

„Chairless Chair“ – Ermittlung des subjektiven Beanspruchungserlebens während einfacher Montagetätigkeiten

Marie FUCHS, Sandra GROOS, Karsten KLUTH

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

Kurzfassung: Neben dem objektiv messbaren Nutzen eines Exoskelettes muss auch das subjektive Beanspruchungserleben berücksichtigt werden, insbesondere um die Akzeptanz eines solchen Systems beim Anwender sicherzustellen. Hierzu führten 17 Versuchspersonen in einer Laborstudie mit dem Exoskelett „Chairless Chair“ eine Laufbandtätigkeit sowie einfache Montagetätigkeiten durch. Währenddessen wurde das subjektive Beanspruchungserleben mittels standardisierter Fragebögen und Körperschaubildern erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass der „Chairless Chair“ vor allem das Gehen betreffend noch in der Kritik steht, da die Bewegungsfreiheit und das Sicherheitsgefühl deutlich eingeschränkt sind. Bei den simulierten Montagetätigkeiten hingegen konnte bei der Verwendung des Exoskelettes eine wesentliche Reduzierung des subjektiven Beanspruchungserlebens festgestellt werden.

Schlüsselwörter: Exoskelett, „Chairless Chair“, Montagetätigkeit, subjektives Beanspruchungserleben

1. Einleitung

Nach Herr (2009) und de Looze (2016) handelt es sich bei einem Exoskelett um eine körpergetragene mechanische Struktur, die den Anwender muskulär unterstützen soll. Während Exoskelette im Militär- und Medizinbereich bereits etabliert sind, ist ihr Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen noch nicht sehr verbreitet (vgl. Schick 2018). Dennoch wird die Praxistauglichkeit von Prototypen in Industriebetrieben (vornehmlich Automobilherstellern) getestet, wie bspw. die Untersuchungen von Hensel & Keil (2018) sowie Spada et al. (2019) zeigen. Neben dem physiologischen Nutzen solcher Systeme ist die Akzeptanz seitens der Anwender von wesentlicher Bedeutung, denn nur so kann nach Steinhilber et al. (2018) die erfolgreiche betriebliche Implementierung gewährleistet werden. Auch wenn die Verwendung eines Exoskelettes insgesamt als unterstützend und somit hilfreich angesehen wird, kommt es nach Bosch et al. (2016) häufig zu einer gesteigerten Beschwerdewahrnehmung im Schnittstellenbereich Mensch-Exoskelett. Ein ebenso wichtiger Aspekt sind die möglichen Gefährdungen, die von Exoskeletten ausgehen können (bspw. ein erhöhtes Risiko von Stolper- und Sturzunfällen), die aber nach Schick (2018) noch weitestgehend unerforscht sind. Um das Wissen über das subjektive Beanspruchungserleben bei der Benutzung des „Chairless Chairs“ während einfacher Montagetätigkeiten zu erweitern, wurde eine Laborstudie zur objektiven Datengewinnung durch eine subjektive Befragung ergänzt.

2. Methodik

Für die Laborstudie wurde ein Probandenkollektiv von 17 erwachsenen und gesunden Probanden (10 Männer, 7 Frauen, \bar{x} 26,7 \pm 5,9 Jahre, 178 \pm 8 cm Körpergröße, 77 \pm 10 kg Körpermasse) ausgewählt, die allesamt im Umgang mit dem „Chairless Chair“ unerfahren waren. Im Versuch absolvierten die Probanden entsprechend des in Abb. 1 dargestellten Versuchsablaufes eine Laufbandtätigkeit sowie einfache Montagetätigkeiten mit und ohne Exoskelett. Während der Laufbandtätigkeit gingen die Versuchspersonen (Vpn) über eine Dauer von 10 min bei 2,4 km/h und ohne Steigung. Die einfachen Montagetätigkeiten wurden durch eine jeweils 5 Minuten dauernde Schraubtätigkeit mit Handschraubendreher und Akkuschauber sowie einer 15-minütigen Montagetätigkeit mit Holz- und Kunststoffbauteilen realisiert. Eine bildliche Darstellung der Teilversuche sowie die Angaben zur objektiven Datengewinnung sind Groos et al. (2019) in diesem Tagungsband zu entnehmen.

Vor, während und nach den Versuchen wurde die subjektive Wahrnehmung sowohl über das derzeitige körperliche Befinden als auch über allgemeine Aspekte bei der Verwendung des „Chairless Chair“ in Interviewform systematisch abgefragt. Hierbei kamen bipolare und monopolare 4-stufige Skalen, Körperschaubilder und geschlossene Fragen zum Einsatz.

Dauer [min]	Aufgabe/Beschreibung	Dauer	Beschreibung Schraubtätigkeit
45	Allgemeine Einweisung, Applizieren der Messgeräte, Fragebogen Teil I, Exoskelett Testversuch, Ruhemessung → Ermittlung von Ruhepuls und Grundumsatz	5	Schrauben m. Handschraubendreher
12	Schraubtätigkeit ohne Exoskelett	2	Pause
15	Montagetätigkeit mit Exoskelett	5	Schrauben mit Akkuschauber
12	Schraubtätigkeit mit Exoskelett		
10	Laufbandtätigkeit mit Exoskelett		
15	Montagetätigkeit ohne Exoskelett		
10	Laufbandtätigkeit ohne Exoskelett		
45	Nachbereitung → Entfernung der Messgeräte, Fragebogen, Datenauswertung		
		Dauer	Beschreibung Montagetätigkeit
		15	Einfaches Montieren bzw. Demontieren von Holz- und Kunststoffbauteilen
		Dauer	Beschreibung Laufbandtätigkeit
		10	Gehen auf dem Laufband mit einer Geschwindigkeit von 2,4 km/h

Abbildung 1: Schematischer Versuchsablauf mit 17 im Umgang mit Exoskeletten unerfahrenen Probanden – beispielhaft für die Versuchsperson 01

3. Ergebnisse

3.1 Laufbandanalyse

Erwartungsgemäß führte das Gehen mit dem „Chairless Chair“ auf dem Laufband subjektiv zu einer deutlichen Erhöhung des Beanspruchungserlebens. Während beim Gehen ohne Exoskelett in keinem der abgefragten Körperbereiche Beeinträchtigungen in Form von Verspannungen, Druckstellen oder Gefühlslosigkeit auftraten, zeigten sich beim Gehen mit dem Exoskelett bereits leichte Druckstellen und Verspannungen. Die negativen Empfindungen konnten insbesondere im Schulter- und Nackenbereich, an Hüfte, Oberschenkel und an den Füßen festgestellt werden, also in all jenen Bereichen, an denen das Exoskelett mit dem Menschen verbunden ist. Des Weiteren empfanden die Versuchspersonen die Körperhaltung sowie das Sicher-

heitsgefühl bei der Verwendung des „Chairless Chair“ als deutlich schlechter und auch die Geräuscentwicklung wurde als recht störend empfunden (vgl. Abb. 2).

		Laufbandtätigkeit								
		☹			☺			☺		
		-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
		Beurteilung der Körperhaltung								
mit Exoskelett					+1,6 ± 2,2			<input type="text"/>		
ohne Exoskelett					+3,6 ± 1,0			<input type="text"/>		
		Beurteilung des Sicherheitsgefühls								
mit Exoskelett					+0,9 ± 2,5			<input type="text"/>		
ohne Exoskelett					+3,3 ± 1,3			<input type="text"/>		
		Beurteilung der Geräuscentwicklung								
mit Exoskelett		<input type="text"/>						-2,3 ± 1,0		
ohne Exoskelett					+1,9 ± 2,0			<input type="text"/>		

Abbildung 2: Beurteilung der subjektiven Wahrnehmung der Körperhaltung (links), des Sicherheitsgefühls (Mitte) und der Geräuscentwicklung (rechts) während der Laufbandtätigkeit

3.2 Schraubtätigkeit

Bei der Durchführung der Schraubtätigkeit ohne Exoskelett traten fast im gesamten Körper Verspannungen auf, wobei mittelstarke Verspannungen ($1,2 \pm 1,3$) im Lendenwirbelbereich hervorzuheben sind. Diese Ausprägung konnte durch den Einsatz des Exoskelettes und die damit verbundene aufrechtere Haltung des Rückens deutlich reduziert werden ($0,4 \pm 0,6$). Der „Chairless Chair“ verursachte aber auch bei diesem Teilversuch leichte Druckstellen in den Bereichen Hüfte, Ober- und Unterschenkel. Wie Abb. 3 verdeutlicht, wurde die Arbeitshaltung beim Schrauben ohne Exoskelett deutlich ungünstiger und die muskuläre Beanspruchung in den Beinen wesentlich höher empfunden als bei der Versuchsdurchführung mit Exoskelett. Insgesamt empfanden die Vpn die Unterstützung durch den „Chairless Chair“ als recht gut.

		Schraubtätigkeit								
		☹			☺			☺		
		-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
		Beurteilung der Arbeitshaltung								
mit Exoskelett					+0,4 ± 2,0			<input type="text"/>		
ohne Exoskelett								-2,1 ± 1,0		
		Beurteilung der muskulären Beanspruchung in den Beinen								
mit Exoskelett					+1,4 ± 2,0			<input type="text"/>		
ohne Exoskelett					-1,1 ± 2,1			<input type="text"/>		
		Beurteilung der Unterstützung durch das Exoskelett								
mit Exoskelett					+1,8 ± 1,1			<input type="text"/>		

Abbildung 3: Beurteilung der Arbeitshaltung (links), der muskulären Beanspruchung in den Beinen (Mitte) sowie der Unterstützung durch das Exoskelett (rechts) während der Schraubtätigkeit

3.3 Montagetätigkeit

Auch bei der simulierten Montagetätigkeit konnten Unterschiede beim Auftreten von Verspannungen und Druckstellen in den verschiedenen Körperbereichen festgestellt werden. Bei der Montage ohne „Chairless Chair“ traten über die 15-minütige Versuchsdauer hinweg deutliche Verspannungen im Lendenwirbelbereich ($2,7 \pm 1,3$) sowie in den Oberschenkeln auf ($2,1 \pm 1,3$). Die Verwendung des Exoskelettes konnte die Intensität der Verspannungen auf Werte von $0,5 \pm 0,8$ (Lendenwirbelbereich) bzw. $0,8 \pm 1,0$ (Oberschenkel) deutlich mindern, wenngleich wieder leichte Druckstellen an den Schnittstellen zwischen Mensch und Exoskelett auftraten (Hüfte, Ober- und Unterschenkel, Knöchel und Füße). Es ist allerdings auch hervorzuheben, dass beim Montieren mit Exoskelett gesteigerte Verspannungen im Schulterbereich und vor allem im Nacken ($1,3 \pm 1,3$) auftraten. Begründet werden kann das damit, dass der Nacken die durch das Exoskelett erzwungene aufrechte Körperhaltung des Rückens kompensieren muss. Zwar saßen die Vpn mit dem Exoskelett in einer für den unteren und mittleren Rückenbereich zuträglichen Haltung, aber die Arbeitshöhe blieb unverändert bei 45 cm über dem Boden. Somit bewirkte zwar das Exoskelett an einigen Stellen des Körpers eine deutliche Entlastung, führte aber zu einer vorher nicht erforderlichen Zwangshaltung des Kopfes, was wiederum die erhöhten Verspannungen im Nacken verursacht haben könnte. Dennoch wurde der Einsatz des Exoskelettes bei diesem Teilversuch insgesamt als vorteilhaft angesehen (vgl. Abb. 4). Die Werte fallen sogar noch größer aus als bei der Schraubtätigkeit, was sicherlich auf die längere Versuchsdauer zurückzuführen ist.

		Montagetätigkeit								
		☹				☺				☺
		-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
		Beurteilung der Arbeitshaltung								
mit Exoskelett										-0,7 ± 2,0
ohne Exoskelett										-3,6 ± 0,7
		Beurteilung der muskulären Beanspruchung in den Beinen								
mit Exoskelett										+0,1 ± 1,7
ohne Exoskelett										-2,7 ± 1,7
		Beurteilung der Unterstützung durch das Exoskelett								
mit Exoskelett										+2,2 ± 1,1

Abbildung 4: Beurteilung der Arbeitshaltung (links), der muskulären Beanspruchung in den Beinen (Mitte) sowie der Unterstützung durch das Exoskelett (rechts) während der Montagetätigkeit

4. Diskussion

Die Ergebnisse der subjektiven Befragung zeigen, dass der Einsatz des „Chairless Chair“ während der simulierten Montagetätigkeiten in den besonders belasteten Körperpartien Rücken und Oberschenkel durchaus als unterstützend und hilfreich angesehen wurde. Es ist zu vermuten, dass eine zeitliche Verlängerung der Versuche noch deutlichere Ergebnisse hervorbringt. Beim Gehen mit dem Exoskelett hingegen wurden insbesondere die mangelnde Bewegungsfreiheit und das einge-

schränkte Sicherheitsgefühl sehr kritisch betrachtet. Eine Vielzahl der Versuchspersonen sah Verbesserungspotential in der Gestaltung des Gurtsystems, der Fixierungselemente, der Einstellmöglichkeiten und in der Ausführung der Fußstütze. Da die Versuche mit einem Prototyp des „Chairless Chair“ durchgeführt wurden und in der aktuellen Variante des Modells bereits einige angemerkte Schwachstellen konstruktiv verbessert wurden, ist eine Wiederholung der Versuche mit dem neuen Modell des „Chairless Chair“, einer verlängerten Versuchsdauer und einem das Alter betreffend heterogenerem Probandenkollektiv durchaus sinnvoll.

5. Literatur

- Bosch T, van Eck J, Knitel K, de Looze MP (2016) The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics* 54:212-217.
- 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.
- Groos S, Fuchs M, Kluth K (2019) „Chairless Chair“ – Objektivierung von Belastung und Beanspruchung 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.
- Herr H (2009) Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 6:21.
- Schick R (2018) Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. *DGUV Forum* 1-2:8-11.
- Spada S, Ghibaudo 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.
- Steinhilber B, Seibt R, Luger T (2018) Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext – Wirkung und Nebenwirkung. *Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Umweltmedizin* 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 · www.internetkundenservice.de