

## Erproben von Exoskeletten im Rahmen der Logistik – Anwendung und Grenzen des Einsatzes

Gabriele WINTER<sup>1</sup>, Ulrich GLITSCH<sup>2</sup>, Ines BÄUERLE<sup>2</sup>,  
Christian FELTEN<sup>3</sup>, Jörg HEDTMANN<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>BG Verkehr, Mina-Rees-Str. 8, D-64295 Darmstadt,

<sup>3</sup>BG Verkehr, Ottenser Hauptstraße 54, D-22765 Hamburg,

<sup>2</sup>Institut für Arbeitssicherheit (IFA), Alte Heerstr. 111, D-53757 Sankt Augustin

**Kurzfassung:** 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 einzelne betriebliche Erfahrungen aus den Mitgliedsunternehmen der BG Verkehr zur Eignung und Wirksamkeit von Exoskeletten bei der Lastenhandhabung vor. Im Rahmen einer mit dem Institut für Arbeitsschutz (IFA) durchgeführten Interventionsstudie mit acht Beschäftigten wurde ein passives rückenunterstützendes Exoskelett erprobt. Daher wurden u.a. Messungen der elektrischen Muskelaktivität von beanspruchten Rückenmuskeln, Erfassung kinematischer Daten sowie Mitarbeiterbefragungen (z. B. subjektives Beschwerdeempfinden, Akzeptanz) durchgeführt. Die Ergebnisse weisen für den untersuchten Arbeitsplatz nur moderate Entlastungseffekte auf. Adverse Effekte durch das Tragen der Exoskelette machen eine sorgfältige Abwägung des Einsatzes für das untersuchte Exoskelett erforderlich.

**Schlüsselwörter:** Lastenhandhabung, Muskel-Skelett-Beschwerden und Erkrankungen, körpergetragene Assistenzsysteme, Exoskelette

### 1. Einleitung

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 BKK-Statistik von 2016 einen erheblichen Anteil an den Arbeitsunfähigkeitstagen auf (über 30%, vgl. BKK 2016). Etliche Mitgliedsunternehmen der BG Verkehr sind bestrebt, ergonomische Lösungen zur Reduzierung der Wirbelsäulenbelastung zu finden. Der Einsatz von am Körper getragenen Assistenzsystemen könnten positive Effekte auf den unteren Teil des Rückens durch eine Lastumverteilung beim Vorbeugen des Rumpfes haben (Hensel et al. 2018; Steinhilber, Seibt & Luger 2018; Bosch et al. 2016). Bei der Kommissionierung im Lager- und Umschlagbetrieb, wo das Anheben und Absetzen schwerer Lasten als Ursache für erhöhte Beanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems ange-

sehen werden kann, sollen in einem ausgewählten Arbeitsbereich rumpfunterstützende Assistenzsysteme eingesetzt werden. Das an dieser Studie teilnehmende Mitgliedsunternehmen der BG Verkehr möchte Exoskelette nur dort testen bzw. einsetzen, wo das Umsetzen von Lasten mit anderen technischen Hebevorrichtungen etc. zur Entlastung der Beschäftigten nicht realisiert werden kann. Aus den derzeit am Markt verfügbaren Arten von Exoskeletten (vgl. Systematisierung nach BGHM 2017; DGUV 2018) sollte ein passives System getestet werden, das mit Hilfe der Rückstellkraft eines Feder-Dämpfer-Systems das Aufrichten des Rumpfes bei der Lastenhandhabung unterstützt (zur Funktionsweise vgl. Hensel & Keil 2018, S. 254). Ein wesentliches Ziel der Interventionsstudie ist es, den Grad der Unterstützung durch ein passives Exoskelett zu quantifizieren sowie die Vor- und Nachteile auch aus Sicht der Beschäftigten in dem ausgewählten Arbeitsbereich zu untersuchen. Letztendlich sollen aus dem Einsatz solcher Assistenzsysteme positive Entwicklungen bezüglich der Rückengesundheit entstehen (mögliche Reduktion von körperlichen Beschwerden und Erkrankungen im unteren Rückenbereich, vgl. Hensel et al. 2018).

## 2. Methodik

**Arbeitsablaufanalyse:** Die im Mitgliedsunternehmen 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 einem 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).



**Abbildung 1:** Links: Abnahme einer Sendung von einer Palette (unterer Bereich); Rechts: Tragen einer Sendung mit Exoskelett (Paket auf Schulter)

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 (d.h. einer mit und anschließend einer ohne Assistenzsystem für jeweils eine Stunde).

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.

Im IFA vorab durchgeführte Labormessungen mit dem betreffenden Exoskelett lieferten Vergleichsdaten für das Anheben von Lasten bis maximal 25 kg. Das am IFA entwickelte Messsystem mit dem Auswertungsprogramm WIDAAN ist unter <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/ergonomie/cuela-messsystem-und-rueckenmonitor/index.jsp> 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.

### 3. Ergebnisse

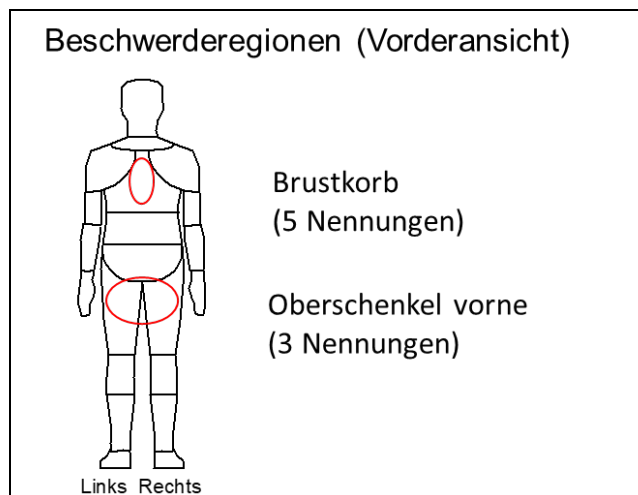
Aus der differenzierten Tätigkeitsanalyse ergaben sich im Zusammenhang mit dem verwendeten Exoskeletts als relevante Teiltätigkeiten das Anheben der Last, Tragen der Last allein, Tragen der Last zu zweit, Absetzen der Last und Gehen ohne Last. Weitere Teil- oder Nebentätigkeiten wie z.B. im Sitzen oder mit statischem Rumpfvorbeugen (vgl. Baltrusch et al. 2018) kamen im Untersuchungszeitraum nicht vor.

Nach den Arbeitsablaufanalysen ergab sich pro Sendung 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 auf Basis des Medians des Rumpfbeugewinkels nicht grundsätzlich. Tendenziell traten allerdings die starke Vorbeugung und die aufrechte bis leicht überstreckte Rumpfhaltung häufiger auf. Funktionsbedingt kann das passive Exoskelett in dem vorliegenden 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 (hier 25 kg)

nur ca. 6 % des aufzubringenden gesamten Drehmoments auf Höhe der Hüftgelenke kompensieren.

In der Befragung attestierten die Probanden dem hier verwendeten Exoskeletts 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 Probanden beklagten Druckstellen nach dem einstündigen Gebrauch am Brustkorb und am Oberschenkel (vgl. Abbildung 2) – drei Probanden dagegen nicht.



**Abbildung 2:** Beschwerderegionen, an denen das Exoskelett als unangenehm empfunden wird (z.B. Druckstellen)

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

#### 4. Diskussion und Fazit

Als Fazit ergibt sich aus ergonomischer Sicht ein grundsätzlich nachweislicher Entlastungseffekt bei vorgebeugter Körperhaltung ohne Lastgewicht und beim Anheben und Absetzen von Lasten. Die Höhe des Entlastungseffekts ist bezüglich der Muskelaktivität (EMG-Reduktion) allerdings nur moderat (5-10 % MVC, MVC: Maximum Voluntary Contraction) und wird bei zunehmendem Lastgewicht immer geringer. 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 zeitliche Nutzung beim Heben und Absetzen am gegebenen Arbeitsplatz durchschnittlich nur 5 1/2 min pro Stunde beträgt und bei anderen wesentlich länger andauernden Tätigkeiten 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 relativ häufig auch sehr schwere Sendungen mit über 25 kg Gewicht transportiert werden müssen, erscheint generell der Einsatz eines passiven Exoskeletts-Systems wenig zielführend, da hier immer nur ein Anteil der Grundlast abgenommen wird und damit insgesamt die Wirksamkeit sinkt.

Auch der subjektiv wahrgenommene Diskomfort im Bereich Brust und Oberschenkeln zeigen den Optimierungsbedarf solcher Exoskelette auf. Werden die Ergebnisse von Feldstudien mit Exoskeletten in der Industrie vergleichend herangezogen, so zeigt sich bei den Ergebnissen der Mitarbeiterbefragung ein ähnliches Beschwerdeempfinden. Nach Hensel & Keil (2018) spürten die Probanden (n=18) 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 belastenden Körperregionen Brust und Oberschenkel wahrgenommen (vgl. Hensel & Keil, 2018; S. 255).

## 5. Ausblick

Zwar zeigte sich, dass ein passives Exoskelett dieser Art speziell in dem untersuchten Arbeitsbereich nicht zweckmäßig ist, aber dennoch sollten von Unternehmen weiterhin Assistenzsysteme zur Entlastung der Beschäftigten gesucht und getestet werden. Da bis heute noch keine Langzeitstudien zum Einsatz des hier getesteten Exoskeletts existieren (vgl. Steinhilber et al. 2018), können mögliche Spätfolgen nicht ausgeschlossen werden. Beispielsweise könnte sich infolge der Arbeitserleichterung ein Koordinationsverlust einstellen, der 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 herbeiführen kann, eine Verhaltensänderung zugunsten eines rückengerechteren Arbeitens (hinsichtlich der Körperhaltung) aber nicht unterstellt werden kann.

## 6. Literatur

- Baltrusch SJ, van Dieën JH, van Bennekom CAM, Houdijk H: The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Appl Ergon* 2018; 72: 94–106.
- BGHM 2017: Einsatz von Exoskeletten an (gewerblichen) Arbeitsplätzen. Fach-Information Nr. 0059.
- 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](https://www.bkk-dachverband.de/fileadmin/gesundheit/monatsauswertungen/Summen_Gesamtergebnis_01_Januar_2016.pdf) (letzter Zugriff 11.12.2018).
- 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.
- DGUV 2018: Fachbereichs-Information. Fachbereich Handel und Logistik, BGHW. FBHL 006.
- 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.
- 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.
- 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.





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](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)