

## „Chairless Chair“ – Objektivierung von Belastung und Beanspruchung während einfacher Montagetätigkeiten

Sandra GROOS, Marie FUCHS, Karsten KLUTH

*Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen  
Paul-Bonatz-Straße 9-11, 57068 Siegen*

**Kurzfassung:** Während der „Chairless Chair“ bereits in einigen großen Unternehmen auf seinen praktischen Nutzen hin getestet wird, gibt es noch keinen wissenschaftlich fundierten Nachweis darüber, dass der Einsatz eines solchen Systems tatsächlich einen physiologischen Nutzen bringt. Um die Belastung und Beanspruchung bei verschiedenen Tätigkeiten mit und ohne Exoskelett zu objektivieren, wurde eine Laborstudie mit 17 Probanden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz eines „Chairless Chairs“ während der simulierten Montagetätigkeiten durchaus als nützlich und physiologisch begünstigend angesehen werden kann. Das Gehen auf dem Laufband hingegen führte, insbesondere durch die eingeschränkte Bewegungsfreiheit und das zusätzliche Gewicht, zu einer erkennbaren Mehrbelastung.

**Schlüsselwörter:** Exoskelett, „Chairless Chair“, Herzschlagfrequenz, Energieumsatz, Montagetätigkeit

### 1. Einleitung

An Arbeitsplätzen, an denen die ergonomischen Gestaltungsmöglichkeiten ausgeschöpft sind, können Exoskelette ein sinnvolles Hilfsmittel sein, um den Mitarbeiter in ungünstigen Körperhaltungen zu entlasten. Bei Exoskeletten handelt es sich um außen am Körper getragene Stützstrukturen, die den Muskelapparat des Menschen unterstützen sollen (vgl. u.a. De Looze et al. 2016). Der „Chairless Chair“ von der Firma „noonee“ ist ein mechanisch arbeitendes passives Exoskelett zur Unterstützung der Rücken- und Beinmuskulatur. Zwar wird der „Chairless Chair“ bereits bei einigen namhaften Automobilherstellern auf seinen praktischen Nutzen hin getestet (vgl. u.a. Hensel & Keil 2018, Spada et al. 2019), allerdings ist der physiologische Nutzen noch nicht grundlegend nachgewiesen. Um erste Erkenntnisse von Belastung und Beanspruchung beim Einsatz eines solchen Exoskelettes zu erhalten, wurde eine Laborstudie durchgeführt, in welcher die Probanden einfache Montagetätigkeiten sowie eine Laufbandtätigkeit absolvierten.

### 2. Methodik

Für die Versuchsreihe wurde ein Probandenkollektiv von 17 erwachsenen Versuchspersonen (10 männlich, 7 weiblich) mit den in Tabelle 1 dargestellten physischen Merkmalen, zusammengestellt. Alle Versuchspersonen waren im Umgang mit

dem „Chairless Chair“ unerfahren und erhielten vor der Versuchsdurchführung ein Training zum Umgang mit dem Exoskelett durch geschultes Personal.

**Tabelle 1:** Spezifische Angaben zu den 17 Versuchspersonen

Anzahl Vpn	Ø Alter	Ø Körperhöhe [cm]	Ø Körpermasse [kg]	Ø Hüfthöhe [cm]
17 (10 m, 7 w)	26,7 ± 5,9	177,8 ± 7,7	77,2 ± 10,0	103,2 ± 7,0

Wie in Abbildung 1 dargestellt, absolvierten alle Vpn während des Versuchstages jeweils mit und ohne „Chairless Chair“ drei unterschiedliche Tätigkeiten. Um gewissen Gewohnheitseffekten entgegenzuwirken, wurden sowohl die Teilversuche untereinander als auch die Variante mit/ohne Exoskelett randomisiert. Bei der Laufbandanalyse gingen die Vpn 10 Minuten bei 2,4 km/h und ohne Steigung. Bei der Schraubtätigkeit sollten jeweils 5 Minuten lang mit einem Handschraubendreher und mit einem Akkuschauber Schrauben in eine MDF-Platte geschraubt werden. Die Montagetätigkeit wurde durch eine 15-minütige Montage und Demontage von Holz- und Kunststoffbauteilen realisiert.



**Abbildung 1:** Während der Studie mussten drei verschiedene Tätigkeiten jeweils mit und ohne Exoskelett ausgeführt werden: eine Laufbandtätigkeit (links), eine Schraubtätigkeit (Mitte) und eine Montagetätigkeit (rechts)

Zur Datengewinnung kamen ein Herzfrequenzmesssystem von Polar® (Sportuhr V800 mit Brustgurtsender) sowie das mobile Spirometriesystem MetaMax® 3B der Cortex Biophysik GmbH zum Einsatz. Die kontinuierlich gemessenen bzw. ermittelten Werte von Herzschlagfrequenz und Energieumsatz wurden zunächst in Arbeitsgrößen – d.h. Arbeitspuls und Arbeitsenergieumsatz – umgewandelt und anschließend über unterschiedliche Zeitintervalle gemittelt. Der Ruhepuls wurde dabei in entspannter und sitzender Haltung gemessen, der Grundumsatz hingegen nach der Mifflin-St.Jeor-Formel (Mifflin et al. 1990) berechnet, da die nach Rohmert & Rutenfranz (1983) geforderten Bedingungen zur Ermittlung des Grundumsatzes nicht sichergestellt werden konnten. Die statistische Auswertung erfolgte nach dem zweiseitigen t-Test nach Student. Neben der objektiven Datengewinnung sollte die ganzheitliche arbeitswissenschaftliche Analyse durch die Erfassung der subjektiven Wahrnehmung beim Arbeiten mit dem „Chairless Chair“ mittels eines standardisierten Fragebogens ergänzt werden. Die Ergebnisse der subjektiven Befragung finden sich unter Fuchs et al. (2019) in diesem Tagungsband.

### 3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Belastungs- und Beanspruchungsanalyse mittels Herzfrequenzmessung und Energieumsatzbestimmung, unterteilt nach den drei Tätigkeiten, dargestellt.

#### 3.1 Laufbandanalyse

Das zusätzliche Gewicht des „Chairless Chair“ als auch die anatomisch unnatürliche Gangart bedingten, dass der Arbeitspuls beim Gehen mit dem Exoskelett mit durchschnittlich 30 1/min statistisch „hoch signifikant“ ( $\alpha \leq 0,001$ ) über dem durchschnittlichen Arbeitspuls beim Gehen ohne Exoskelett (26 1/min) lag. In gleicher Weise „hoch signifikant“ war der Unterschied bei den Arbeitsenergieumsätzen mit durchschnittlich 170 W (mit Exoskelett) bzw. 146 W (ohne Exoskelett).

#### 3.2 Schraubtätigkeit

Beim Schrauben mit dem Handschaubendreher stiegen die Arbeitspulse über die 5-minütige Versuchsdauer hinweg kontinuierlich von 26 1/min auf 35 1/min (mit Exoskelett) bzw. 39 1/min (ohne Exoskelett) an. Im direkten Vergleich (mit/ohne Exoskelett) zeigten sich allerdings nur geringe Unterschiede zwischen den Arbeitspulsen, weshalb die Differenz statistisch nur „schwach signifikant“ ( $\alpha \leq 0,05$ ) ausgeprägt ist. Die Energieumsatzwerte, die bei durchschnittlich 157 W (ohne Exoskelett) bzw. 139 W (mit Exoskelett) lagen, waren sogar „nicht signifikant“ ( $\alpha > 0,05$ ).

Beim Schrauben mit dem Akkuschraubendreher sind hingegen deutliche Unterschiede zwischen dem Schrauben mit und ohne Exoskelett im Arbeitspuls erkennbar. Der über die Versuchsdauer hinweg gemittelte Arbeitspuls lag bei der Verwendung des „Chairless Chair“ mit 30 1/min um 5 1/min niedriger als beim Schrauben ohne „Chairless Chair“, sodass die Unterschiede statistisch „hoch signifikant“ ( $\alpha \leq 0,001$ ) sind. Gleiches gilt für die Arbeitsenergieumsätze, die mit 180 W (ohne Exoskelett) bzw. 133 W (mit Exoskelett) deutlich auseinander lagen.

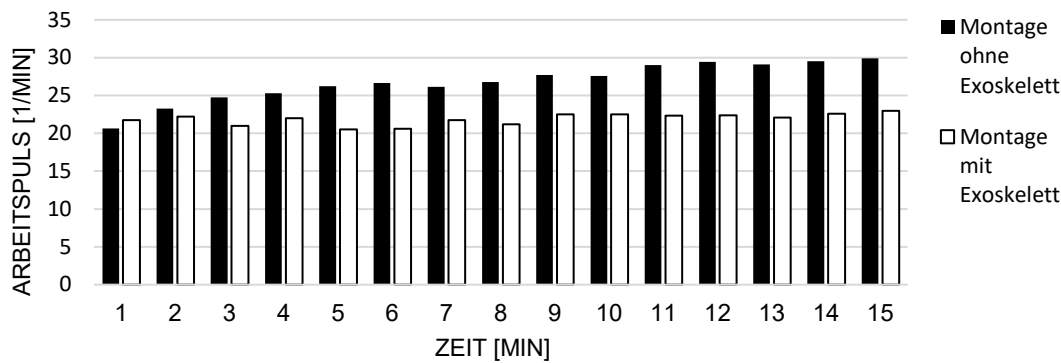
#### 3.3 Montagetätigkeit

Auch bei der simulierten Montagetätigkeit waren Unterschiede in den Arbeitspulswerten zu verzeichnen. Wie Abbildung 2 verdeutlicht, lag der Arbeitspuls beim Montieren mit Exoskelett über die 15-minütige Versuchsdauer hinweg nahezu konstant auf einem Niveau von ca. 22 1/min. Bei der Montage ohne Exoskelett hingegen, steigt der Arbeitspuls ausgehend von 21 1/min kontinuierlich auf 30 1/min an. Der Unterschied ist statistisch „hoch signifikant“ ( $\alpha \leq 0,001$ ).

Auch der Arbeitsenergieumsatz lag bei der Montagetätigkeit ohne Exoskelett mit durchschnittlich 103 W statistisch „signifikant“ ( $\alpha \leq 0,01$ ) über den 70 W, die für das Arbeiten mit dem Exoskelett aufgebracht werden mussten.

### 4. Diskussion

Wie die Ergebnisse der Laufbandanalyse belegen, führte sowohl das zusätzliche Gewicht des „Chairless Chair“ als auch die anatomisch unnatürliche Gangart zu einer



**Abbildung 2:** Durchschnittlicher Arbeitspuls [1/min] von 17 Versuchspersonen als 1-min Mittelwert während der 15-minütigen Montagetätigkeit mit „Chairless Chair“ (weiße Balken) und ohne „Chairless Chair“ (schwarze Balken)

deutlich höheren Belastung und Beanspruchung als das Gehen ohne Exoskelett. In absoluten Werten sind diese Differenzen allerdings zu vernachlässigen, zumal der „Chairless Chair“ nicht dafür konzipiert ist, größere Wegstrecken damit zurückzulegen. Allerdings sehen auch die Probanden an dem „Chairless Chair“ konstruktiv noch deutlichen Verbesserungsbedarf, vor allem was das Sicherheitsgefühl beim Gehen anbelangt (vgl. Fuchs et al. 2019). Bei den simulierten Montagetätigkeiten, bestehend aus einem Schraubversuch und einem Montageversuch, konnte hingegen eine deutliche Reduzierung von Arbeitspuls und Arbeitsenergieumsatz festgestellt werden. Die ungünstige Körperhaltung bei der Tätigkeitsdurchführung ohne Exoskelett führte zu einem kontinuierlichen Anstieg der Herzschlagfrequenz, was auf die statische Haltearbeit der großen Muskelgruppen in den Beinen zurückzuführen ist. Es ist zu vermuten, dass die Ergebnisse bei längerer Versuchsdauer noch deutlicher ausfallen, weshalb angestrebt werden sollte, die Versuchsreihen mit einer – zeitlich an die Realität angepassten – Tätigkeitsdurchführung zu wiederholen. Ebenso sollte das Probandenkollektiv in der Altersstruktur breiter ausgewählt werden, um die Grundgesamtheit der in der Produktion beschäftigten Personen besser abzubilden.

## 5. Literatur

- De Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O’Sullivan LW (2016) Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics* 59:671-681.
- Fuchs M, Groos S, Kluth K (2019) „Chairless Chair“ – Ermittlung des subjektiven Beanspruchungserlebens während einfacher Montagetätigkeiten. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten. Dortmund: GfA-Press, in diesem Band.
- Hensel R, Keil M (2018) Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 72:252-263.
- Mifflin MD, St.Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO (1990) A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am Journal of Clinical Nutrition* 51:241-247.
- Rohmert W, Rutenfranz J (1983) *Praktische Arbeitsphysiologie*. 3. Aufl., Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Spada S, Ghibardo L, Carnazzo C, Di Pardo M, Chander DS, Gastaldi L, Cavatorta MP (2019) Physical and virtual assessment of a passive exoskeleton. In: Bagnara S, Tartaglia R, Albolino S, Alexander Th, Fujita S (Eds) *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*. Volume VIII: Ergonomics and Human Factors in Manufacturing, Agriculture, Building and Construction, Sustainable Development and Mining. Springer Cham: 247-257.



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)