekte, Wirkungen auf kognitive Parameter und Arbeitsleistung) zusammenfassend dargestellt werden.

2 Aktuelle Forschungsergebnisse

Nutzungszeiten in realen Büroumgebungen

Studien zur Nutzung von Fahrradergometern in realen Büroumgebungen zeigen Unterschiede in den Nutzungszeiten von Fahrrädern und Untertisch-Geräten: Während eines Interventionszeitraumes von 20 Wochen betrug die Einsatzzeit der Fahrräder in der Studie von Torbeyns et al. [9] ca. 98 Minuten in der Woche, welches einer Nutzung von 20 Minuten am Tag entspricht. Schellewald et al. [10]

untersuchten den Einsatz von Schreibtisch-Fahrrädern über 6 Wochen und konnten eine durchschnittliche Nutzung an mindestens jedem 3. Tag von ca. 36–50 Minuten pro Tag feststellen. Einige Teilnehmende nutzten die Geräte jeden Tag. Im Vergleich dazu wurden Untertisch-Geräte in anderen Arbeiten mit einem Interventionszeitraum von 6 bis 12 Wochen nur mindestens jeden 5.–6. und maximal jeden 2.–3. Tag für einen Zeitraum zwischen 24 und 50 Minuten pro aktivem Tag genutzt [10–14].

Physische Effekte

Hinsichtlich der Effekte auf Parameter physischer Aktivität, wie die Herzfrequenz und den Energieumsatz, führt eine unterschiedliche Methodik im Vergleich der vorhandenen Studien zu unterschiedlichen Messgrößen, die nicht unmittelbar miteinander in Relation zu setzen sind. Die folgende Tabelle 1 bietet einen Überblick über erfasste Parameter und bei welcher Intensität diese gemessen wurden [6,10,15].

Tabelle 1 Erfasste Parameter physischer Aktivität bei der Nutzung von Fahrrädern und Ellipsentrainern/ Untertisch-Geräten (bpm = beats per minute)

	Herzfrequenz		Energieumsatz	
	bpm	Intensität	kcal/MET	Intensität
Fahrrad	69,5 bis 90	Frei 5 bis ca. 38 Watt	1,8 kcal/min; 255 kcal/h; 3 bis 3.5 MET	Frei ca. 38 Watt
Ellipsentrainer	70 bis 96,6	Frei 9 bis 17 Watt	1,7 kcal/min; 2,4 bis 3,1 MET	Frei 9 bis 17 Watt

Im Vergleich der Studien sind deutliche Unterschiede hinsichtlich der dargestellten Parameter zu finden. Dennoch zeigen diese Werte hinsichtlich der gemessenen Herzfrequenzen, welche zwischen 10 und 20 Schlägen Erhöhung im Vergleich zur Ruheherzfrequenz lagen, ein Anzeichen für eine leichte physiologische Aktivierung während der Nutzung der Stationen [16]. Interessant für die Bewertung der Arbeitsstationen sind vor allem auch die Messwerte des Energieumsatzes. Diese liegen deutlich über dem Wert von 1,5 MET, durch den Verhaltensweisen die darunterliegen als bewegungsarm definiert werden [17]. Damit ist die Nutzung der dynamischen Arbeitsstationen kein „sitzendes Verhalten“ mehr im Sinne dieser Definition, sondern kann zur Erhöhung der gesundheitsförderlichen Aktivität beitragen.

Psychische Effekte

Auf dem Gebiet der systematischen Bewertung psychischer Effekte durch die Nutzung dynamischer Arbeitsstationen gibt es nur sehr wenig Forschung und in den wenigen existierenden Studien wiederum wurden unterschiedliche Konstrukte erfasst. Sliter et al. [18] konnten hinsichtlich des Stressempfindens der Teilnehmenden keinen Unterschied während der Nutzung eines Fahrrad-Arbeitsplatzes im Vergleich zu einem konventionellen Sitz-Arbeitsplatz feststellen. Jedoch konnten sie eine signifikante Erhöhung des „arousal“ (positive Aufregung) während der Nutzung des Fahrrads sowie eines Laufband-Arbeitsplatzes verzeichnen. Nach der Nutzung von Fahrrad-Arbeitsplätzen über 20 Wochen konnten Torbeyns et al. [19] einen Trend hinsichtlich der Erhöhung des beruflichen Engagements erkennen. Als unmittelbare Effekte direkt nach der Nutzung von Schreibtischfahrrädern stellten Schellewald et al. [20] eine Erhöhung des aktuellen Wohlbefindens (hinsichtlich der Dimensionen Ruhe, Stimmung, Selbstbewusstsein und Leistungsbereitschaft) fest.

Kognitive Parameter und Arbeitsleistung

Zu möglichen Auswirkungen der Nutzung dynamischer Arbeitsstationen auf die Kognition und die Arbeitsleistung im Vergleich zu konventionellen Arbeitsplätzen (Sitzen oder Stehen) finden sich gemischte Effekte in der wissenschaftlichen Literatur. Die Effekte reichen von positiven Auswirkungen auf kognitive Parameter über negative Effekte auf die Präzision bei Bürotätigkeiten bis hin zu keinerlei Unterschieden [2, 3, 21-26]. Für die Nutzung dynamischer Arbeitsstationen mit leichter und moderater Intensität konnten Beeinträchtigungen für Schreib- und Maustätigkeiten festgestellt werden im Vergleich zum Arbeiten im Sitzen oder Stehen [8, 15, 23]. Auch im Vergleich von höheren zu niedrigeren Intensitäten traten diese Beeinträchtigungen auf [27, 28]. Dahingegen zeigten die Teilnehmenden in der Studie von Kamijo et al. [29] schnellere Reaktionszeiten bei der Nutzung eines Fahrrades für alle Intensitäten im Vergleich zum Sitzen. Koren et al. [30] wiederum fanden zeitliche Beeinträchtigungen beim Schreiben eines Textes und der gleichzeitigen Nutzung dynamischer Arbeitsstationen mit einer hohen Intensität im Vergleich zum Arbeiten im Sitzen oder Stehen.

3 Fazit

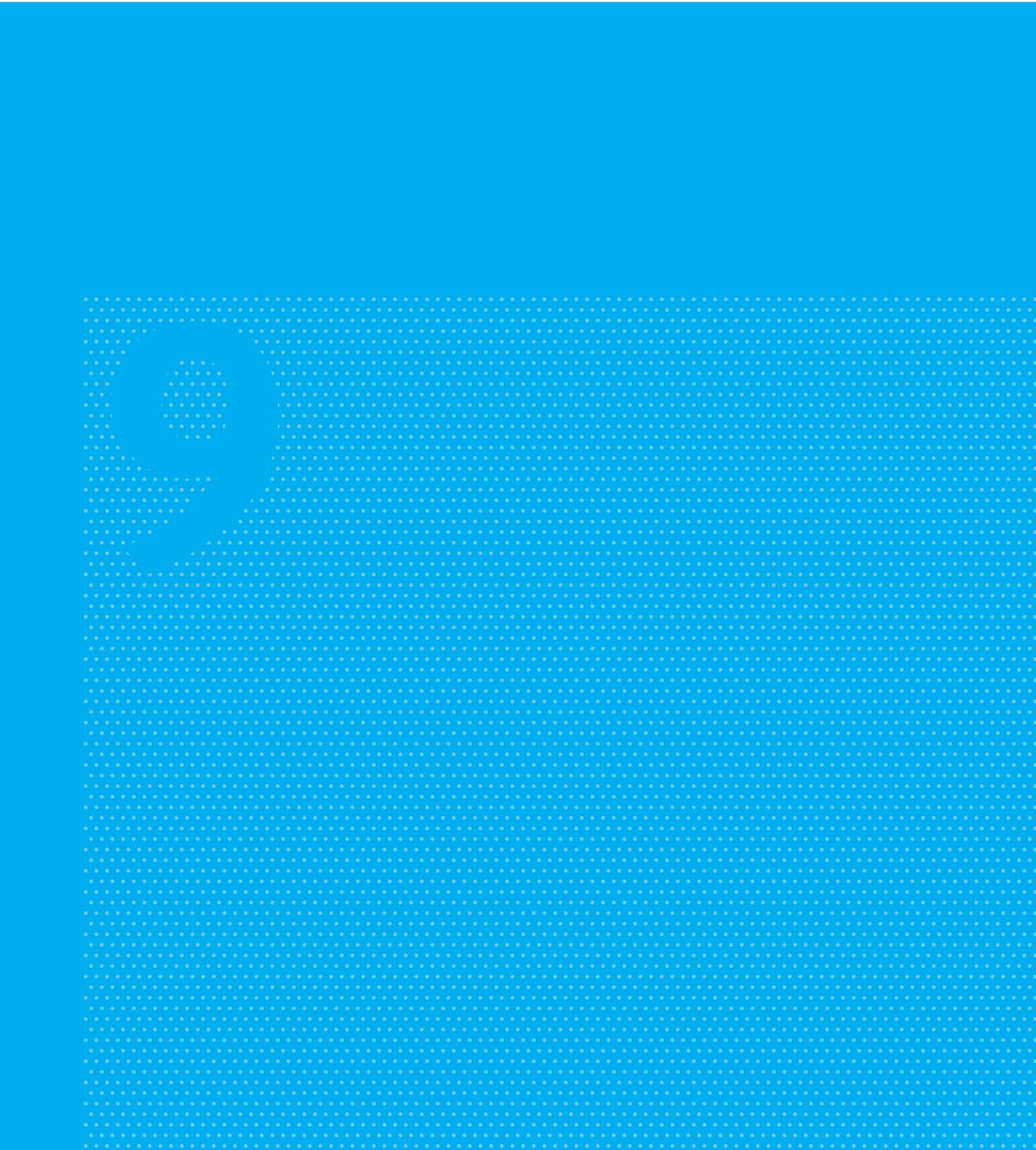
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dynamische Arbeitsstationen generell für den Einsatz in der betrieblichen Praxis geeignet sind. Ihre Nutzung kann zu einer leichten physischen Aktivierung während der Arbeit am Schreibtisch sowie zu einer Erhöhung des aktuellen Wohlbefindens beitragen. Gegebenenfalls kann durch die regelmäßige Nutzung dynamischer Arbeitsstationen sogar

die Arbeitsmotivation bzw. Leistungsbereitschaft bei der Arbeit erhöht werden. Ihre Nutzung hat (vermutlich) keinen (negativen) Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit, scheint aber durch die Bewegung des Oberkörpers nicht empfehlenswert bei der Ausführung von Präzisionsaufgaben mit der Computermaus zu sein.

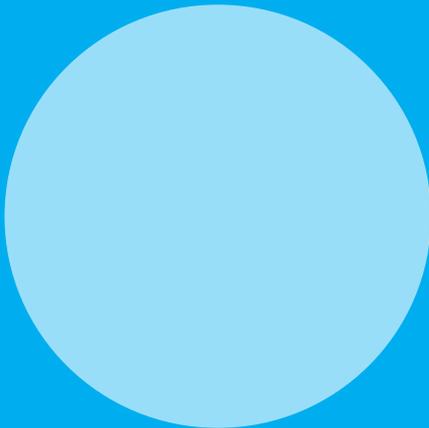
Literatur

- [1] *Edelson, N.; Danoffz, J.*: Walking on an electric treadmill while performing VDT office work. *ACM SIGCHI Bulletin* 21 (1989), S. 72–77
- [2] *Shrestha, N.; Kukkonen-Harjula, K. T.; Verbeek, J. H.; Ijaz, S.; Hermans, V.; Bhaumik, S.*: Workplace interventions for reducing sitting at work. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 3 (2016)
- [3] *Neuhaus, M.; Eakin, E. G.; Straker, L.; Owen, N.; Dunstan, D. W.; Reid, N.; Healy, G. N.*: Reducing occupational sedentary time: a systematic review and meta-analysis of evidence on activity-permissive workstations. *Obesity Reviews* 15 (2014) Nr. 10, S. 822–838
- [4] *Botter, J.; Ellegast, R. P.; Burford, E. M.; Weber, B.; Konemann, R.; Commissaris, D. A.*: Comparison of the postural and physiological effects of two dynamic workstations to conventional sitting and standing workstations. *Ergonomics* 59 (2016) Nr. 3, S. 449–463
- [5] *Carr, L. J.; Maeda, H.; Luther, B.; Rider, P.; Tucker, S. J.; Leonhard, C.*: Acceptability and effects of a seated active workstation during sedentary work. *International Journal of Workplace Health Management* 7 (2014) Nr. 1, S. 2–15
- [6] *Elmer, S. J.; Martin, J. C.*: A cycling workstation to facilitate physical activity in office settings. *Applied Ergonomics* 45 (2014) Nr. 4, S. 1240–1246
- [7] *Tudor-Locke, C.; Hendrick, C. A.; Duet, M. T.; Swift, D. L.; Schuna, J. M. Jr.; Martin, C. K.; Johnson, W. D.; Church, T. S.*: Implementation and adherence issues in a workplace treadmill desk intervention. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 39 (2014) Nr. 10, S. 1104–1111
- [8] *Botter, J.; Burford, E.-M.; Commissaris, D.; Köne-mann, R.; Mastrigt, S. H.-v.; Douwer, M.; Weber, B.; Ellegast, R. P.*: Untersuchung von dynamischen Büro-arbeitsplätzen. IFA Report 4/2014. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2014. www.dguv.de/ifa, Webcode d972999
- [9] *Torbeyns, T.; de Geus, B.; Bailey, S.; De Pauw, K.; Decroix, L.; Van Cutsem, J.; Meeusen, R.*: Cycling on a Bike Desk Positively Influences Cognitive Performance. *PLoS One* 11 (2016) Nr. 1, e0165510
- [10] *Schellewald, V.; Kleinert, J.; Ellegast, R.*: Use and physiological responses of portable dynamic office workstations in an occupational setting – A field study. *Applied Ergonomics* 71 (2018), S. 57–64
- [11] *Carr, L. J.; Walaska, K. A.; Marcus, B. H.*: Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *British Journal of Sports Medicine* 46 (2012) Nr. 6, S. 430–435
- [12] *Carr, L. J.; Karvinen, K.; Peavler, M.; Smith, R.; Cangelosi, K.*: Multicomponent intervention to reduce daily sedentary time: a randomised controlled trial. *British Medical Journal Open* 3 (2013) Nr. 10, e003261
- [13] *Carr, L. J.; Leonhard, C.; Tucker, S.; Fethke, N.; Benzo, R.; Gerr, F.*: Total Worker Health Intervention Increases Activity of Sedentary Workers. *American Journal of Preventive Medicine* 50 (2016) Nr. 1, S. 9–17
- [14] *Ellegast, R.; Heinrich, A.; Schäfer, A.; Schellewald, V.; Wasserkampf, A.; Kleinert, J.*: Active Workplace: Physiologische und psychologische Bedingungen sowie Effekte dynamischer Arbeitsstationen. IFA Report 3/2018. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2018. www.dguv.de/ifa, Webcode d1181565
- [15] *Straker, L.; Levine, J.; Campbell, A.*: The effects of walking and cycling computer workstations on keyboard and mouse performance. *Human Factors* 51 (2009) Nr. 6, S. 831–844
- [16] *Spanaus, W.*: Herzfrequenzkontrolle im Ausdauersport. Meyer und Meyer, Aachen 2002
- [17] *Pfeifer, K.; Banzer, W.; Ferrari, N.; Füzéki, E.; Geidel, W.; Graf, C.; Hartung, V.; Klamroth, S.; Völker, K.; Vogt, L.*: Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Köln 2017
- [18] *Sliter, M.; Yuan, Z.*: Workout at work: laboratory test of psychological and performance outcomes of active workstations. *Journal of Occupational Health Psychology* 20 (2015), S. 259–271
- [19] *Torbeyns, T.; de Geus, B.; Bailey, S.; De Pauw, K.; Decroix, L.; Van Cutsem, J.; Meeusen, R.*: Bike Desks in the Office: Physical Health, Cognitive Function,

- Work Engagement, and Work Performance. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 58 (2016), Nr. 12, S. 1257–1263
- [20] Schellewald, V.; Kleinert, J.; Ellegast, R.: Introducing a dynamic workstation in the office: insights in characteristics of use and short-term changes of well-being in a 12 week observational study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (2018) Nr. 11, E2501
- [21] Cao, C.; Liu, Y.; Zhu, W.; Ma, J.: Effect of Active Workstation on Energy Expenditure and Job Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Physical Activity and Health* 13 (2016) Nr. 5, S. 562–571
- [22] Choi, W.; Song, A.; Edge, D.; Fukumoto, M.; Lee, U.: Exploring user experiences of active workstations. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing – UbiComp '16* 2016, S. 805–816
- [23] Commissaris, D. A.; Huysmans, M. A.; Mathiassen, S. E.; Srinivasan, D.; Koppes, L.; Hendriksen, I. J.: Interventions to reduce sedentary behavior and increase physical activity during productive work: a systematic review. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health* 42 (2016) Nr. 3, S. 181–191
- [24] Ojo, S. O.; Bailey, D. P.; Chater, A. M.; Hewson, D. J.: The Impact of Active Workstations on Workplace Productivity and Performance: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (2018) Nr. 3, E417
- [25] Sui, W.; Smith, S.; Fagan, M.; Rollo, S.; Prapavessis, H.: The effects of sedentary behaviour interventions on work-related productivity and performance outcomes in real and simulated office work: A systematic review. *Applied Ergonomics* 75 (2019), S. 27–73
- [26] Ramos, S.; Maheronnaghsh, S.; Vila-Chã, C.; Vaz, M. A. P.; Santos, J.: The Influence of Active Workstations on Work Performance, Productivity Indicators and Sedentary Time: A Systematic Review. In: Arezes, P. M.; Baptista, J. S.; Barroso, M. P.; Carneiro, P.; Cordeiro, P.; Costa, N.; Melo, R. B.; Miguel, A. S.; Pe-restrelo, G. (Hrsg.): *Occupational and Environmental Safety and Health Studies in Systems, Decision and Control*. Springer International Publishing, 2019, S. 477–483
- [27] Cho, J.; Freivalds, A.; Rovniak, L.; Sung, K.; Hatzell, J.: Using a Desk-Compatible Recumbent Bike in an Office Workstation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 58 (2014) Nr. 1, S. 1662–1666
- [28] Tronarp, R.; Nyberg, A.; Hedlund, M.; Häger, C. K.; McDonough, S.; Björklund, M.: Office-Cycling: A Promising Way to Raise Pain Thresholds and Increase Metabolism with Minimal Compromising of Work Performance. *BioMed Research International* 23 (2018), 5427201
- [29] Kamijo, K.; Nishihira, Y.; Higashiura, T.; Kuroiwa, K.: The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology*. 65 (2007) Nr. 2, S. 114–121
- [30] Koren, K.; Pisot, R.; Simunic, B.: Active workstation allows office workers to work efficiently while sitting and exercising moderately. *Applied Ergonomics* 54 (2016), S. 83–89



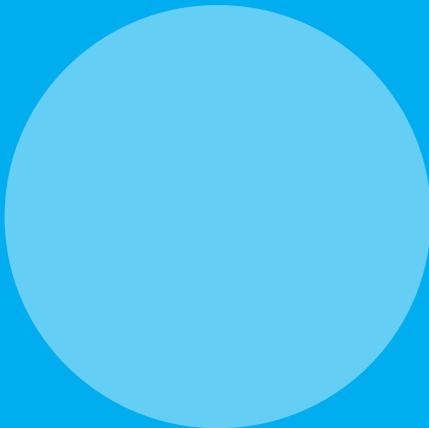
Nichtvisuelle Wirkung von Licht



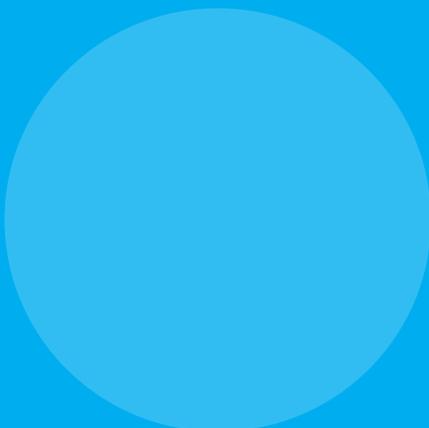
Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen
Gerold Soestmeyer

KAN-Studie „Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen“

Anna Dammann



Zwischen Selbsteinschätzung und gutem Lichtprofil – Erkenntnisse aus der IPA- Feldstudie zu Schichtarbeit
Sylvia Rabstein, Dirk Pallapies, Thomas Behrens, Thomas Brüning



Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen

Gerold Soestmeyer

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Bochum

1 Überblick

Licht ist essential für unser Leben und unsere Arbeit. Es ermöglicht aber weit mehr als nur gutes Sehen. Produktivität, Leistungsbereitschaft und Wohlbefinden sind ebenso eng mit der Lichtsituation am Arbeitsplatz verbunden, wie Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit.

Im Jahr 2002 entdeckten Forschende neben den bereits bekannten Stäbchen und Zapfen einen dritten Photorezeptor: die intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen, deren höchste Sensitivität im blauen Bereich des Lichtspektrums liegt. Diese Wirkungen zeigen große Auswirkungen auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten.

Auch wenn bisher die Erkenntnisse noch lückenhaft sind, ist es notwendig, Unternehmen und Beschäftigte über die gesundheitliche Relevanz zu informieren und erste Empfehlungen weiterzugeben. Dies ist insbesondere vor dem weiterhin aktuellen Trend relevant, an vielen Arbeitsplätzen LEDs mit hohen Blauanteilen im Farbspektrum (tageslicht-weiß) einzusetzen, da diese eine gute Energiebilanz aufweisen. Zur falschen Tageszeit eingesetzt, können gerade diese negative Wirkungen auf die Gesundheit bedingen. Das bezieht sich gleichermaßen auf die Nutzung von digitalen Endgeräten wie Computer, Tablets oder Smartphones, deren Bildschirmbeleuchtung oft hohe Blaulichtanteile aufweist.

Unfallversicherungsträger und der Ausschuss für Arbeitsstätten geben Empfehlungen, wie die nichtvisuellen Wirkungen von Licht zu berücksichtigen sind.

2 Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen

In seiner gesamten Entwicklungsgeschichte ist der Mensch durch den natürlichen Rhythmus des Tageslichts geprägt: Helles Licht am Morgen, ein wolkenbehängener Himmel vor einem Regenschauer und ein goldgelber Sonnenuntergang. Die wechselnden Helligkeiten und variablen Lichtfarben synchronisieren den menschlichen Organismus mit seiner Umwelt. Der moderne Mensch indes entfernt sich immer mehr von seinen natürlichen Rhythmen. Arbeit im Schichtbetrieb oder in fensterlosen Werkräumen. Morgens oder abends, um Mitternacht in der Leitwarte oder frühmorgens in Werkstatt und Büro: Fast unbegrenzt steht künstliches Licht bereit, um Menschen das Sehen zu ermöglichen.

Mit Licht können wir aber nicht nur sehen und Kontraste erkennen, Farben unterscheiden und Bewegung von Objekten wahrnehmen. Licht bewirkt noch mehr: Es beeinflusst den biologischen Rhythmus, den Schlaf, wichtige Körperfunktionen und das Wohlbefinden und nimmt somit einen nicht unerheblichen Einfluss auf unsere Gesundheit. Diese Einflüsse werden unter „nichtvisuelle Lichtwirkungen“ zusammengefasst. In der Literatur werden sie auch biologische, melanopische oder nicht bildgebende Lichtwirkungen genannt.

Vor einigen Jahren wurde im Auge des Menschen neben Zapfen und Stäbchen ein weiterer Rezeptortyp entdeckt. Dieser ist besonders empfindlich für Strahlung im blauen Bereich des sichtbaren Lichts. Allerdings sind die Rezeptoren dieses Typs nicht oder kaum an der Entstehung von Bildern im Gehirn beteiligt, sondern für die Synchronisierung unserer inneren Uhr.

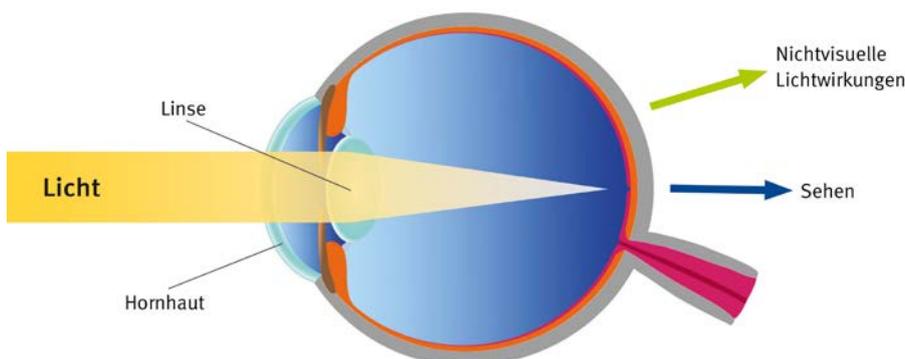


Abb. 1

Der Lichteinfall auf die Netzhaut im Auge löst sowohl den Sehvorgang als auch nichtvisuelle Wirkungen aus. Wie stark diese Lichtwirkungen sind hängt auch von der Lichtquelle ab und davon, wieviel Licht im Auge auf die Netzhaut trifft. Quelle: DGUV Information 215-220

3 Licht beeinflusst die Physiologie

Unsere innere Uhr steuert die zeitlichen Abläufe aller wichtigen Vorgänge im Körper und stimmt diese aufeinander ab. Sie sorgt dafür, dass wichtige Prozesse im Körper zur richtigen Zeit und in der richtigen Reihenfolge ablaufen. Durch diese Zusammenhänge werden verschiedene Stoffwechselprozesse und das Immunsystem ebenso beeinflusst wie das psychische Befinden. Nahrungsaufnahme und körperliche Aktivität nehmen dabei Einfluss auf die innere Uhr. Der wichtigste Zeitgeber ist aber das Licht. Somit haben Art und Intensität von Licht einen erheblichen Einfluss auf unsere Müdigkeit und Wachheit und somit auf unseren Schlaf-Wach-Rhythmus.

4 Licht ist der wichtigste Zeitgeber für die innere Uhr

Licht kann über den nichtvisuellen Weg akute und langfristige Wirkungen hervorrufen. Akute Wirkungen stellen sich innerhalb von Minuten ein und werden unmittelbar wahrgenommen. Beispielsweise kann bei Müdigkeit eine deutliche Erhöhung der Beleuchtungsstärke am Auge „wacher machen“ oder die Leistungsfähigkeit steigern. Dauerhafte oder mehrfach wiederholte Veränderungen der Lichtintensität können – meist nicht bewusst wahrnehmbare – Langzeitwirkungen im menschlichen Körper hervorrufen. Beispielsweise stabilisieren regelmäßige Spaziergänge am Morgen bei Tageslicht die innere Uhr. Schichtarbeit bringt die innere Uhr aus dem Takt und bedeutet Stress für den Körper.

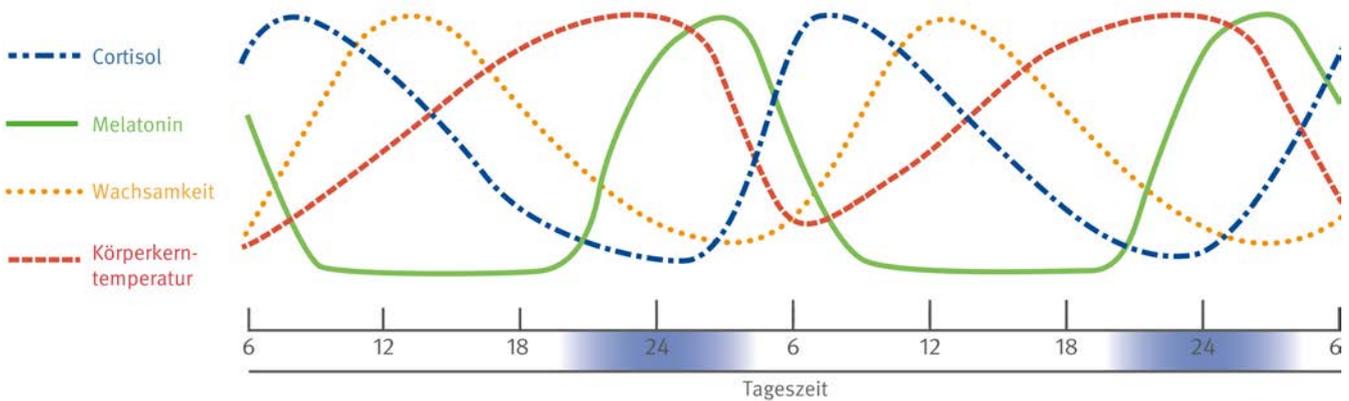


Abb. 2 Beispiele für die Tagesgänge (24-Stunden-Rhythmen) ausgewählter physiologischer Prozesse, die von der inneren Uhr und somit von Licht beeinflusst werden. Quelle: DGUV Information 215-220



Abb. 3 Die „innere Uhr“ steuert die zeitlichen Abläufe aller wichtigen Vorgänge im Körper und stimmt diese aufeinander ab. Dies geschieht rund um den Tag – gewollt oder ungewollt. Der wichtigste Zeitgeber unserer inneren Uhr ist das Licht. Quelle: DGUV Information 215-220

Licht, das ins Auge fällt, bewirkt Reaktionen der melanopsinhalten Ganglienzellen auf der Netzhaut, wodurch Signale an den Suprachiasmatischen Kern (SCN) im Gehirn weitergeleitet werden. Von dort werden Prozesse im Körper gesteuert, die mit dem zirkadianen Rhythmus zu tun haben. Bisher bekannte Einflusswege laufen unter anderem über die Unterdrückung der Melatoninproduktion durch Licht. Auf diese Weise wird das Schlaf-Wach-Verhalten beeinflusst oder auch die Kerntemperatur im Körper. Am Abend und vor allem in der Nacht, wird unsere innere Uhr durch helles Licht oder Licht mit hohen Blauanteilen, also Licht mit höheren nichtvisuellen Wirkungen, empfindlich gestört.

Zu viel Licht am Abend kann den individuellen Rhythmus derart verschieben, dass das Einschlafen in der Folgenacht schwerer fällt. Steht man morgens zudem noch früh auf, wird die Schlafdauer verkürzt. Geschieht dies nur ab und zu, stellt das in der Regel kein Problem dar. Wiederholt sich dies aber über Tage und Wochen hinweg, zum Beispiel bei bestimmter Schichtarbeit, entsteht chronischer Schlafmangel. Dieser kann nur durch anschließenden Schlaf kompensiert werden, denn der Mensch kann nicht vorschlafen.

Hinzu kommt, dass jedes Licht, das ins Auge fällt, nichtvisuelle Wirkungen zeigt. Egal ob die Lichtquelle die Sonne, eine Lampe oder Leuchte oder auch eine Anzeige eines Bildschirms, Tablets, Smartphones oder E-Book-Readers ist.

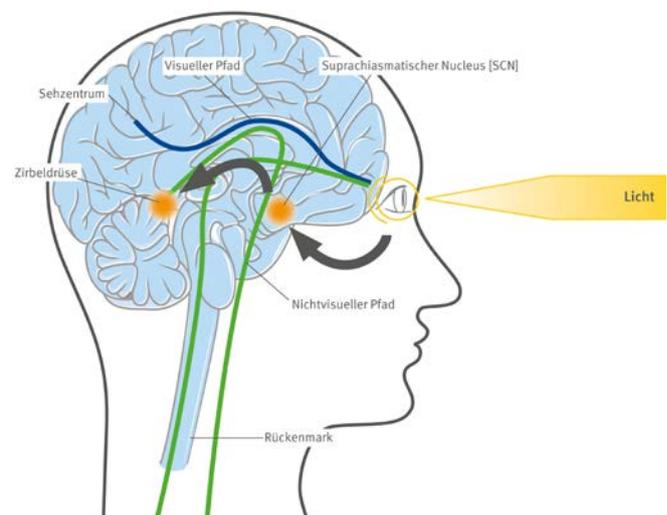


Abb. 4 Visuelle und nichtvisuelle Pfade von Licht im menschlichen Körper. Quelle: DGUV Information 215-220

5 Die Beleuchtung hat Auswirkungen auf Sicherheit und Gesundheit

Die Stabilität des individuellen Schlaf-Wachrhythmus korreliert positiv mit gesundheitlichen Aspekten. Wird dieser Rhythmus häufig oder über längere Zeiträume immer wieder gestört oder verschoben, kann dies zu anhaltenden Schlaf- und Gesundheitsproblemen führen. Falsche Beleuchtung zu falscher Zeit kann solche Störungen oder Verschiebungen bewirken. Einfluss haben dabei die Beleuchtungsstärke am Auge, die Lichtfarbe, der Zeitpunkt und die Dauer der aktuellen Lichtexposition, aber auch die zurückliegenden Expositionen der vorausgegangenen Tage.

Die Leistungsfähigkeit des Menschen hat gegen drei Uhr in der Nacht ein Tief. Zu dieser Nachtzeit lässt sich statistisch ein Maximum von Fehlern und Unfällen im Tages-Nacht-Verlauf feststellen. Besonders Menschen, die nachts arbeiten, müssen zu dieser Uhrzeit jedoch fit und leistungsbereit sein. Mit entsprechender künstlicher Beleuchtung können die Wachheit erhöht und somit Leistungstiefs aufgefangen werden. Das kann einerseits für mehr Sicherheit sorgen, da sich durch erhöhte Wachheit möglicherweise nächtliche Unfälle vermeiden lassen. Andererseits kann künstliche Beleuchtung während der Nacht auf Dauer die Gesundheit gravierend beeinträchtigen. Deshalb müssen für Nacht- und Schichtarbeit die Art und der Einsatz von Beleuchtung hinsichtlich ihrer nichtvisuellen Wirkungen sorgfältig abgewogen werden.

Kurz gesagt: „Falsches Licht zur falschen Zeit beeinträchtigt die Gesundheit; richtiges Licht zur richtigen Zeit hilft gesund zu bleiben“.

6 Beleuchtungskonzepte

Mit entsprechenden Beleuchtungskonzepten können die nichtvisuellen Wirkungen von Licht und deren Einflüsse auf die innere Uhr adäquat berücksichtigt und damit negative Auswirkungen auf die Gesundheit gemindert werden. Diese Beleuchtungskonzepte ermöglichen es, die Beleuchtungsstärke, das Lichtspektrum (Lichtfarbe) und die Lichtverteilung im Raum über den gesamten Tag anzupassen. Beispielsweise wird Licht, das am Tag zu einer höheren nichtvisuellen Wirkung führen soll, über großflächige Leuchten an der Decke oder indirekt über reflektierende Decken und Wände erzeugt. Soll die nichtvisuelle Wirkung des Lichts z. B. am Abend oder in der Nacht reduziert werden, werden nur die für die Tätigkeit unmittelbar relevanten Objekte oder Flächen mit geringer Helligkeit direkt beleuchtet. Somit gelangt insgesamt weniger Licht ins Auge.

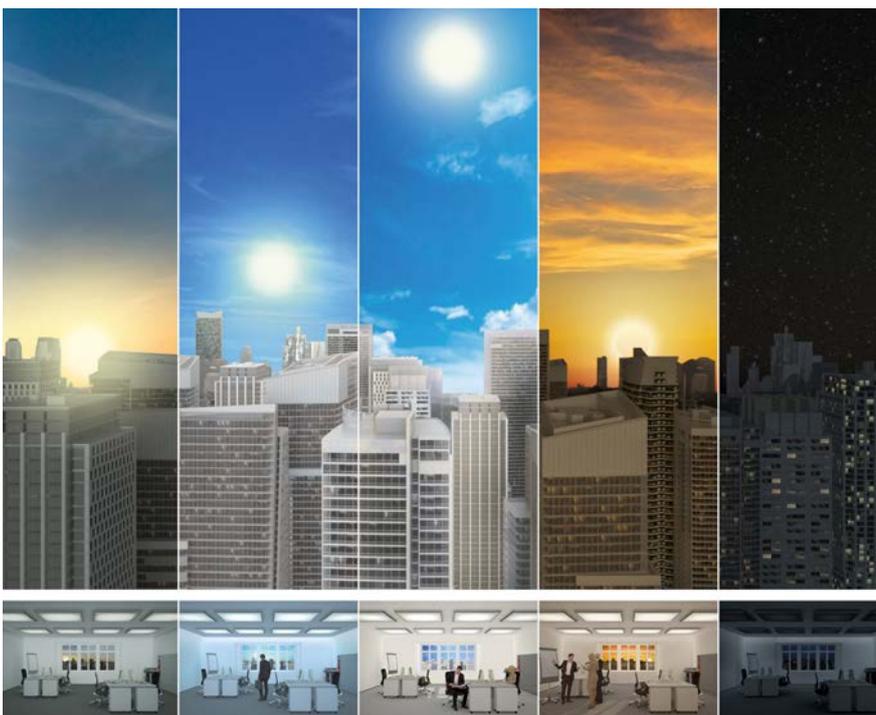


Abb. 5
Veränderung von Beleuchtungsstärken, Lichtspektrum und räumlicher Verteilung von Licht. Die künstliche Beleuchtung wird dem Tagesverlauf angepasst. Die hellen Wände und Decken sollen tagsüber durch indirekte Lichtanteile die nichtvisuellen Wirkungen verstärken. Am Abend ist die notwendige Helligkeit am Arbeitsplatz beschränkt. Der geringere indirekte Anteil des Lichts auf der Decke und den Wänden soll nichtvisuelle Wirkungen reduzieren.
Quelle: DGUV Information 215-220

7 Besonderheiten bei Schicht- und Nachtarbeit

Besonders Schicht- und Nachtarbeit sind Arbeitsformen häufig mit ungünstigen Auswirkungen auf die Gesundheit. Diese reichen von Ein- und Durchschlafstörungen, Verdauungsproblemen über Herz-Kreislauf- sowie Stoffwechselstörungen bis hin zu psychischen Problemen. Dies kann durch eine gute Gestaltung der Schichtarbeit zu einem großen Teil kompensiert werden (siehe auch Leitfaden zur Einführung und Gestaltung von Nacht- und Schichtarbeit (BAuA)). Auch wenn die wissenschaftlichen Untersuchungen zu Schicht- und Nachtarbeit noch viele Lücken aufweisen und viele Fragen noch nicht zu beantworten sind, weiß man sehr genau, dass Licht während der Nacht die innere Uhr erheblich stört und aus dem Takt bringt. Dies lässt sich anhand der Verschiebung biologischer Rhythmen oder des Schlafes messen. Hinzu kommt, dass insbesondere Nachtarbeit mit einem Mangel an Tageslicht einhergeht, wodurch die innere Uhr zusätzlich gestört wird.

Nach heutigem Wissensstand gibt es keine „gesunde Lichtlösung“ für die Nacht. Aus diesem Grund sind Empfehlungen für die Beleuchtung bei Schicht- und Nachtarbeit wesentlich schwieriger abzuleiten als für Arbeit am Tage. Aber dennoch sind sie notwendig, um Beeinträchtigungen der Gesundheit gering zu halten.

Neben der Wirkung auf den individuellen Rhythmus zeigt Licht auch Wirkungen auf unsere Aktivität und beeinflusst die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit. Deshalb besteht auch für Unternehmen der Anreiz, Licht mit hohen Anteilen im blauen Spektralbereich zur Beleuchtung bei Nachtarbeit einzusetzen. Das kann die Wachheit erhöhen und mag unter bestimmten Voraussetzungen wichtig sein, um die Sicherheit zu gewährleisten. Zudem werden LED-Beleuchtungssysteme mit hohen Farbtemperaturen besonders wegen ihres geringeren Energieverbrauchs eingesetzt. Da langanhaltende Expositionen viel Potential zur Schädigung der Gesundheit aufweisen, wurde auch im Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) darüber beraten, in welcher Form die Technischen Regeln für Arbeitsstätten die nichtvisuellen Wirkungen von Licht adäquat berücksichtigen sollen (siehe Abs. 9). Die Kombination bestimmter Lichtfarben und Beleuchtungsstärken könnten gerade bei Nachtarbeit nur eingeschränkt zulässig werden.

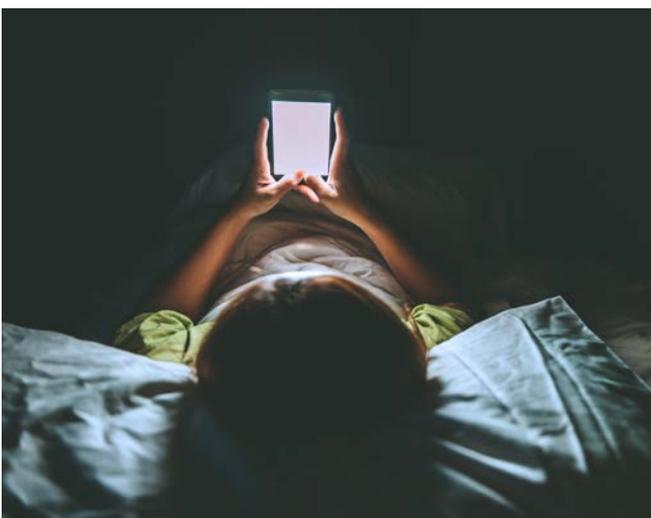


Abb. 6
Nicht nur die allgemeine Beleuchtung hat Einfluss auf die innere Uhr. Auch Tablet und Co können Schlaf und Wachheit beeinflussen.
Quelle: reewungjunerr - stock.adobe.com

8 Informieren ist wichtig!

Die bisher verfügbaren Forschungsergebnisse resultieren vorrangig aus Laborstudien. Feldstudien sind weit schwieriger durchzuführen, aber dringend notwendig, um gesicherte Aussagen treffen zu können. Erste Ansätze und Ergebnisse finden sich in der Forschung zu Schichtarbeit.

Die neue DGUV Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen“ (9/2018) stellt den derzeitigen wissenschaftlichen Stand der Erkenntnisse zu nichtvisuellen Wirkungen von Licht dar. Diese soll auf der Grundlage als gesichert geltender Forschungsergebnisse eine Hilfestellung zum Umgang mit Licht am Arbeitsplatz geben. Die DGUV Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen“ wurde zusätzlich mit den Sozialpartnern der Selbstverwaltungsgremien der DGUV abgestimmt.

Da die nichtvisuellen Wirkungen von Licht zu jeder Tages- und Nachtzeit vorhanden sind, werden auch ergänzende Hinweise für die Zeiten vor und nach der Arbeit und die arbeitsfreien Tage gegeben.



9 Empfehlungen des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA)

Auch der Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) hat mit Beschluss 9/7. ASTA-Sitzung vom 28. 11. 2018 eine Empfehlung zur künstlichen, biologisch wirksamen Beleuchtung in Arbeitsstätten veröffentlicht. Dort ist zu lesen, dass sich bei ausreichender Tageslichtversorgung, für die tagsüber Arbeitenden aus dem aktuellen Wissensstand heraus keine zusätzlichen Vorgaben hinsichtlich des Einrichtens und Betriebens von Arbeitsstätten ableiten lassen.

Ganz anders ist es bei nicht ausreichendem Tageslicht. Hier sollen ergänzende Maßnahmen auch im Hinblick auf biologische Lichtwirkungen berücksichtigt werden, z. B. die Möglichkeit der Pausengestaltung im Freien. Eine dynamische künstliche Beleuchtung, bei der Lichtfarbe, Beleuchtungsniveau oder Lichtverteilung verändert werden, wird tagsüber als unbedenklich eingestuft, wenn sie sich am gleichzeitig unter freiem Himmel vorhandenen natürlichen Licht orientiert. Dabei muss sich die Beleuchtung im Rahmen der für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht empfohlenen Verhältnisse bewegen.

Bei Nacharbeit hingegen besteht nach gegenwärtigem Wissensstand bereits im Rahmen bestehender Beleuchtungskonzepte die Möglichkeit des Eintretens unerwünschter biologischer Wirkungen. Dabei können langfristige negative Folgen für die Gesundheit nicht ausgeschlossen werden. Kritisch sind hohe Beleuchtungsstärken am Auge insbesondere, wenn diese mit kalten Lichtfarben verbunden sind. Diese führen zu einer Aktivierung, die am späten Abend oder in der Nacht mit einer Störung der inneren Uhr mit möglichen negativen Folgen für die Gesundheit verbunden sein kann. Für das Sehen erforderliche Beleuchtungsstärken sollten in der Nacht eher mit warmen bis neutralweißen Lichtfarben gegeben werden. Daher wird empfohlen, in der Nacht Licht mit einer Farbtemperatur von weniger als 4.100 K zu verwenden. Von einer dauernden Beleuchtung durch kalte Lichtfarben hoher Beleuchtungsstärke sollte abgesehen werden.

Abb. 7

Die neue DGUV Information 215-220 (9/2018) gibt Hinweise und Empfehlungen zu den nichtvisuellen Wirkungen von Licht auf den Menschen.

Quelle: DGUV Information 215-220

10 Weitere Informationen

DGUV Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen“, Download: www.dguv.de/publikationen

DGUV Information 215-210 „Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten“, Download: www.dguv.de/publikationen

Kantermann T., Schierz C., Harth V.: (2018) KAN-Studie „Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen – eine Literaturstudie“, Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V., Download: www.kan.de/publikationen/kan-studien/

Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit, TU Ilmenau 2009

Krüger J.: (2017) „Chancen und Risiken beim Einsatz künstlicher, biologisch wirksamer Beleuchtung in Arbeitsstätten“ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

Leitfaden zur Einführung und Gestaltung von Nacht- und Schichtarbeit (BAuA)

Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) – Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten, Download: https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/ASTA/pdf/Beleuchtung.pdf?__blob=publicationFile&v=2

KAN-Studie „Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen“

Anna Dammann

Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN), Geschäftsstelle, Sankt Augustin

Kurzfassung

Mit den nichtvisuellen Wirkungen von Licht beschäftigen sich schon seit Jahren verschiedene interessierte Kreise, teilweise mit unterschiedlichen Positionen, welche Erkenntnisse als gesichert angesehen und welche Rückschlüsse an die Beleuchtung am Arbeitsplatz daraus gezogen werden können. Die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) hat daraufhin eine Literaturstudie [1] in Auftrag gegeben, um die gesicherten arbeitsschutzrelevanten Erkenntnisse über die nichtvisuellen Wirkungen von Licht herauszustellen. Die gesamte Literaturstudie kann auf der KAN-Homepage frei heruntergeladen werden: <https://www.kan.de/publikationen/kan-studien/>

Hintergrund

DIN hat 2013 eine Spezifikation mit detaillierten Planungsempfehlungen zu den nichtvisuellen Wirkungen von Licht auch für Arbeitsstätten veröffentlicht. Die KAN reagierte mit einer Stellungnahme [2], da die wissenschaftlichen Erkenntnisse für so detaillierte Anwendungsempfehlungen nicht vorhanden waren und der betriebliche Arbeitsschutz betroffen ist. Die Hersteller haben gleichzeitig entsprechende Beleuchtungssysteme weiterentwickelt und deren gesundheitliche Wirkungen intensiv beworben. Den Betrieben und planenden Personen fehlten jedoch Informationen zu deren Chancen und Risiken sowie Anwendungsempfehlungen aus Sicht des Arbeitsschutzes. Zwei KAN-Workshops brachten die beteiligten Kreise zusammen und ermöglichten konstruktive Diskussionen zwischen Arbeitsschutz, der Wissenschaft, den Industrieverbänden, den Sozialpartnern und den planenden Personen. Als Resultat gerieten einige Aktivitäten ins Rollen. Die KAN gab eine Literaturstudie in Auftrag, um die aktuellen arbeitsschutzrelevanten Ergebnisse wissenschaftlicher Studien zur nichtvisuellen Wirkung von Licht aufzuarbeiten.

Durchführung der Literaturstudie

Um die nichtvisuellen Wirkungen von Licht möglichst breit angelegt zu betrachten, wurden verschiedene Fachdisziplinen – die Chronobiologie, die Arbeitsmedizin und die Lichttechnik – an der KAN-Studie beteiligt. Die Literaturstudie wurde zunächst aus Sicht der Chronobiologie (Prof. Thomas Kantermann) verfasst und anschließend aus dem Blickwinkel der Lichttechnik (Prof. Christian Schierz) und der Arbeitsmedizin (Prof. Volker Harth) begutachtet und ergänzt. Zusätzlich wurde noch ein ausführlicheres lichttechnisches Gutachten angefertigt. Dieses Gutachten stellt lichttechnische Grundlagen und den Wissensstand über eine mögliche Schädigung des Auges durch zu hohe Intensitäten des Blauanteils im Licht dar. Das ausführliche lichttechnische Gutachten ist im Anhang der Studie enthalten.

Ergebnisse der Literaturstudie

Zu den nichtvisuellen Wirkungen von Licht liegen überwiegend Studien unter kontrollierten Bedingungen (z. B. in Schlaflaboren) mit meist nur wenigen Teilnehmenden oder tierexperimentelle Studien vor. Diese Studien sind gut geeignet, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge aufzudecken. Welche wiederum helfen, Studienergebnisse auf andere Szenarien als die untersuchten zu übertragen. Allerdings können Studien im Labor nicht die tatsächlichen Gegebenheiten am Arbeitsplatz abbilden. Deshalb sind zusätzliche Studien an Arbeitsplätzen (Feldstudien) mit vielen Teilnehmenden wichtig, auch wenn solche Studien gegebenenfalls schwer kontrollierbaren Störeinflüssen unterliegen.

Es ist auffällig, dass viele Studien Schwachstellen vor allem bezüglich der Lichttechnik aufweisen. So ist häufig der Versuchsaufbau unvollständig beschrieben oder die angegebenen radiometrischen Größen sind falsch.

Es sind noch viele arbeitsschutzrelevante Studien notwendig. Zum einen müssen Studien im Bereich der Grundlagenforschung durchgeführt werden, z. B. über Dosis-Wirkungs-Beziehungen, über individuelle Unterschiede, Adaptationsprozesse oder über das Studiendesign an sich. Zudem sind speziellere Interventionsstudien aus arbeitsmedizinischer Sicht notwendig: Der Einfluss von digitalen Medien als Licht emittierende Quellen, der Einfluss des Lichts auf Unfall- und Fehlerraten und die Vor- und Nachteile von bestimmten Beleuchtungsszenarien während der Nachtschicht müssen z. B. näher untersucht werden. Zu allen bisherigen Forschungsfragen sollte immer geprüft werden, ob Langzeitstudien notwendig und möglich sind.

Dennoch lassen sich aus den Ergebnissen bereits qualitative Empfehlungen zur Berücksichtigung der nichtvisuellen Wirkungen von Licht bei der Beleuchtung von Arbeitsstätten ableiten.

Ausblick

Aktuell ist viel in Bewegung: Unter Hinzuziehung der KAN-Literaturstudie wurde bereits die DGUV-Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen“ [3], die im Sachgebiet Beleuchtung (Fachbereich Verwaltung der DGUV) erarbeitet wurde und die „Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) – Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten“ [4] veröffentlicht.

Diese Schriften müssen auf dem aktuellen Stand gehalten werden, denn auch die forschenden Institutionen des Arbeitsschutzes arbeiten an diesem Thema. So forschen das Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) und die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) zu den nichtvisuellen Wirkungen von Licht.

Welche Aufgabe die Normung aus Arbeitsschutzsicht in diesem Themenfeld hat, wird weiter diskutiert. So wäre z. B. die Aufnahme von Anforderungen an die Benutzerinformation in Produktnormen von Leuchten sinnvoll. Die KAN wird die europäische und internationale Normung weiterhin eng begleiten und den Dialog mit den relevanten Kreisen fortführen.

Literatur

- [1] *Kantermann T., Schierz C., Harth V.*: „Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen – eine Literaturstudie“, Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e. V., August 2018, www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Studie/de/2018_KAN-Literaturstudie_Nichtvisuelle_Wirkung_von_Licht.pdf
- [2] Kommission Arbeitsschutz und Normen (KAN), „KAN-Position Berücksichtigung nichtvisueller Wirkungen künstlicher Beleuchtung in der Normung“, Oktober 2019, https://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Basisdokumente/de/Deu/KAN-Position_nichtvisuelle_Wirkungen_von_Licht_2019.pdf
- [3] DGUV Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen“, September 2018, <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/215-220.pdf>
- [4] Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) – Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten, November 2018, www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/ASTA/Empfehlungen.html

Zwischen Selbsteinschätzung und gutem Lichtprofil – Erkenntnisse aus der IPA-Feldstudie zu Schichtarbeit

Sylvia Rabstein, Dirk Pallapies, Thomas Behrens, Thomas Brüning

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA), Bochum

Kurzfassung

Licht ist einer der wichtigsten externen Zeitgeber für die Tagesrhythmen im menschlichen Körper. Insbesondere nächtliche Blaulicht-Expositionen werden mit verschiedenen Erkrankungen in Verbindung gebracht, darunter Schlafstörungen, Adipositas und möglicherweise auch Krebserkrankungen. Ein gesundes 24-Stunden-Lichtprofil beinhaltet dabei auch den Wechsel zwischen hell und dunkel.

In der longitudinalen „IPA-Feldstudie zu Schichtarbeit“ wurden insgesamt 75 Mitarbeiterinnen des BG Klinikums Bergmannsheil in einem Nachtschicht- und einem Tag-schicht-Block und weitere 25 Frauen im reinen Tagdienst untersucht. Licht in unterschiedlichen Spektralbereichen wurde über mehrere Tage alle 10 Sekunden mit an der Schulter getragenen Messgeräten aufgezeichnet. Angaben zum Aufenthalt und die eigene Einschätzung der Dauer unter Tageslicht wurden über Tagebücher gesammelt und mit den gemessenen Lichtprofilen verglichen. In dem Vortrag werden einige wichtige Aspekte der Lichtexposition sowie möglicher Diskrepanzen zwischen Lichtexposition und Selbsteinschätzung insbesondere bei Schichtarbeitern vorgestellt.

1 Einleitung

Viele biologische Prozesse im menschlichen Körper durchlaufen einen natürlichen Tagesgang. Um sich mit dem natürlichen Tag-Nacht-Wechsel der Erde zu synchronisieren, benötigt der Mensch Signale aus der Umwelt. Als wichtigster Zeitgeber für die biologischen Tagesrhythmen im menschlichen Körper, die auch als circadiane Rhythmen bezeichnet werden, gilt das Licht. Spezifische Ganglienzellen in der Retina leiten das Lichtsignal an den Nucleus Suprachiasmaticus im Gehirn weiter, von wo aus die circadianen Rhythmen mittels neuraler und hormoneller Signale synchronisiert werden [1]. Diese spezifischen Ganglienzellen sind besonders sensitiv im blauen Wellenlängenbereich des Lichts [2]. Für ein gesundes Lichtprofil über einen ganzen Tag hinweg sind verschiedene Faktoren relevant. Das richtige Licht zur richtigen Zeit beinhaltet beispielsweise ausreichendes Tageslicht und aus-

reichende Dunkelheit über 24 Stunden. Die individuelle Lichtumgebung unterscheidet sich hinsichtlich Zeitmustern, Intensität und Lichtspektrum deutlich von der Situation vor einigen Jahrzehnten. Sowohl Schicht- als auch tägliche Büroarbeit beschränken die Möglichkeiten von Beschäftigten, sich durch ausreichende Zeiten im Freien unter Sonnenlicht an den natürlichen Licht-Dunkel-Zyklus des Tages anzupassen. Ein aktueller Survey aus Großbritannien hat gezeigt, dass Büroarbeitende im Durchschnitt an arbeitsfreien Tagen 3,5mal mehr Zeit draußen verbringen als an Arbeitstagen [3]. Hinzu treten die zunehmenden nächtlichen Expositionen gegenüber künstlichem Licht (Handys, Computer- und Fernsehbildschirme), die eine Belastung für die Zeitgeber zur Synchronisation des menschlichen zirkadianen Zeitsystems darstellen [4]. Schichtarbeitende sind in besonderem Maße Änderungen in den Lichtprofilen über den Tag ausgesetzt. Im Rahmen einer Feldstudie zu Nachtarbeit des IPA wurden 24-Stunden-Lichtprofile von Schichtarbeitenden während Phasen mit Tagschichten und während Phasen mit Nachtschichten aufgezeichnet und umfassend analysiert [5]. Im Rahmen dieses Beitrags wurden die individuellen Einschätzungen zum Aufenthalt unter Tageslicht mit den individuell gemessenen Lichtprofilen verglichen. Ziel war es, zu untersuchen, ob die Eigeneinschätzungen mit Messungen vergleichbar sind und wie die Eigenangaben im Kontext von Schichtarbeit zu bewerten sind.

2 Methoden

In der longitudinalen „IPA-Feldstudie zu Schichtarbeit“ wurden insgesamt 75 Mitarbeiterinnen eines Klinikums in einem Nachtschicht- und einem Tag-schicht-Block und weitere 25 Frauen im reinen Tagdienst untersucht. Licht in unterschiedlichen Spektralbereichen, darunter auch das Licht im blauen Wellenlängenbereich, wurde über mehrere Tage alle 10 Sekunden mit an der Schulter getragenen Messgeräten (LightWatcher, siehe Abbildung 1) aufgezeichnet. Insgesamt konnten so 511 komplette 24-Stunden-Licht-Profile untersucht werden. Eigenangaben zum Aufenthalt unter Tageslicht für jeden Tag wurden über Tagebücher gesammelt. Weiterhin wurde die Dauer unter Tageslicht anhand der Messwerte der LightWatcher hergeleitet. Die Übereinstimmung zwischen Eigenangaben und

Messungen zur Dauer unter Tageslicht wurde mittels Intra-class Korrelations-Koeffizienten (ICC) untersucht und mit 95 % Konfidenzintervallen (95 %-KI) angegeben. Die Übereinstimmungen wurden für Phasen mit Tagschichten und in Phasen mit Nachtschichten bestimmt.



Abb. 1 LightWatcher; Maße 20 × 50 × 10 mm; Gewicht 12 g; USB interface. Quelle: LightWatcher ObjectTracker, L. Wolf

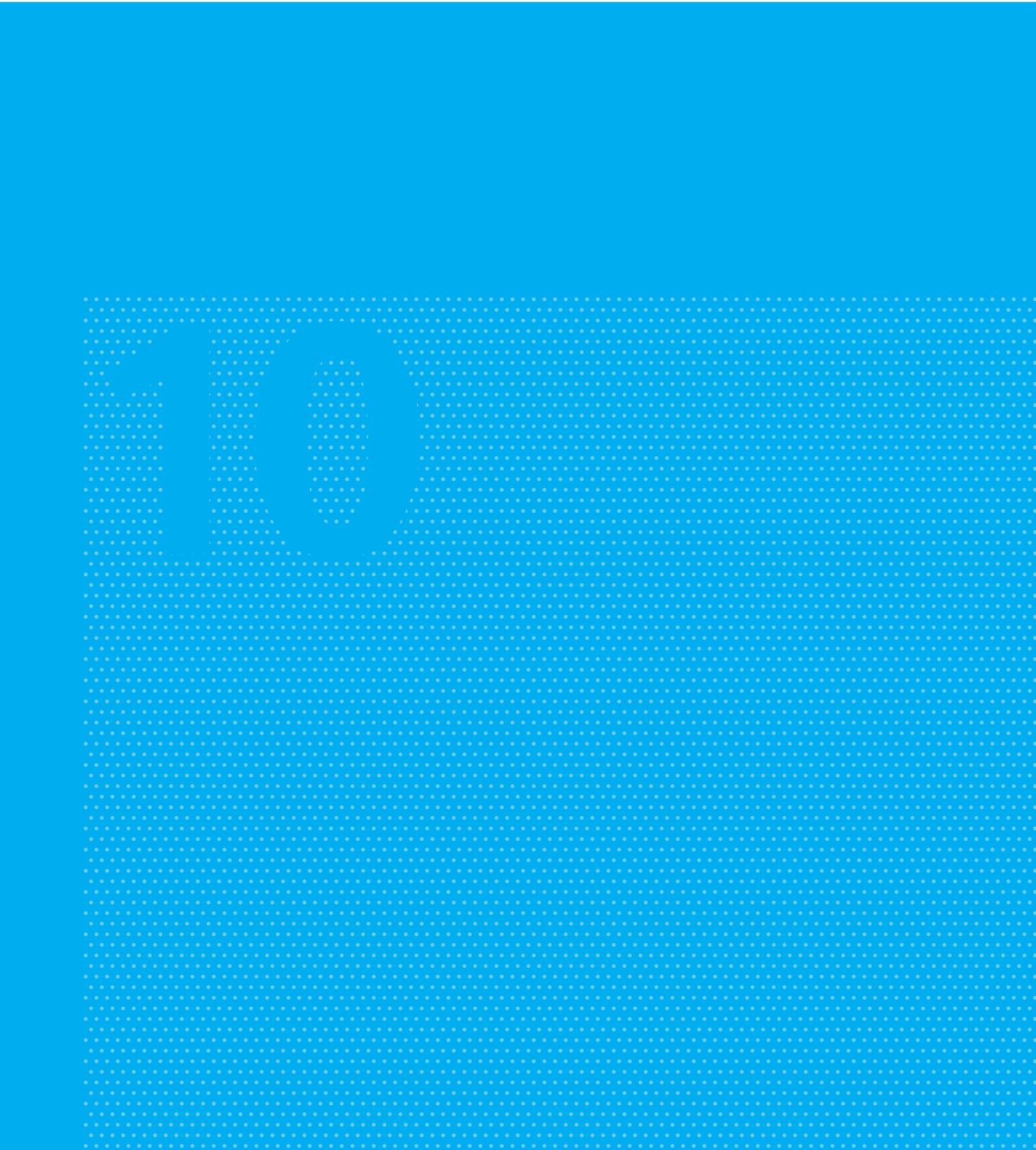
3 Ergebnisse und Ausblick

Im Rahmen der Analysen zu 24-Stunden-Licht-Profilen wurde eine Reihe von Erkenntnissen über die individuellen Lichtprofile gesammelt [siehe auch 5]. Die Eigenangaben in den Tagebüchern zeigen eine kurze Verweildauer unter Tageslicht an typischen Arbeitstagen mit Tagschicht. Bei Nachtschichten ist die Dauer unter Tageslicht zusätzlich verkürzt. Beim Vergleich der Eigenwahrnehmung mit der tatsächlichen Lichtexposition zeigt sich eine gute Übereinstimmung in den Phasen mit Tagschichten. Bei Nachtschicht liegen die Eigenangaben und Schätzungen aus der Dosimetrie auseinander. Die Korrelation zwischen Tagebüchern und Lichtmessungen betrug in Phasen mit Tagschichten ICC 0,73 (95 %-KI 0,67-0,78). In Phasen von Nachtschichten liegt die Korrelation deutlich unter der von Tagschichten ICC 0,43 (95 %-KI 0,34-0,55). Insgesamt zeigte sich somit, dass sowohl die tatsächliche Dauer unter Tageslicht bei Nachtschichten geringer ist als auch die Einschätzungen mit den Messwerten weniger gut übereinstimmen. Möglicherweise wird die Dauer des Aufenthalts unter Tageslicht in Phasen von Nachtarbeit überschätzt.

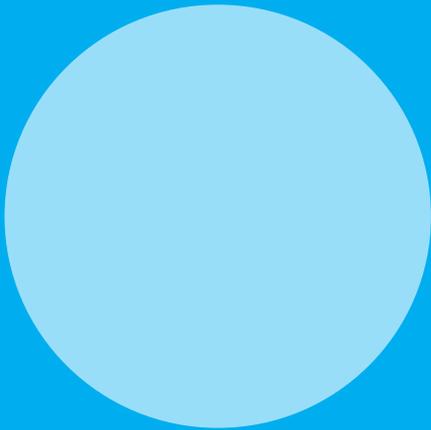
Zusammenfassend lässt sich daraus ableiten, dass für Schichtarbeitende im Hinblick auf gesunde Lichtprofile nicht nur die Rolle von Licht in der Nacht, sondern auch die Dauer unter Tageslicht von Bedeutung sein kann. Dies könnte ein Ansatz für die Verbesserung von Lichtprofilen und somit für eine Verbesserung des Lichtsignals als Zeitgeber für die Synchronisation der circadianen Rhythmen sein.

Literatur

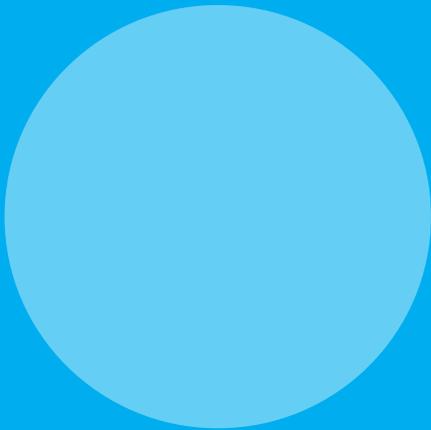
- [1] Buijs, R. M., Hermes, M. H., Kalsbeek, A.: The suprachiasmatic nucleus-paraventricular nucleus interactions: A bridge to the neuroendocrine and autonomic nervous system. *Prog Brain Res.* 1998;119:365–82
- [2] Berson, D. M., Dunn, F. A., Takao, M.: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science.* 2002;295:1070–3. doi:10.1126/science.1067262
- [3] Baczynska, K. A., Khazova, M., O'Hagan, J. B.: Sun exposure of indoor workers in the UK – survey on the time spent outdoors. *Photochem Photobiol Sci.* 2019;18:120–8. doi:10.1039/c8pp00425k
- [4] Smolensky, M. H., Sackett-Lundeen, L. L., Portaluppi, F.: Nocturnal light pollution and underexposure to daytime sunlight: Complementary mechanisms of circadian disruption and related diseases. *Chronobiol Int.* 2015;32:1029–48. doi:10.3109/07420528.2015.1072002
- [5] Rabstein, S., Burek, K., Lehnert, M., Beine, A., Vetter, C., Harth, V., et al.: Differences in twenty-four-hour profiles of blue-light exposure between day and night shifts in female medical staff. *Sci Total Environ.* 2019;653:1025–33. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.293



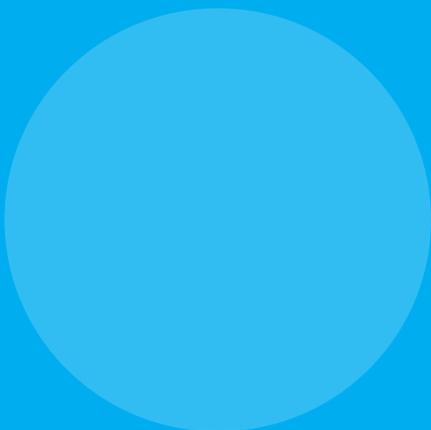
Arbeitszeitgestaltung



Schichtarbeit – (k)ein Problem?!
Gudrun Wagner



Arbeitsfähigkeit nach Langstreckenflügen
Dominik Brandau



Schichtarbeit – (k)ein Problem?!

Gudrun Wagner

Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Dortmund

Fragen der Arbeitszeitgestaltung haben bisher in der Beratung der Unfallversicherungsträger zu Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit keine wesentliche Rolle gespielt.

Arbeitszeitpolitik war in erster Linie Tarifpolitik. Das hat sich in den letzten Jahren wesentlich geändert. In den Unternehmen ist eine Flexibilisierung der Arbeitszeiten seit Jahren auf dem Vormarsch. Viele Betriebe führen Arbeitszeitkonten und/oder Jahresarbeitszeitmodelle ein.

Beschäftigte sind zunehmend mit steigenden Leistungsanforderungen und Arbeitsverdichtung konfrontiert. Der klassische Normalarbeitstag mit Arbeitszeiten zwischen 7 und 17 Uhr wird zukünftig immer weniger Menschen betreffen.

Ein weiterer Entwicklungstrend ist die Zunahme von Schicht- und Wochenendarbeit. In Deutschland arbeiten gegenwärtig ca. 20 %¹ der Beschäftigten nicht in der üblichen 8-Stunden-Arbeitszeit, sondern in Schichtarbeit. Die Zahl älterer Erwerbspersonen in Schicht- und Nachtarbeit hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Gleichzeitig ist der Anteil von Frauen unter den Schichtarbeitenden stark angestiegen.

Unter **Schichtarbeit** wird Arbeit zu wechselnden Tageszeiten (Früh- Spät- und Nachtschicht) oder zu konstanter ungewöhnlicher Zeit (Dauernachtschicht) verstanden.

Die bisherige Forschung zeigt, dass Schichtarbeit aufgrund ihrer Lage und Dauer häufig mit erhöhten gesundheitlichen Belastungen einhergeht und gravierende soziale Auswirkungen haben kann. Der Schichtarbeitende lebt in einer normalen Umgebung, arbeitet und schläft jedoch meist zu unnatürlichen Tageszeiten. Der Organismus kann sich dieser veränderten Lebensweise nicht ausreichend anpassen und kann infolgedessen mit vielfältigen gesundheitlichen Beeinträchtigungen reagieren.

Vor allem Nachtschichtarbeitende schlafen am Tag und müssen in der Nacht wach bleiben. Die Folge können vor allem Schlafstörungen und Leistungsbeeinträchtigungen sein.

Außerdem leiden Schichtarbeitende häufig unter Magen-Darmproblemen und Schichtarbeit kann die familiäre Beziehung belasten.

Schichtarbeit kommt zunehmend durch die Organisation von Arbeit in der modernen Industriegesellschaft zustande. Zusammen mit Arbeitsverdichtung, Globalisierung und beschleunigtem Strukturwandel (z. B. Industrie 4.0) führt sie zu stetig wachsenden Anforderungen. Immer mehr Wirtschaftsleistung wird von immer weniger Menschen erbracht, Arbeitsplatz- und Beschäftigungsgarantien schwinden, die Anforderungen an Flexibilität unabhängig von persönlichen Bedürfnissen nehmen zu. Die Auswirkungen auf die Gesundheit können durch das Verhalten von Beschäftigten (Verhaltensprävention) nur begrenzt beeinflusst werden. Individuellen Entlastungs-, Anpassungs- und Ausweichstrategien sind enge Grenzen gesetzt. Vor diesem Hintergrund hat die Gestaltung der Schichtarbeit (Verhältnisprävention) zum Schutz der Beschäftigten immer Vorrang.

Um negative Auswirkungen der Schichtarbeit auf die Gesundheit zu minimieren, gibt es arbeitswissenschaftliche Gestaltungsempfehlungen in den folgenden Broschüren:

Schichtarbeit – (k)ein Problem?! Eine Orientierungshilfe für die Prävention, DGUV Information 206-024 erschienen im Februar 2018 und die Broschüre **Leben mit Schichtarbeit, Tipps für Beschäftigte**, DGUV Information 206-027 erschienen im September 2019.

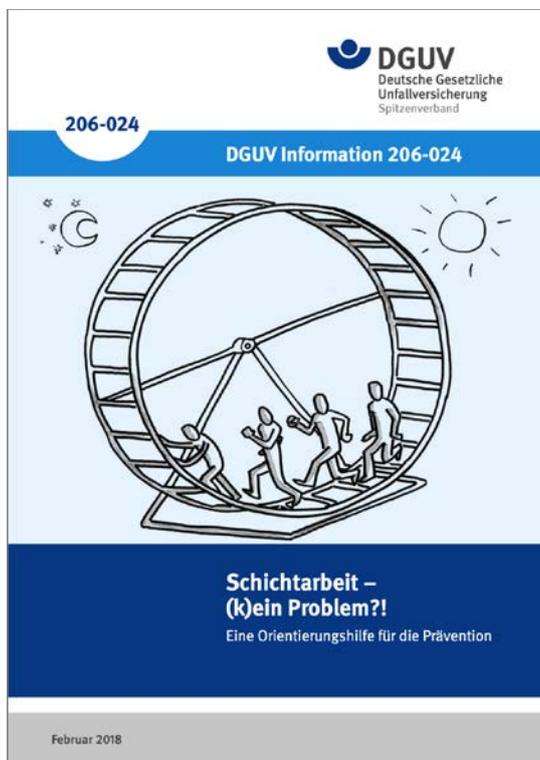
Die Broschüren sind das Ergebnis einer Projektarbeit des Sachgebietes Beschäftigungsfähigkeit der DGUV im Fachbereich Gesundheit im Betrieb.

¹ BAuA, Arbeitszeitreport 2016

DGUV Information 206-024

Schichtarbeit – (k)ein Problem?! Eine Orientierungshilfe für die Prävention

Arbeit in Schichten ist mit zusätzlichen gesundheitlichen Risiken verbunden. Deshalb ist für die betroffenen Beschäftigten eine betriebsbezogene Prävention besonders wichtig. Diese Broschüre gibt Anregungen für eine gesundheitsgerechte Arbeitszeitgestaltung basierend auf arbeitsmedizinischen und arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen.



Inhalte der Broschüre:

- Hintergrund für diese Orientierungshilfe
- Schichtsysteme
- Unfallrisiken
- Gefährdungsbeurteilung
- Tag-Nacht-Rhythmus des Menschen
- Gesundheitliche Auswirkungen
- Nachtarbeit und künstliche Beleuchtung
- Gesundheitsvorsorge am Arbeitsplatz
- Besondere Personengruppen
- Alter(n)sgerechte Schichtarbeit
- Checkliste und Empfehlungen aus der Arbeitswissenschaft
- Rechtsgrundlagen zur Schichtarbeit
- Weiterführende Informationen

DGUV Information 206-027

Leben mit Schichtarbeit, Tipps für Beschäftigte

Schichtarbeit hat durch die Lage und Dauer der Arbeitszeiten erheblichen Einfluss auch auf das Privatleben und das gesundheitliche Wohlbefinden. Umgekehrt beeinflussen z. B. Schlaf- und Essgewohnheiten in der Freizeit ebenso das Wohlbefinden während der Arbeit. Somit können sich die in dieser Broschüre aufgeführten Hinweise nicht allein auf die Arbeitszeit beziehen, sondern betreffen auch die Freizeit. Für das Verhalten außerhalb der Arbeitszeit ist der Arbeitnehmer oder die Arbeitnehmerin selbst verantwortlich.



Inhalte der Broschüre:

- Chronotyp
- Schlafen – Verhaltensregeln und Umgebung für einen guten Schlaf
- Tagschlaf bei Nachtarbeit
- Ernährung
- Licht
- Bewegung und körperliche Aktivität
- Arbeitsweg und soziales Leben
- Dauernachtschicht
- Stressbewältigung und Erholung im Alltag von Schichtarbeitenden
- Schichtarbeit, Doping und Suchtmittel
- Diversity/besondere Personengruppen
- Beratungs- und Hilfsangebote

Arbeitsfähigkeit nach Langstreckenflügen

Dominik Brandau

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG), Dresden

Dienstreisen sind in vielen Branchen und Betrieben selbstverständlich. Trotz der aktuellen neuen Entwicklung in der Arbeitswelt, die zu einer zunehmenden Digitalisierung führt, werden sich Dienstreisen auch in Zukunft nicht vermeiden oder ersetzen lassen. Einige Dienstreisen führen Beschäftigte rund um die Welt, so dass diese Entfernungen nur mit einem Flugzeug zu bewältigen sind.

Dienstreisen auf andere Kontinente bringen eine ganze Reihe von zusätzlichen Gefährdungen mit, je nach Ziel-land/Zielort. Angefangen bei anderen/fremden Kulturkreisen über unterschiedliche Infektionsgefahren bis hin zu extremen klimatischen Verhältnissen müssen sich Dienstreisende an verschiedene Faktoren gewöhnen. Auch die politische Stabilität oder Terrorismus sind in einigen Regionen der Welt nicht zu unterschätzende Risiken. Zusätzlich treten bereits auf dem Flug Belastungen auf, die mit steigender Flugdauer natürlich umso größer werden.

Zwei Faktoren sind dabei zentral: erstens Jetlag durch unterschiedliche Zeitzonen im Start- und Zielland und zweitens die räumliche Enge im Flugzeug verbunden mit vorwiegend sitzender Körperhaltung, also die Ergonomie.

1 Ergonomie im Flugzeug

Grundsätzlich ist zwischen Flugzeugen im Kurzstreckeneinsatz und Flugzeugen für die Langstrecke zu unterscheiden. Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Flugzeugmodellen und der Bestuhlung in Abhängigkeit von der Fluggesellschaft gibt es bei dem Platzangebot in Flugzeugen eine große Spannweite. Während auf Kurzstreckenflügen, wenn überhaupt, nur eine Unterscheidung in Business- und Economy Class gemacht wird, gibt es auf Langstreckenflügen die Unterscheidung in mehrere Klassen. Diese werden je nach Fluggesellschaft als z. B. First-, Business-, Premium-Economy und Economy Class bezeichnet. Die Bestuhlung der höherwertigen Klassen ist verschieden. Nur First- und Business Class bieten eine ebene und waagerechte Schlaflfläche. Dies ist die Bedingung für einen annähernd erholsamen Schlaf auf Langstreckenflügen. Eine Übersicht über verschiedene

Klassen, wie die Business Economy Class, findet sich z. B. unter [1]. So lässt sich zum Beispiel bei der Lufthansa ein Premium Economy Sitz mit 130° ein Stück weiter nach hinten neigen als ein sonst üblicher Economy Sitz mit 113°.

Neben der Neigung ist wahrscheinlich der wichtigste Faktor für die Ergonomie im Flugzeug der Sitzabstand zum Vordersitz.

Recherchiert man die Sitzabstände zum Vordersitz in Flugzeugen auf Internetreiseportalen [2] und vergleicht diese mit der Gesäß-Knielänge aus der DIN 33402-2:2005-12 [3] (je nach Alter, 95. Perzentil männlich: 64,5 cm–66 cm), sieht man deutlich, wie eng es in der Economy Class wird. Wegen der Bedeutung für den deutschen Luftverkehr soll als Beispiel ein Airbus A340 der Lufthansa genommen werden. Für den Sitzabstand in einem Lufthansa A340-600 von 78 cm bleibt bei dem 95. Perzentil der Männer je nach Alter nur noch 12 cm–13,5 cm Platz. Die Maßangaben in der DIN 33402, also auch die rund 12 cm Abstand vom Knie zum vorderen Sitz, gelten ohne Kleidung. Orientiert man sich an der DIN EN 547 Teil 2 [4] kann ein Bekleidungszuschlag von 20 mm sowie ein Bewegungszuschlag von 50 mm zu den reinen Körpermaßen addiert werden, was den Abstand auf 5 cm reduziert. Für die 5 % der männlichen Bevölkerung, die größer sind, wird es besonders eng. Darüber hinaus kann die Rückenlehne des vorderen Sitzes zurückgelehnt werden, sodass nochmals einige Zentimeter verloren gehen.

Die Sitzbreite ist ebenfalls oft zu eng, weshalb stark übergewichtige Menschen teilweise den Nebensitz mitbuchen müssen. Zu beachten ist auch, dass schon bei mittleren Körpermaßen die Schulterbreite von Männern mit 48 cm nach der DIN 33402-2 [3] – wiederum ohne Kleidung – die Sitzbreite von maximal 46 cm [5] in der Economy Class überschritten ist. Für den mittleren Sitz einer Dreiersitzgruppe wirken sich diese Maße von beiden Seiten als besonders beengend aus.

Der wichtigste Punkt für Langstreckenflüge ist aber die Neigung der Rückenlehne bis 180°, also in waagerechte Position. Mit einer zusätzlich ausklappbaren Fußstütze entsteht dabei eine Liegefläche von ca. 190 cm, die es ermöglicht, die Beine auszustrecken. Diese Liegefunktion ist nur ab Business Class aufwärts verfügbar. In einer Sitzposition wird Schlaf wahrscheinlich für die meisten Menschen nicht erholsam sein, während in einer waagerechten Schlafposition ein paar Stunden erholsamer Schlaf zumindest möglich wird. Abbildung 1 zeigt die Belastungen der Bandscheiben in Abhängigkeit der Körperstellung.

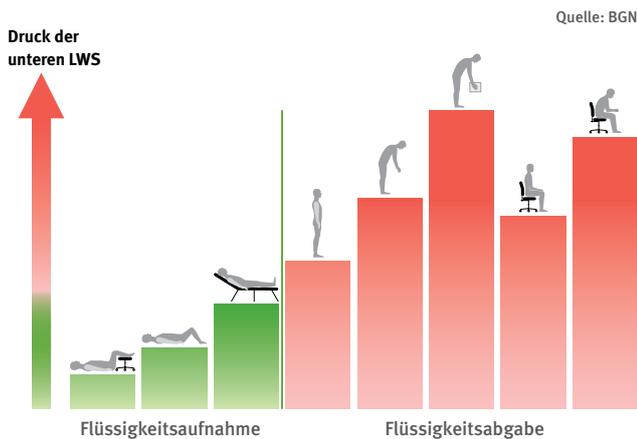


Abb. 1 Flüssigkeitsaufnahme und -abgabe der Bandscheibe nach Nachemson [8]

Die Enge in einem Flugzeug ist maßgeblich für die ergonomischen Belastungen. Während man auf einem Bürostuhl idealerweise dynamisch sitzen kann, mit ausreichend Platz für Beine und Füße, ist man in einem Flugzeug sehr eingeschränkt in seinem Bewegungsspielraum. Je größer eine Person ist umso enger wird die Situation. Dies geht soweit, dass man davon ausgehen muss, dass bei sehr großen Personen der Platz nicht ausreicht. Bei Nachtflügen kommt hinzu, dass die Bandscheiben im Sitzen permanent belastet werden und sich daher nicht regenerieren können, was ebenfalls zu Beschwerden führen kann. Langes Sitzen wird immer wieder mit Thromboserisiken in Verbindung gebracht, wobei das nur für Menschen mit Risikofaktoren gilt. Bei Menschen mit Risikofaktoren für Thrombose sind diese individuell von einem Arzt abzuklären.

2 Jetlag

Als Jetlag wird die Störung des Tag-Nacht-Rhythmus (zirkadian) bezeichnet, die durch das Überfliegen von mehreren Zeitzonen verursacht wird. Der zirkadiane Rhythmus des Menschen unterliegt einer Tages- und Nachtperiodik mit Einfluss auf mehrere Körperfunktionen wie Atmung, Verdauung, Schlafphasen und viele weitere. Ost-West-Flüge sind mit einer spontanen Verschiebung der bisher synchronen Umweltfaktoren verbunden. Diese Verschiebung bewirkt eine zeitliche Differenz zwischen dem aktuellen Tag-Nacht-Rhythmus vor Ort und der eigenen inneren Uhr, die als Desynchronisation zwischen zirkadianem Rhythmus und natürlichen Zeitgebern bezeichnet wird. Der menschliche Rhythmus ist nicht in der Lage, diese Desynchronisation ad hoc auszugleichen, sondern braucht mehrere Tage bis Wochen, um vollständige Synchronisation herzustellen. Diese Unfähigkeit, sich direkt der neuen Zeit anzupassen, erzeugt das Phänomen Jetlag.

Der Jetlag lässt sich nicht vermeiden, da die innere Uhr durch einen Flug um die halbe Welt aus dem Takt gebracht wird. Laut des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) [6] ist der menschliche zirkadiane Rhythmus in der Lage, 60 bis 90 Minuten Zeitverschiebung pro Tag auszugleichen, weshalb Jetlag nur bei Flugreisen auftritt.

Die Geschwindigkeit, sich der neuen Zeit anzupassen, ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Der zirkadiane Rhythmus der Körpertemperatur wird als Maß für den Jetlag bzw. für die Anpassung an die neue Zeit genommen. Vor der Reise zeigt die Temperatur oft ihr Maximum bei 15 bis 17 Uhr und ihr Minimum bei 3 bis 5 Uhr [7]. Dieser regelmäßige Temperaturverlauf bricht infolge der Zeitverschiebung zusammen und bildet sich frühestens nach mehreren Tagen wieder stabil aus.

Die Symptome des Jetlags hängen in ihrer Stärke und Dauer von individuellen Unterschieden des Reisenden sowie von der Flugrichtung und von der Anzahl der überflogenen Zeitzonen ab.

Der Flug über viele Zeitzonen hat eine erhebliche Beeinträchtigung des Wohlbefindens zur Konsequenz. Als typische Beschwerden treten Störungen von vegetativen Funktionen wie z. B. Hungergefühl, Schlaflosigkeit, Schläfrigkeit, erhöhte Ermüdung, verminderte Leistungsfähigkeit sowie gastrointestinale und psychosomatische Probleme auf. Die am häufigsten bemerkten Symptome nach Fernflügen sind die Störungen des Schlafs [6].

Als Beispiel soll ein Flug Richtung Osten von Frankfurt 18 Uhr nach Seoul sein. Landung in Seoul ist 11 Uhr Ortszeit, was aber nach Frankfurter Zeit 3 Uhr nachts entspricht. Durch den Nachtflug ist es eigentlich

unumgänglich, während des Flugs zu schlafen. Das DLR [6] beschreibt es als fast unmöglich, normalen Schlaf auf einem solchen Flug zu finden. Man würde um 3 Uhr nachts in seinem „alten Biorhythmus“ geweckt, um von Bord zu gehen. Unter der Annahme, dass erholsamer Schlaf in den beengten Verhältnissen der Economy Class nicht möglich ist, bedeutet dies für die Mitarbeiterin bzw. den Mitarbeiter nach Ankunft in Seoul, dass sie schon über 24 Stunden wach sind. Dienstreisende, die in Seoul sofort Termine wahrnehmen sollen und erst um 22 Uhr Ortszeit ins Bett gehen, wären dann sogar 39 Stunden wach. Zumindest bei einem Flug in der Economy Class sollte der Ankunftstag frei von wichtigen dienstlichen Terminen sein. Bei dringenden Terminen kann auf einen Flug in der Business Class ausgewichen werden, um Schlaf zu ermöglichen.

3 Fazit

Sowohl die Maße des Menschen als auch die Fähigkeit zur Kompensation von Jetlag sind sehr unterschiedlich. Menschen mit Behinderungen, Menschen mit Rücken-, Bandscheiben-, Hüft- oder Knieproblemen, Thrombosepatienten, Schwangere oder auch nur sehr große Menschen sollten zumindest einen Platz mit mehr Beinfreiheit erhalten. Einige der genannten Gruppen dürfen nicht an Notausgängen sitzen, weswegen je nach individueller Gefährdungsbeurteilung z. B. ein Premium Economy Flug nötig ist.

Dass Jetlag ein objektives Problem und nicht nur ein subjektives Empfinden der Reisenden darstellt, ist umfangreich belegt. Zentraler Punkt ist dabei immer der zirkadiane Rhythmus des Menschen und die negativen Folgen äußerer Faktoren auf diesen Rhythmus. Bei einem Business Class Flug ist der Vorteil, dass schon auf dem Flug eine Anpassung an die Zeitumstellung durch erholsamen Schlaf versucht werden kann. Dies kann die Arbeitsfähigkeit direkt am Zielort erhöhen. Wegen der interindividuellen Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit an einen Jetlag kann der Zeitraum bis zur vollständigen Anpassung mehrere Wochen dauern. Eine Fernflugreise in Ost-West-Richtung in der Economy Class sollte immer mit Ruhepausen nach Hin- und Rückflug verbunden sein, da der natürliche zirkadiane Rhythmus durch Jetlag erheblich gestört wird. Schlafmangel führt zu verminderter Leistungsfähigkeit, sodass gerade bei längeren Aufenthalten Anpassungszeiten an den neuen Biorhythmus vorgesehen werden sollten.

Wegen der vielen physischen und psychischen Belastungen sollten den Mitarbeitenden Wahlmöglichkeiten gelassen werden. Insbesondere hinsichtlich psychischer Belastungen sollte beachtet werden, dass Selbstbestimmtheit

gerade bei Arbeitszeit/-organisation positiv empfunden wird. Unter dem Gesamteindruck der vielfältigen Belastungen bei Reisen in schwierige Zielländer, ob klimatisch, epidemiologisch oder sicherheitspolitisch, sollten ergonomische Aspekte und die Problematik rund um Jetlag auf einem Langstreckenflug besondere Beachtung finden, um die Gesamtbelastung soweit wie möglich zu reduzieren.

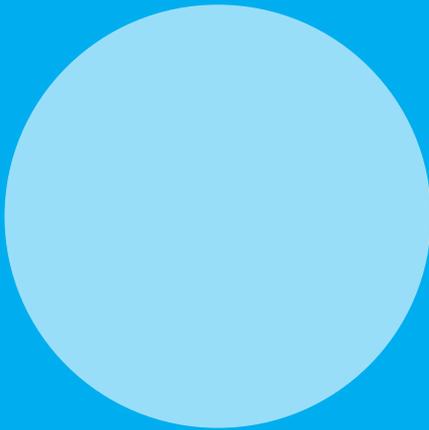
Tipps zum Umgang mit dienstlichen Langstreckenflügen und ausführlichere Erläuterungen können in der BGETEM Broschüre „Belastungen bei Langstreckenflügen auf Auslandsdienstreisen“ nachlesen werden [8].

Literatur

- [1] Premium Economy: Lohnt sich das Upgrade? <https://travel-dealz.de/blog/vergleich-premium-economy/> (zuletzt abgerufen am 15. 3. 2019)
- [2] Vergleich der Sitzabstände. <https://www.travelbook.de/fliegen/airlines/sitzbreite-und-beinfreiheit-wofliege-ich-am-bequemsten-economy-class> (zuletzt abgerufen am 15. 3. 2019)
- [3] DIN 33402-2: Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte (12/2005). Beuth, Berlin 2005
- [4] DIN EN 547-2:2009-01: Sicherheit von Maschinen – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Grundlagen für die Bemessung von Zugangsöffnungen (01/2009). Beuth, Berlin 2009
- [5] Sitzabstand und Sitzbreite. <https://www.fairliners.com/sitzabstand.html> (zuletzt abgerufen am 15. 3. 2019)
- [6] Jetlag und seine Auswirkungen auf den Menschen. Hrsg.: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR). Köln. https://www.dlr.de/me/desktopdefault.aspx/tabid-2023/2958_read-4535/ (zuletzt abgerufen am 15.03.2019)
- [7] BG-Infoblatt: Schichtarbeit – Leben gegen den Rhythmus. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln 2015
- [8] BG-Broschüre: Belastungen bei Langstreckenflügen auf Auslandsdienstreisen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Köln 2019.

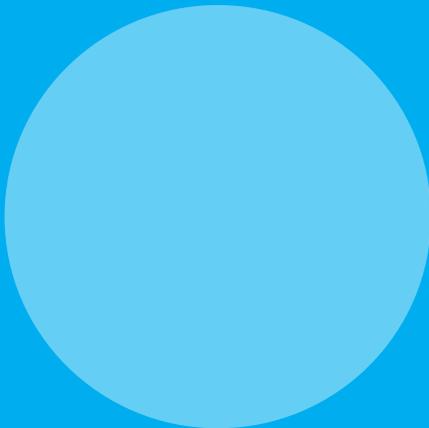


Demografie und Nachhaltigkeit



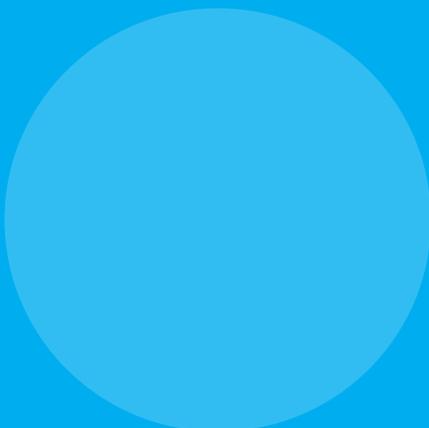
**Was bleibt nach drei Jahren Kita-Alltag?
Ergebnisse der Projektevaluation „ErgoKita“**

*Angelika Hauke, Ralph Bruder, Rolf Ellegast,
Herbert Hartmann, Uwe Hellhammer, Heinz Hundeloh,
Bodo Köhmstedt, Grita Schedlbauer*



**Zertifizierung zum Demografie-Coach –
auch Ergonomie gehört dazu**

Hanna Zieschang, Susan Freiberg



Was bleibt nach drei Jahren Kita-Alltag? Ergebnisse der Projektevaluation „ErgoKita“

Angelika Hauke¹, Ralph Bruder², Rolf Ellegast¹, Herbert Hartmann³, Uwe Hellhammer⁴, Heinz Hundeloh⁴, Bodo Köhmstedt⁵, Grita Schedlbauer⁶

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt

³ Unfallkasse Hessen (UKH), Frankfurt am Main

⁴ Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW), Düsseldorf

⁵ Unfallkasse Rheinland-Pfalz (UK RLP), Andernach

⁶ Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Hamburg

Kurzfassung

Die Ausstattung von Kitas richtet sich im Wesentlichen nach den Körpergrößen der Kinder. Dies trägt zur starken Verbreitung von Muskel-Skelett-Beschwerden bei pädagogischem Personal in Kitas bei: Denn nicht nur die Kinder, sondern auch das pädagogische Personal benötigt zur Erhaltung der eigenen Gesundheit an die eigene Körpergröße angepasstes Mobiliar. Das Projekt ErgoKita setzte hier an. Im Rahmen des Projekts konnten sechs Kitas mit ergonomieoptimiertem Mobiliar ausgestattet werden. Des Weiteren erfolgten Verhaltensschulungen für das pädagogische Personal. Sie sollten für ergonomisches, also rücken- und gelenkschonendes, Verhalten bei der Arbeit sensibilisieren und Gelegenheit zur Übung im Umgang mit dem neuen Mobiliar geben. Im Sommer 2016 erfolgte die Projektevaluation. Sie sollte klären, ob das ergonomieoptimierte Mobiliar auch drei Jahre nach der Intervention noch regelmäßig verwendet und als hilfreich bewertet wurde und ob die Intervention zu nachhaltigen Veränderungen, sowohl in Einstellungen als auch im Verhalten des pädagogischen Personals geführt hat. Die Evaluationsergebnisse zeigen, dass das ergonomieoptimierte Mobiliar immer noch gerne und regelmäßig angewandt wurde. Des Weiteren kam es zu einer Verschiebung der Einstellungen des pädagogischen Personals: der Erhalt der eigenen Gesundheit über die Dauer des Erwerbslebens rückte stärker in den Fokus.

1 Hintergrund

Werden Erzieherinnen und Erzieher nach gesundheitlichen Beschwerden gefragt, nennen sie mit am häufigsten Rücken-, Schulter- und Nackenbeschwerden [1; 2]. Die häufigsten Erkrankungen unter Erzieherinnen und Erziehern sind Muskel-Skelett-Erkrankungen. Je älter das pädagogische Personal, desto häufiger treten Muskel-Skelett-Beschwerden auf [1]. Erklären lässt sich dies durch vorhandene Arbeitsbedingungen: Da sich die Ausstattung von Kitas an den Körpergrößen der Kinder orientiert, ergeben sich für das pädagogische Personal häufig ungünstige Zwangshaltungen im Sitzen und Stehen [1; 2]. Hinzu kommt das Tragen von Kindern und bei Doppelnutzungen von Räumen auch regelmäßiges Tragen oder Schieben von Mobiliar [2].

Daher initiierten die Unfallkassen Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz sowie die Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) das ErgoKita-Projekt, welches von den Projektpartnern Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt (IAD), Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt am Main (ASU), und Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin, durchgeführt wurde.

2 Das ErgoKita-Projekt

ErgoKita zielte darauf ab, die muskuloskelettalen Belastungen von Erzieherinnen und Erziehern in verschiedenen Arbeitssituationen (Dokumentation, Essen, Spielen, Schlafen, Pflege) zu bestimmen und über Lösungen für verbesserte ergonomische Arbeitsbedingungen und Verhaltensänderungen Muskel-Skelett-Belastungen und -Beschwerden des pädagogischen Personals zu reduzieren. Auf Basis von Vor-Ort-Begehungen, ganztägigen Messungen von Muskel-Skelett-Belastungen und -Beanspruchungen während der Arbeit, Videoaufzeichnungen sowie Befragungen konnten Belastungsschwerpunkte ermittelt werden: Immer wieder kommt es im Arbeitsalltag von Erzieherinnen und Erziehern zu ungünstigen Rumpfneigungen, starker Rückentorsion, stark gebeugten Knien und wiederkehrendem Heben und Tragen von Kindern und schweren Gegenständen.

Teil des ErgoKita-Projekts war es, ein Maßnahmenpaket abzuleiten. Dieses bestand aus zwei Komponenten:

Zur Verhältnisprävention wurde ein sogenanntes „Basispaket“ von Mobiliar zusammengestellt. Das im Basispaket enthaltene Mobiliar ermöglicht und unterstützt ergonomisches Verhalten bei der Arbeit in Kitas. Denn häufig mangelt es in Kitas an ergonomieoptimiertem Mobiliar und anstelle dessen finden sich Tische mit Zargen, Tische

ohne Rollfunktion, Wickelkommoden ohne ausziehbare Treppe oder Kinderbettchen ohne Einstieg. Sehr häufig fehlen auch Tische auf Erwachsenenhöhe (z. B. für Dokumentationsaufgaben oder die Essensausgabe) und Stühle für Erwachsene, sogenannte „Erzieher/innenstühle“ [2].

Das Basispaket umfasste verschiedene Arten von Erzieher/innenstühlen (Bürostühle mit Arm- und Rückenlehne; Bürostühle nur mit Rückenlehne; Rollhocker, nutzbar mit oder ohne Rückenlehne und/oder Armlehnen; reine Rollhocker), Sitzhilfen für den Boden (einen Bodenstuhl und ein Kniesitzkissen), Sitzmöbel für Kinder auf Erwachsenenhöhe (Kinderhochstühle oder Krippenbänke), höhenverstellbare Tische ohne Zargen mit einseitig angebrachten feststellbaren Rollen und Wickelkommoden mit ausziehbarer Treppe (s. Abbildung 1). Im Rahmen von ErgoKita wurden 2013 sechs Kitas mit ergonomieoptimiertem Mobiliar ausgestattet.

Anhand des Basispakets und auf Basis der vorangegangenen Datenerhebung ermittelte das Projektteam mit dem jeweiligen Kollegium in einem Workshop, welches Mobiliar für welche Arbeitssituation angeschafft werden sollte. Das Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt (IAD) begleitete die Einführung der neuen Möbel, die Anpassung der Möbel und den ersten Umgang des pädagogischen Personals mit den Möbeln intensiv.

Erzieher/innenstühle



Elemente für Tisch-Stuhl-Kombinationen



Wickeltisch mit ausziehbarer Treppe



Bodensitzhilfen



Abb. 1 Ergonomieoptimiertes Mobiliar aus dem Basispaket. Quelle: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Zur Verhaltensprävention wurden sogenannte „Verhaltensschulungen“ durchgeführt. An den Verhaltensschulungen teilgenommen haben je zwei Erzieherinnen aus den sechs Kitas. Diese Erzieherinnen waren während der Datenerhebungsphase die Probandinnen der ganztägigen Messungen von Muskel-Skelett-Belastungen und -Beanspruchungen bei der Arbeit. Die Verhaltensschulungen dienten der Sensibilisierung. Durch den Einsatz von Videoaufzeichnungen, bei denen sich die Erzieherinnen selber in extremen Beanspruchungssituationen des Muskel-Skelett-Systems während ihrer Arbeit in der Kita sahen, sollte die Akzeptanz des ergonomischen Verhaltens zusätzlich erhöht und ein Aha-Effekt ausgelöst werden. Gemeinschaftlich wurden in den Workshops alternative ergonomische Verhaltensweisen in Verbindung mit der Nutzung des ergonomieoptimierten Mobiliars gefunden. Die Erzieherinnen sollten die gemachten Erfahrungen und Einsichten an ihre Kolleginnen und Kollegen weitergeben.

3 Evaluation des Maßnahmenpakets des ErgoKita-Projekts

Die Evaluation diente dem Erkenntnisgewinn hinsichtlich der mittelfristigen Wirkung der Ergonomiemaßnahmen. Folgende Fragen sollte die Evaluation beantworten:

- Nutzt das pädagogische Personal das ergonomieoptimierte Mobiliar nach drei Jahren noch regelmäßig?
- Welche Möbelstücke bewertet das pädagogische Personal als besonders hilfreich?
- Gibt es eine dauerhafte Änderung der Einstellung des pädagogischen Personals zu ergonomischen Arbeitsweisen?
- Gibt es eine dauerhafte Änderung im persönlichen Verhalten?
- Hat sich die Auftretenshäufigkeit von Muskel-Skelett-Beschwerden beim pädagogischen Personal verringert?
- Wie bewerten Kitaleitungen den Nutzen von ErgoKita für ihre Einrichtungen?

Die Evaluation des Projekts erfolgte im Sommer 2016 durch die beteiligten Unfallkassen und das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA).

3.1 Methodik der Evaluation

Alle sechs Kitas wurden durch die zuständige Aufsichtsperson der jeweiligen Unfallkasse und eine Evaluatorin (eine Mitarbeiterin des IFA) besucht. Die Evaluation umfasste je eine Vor-Ort-Begehung durch die Aufsichtsperson und strukturierte Interviews durch die Evaluatorin mit solchen pädagogischen Fachkräften und Leitungen der sechs Kitas, die schon vor Durchführung der Maßnahmen in der Kita gearbeitet hatten. Die Interviews basier-

ten auf einem Fragebogen mit teils offenen Fragen und lehnten sich an die Ebenen der Evaluationsmodelle von Kirkpatrick [3] und von McGuire [4] an. Der den Interviews zugrundeliegende Fragebogen war bis auf den kitaspezifischen Teil bezüglich des angeschafften Mobiliars für alle sechs Kitas identisch.

Kirkpatrick unterscheidet in seinem Evaluationsmodell vier Ebenen: Reaktionsebene (subjektive Einschätzung der Maßnahme durch diejenigen, die an der Maßnahme teilnehmen, Zufriedenheit mit der Maßnahme), Lernerfolgsebene (Wissenszuwachs, verbesserte Fähigkeiten und Fertigkeiten, Änderungen in der Einstellung), Verhaltensebene (Verhaltensänderung) und Ergebnisebene (Gesamtresultat einer Maßnahme auf betriebliche Kennzahlen). Sein Vier-Ebenen-Modell ist hierarchisch und kumulativ zu verstehen, d. h. die Ziele auf der vorangestellten Ebene müssen erreicht werden, um zur nächst höheren Ebene zu gelangen [3; 5]. Das Informationsverarbeitungsmodell von McGuire funktioniert ähnlich und durchläuft fünf Stufen: Aufmerksamkeit, Verstehen, Akzeptieren, Beibehalten, Verhalten. Zunächst muss Aufmerksamkeit auf die Informationen gerichtet werden. Dann müssen die Informationen verstanden und die Argumente akzeptiert werden, damit es zu einer Einstellungsänderung kommt. Die geänderte Einstellung muss beibehalten und das Verhalten gemäß der neuen Einstellung angepasst werden [4; 5]. Die der Interventionsphase vorangegangene Datenerhebungsphase im ErgoKita-Projekt umfasste verschiedene Aktivitäten (Befragung zu psychischen und physischen Belastungen und Beanspruchungen sowie zum Gesundheitszustand, Messungen der physischen Belastung inklusive Videoaufzeichnungen, Workshops zu beanspruchenden Tätigkeiten für das Muskel-Skelett-System), die eine Sensibilisierung mit sich brachten und auf den Ebenen Aufmerksamkeit, Verstehen, Beibehalten bzw. der Reaktions- und Lernerfolgsebene wirken können. Auch die Workshops zur Auswahl des ergonomieoptimierten Mobiliars für die jeweilige Kita spricht die Lernerfolgsebene und Verhaltensebene bzw. Akzeptieren, Beibehalten und Verhalten an. Dass tatsächlich ergonomieoptimiertes Mobiliar zur Verfügung gestellt wurde, ermöglichte Ergebnisse auf der betrieblichen Ebene durch Verhaltensänderungen.

3.2 Ergebnisse der Evaluation

Die Evaluationsstichprobe bestand ausschließlich aus pädagogischem Personal, das bereits vor der Durchführung des ErgoKita-Projekts in der jeweiligen Einrichtung gearbeitet hat und die Situation vor und nach der Intervention vergleichen konnte. Insgesamt nahmen 38 Erzieherinnen an der Evaluation teil. Sie hatten alle mindestens sechs Jahre Berufserfahrung und waren mindestens 25 Jahre alt.

Bei sieben Erzieherinnen handelte es sich um Kitaleitungen, vier waren stellvertretende Kitaleitungen und zehn Erzieherinnen waren Messprobandinnen bei der Erhebung der physischen Belastungen und Beanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems. Zwei Drittel der 38 Erzieherinnen arbeiteten auch in U3-Gruppen; knapp 54 % in Vollzeit.

Die Beantwortungen der Fragen, die den Ebenen Reaktion (Zufriedenheit), Aufmerksamkeit (Sensibilisierung) und Lernen zugeordnet werden konnten, zeigten Folgendes:

56,8 % waren sehr zufrieden und 40,5 % zufrieden mit der Gesamtheit der in ErgoKita durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen (n = 37). 89,1 % waren mit der Unterstützung, die ihnen nach der Ausstattung mit dem ergonomieoptimierten Mobiliar in der Eingewöhnungs- und Umsetzungsphase zur Verfügung stand sehr zufrieden oder zufrieden (n = 37). 60 % der zehn Messprobandinnen waren sehr und 40 % zufrieden mit den Inhalten der Verhaltensschulungen. 76,3 % der 38 Erzieherinnen stimmten zu und 18,4 % stimmten eher zu, dass die in ErgoKita durchgeführten Maßnahmen sie im Hinblick auf Muskel-Skelett-Belastungen im Arbeitsalltag sensibilisiert haben. Des Weiteren stimmten 73,7 % zu und 15,8 % eher zu, dass die durchgeführten Maßnahmen ihr Wissen über den gesundheitsförderlichen Effekt ergonomischen Verhaltens an ihrem Arbeitsplatz vertieft haben. Die Beantwortung der offenen Fragen hat gezeigt, dass ihre eigene Gesundheit im Vergleich zu vor Durchführung der Maßnahmen stärker in den Fokus der Erzieherinnen rückte. Damit einher ging auch die Forderung der Erzieherinnen, die Träger der Einrichtungen stärker hinsichtlich der Erzieherinnengesundheit zu sensibilisieren und über Muskel-Skelett-Belastungen bei pädagogischem Personal in Kitas aufzuklären. Auch die Information der Träger über ergonomieoptimiertes Mobiliar war in ihren Augen wichtig (siehe hierzu auch [2; 6]). Infolge erwarteten die Erzieherinnen von Seiten der Träger ein proaktiveres Handeln hinsichtlich der Erzieherinnengesundheit. Das verstärkte Bewusstsein für die eigene Gesundheit umfasste auch die Erkenntnis, dass Interaktionen zwischen pädagogischem Personal und Kindern auf Augenhöhe nicht immer erfordert, dass das pädagogische Personal sich auf Höhe der Kinder begibt. Vielmehr kann der Höhenausgleich auch durch die Kinder erbracht werden, beispielsweise durch gemischte Tischarrangements in den Gruppenräumen bestehend aus Tischen auf Sitzhöhe der Kinder und wenigstens einem Tisch auf Sitzhöhe der Erwachsenen, umringt von Hochstühlen für Kinder.

Auf die Frage, für wie wichtig die Erzieherinnen eine Verhaltensschulung halten, um ein gesundheitsförderlicheres Verhalten bei Erziehungspersonal in der Kita zu erreichen, antworteten 76,3 %, dass sie eine Verhaltensschulung als wichtig und 21,1 % als eher wichtig erachteten (n = 38). Dabei betonten viele der Erzieherinnen die Notwendigkeit der regelmäßigen Wiederholung solcher Schulungen (z. B. alle zwei Jahre), um Inhalte wieder ins Gedächtnis zu rufen und zu verinnerlichen und um neue Kolleginnen und Kollegen über ergonomisches Verhalten und Gesunderhaltung zu informieren.

Hinsichtlich der Nutzung des ergonomieoptimierten Mobiliars gaben die Erzieherinnen ein insgesamt positives Feedback. Nur das Kniesitzkissen wurde von den meisten Erzieherinnen nicht als hilfreich bewertet. Nur sehr wenige nutzten es noch regelmäßig. Alle anderen Möbel, d. h. die verschiedenen Arten von Erzieherinnenstühlen, die Wickelkommode mit ausziehbarer Treppe, die rollbaren Tische und Tisch-Stuhl-Kombinationen sowie der Bodestuhl, wurden mehrheitlich als hilfreich oder sehr hilfreich bewertet und befanden sich immer noch in regelmäßiger Nutzung.

Die Beantwortung der Fragen zur Verhaltensebene ergab Folgendes: 64,9 % stimmten zu und 24,3 % stimmten eher zu, dass sie sich seit Durchführung der Maßnahmen zur Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen an ihrem Arbeitsplatz ergonomiebewusster verhielten (n = 37). Konkret gaben 59,5 % der Erzieherinnen an öfter und 29,7 % wesentlich öfter auf rückschonendes Heben und Tragen zu achten und ebenfalls 59,5 % vermeiden Heben und Tragen öfter und 24,3 % wesentlich öfter als vor dem ErgoKita-Projekt. 43,2 % bestätigten, Kinder öfter und 32,4 % wesentlich öfter aufzufordern, sich so zu positionieren, dass sie als Erzieherin eine ergonomisch günstigere Position bei der Ausführung ihrer Arbeit einnehmen können. Insgesamt 86,4 % gaben an wesentlich öfter oder öfter ergonomisch günstige Arbeitshöhen zur Erledigung anstehender Arbeiten zu wählen und 89,2 % nutzen wesentlich öfter oder öfter ergonomische Hilfsmittel zur Arbeitserledigung. 64,8 % achten wesentlich öfter oder öfter darauf, ob sich Kolleginnen und Kollegen bei ihrer Arbeit ergonomisch verhalten und 59,6 % gaben an, Kolleginnen und Kollegen wesentlich öfter oder öfter auf nichtergonomisches Verhalten bei der Arbeit hinzuweisen. 72,9 % bestätigten, dass sie ergonomisches Verhalten sogar wesentlich öfter oder öfter auch in der Freizeit anwenden. Allerdings meinten auch 62,2 % der Erzieherinnen, dass die Themen Ergonomie und Gesundheit nicht öfter in Teamsitzungen diskutiert werden als vor Durchführung des ErgoKita-Projekts.

Im Vergleich zur Ausgangssituation vor Durchführung der Maßnahmen: Wie oft kommt es vor, dass ... (n = 37)

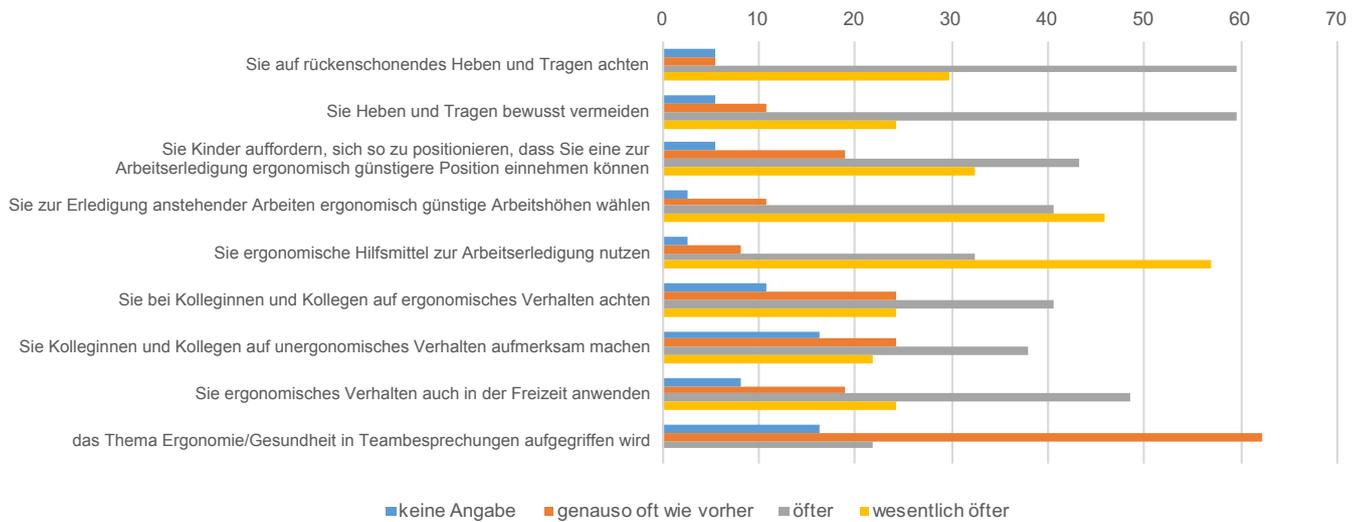


Abb. 2 Selbsteinschätzung des ergonomischen Verhaltens des pädagogischen Personals im Vergleich zur Ausgangssituation vor Durchführung der Maßnahmen des Projekts ErgoKita (in Prozent der Befragten). Quelle: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Die Beantwortung der Fragen auf der betrieblichen Ebene ergab eine Verminderung der körperlichen Belastung bei der Arbeit (n = 37): 16,2% der Erzieherinnen verspürten eine sehr deutliche, 43,2% eine deutliche und 37,8% eine leichte Verminderung. Auf die Frage an die Kitaleitungen (n = 11) ob sie das Gefühl hätten, dass die durchgeführten Maßnahmen in ihrer Einrichtung bereits zu einer Reduktion von Muskel-Skelett-Beschwerden geführt haben, antworteten sieben Leiterinnen mit „ja“, drei mit „nein“ und eine mit „ja“ und „nein“. Die Betrachtung der Antworten auf eine ergänzende offene Frage zu den Antwortoptionen bestätigte, dass Erzieherinnen das ergonomieoptimierte Mobiliar als hilfreich bewerteten, weil es ihnen Arbeitshöhen ermöglicht, die an ihre Physis angepasst sind. Die Leitungen berichteten auch von einer beobachteten Bewusstseinsklärung und Verhaltensänderung in Richtung ergonomischen Verhaltens in ihren Teams. Bei denen die „nein“ geantwortet hatten, steht

eher im Vordergrund, dass noch nicht alle Kitagruppen mit dem ergonomieoptimierten Mobiliar ausgestattet wurden und daher dort noch keine bedeutsame Reduktion der Muskel-Skelett-Beschwerden eingetreten war. Auch wurde angemerkt, dass alte Verhaltensmuster sehr stark seien und neue Mitarbeitende in ergonomische Verhaltensweisen eingewiesen werden müssten, z. B. durch regelmäßige Schulungen.

81,8% der Leiterinnen bewerteten den Nutzen des Projekts ErgoKita für ihre Einrichtung insgesamt als sehr hoch, die restlichen 18,2% als hoch. Besonders positiv bewerteten sie den Nutzen hinsichtlich der Motivation der Belegschaft, der Arbeitszufriedenheit, der Gesundheitsförderung und der Anerkennung und Wertschätzung des ErzieherInnenberufs (s. Abbildung 3).

Wie hoch bewerten Sie den Nutzen der durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen hinsichtlich ? (n = 11, in Prozent)

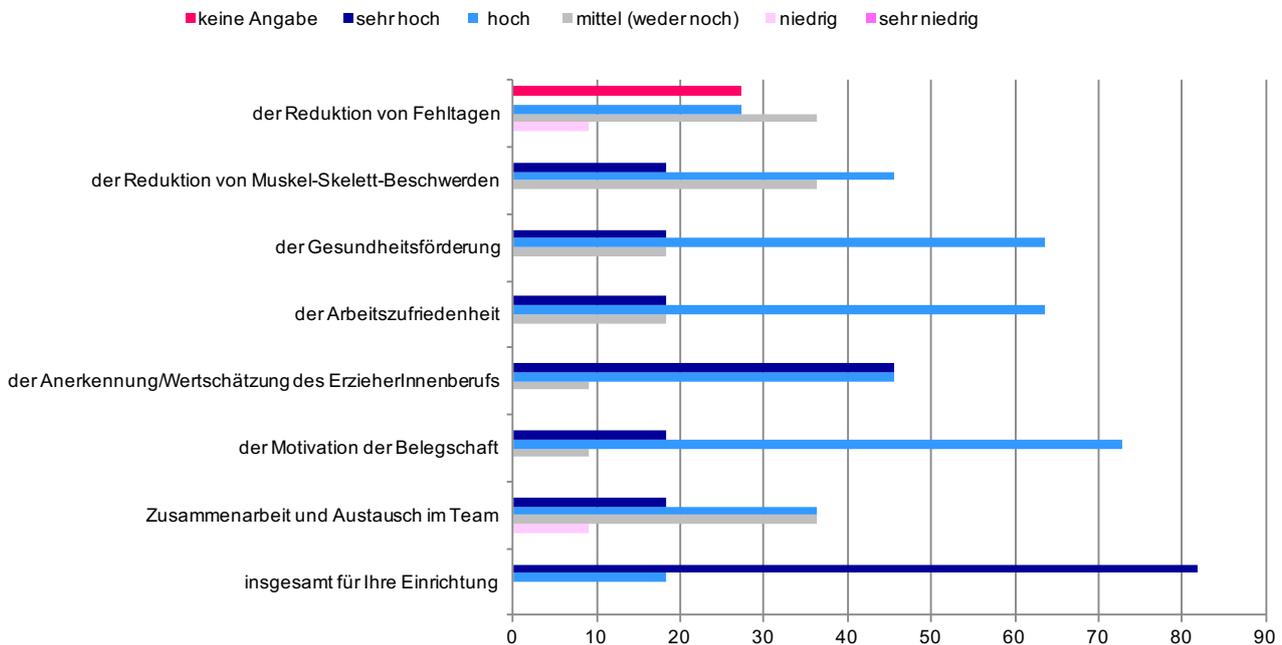


Abb. 3 Selbsteinschätzung der Kitaleiterinnen zum Nutzen der durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion von Muskel-Skelett-Belastungen hinsichtlich verschiedener Aspekte. Quelle: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

4 Fazit

ErgoKita hat deutlich gemacht, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Ergonomie am Arbeitsplatz „Kita“ erforderlich sind und erfolgreich sein können, wenn das pädagogische Personal in den Veränderungsprozess eingebunden wird. Das ergonomieoptimierte Mobiliar wird in den Einrichtungen immer noch regelmäßig und gerne genutzt (mit Ausnahme des Kniesitzkissens). Es ist ein Bewusstsein für die positiven gesundheitlichen Effekte der Nutzung des Mobiliars entstanden und dafür, dass Höhenanpassungen auch durch die Kinder vorgenommen werden können. Der Fokus des Projekts ErgoKita auf die Verbesserung der ergonomischen Arbeitsbedingungen des pädagogischen

Personals war ein „Augenöffner“ für viele pädagogische Fachkräfte: Nicht nur Gesundheit und Wohlbefinden der Kinder sind wichtig; auch die eigene Gesundheit und der Erhalt der eigenen Arbeitsfähigkeit über den ganzen Erwerbsverlauf sind essentiell. Daher sollten die Themen „Ergonomie“ und „ErzieherInnengesundheit“ Inhalte der beruflichen Ausbildung zum Erzieher/zur Erzieherin werden und die Träger der Einrichtungen für diese Themen weiter sensibilisiert und informiert werden. Die Unfallversicherungsträger kommen dieser Aufgabe nach und beraten Einrichtungen zu Ergonomie in der Kita. Auch stellen sie Informationsmaterial zur Verfügung. Eine wesentliche Hilfestellung zur ergonomischen Arbeitsgestaltung in Kitas bietet die DGUV Information 202-106 [6].

Literatur

- [1] *Viernickel, S.; Voss, A.; Mauz, E.; Gerstenberg, F.; Schumann, M.; Zbiranski, K.; Schwab, S.*: Wissenschaftlicher Abschlussbericht – STEGE Strukturqualität und Erzieher_innengesundheit in Kindertageseinrichtungen. Hrsg.: Alice Salomon Hochschule Berlin 2013 https://www.unfallkasse-nrw.de/fileadmin/server/download/PDF_2013/studie_stege.pdf (abgerufen am 14. 6. 2017)
- [2] *Sinn-Behrendt, A.; Sica, L.; Bopp, V.; Bruder, R.; Brehmen, M.; Groneberg, D.; Burford, E.-M.; Schreiber, P.; Weber, B.; Ellegast, R.*: Projekt ErgoKiTa – Prävention von Muskel-Skelett-Belastungen bei Erzieherinnen und Erziehern in Kindertageseinrichtungen (IFA-Report 2/2015). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2015 <http://www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2015/ifa-report-2-2015/index.jsp> (abgerufen am 29. 8. 2017)
- [3] *Kirkpatrick, D.*: How to start an objective evaluation of your training program. *Journal of the American Society of Training Directors* 10 (1956), S. 18–22
- [4] *McGuire, W. J.*: In: *Behavioral and Management Science in Marketing*. (Eds.: Davis, H. L.; Silk, A. J.), Ronald Press, New York, 1978, pp. 156–180
- [5] *Hauke, A.; Schwinger-Butz, E.; Wetzstein, A.; Hettrich, R.; Kallache, M.; Mischke, M.; Olschok, J.; Roth, S.*: DGUV Information 211-043 Gute Praxis der Evaluation von Präventionsmaßnahmen in der gesetzlichen Unfallversicherung. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Berlin 2020
- [6] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV): Ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen pädagogischer Fachkräfte in Kindertageseinrichtungen, DGUV Information 202-106. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2020

Zertifizierung zum Demografie-Coach – auch Ergonomie gehört dazu

Hanna Zieschang, Susan Freiberg

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG), Dresden

Zusammenfassung

Betriebe, die die Arbeitsfähigkeit ihrer älter werdenden Belegschaft erhalten und deshalb hinsichtlich der demografischen Entwicklung präventiv aktiv werden wollen, benötigen hierfür in der Regel eine kompetente Beratung. Für die Qualifizierung und Kompetenzfeststellung von Demografie-Beratern und -Beraterinnen gibt es derzeit verschiedenste Angebote im Hochschul- wie auch im Weiterbildungsbereich. Die Kompetenz derart ausgebildeter Personen wird teilweise über Zertifikate bescheinigt, die Anforderungen sind jedoch nicht immer transparent und die Aussage der Zertifikate unklar.

Mit dem Angebot zur Personenzertifizierung von Demografie-Coaches im DGUV Test setzt das IAG die Anforderungen Transparenz und Nachhaltigkeit um. Personen, die an der Tätigkeit als Demografieberater oder Demografiecoach interessiert sind, haben damit eine gute Möglichkeit, ihre nachgewiesenen Kompetenzen möglichen Auftrag- und Arbeitgebern darzulegen. Den Betrieben, die Berater oder Beraterinnen einsetzen wollen, erleichtern die Zertifikate die sachgerechte Auswahl von Dienstleistern und eröffnen intern Möglichkeiten der Personalentwicklung.

1 Problemstellung

„Demografischer Wandel in der Arbeitswelt“ – das Thema ist immer noch hoch aktuell, auch wenn es schon seit 10–15 Jahren intensiv bearbeitet wird. Die Anzahl der Erwerbstätigen in Deutschland, die älter als 55 Jahre sind, steigt nach wie vor, denn noch sind die sogenannten Babyboomer nicht im Rentenalter angekommen [1].

Die Gesetzliche Unfallversicherung hat bereits zahlreiche präventive Ansätze und Maßnahmen bezüglich der älter werdenden Belegschaften entwickelt und in Betrieben etabliert. Dazu gehört die grundlegend gute ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Ziel ist, dass möglichst alle Generationen gleichermaßen gut und unter Gesunderhaltung der Person an ihnen arbeiten können. Teil dieser Maßnahmen ist ebenso die Organisation der Arbeit

beispielsweise in (alters-)gemischten Teams oder der Verzicht auf den Einsatz Älterer in Nacht- und Schichtarbeit. Hierzu haben die Unfallversicherungsträger zahlreiche Informationsschriften und Unterstützungsangebote für Betriebe aller Branchen sowie Verwaltungen und weiterer Institutionen erfolgreich auf den Weg gebracht.

Aktuell wandelt sich die Arbeitswelt deutlich und ist massiven neuen Entwicklungen ausgesetzt. Die digitale Transformation ebenso wie eine zunehmende Globalisierung führen zu neuen Arbeitsformen, insbesondere einer hohen Flexibilisierung der Arbeit hinsichtlich Arbeitsort und Arbeitszeit. Solche Trends machen es erforderlich, dass Themen in Bezug auf den demografischen Wandel überdacht und neu aufbereitet werden müssen, z. B. lebenslanges Lernen insbesondere hinsichtlich digitaler Kompetenzen, Sicherheits- und Gesundheitskompetenz, mobiles oder zeitunabhängiges Arbeiten.

Längst nicht alle Unternehmen können die Folgen dieses Wandels der Arbeitswelt mit eigenen Ressourcen und Expertise bewältigen. Sie suchen Rat bei entsprechenden Fachleuten. Für die Auswahl benötigen sie Kriterien, nach denen sie passende Beratung finden können. Wer bietet welche Expertise, wie setzt sich das Leistungsspektrum der beratenden Personen zusammen?

2 Qualifizierungsangebote zu Demografieberatern und Demografieberaterinnen

Auf dem Markt zeigt sich ein starker „Wildwuchs“ an Qualifizierungsangeboten hinsichtlich Demografieberatung. Eine Recherche im Internet führt zu einer Reihe von Institutionen und kommerziellen Anbietern, die Demografieberater und -beraterinnen, Demografielotsen oder Beratende im innerbetrieblichen Demografiemanagement ausbilden. Nicht bei allen ist ersichtlich, welche Inhalte die entsprechende Qualifizierung umfasst, was der Berater oder die Beraterin mit einem dort erworbenen Abschluss also zu bieten hat. Auch ist häufig nicht transparent dargestellt, ob die angebotene Qualifizierung überhaupt zu einem Abschluss mit Prüfung führt, ob eine Bescheinigung erworben werden

kann oder das Qualifizierungsniveau sonst gesichert ist. Die im Netz zu findenden Angebote erfüllen also nur bedingt Kriterien bezüglich Transparenz oder Nachhaltigkeit. Damit fehlt den Unternehmen, die sich beraten lassen bzw. selber einen Demografieberater oder eine Demografieberaterin ausbilden lassen wollen, die Information, auf welche vorhandene oder eben nicht vorhandene Kompetenz sie sich einlassen. Insbesondere hinsichtlich Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit ist es der Unfallversicherung ein Anliegen, dass eine Demografieberatung auf der Grundlage nachvollziehbarer Qualitätsstandards im Sinne der DGUV gewährleistet ist.

Insgesamt zeigt sich ein rückläufiger Trend in entsprechenden Qualifizierungsangeboten. Häufig ist die Ausbildung mit Besuchen von Pflichtseminaren verbunden, was zeitliche und finanzielle Ressourcen bindet. Zum anderen sind für eine gute Beratung in der Regel nicht Wissen und Kenntnisse, wie sie häufig in Seminaren vermittelt werden, das Wichtigste, sondern der Erwerb von Kompetenzen als Rüstzeug für die beratende Tätigkeit.

Die beschriebenen Anforderungen – Transparenz, Nachhaltigkeit, Qualitätsstandards und Kompetenzorientierung – lassen sich über die Entwicklung einer Personenzertifizierung realisieren. Das hat das Sachgebiet Beschäftigungsfähigkeit im DGUV-Fachbereich Gesundheit im Betrieb dazu bewogen, das IAG mit der Entwicklung eines entsprechenden Personenzertifizierungsprogramms zum Demografie-Coach zu beauftragen.

3 Personenzertifizierung als eine transparente und nachhaltige Möglichkeit

Bei der Personenzertifizierung bestätigt eine Zertifizierungsstelle auf der Grundlage einer Prüfung, dass die zertifizierte Person vorgegebene Kompetenzanforderungen erfüllt. Die geforderten Kompetenzen, die Zugangsvoraussetzungen und der Ablauf der Prüfungen sind in dem Zertifizierungsprogramm zusammengestellt.

Eine weltweit anerkannte Grundlage für die Personenzertifizierung ist die DIN EN ISO/IEC 17024 [2]. Diese Norm definiert als grundlegende Elemente unter anderem: Ableiten der Kompetenzanforderungen aus dem Aufgaben- und Tätigkeitsprofil, systematische Bewertung und Validierung des Zertifizierungsprogramms inkl. Durchführung der Prüfungen, Forderung nach Aufrechterhaltung der Kompetenz durch Befristung der Zertifikate und Re-Zertifizierung.

Eine solche Personenzertifizierung schafft Transparenz hinsichtlich der vorhandenen Kompetenzen für beide Seiten: Die zertifizierte Person schafft potenziellen Auftrag- und Arbeitgebenden mögliche Transparenz hinsichtlich ihrer nachgewiesenen Kompetenzen. Die Unternehmen können anhand der Zertifikate entsprechende Dienstleistende leichter beurteilen und auswählen und erhalten intern eine Basis, um Personalentwicklung zu betreiben.

4 Entwicklung eines Konzeptes im IAG

Das IAG engagiert sich seit Jahren zum Thema Demografie, insbesondere zur Arbeitsgestaltung für ältere bzw. älter werdende Arbeitnehmende (Abbildung 1). Dies geschieht im Rahmen von Forschung, Beratung und Qualifizierung. Mehrere IAG-Veranstaltungen befassen sich regelmäßig mit neuen Erkenntnissen und Maßnahmen im Umgang mit den Folgen des demografischen Wandels. Seit vielen Jahren bietet das IAG eine Reihe von drei Seminaren an, deren Besuch zum Erwerb eines Teilnahmezertifikats „Demografieberater nach INQA“ führt. Der Erwerb dieses Teilnahmezertifikats sagt etwas über das aktuelle Wissen der Teilnehmenden aus, aber noch nichts über deren Kompetenzen. Die Qualitätssicherung bzw. die Kriterien für eine Nachhaltigkeit der Ausbildung sind – wie für die anderen oben beschriebenen Angebote – wenig transparent bzw. gar nicht gegeben. Auch bei den Unfallversicherungsträgern gibt es keine entsprechenden Angebote.

Darüber hinaus haben Mitarbeitende des IAG bereits Demografieberatungen in Unternehmen unterschiedlicher Größe durchgeführt und entsprechende Erfahrungen hinsichtlich der notwendigen Beratungskompetenzen gesammelt. Diese Beratungen beruhen auf einem auch von anderen Anbietern favorisierten Vorgehen, das – neben der Durchführung einer Altersstrukturanalyse – das Haus der Arbeitsfähigkeit von Ilmarinen [3] als Grundlage der Analysephase und der Ableitung von Maßnahmen nutzt.



Abb. 1 Präsentation des Themas zum DGUV-Fachgespräch Ergonomie

5 Aufgaben eines Demografie-Coaches

Für die Beratung eines Betriebs hinsichtlich der demografischen Entwicklung muss die beratende Person Kenntnisse über Bevölkerungsentwicklungen und –statistiken vorweisen können, ebenso über Wissen bezüglich Kompetenzen und Defiziten in der Entwicklung älter werdender Menschen verfügen. Allerdings reicht Wissen allein nicht aus, sondern es sind Kompetenzen notwendig, dieses Wissen zielgerichtet und für den Betrieb gewinnbringend einsetzen zu können. Die beratende Person muss wie ein Coach den Betrieb in seinen spezifischen Fragestellungen begleiten und zu Lösungsansätzen führen. Deshalb hat sich das IAG für „Demografie-Coach“ als Bezeichnung für diese Person entschieden.

Die DIN EN ISO/IEC 17024 definiert Kompetenz als „Fähigkeit, Wissen und Fertigkeiten anzuwenden, um beabsichtigte Ergebnisse zu erzielen“. Die Norm verfolgt den Ansatz, geforderte Kompetenzen aus den Aufgaben und Tätigkeiten abzuleiten. Deshalb war dies auch das Vorgehen bei der Entwicklung des Demografie-Coach.

Eine Beratung startet in aller Regel mit einer Altersstrukturanalyse. Dafür werden Daten zur Altersverteilung im Betrieb, zur Verteilung der Ausbildungsgrade der Mitarbeitenden (Akademiker, Meister, Arbeiter, Ungelernte, etc) und auch Angaben zu Weiter- oder Fortbildungen analysiert. Arbeitsunfähigkeitszeiten oder die Fluktuationsraten der Belegschaft in den unterschiedlichen Abteilungen sind ebenso Größen, die Input für eine gute Beratung liefern. Anhand dieser Informationen lässt sich eine detaillierte Altersstrukturanalyse durchführen. Im Umgang mit den Betriebsdaten muss selbstverständlich Vertraulichkeit eingefordert und beachtet werden. Der Coach benötigt für den Umgang mit den Daten Kenntnisse bezüglich datenschutzrechtlicher Bestimmungen und der arbeitgeber- und arbeitnehmerseitigen Ansprechpersonen, die er im Betrieb hierzu kontaktieren muss.

Ein Vergleich der betriebsspezifischen Daten mit regionalen oder branchenbezogenen Statistiken kann bereits erste Hinweise auf Handlungsfelder und spezifische Maßnahmen liefern. Auf dieser Grundlage können in Workshops mit den betrieblichen Akteuren aus möglichst vielen Betriebsbereichen, die der Demografie-Coach vorbereitet und moderiert, Maßnahmen in unterschiedlichen Handlungsfeldern erarbeitet und priorisiert werden. Die Entwicklung der Maßnahmen sollte vor allem durch die betrieblichen Akteure selbst erfolgen, nur dann gewinnen sie bei allen Beteiligten in ausreichendem Maße Akzeptanz zur Durchführung. Hier ist es wichtig, die Schritte mit Verantwortlichkeiten und Zeitplan verbindlich zu hinterlegen.

Die anschließende Umsetzung der Maßnahmen liegt in der Verantwortung des Betriebs selbst. Der Demografie-Coach kann bei der Umsetzung unterstützend tätig werden bzw. auf weitere Unterstützungsangebote aufmerksam machen.

6 Notwendige Kompetenzen eines Demografie-Coaches

Für die Entwicklung des Zertifizierungsprogramms wurde aus den zu leistenden Aufgaben ein passendes Kompetenzprofil abgeleitet.

Eine wichtige Voraussetzung für die beratende Tätigkeit ist die Fachkompetenz im Bereich von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, insbesondere zu Themen der Arbeitsgestaltung. Bestimmte Fähigkeiten und Kenntnisse nehmen mit zunehmendem Alter zu, andere typische Veränderungen beim Altern sind eher den Leistungsmininderungen zuzuordnen. Wie sich diese Veränderungen auf die Arbeitsfähigkeit auswirken und wie sie genutzt oder wofurch sie kompensiert werden können, das muss ein Demografie-Coach einschätzen können.

Als Grundlage für die Strukturierung dieser Kenntnisse dient das Denkmodell des Hauses der Arbeitsfähigkeit nach Ilmarinen (Abbildung 2). Es ist in Stockwerke gegliedert, die miteinander verbunden sind und deshalb im Betrieb nicht isoliert behandelt werden können. Es umfasst alle Themengebiete, die hinsichtlich einer guten Demografieberatung zu berücksichtigen sind. Jedes Stockwerk ist wichtig und trägt zum Erhalt bzw. zur Verbesserung der Arbeitsfähigkeit bei. Das oberste Stockwerk „Arbeit“ umfasst die Arbeitsgestaltung, u. a. also auch alle ergonomischen Fragestellungen. Nach Ilmarinen müsste dieses Stockwerk in seinem Modell wesentlich höher gezeichnet werden, da es quantitativ etwa 60 % zur Arbeitsfähigkeit beiträgt. Gute Ergonomie trägt dazu bei, dass ein großer Teil der beim Älterwerden auftretenden Leistungseinbußen kompensiert werden kann. Darüber hinaus bedeutet eine gute ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen Prävention für alle Generationen. Zusätzliche, für ältere Arbeitnehmende vorgesehene Maßnahmen sind in aller Regel auch für die jüngeren Beschäftigten hilfreich und unterstützen ihre Gesunderhaltung [4]. Ergonomische Fragestellungen sind also für den Erhalt der Arbeitsfähigkeit grundlegend. Somit müssen Demografie-Coaches das Thema „Arbeitsgestaltung“ entsprechend umfangreich beherrschen.

Eine am Haus der Arbeitsfähigkeit orientierte Strukturierung hilft, Argumente zu finden, sie zu sortieren und auf die spezifische betriebliche Situation anzuwenden. Darüber hinaus ist dieses Modell in vielen Betrieben bereits bekannt und auch über die fachlichen Grenzen hinaus anerkannt.

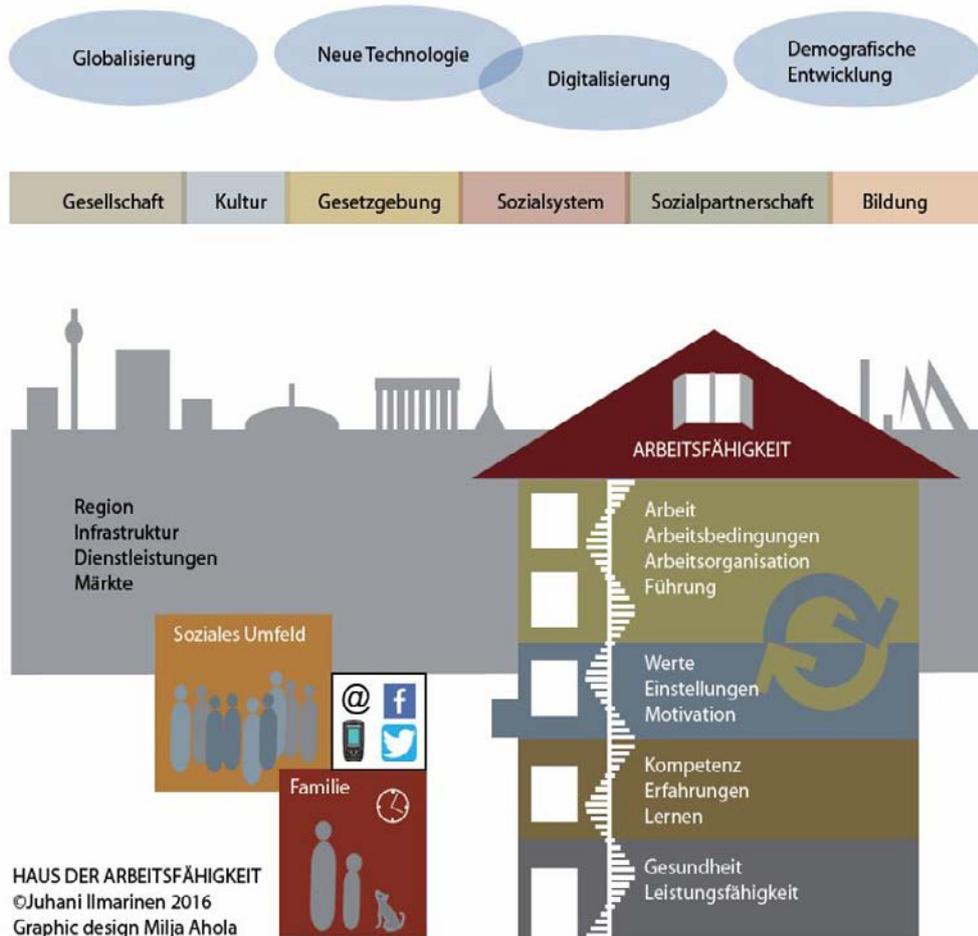


Abb. 2 Haus der Arbeitsfähigkeit in seiner Umgebung, mit freundlicher Genehmigung von Juhani Ilmarinen, Juhani Ilmarinen Consulting

Neben der Fachkompetenz ist eine gute Methoden- und Sozialkompetenz notwendig, unter anderem zur Moderation und Gesprächsführung, um die bereits erwähnten Workshops zielgerichtet anleiten und durchführen zu können. Gute Kommunikation und Verhandlungsgeschick ebenso wie Konfliktmanagement sind als Sozialkompetenzen zur Workshopmoderation gefragt.

Nur wer sicher, glaubwürdig und authentisch auftreten kann, wird auch überzeugen. Hierfür sind – nach innen – Selbstreflexion und Selbstmanagement wichtige Voraussetzungen. Nach außen kann sich Personal- und Selbstkompetenz durch systematisches Vorgehen im Gesamtprozess, durch analytisches Arbeiten und ganzheitliches Denken äußern.

7 Zertifizierungsprogramm zum Demografie-Coach im IAG

Zulassungsvoraussetzungen für die Zertifizierung sind gute Grundkenntnisse im Bereich Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Diese können, müssen aber nicht in entsprechenden Seminaren im IAG oder bei den UVT erworben worden sein. Auch sollten die Antragstellenden die betriebliche Praxis kennen. Vorausgesetzt wird eine Berufserfahrung von mindestens zwei Jahren. Alle Antragstellenden müssen in einem gewissen Zeitraum vor der Prüfung ein Seminar zur Demografieberatung mit definierten Inhalten im IAG oder bei einem anderen Anbieter absolviert haben.

Wer die Voraussetzungen erfüllt, wird zur Prüfung zugelassen. Diese besteht aus zwei Teilen: einer Arbeitsprobe und einer mündlichen Prüfung. Bei der Arbeitsprobe wird der Bericht über eine bereits durchgeführte Betriebsberatung bewertet. Zudem stellen die Kandidaten die durchgeführte Beratung anonymisiert in der mündlichen Prüfung vor. Bewertet wird sie hinsichtlich ihrer Konzeption, Durchführung und Auswertung. An die Präsentation

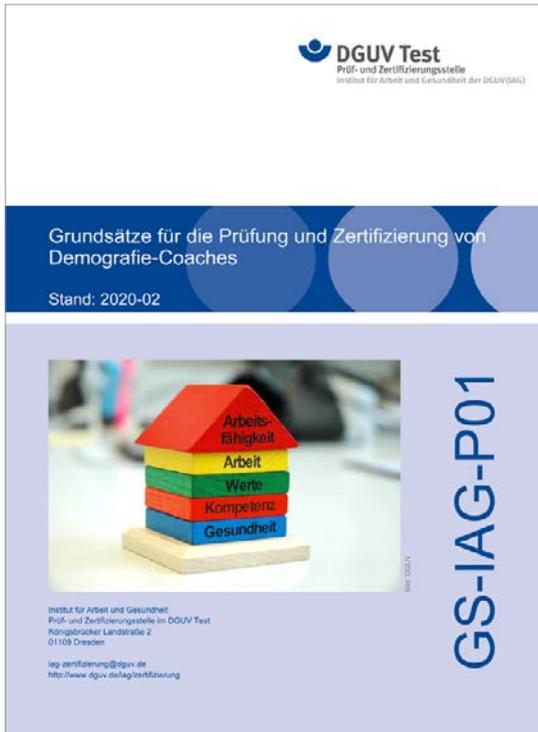


Abb. 3 Prüfgrundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Demografie-Coaches, herausgegeben von DGUV Test

schließen sich eine Diskussion und Reflexion der Betriebsberatung in einer Gruppe sowie die Beantwortung von Fragen zum Thema an.

Das Verfahren der Prüfung und Zertifizierung inkl. aller Anforderungen ist in den Prüfgrundsätzen des IAG dargestellt (Abbildung 3, [5]). Diese sind öffentlich verfügbar, um den Anspruch der Transparenz zu gewährleisten. Die Prüfgrundsätze werden regelmäßig auf Aktualität überprüft und an Entwicklungen im Themenbereich „Demografischer Wandel in der Arbeitswelt“ angepasst.

8 Ausblick

Derzeit läuft das Anerkennungsverfahren für die Personenzertifizierung zum Demografie-Coach innerhalb des DGUV Test. Mit dieser internen Kompetenzbeurteilung der Prüf- und Zertifizierungsstellen wird eine hohe Qualität der Prüf- und Zertifizierungstätigkeit auch hinsichtlich Sicherheit und Gesundheit sichergestellt.

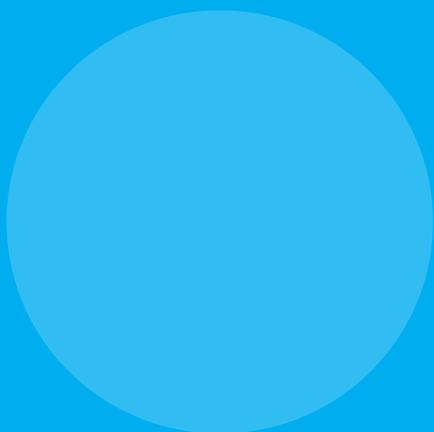
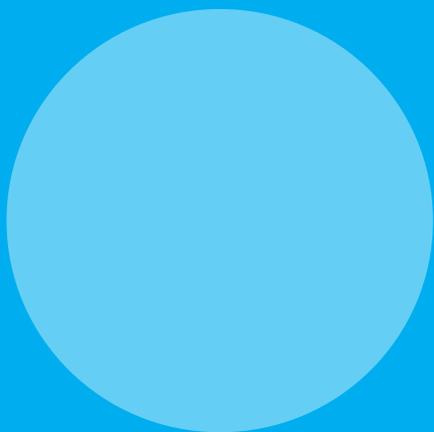
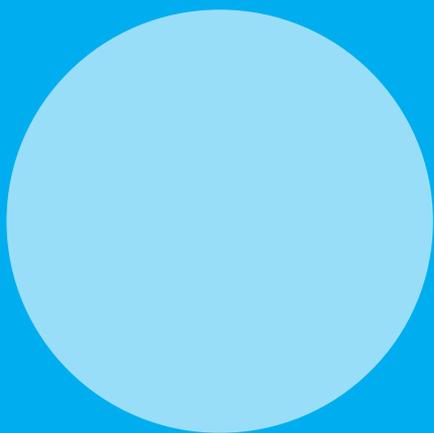
Für die zweite Jahreshälfte 2020 sind Pilotprüfungen und -zertifizierungen geplant. Ab 2021 wird das IAG pro Jahr mindestens einen Termin für die Prüfungsdurchführung fest in sein Programm aufnehmen und im Seminarprogramm bekannt geben.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt Destatis: Tabelle zu Bevölkerung, Erwerbstätige, Erwerbslose, Erwerbspersonen, Nichterwerbspersonen: Deutschland, Jahre, Altersgruppen URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=12211-0002> (zuletzt abgerufen am 27. 4. 2020)
- [2] DIN EN ISO/IEC 17024:2012-11: Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Stellen, die Personen zertifizieren, Beuth-Verlag, Berlin
- [3] *Tempel, J.; Ilmarinen, J.:* Arbeitsleben 2025. Das Haus der Arbeitsfähigkeit im Unternehmen bauen. Hrsg. Giesert, M. VSA-Verlag, Hamburg, 2013
- [4] *Zieschang, H.; Freiberg, S.:* Arbeitsplatzgestaltung für ältere Arbeitnehmer Nr.: 3016, Ausgabe 11/2010, In: Aus der Arbeit des IAG. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Loseblatt-Ausgabe. URL: <https://publikationen.dguv.de/forschung/iag/aus-der-arbeit-des-iag/2439/arbeitsplatzgestaltung-fuer-aelttere-arbeitnehmer.-aus-der-arbeit-des-iag-nr.-3016> (zuletzt abgerufen am 28. 4. 2020)
- [5] GS-IAG-P01: 2020-02. Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Demografie-Coaches. URL: <https://www.dguv.de/iag/zertifizierung> (zuletzt abgerufen am 27. 4. 2020)



Referentinnen und Referenten



Anschriften der Vortragenden

Dr.-Ing. Karin Bieske

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
Prof.-Schmidt-Str. 26
98693 Ilmenau

Dominik Brandau

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG)
Königsbrücker Landstr. 2
01109 Dresden

Dipl.-Biol. Mark Brütting

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr. phil. Marlen Cosmar

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG)
Königsbrücker Landstr. 2
01109 Dresden

Dr. rer. nat. Anna Dammann

Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Prof. Dr. rer. nat. Rolf Ellegast

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr.-Ing. Thomas Fietz

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG)
Königsbrücker Landstr. 2
01109 Dresden

Priv.-Doz. Dr. Sportwiss. Ulrich Glitsch

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Katrin Gomoll, M. Sc.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Robin Grießel, M. Sc.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Hartmann

RheinAhrCampus der Hochschule Koblenz
Joseph-Rovan-Allee 2
53424 Remagen

Dipl.-Psych. Angelika Hauke

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr. Sportwiss. Kai Heinrich

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr. sc. ETH Zürich Sylvia Hubalek

Dipl.-Ing.
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Mediener-
zeugnisse (BG ETEM)
Präventionszentrum Augsburg
Oblatterwallstraße 18
86153 Augsburg

Stephan Huis, M. Sc.

Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und
Gastgewerbe (BGN)
Dynamostraße 7–11
68165 Mannheim

Dr. rer. nat. Martin Liedtke

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr. phil. Peter Nickel

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr. rer. medic. Sylvia Rabstein

Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der DGUV –
Institut der Ruhr-Universität-Bochum (IPA)
Bürkle de la Camp-Platz 1
44789 Bochum

Vera Schellewald

Master of Arts (M.A.) – Sportwissenschaften
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dipl.-Ing. (FH) Ralf Schick

Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW)
M 5, 7
68161 Mannheim

Dr. rer. medic. Christoph Schiefer

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

David H. Seidel, M. Sc.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dipl.-Ing. Gerold Soestmeyer

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
(BG RCI)
Hunscheidtstr. 18
44789 Bochum

Dr. med. Yi Sun

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dipl.-Ing. Gudrun Wagner

Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM)
Semerteichstr. 98
44263 Dortmund

Dipl.-Ing. Torsten Wagner

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro
Medienerzeugnisse (BG ETEM)
Gustav-Heinemann-Ufer 130
50968 Köln

Matthias Wanstrath, M. Sc.

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und
Wohlfahrtspflege (BGW)
Pappelallee 33/ 35/ 37
22089 Hamburg

Anika Weber, M. Sc.

RheinAhrCampus der Hochschule Koblenz
Joseph-Rovan-Allee 2
53424 Remagen

Dr. Sportwiss. Britta Weber

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin

Dr.-Ing. Gabriele Winter

Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik
Telekommunikation (BG Verkehr)
Mina-Rees-Straße 8
64295 Darmstadt

Dr. rer. nat. Hanna Zieschang

Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG)
Königsbrücker Landstr. 2
01109 Dresden

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 13001-0
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de