

Erarbeiten und Testen eines Konzeptes zur Analyse von körperlichen Belastungen und physiologischer Beanspruchung bei der Überkopfarbeit mit und ohne passive Exoskelette

Jurij WAKULA, Tim STEINEBACH, Verena STEIDEL, Jonas WOLFF

*Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt
Otto-Bernd-Straße 2, 64287 Darmstadt*

Kurzfassung: Ein Konzept zur Analyse und Bewertung der Belastungen und Beanspruchungen beim Einsatz von passiven Exoskeletten für die Überkopfarbeit im Labor und in der Praxis wurde am IAD erarbeitet. Dieses Konzept wurde für die zwei Exoskelette für die Überkopfarbeit und drei Anwendungsszenarien mit statischen, dynamischen und Präzisionsaufgaben im IAD-Labor getestet. Die Versuche wurden mit 10 Probanden (3 weiblich und 7 männlich) durchgeführt. Es wurde untersucht, ob passive Exoskelette dazu geeignet sind, lokale muskuläre Beanspruchungen zu reduzieren oder ob diese in andere Körpersegmente verlagert werden. Diese Erkenntnisse dienen der Evaluierung von Exoskeletten nach ergonomischen Bewertungskriterien (Erträglichkeit, Gesundheit, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz) in Feldstudien.

Schlüsselwörter: passive Exoskelette, Überkopfarbeit, Bewertungskonzept, Laborstudie

1. Einleitung

Durch den Einsatz von passiven und aktiven Exoskeletten soll menschliche gesamte und lokale Beanspruchung, hervorgerufen durch ergonomisch belastende Körperhaltungen - statische Hand-Arm-Haltungen sowie Überkopfarbeit - und bei manueller Lastenhandhabungen, reduziert werden. Ob und in welchem Umfang eine Belastungs- und Beanspruchungsreduzierung durch den Einsatz von passiven Exoskeletten an den industriellen Arbeitsplätzen erfolgt, ist derzeit noch nicht oder nur im geringen Maße bekannt, da nur exemplarische Ergebnisse aus Studien mit Exoskeletten vorliegen (z.B. Weidner et al. 2014, Spada et al. 2016, Wakula et al., 2017). Außerdem fehlen auch evaluierte Analysekonzepte zu einzelnen ergonomischen Fragestellungen in Zusammenhang mit dem Einsatz von passiven Exoskeletten bei der Arbeit.

2. IAD-Konzept für passive Exoskelette für die Überkopfarbeit

Aufbauend auf den Literaturerkenntnissen wurden am IAD das Konzept zur Analyse und Bewertung der biomechanischen Belastungen und arbeitsphysiologischen Beanspruchungen beim Einsatz von passiven Exoskeletten für Überkopfarbeit im Labor und in der Praxis erarbeitet. Das Konzept gliedert sich in vier Arbeitsschritte (siehe Abbildung 1).

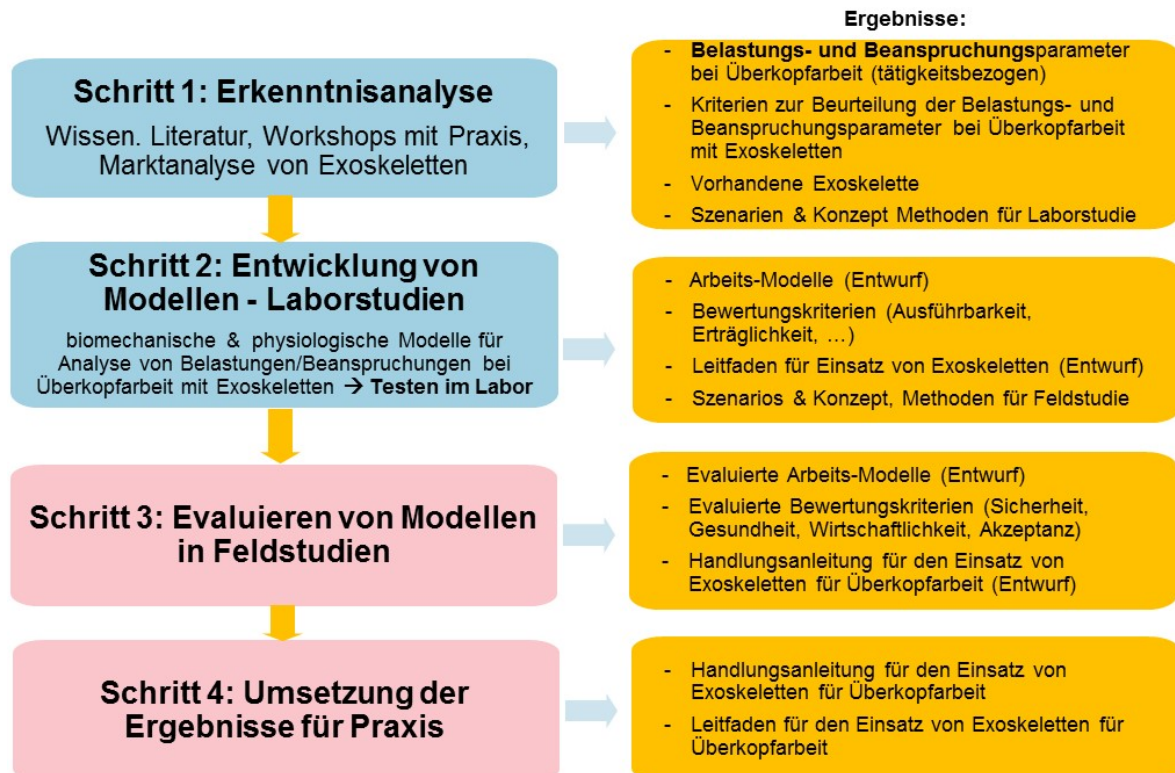


Abbildung 1: Konzept zur Analyse und Bewertung der biomechanischen Belastungen und arbeitsphysiologischen Beanspruchungen beim Einsatz von passiven Exoskeletten für Überkopfarbeit im Labor und in der Praxis

Nach der Erkenntnisanalyse aus wissenschaftlicher Literatur und einer Marktanalyse von Exoskeletten werden Konzept und Methoden zur Beurteilung der Belastungen und Beanspruchungen bei den Tätigkeiten mit Überkopfarbeit definiert. Gleichzeitig werden aus Belastungsanalysen in der Praxis und Workshops mit den Projektpartnern Parameter für die Belastungen (Belastungshöhe x Dauer) bei Überkopfarbeit an ausgewählten industriellen Arbeitsplätzen ermittelt. Anschließend werden Szenarios und Konzepte für die Modellauswahl auf Basis der Biomechanik und Arbeitsphysiologie in Laborstudien erarbeitet und getestet. Die sich daraus ergebenden Modelle werden danach zur Evaluierung durch Feldstudien nach ergonomischen Bewertungskriterien (Erträglichkeit, Gesundheit, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz) geprüft. In dem letzten Schritt werden aus den gewonnen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen und Leitfaden für den Einsatz von passiven Exoskeletten für die Überkopfarbeit in der Praxis abgeleitet.

Dieses Konzept wurde für die Überkopfarbeit bei exemplarischen Anwendungsszenarios im IAD-Labor getestet. Die gewonnenen Ergebnisse werden in diesem Betrag dargestellt.

3. Laborstudie

In einem ersten Schritt der Evaluierung des Konzepts wurden eine Laborstudie konzipiert. In dieser Laborstudie sollte die Frage geklärt werden, ob passive Exoskelette bei der Überkopfarbeit dazu beitragen können physiologische Beanspruchungen aus-

gewählter Muskeln in allen Körperbereichen zu reduzieren oder ob die lokale physiologische Beanspruchungen nur in andere Körpersegmente verlagert wird. Die Verlagerung der prozentuellen elektrischen Aktivität (EA) in den Körpersegmenten ist hierbei von besonderem Interesse.

Der Versuch unterteilte sich in drei definierte Aufgabenszenarien, welche jeweils mit zwei verschiedenen Exoskeletten sowie ohne Exoskelett von 10 Probanden (Alter: $27,2 \pm 6,1$ Jahre; $177,3 \pm 10,0$ cm; 3 weiblich; 7 männlich) durchlaufen wurden. Die entsprechenden Aufgaben wurden aus der Praxis in einem Partnerunternehmen abgeleitet:

1. Statische Halteaufgabe: Ein Werkzeug mit einem Gewicht von unter 5 kg wird in einer Höhe von 1,80 m für 3 Minuten gehalten.
2. Dynamische Arbeitsaufgabe: Schrauben werden in einer Höhe von 1,80 m in einem vorgegebenen Takt mit einem Akkuschauber eingeschraubt.
3. Präzisionsaufgabe: Durch Nachfahren einer geraden und einer sinusförmigen Linie mit einem Stift auf Schulterhöhe wird ein Schweißvorgang simuliert.

Im Rahmen der Laborstudie sollen in diesen drei Arbeitsszenarien verschiedene objektive und subjektive Parameter abgeleitet werden: die physiologische Beanspruchung von Muskeln mittels EMG, die Auswirkungen des Exoskeletts auf die Präzision der Aufgabendurchführung und subjektive Daten bezüglich des empfundenen Diskomforts beim Tragen der Exoskelette.

Die objektiven Beanspruchungsdaten wurden an fünf ausgewählten Muskel (dominante Körperseite) mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie (OEMG, Strasser et al., 1996) gemessen. Hierfür wurde ein portables TeleMyo 2400 G2 Gerät von Noraxon verwendet, siehe Abbildung 2 (Konrad, 2005). Die myoelektrischen Signale werden mittels Oberflächenelektroden erfasst. Da das verwendete Noraxon EMG-Gerät nur eine begrenzte Anzahl der Muskelaktivitäten aufzeichnen kann, musste die Anzahl der im Versuch zu messenden Muskeln eingeschränkt werden. Die elektrischen Aktivitäten folgender fünf Muskeln wurden gemessen und analysiert: Trapezius pars descendens und Deltoideus acromialis im Schulter-Nacken-Bereich, Biceps brachii und triceps brachii im Oberarm sowie der erector spinae im unteren Rückenbereich.



Abbildung 2: Noraxon-EMG System und Versuchsimpression

Außerdem wird der Einfluss der Exoskelette auf die Präzision ermittelt. Hierbei wurde die Abweichung der mit einem Stift aufgetragenen Linie von einer vorgezeichneten Gerade bzw. Sinuskurve ermittelt. Ferner soll mit einem Fragebogen ermittelt werden, inwiefern die Nutzung der Exoskelette Diskomfort bei den Arbeitspersonen erzeugte und ob Bewegungseinschränkungen auftraten.

4. Diskussion der Ergebnisse

In Abbildung 3 und 4 sind die Ergebnisse einer ersten Pilotstudie bezüglich der objektiven muskulären Beanspruchung bei der dynamischen und statischen Arbeitsaufgabe dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Muskeln im Oberarm sowohl mit als auch ohne Nutzung des Exoskeletts geringere dynamische EA aufweisen als die anderen drei Muskeln. In weitergehenden Studien könnte es demnach ausreichend sein, nur einen der beiden (m. triceps brachii oder m. biceps brachii) zu messen und den frei werdenden Kanal für einen zusätzlichen Muskel im Rücken oder der unteren Extremitäten zu nutzen.

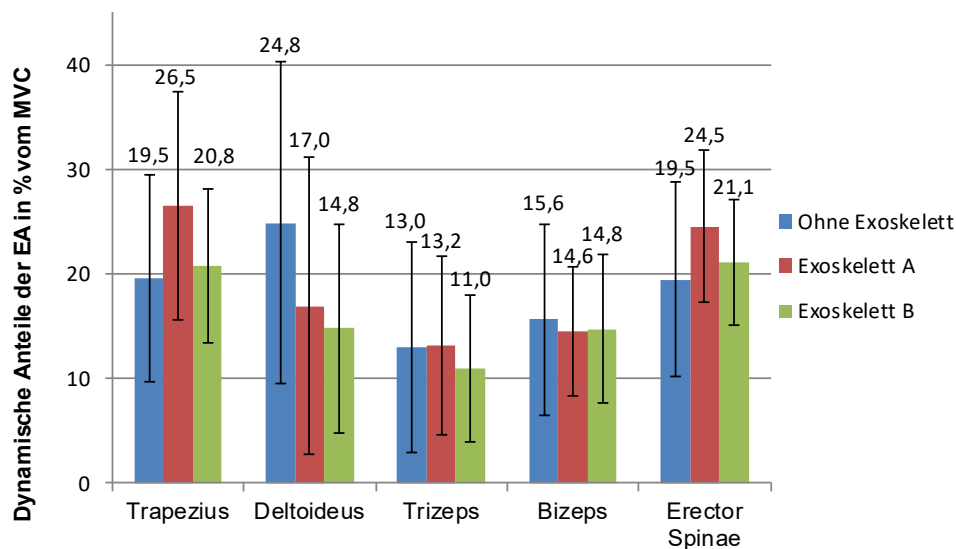


Abbildung 3: Dynamische Anteile der EA in % vom MVC bei der dynamischen Aufgabe

Des Weiteren fällt auf, dass die Beanspruchung im m. deltoideus bei der dynamischen Aufgabe mit beiden Exoskeletten deutlich reduziert wird. Hingegen nehmen die EA-dyn. im m. trapezius pars descendens und insbesondere im m. erector spinae zu, was auf eine Umverteilung der lokalen Beanspruchung bei der Nutzung der Exoskelette von der Schulter in den Rückenbereich hindeutet.

Bei der statischen Aufgabe werden die statischen Anteile der elektrischen Aktivität zur Interpretation herangezogen, siehe Abbildung 4. Auch hier zeigt sich, dass die Muskeln im Oberarm die geringste Beanspruchung aufweisen. Der Schulter-Nackengebiet scheint insbesondere im m. deltoideus deutlich entlastet zu sein. Im m. trapezius pars descendens hingegen ist bei einem der beiden Exoskelette eine leicht höhere elektrische Aktivität zu verzeichnen. Ebenfalls sind die statischen Anteile der Rückenmuskulatur (m. erector spinae) während der Ausführung der Aufgabe mit den beiden Exoskeletten höher.

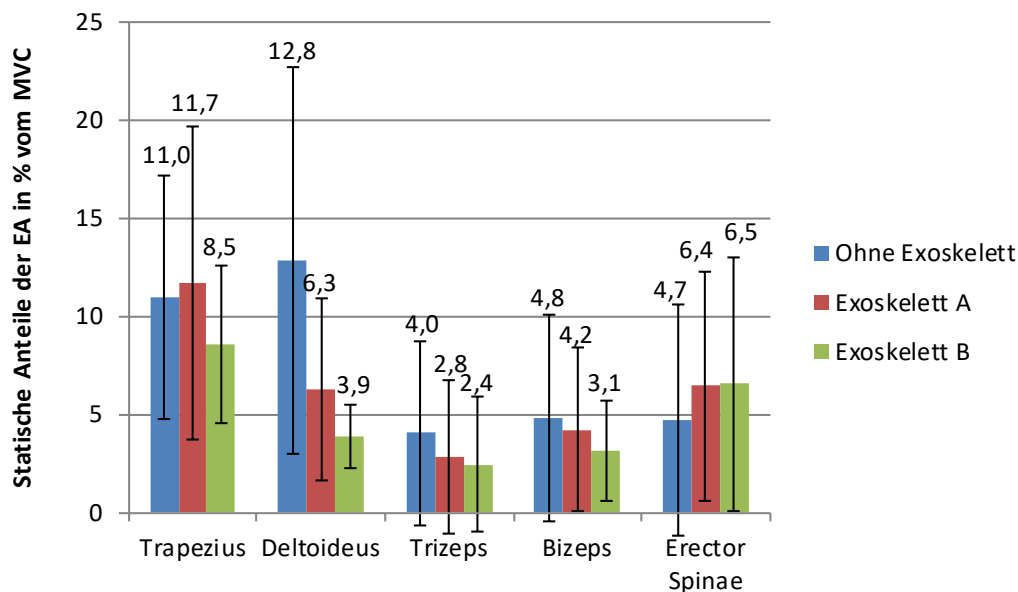


Abbildung 4: Statische Anteile der EA in % vom MVC bei der statischen Aufgabe

Auffallend bei beiden Arbeitsaufgaben sind die hohen Standardabweichungen, welche auf die geringe Probandenanzahl und die heterogene Konstitution der Probanden zurückzuführen ist.

Für die Zukunft ist es geplant, das Konzept in Feldstudien mit realen Arbeitspersonen und unter realen Arbeitsbedingungen zu evaluieren und hieraus Handhabungsanleitungen für Exoskelette in der Überkopfarbeit abzuleiten. Für etwaige Untersuchungen im Feld ist zu beachten, dass der Einsatz des EMG-System die Bewegungsfreiheit bei bestimmten Tätigkeiten weiter einschränken kann und sich die Elektroden durch starke Schweißbildung lösen können.

Ferner ist es notwendig, in realer Arbeitsumgebung Langzeitstudien durchzuführen, um mögliche gesundheitliche Folgen und die Akzeptanz über einen längeren Zeitraum abschätzen zu können.

5. Literatur

- Konrad, P. (2005). *EMG - Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologicalhe Elektromyographie*, Hrsg.: Velamed Medizintechnik.
- Spada S., Ghibaudo L., Gilotta S., Gastaldi L., Cavatorta M. (2017) Analysis of Exoskeleton Introduction in Industrial Reality... In: R.S. Goonetilleke and W. Karwowski (eds.) *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors, Advances in intelligent Systems and Computing* 602.
- Wakula, J. (2017) Technische Unterstützungssysteme allgemein und Exoskelette im Blickwinkel der Ergonomie“ Vortrag. AutoErg in Stuttgart, 16.11.2017. <http://www.autoerg.net/>
- Weidner R., Redlich T und J.P. Wulfsberg, (2014): Passive und aktive Unterstützungssysteme für die Produktion. *Werkstattstechnik online*. Jahrgang 104 (2014) H.9 S. 561-566.
- Strasser H (1996). Beanspruchungsgerechte Planung und Gestaltung manueller Tätigkeiten – Elektromyographie im Dienst der menschengerechten Arbeitsgestaltung, Hrsg.: Ecomed Verlag, Landsberg/Lech.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de