

Konzept zur biomechanischen Bewertung von Exoskeletten in Feldversuchen mittels inertialer Messtechnik

Ines BÄUERLE

*Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie,
Mensch-Maschine-Systeme, Zanderstraße 5, D-53177 Bonn*

Kurzfassung: Arbeitsplätze mit hohen Anteilen an manueller Lastenhandhabung, vorgebeugten Körperhaltungen, Überkopfarbeit oder Steharbeit können kurz- oder langfristig zu Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems führen. Exoskelette können bei diesen Tätigkeiten unterstützen. Bislang fanden die meisten biomechanischen Untersuchungen im Labor statt, während Feldversuche in vielen Fällen auf eine Evaluation durch subjektive Bewertungen der Nutzer setzen. Es besteht Forschungsbedarf vor allem im Bereich objektiver Betrachtungen von sowohl entlastenden Effekten, sowie möglichen Nebeneffekten direkt im Arbeitsumfeld. Eine Untersuchung der Kinematik während komplexerer Bewegungsabläufe kann Aufschluss über mögliche Auswirkungen geben. Es wird ein Konzept vorgestellt, um Exoskelette in Feldversuchen anhand biomechanischer Kriterien zu evaluieren. Mithilfe eines IMU-Basierten Bewegungsanalyse-Systems wurden explorative Daten in Feldversuchen erhoben. Es wird gezeigt, dass umfassende kinematische Daten problemlos mit und ohne Exoskelett aufgezeichnet werden können.

Schlüsselwörter: Exoskelett, physisches Assistenzsystem, Evaluation, Muskel-Skelett-Erkrankungen, Feldversuche, mobile Bewegungsanalyse

1. Einleitung

Schwere körperliche Arbeiten wie Tätigkeiten mit hohen Anteilen an manueller Lastenhandhabung, vorgebeugten Körperhaltungen, Überkopfarbeit oder Steharbeit stellen eine Belastung für das Muskel-Skelett-System sowie für das Herz-Kreislauf-System dar (Armfield et al., 2003; da Costa & Vieira, 2010). Besonders die Belastung oder Überlastung des Muskel-Skelett-Systems kann zu schwerwiegenden Folgeschäden führen. Dabei treten am häufigsten Erkrankungen des Rückens infolge manueller Lastenhandhabung oder vorgebeugter Arbeit (Andersen et al., 2017) und Erkrankungen der Schultern durch Überkopfarbeit (van der Molen et al., 2017) auf. Weitere Folgen dieser Erkrankungen sind eine verminderte Lebensqualität, vermehrte Krankheitstage sowie verminderte Produktivität. Die Folgen sind vielseitig und betreffen sowohl den Arbeitnehmer als auch den Arbeitgeber.

Exoskelette unterschiedlicher Bauweisen können bei körperlich belastenden Tätigkeiten unterstützen. Vor allem passive Modelle für unterschiedliche Körper- und Einsatzbereiche wurden in den letzten Jahren vermehrt marktverfügbar. Das Potential solcher Systeme, die Belastung der Zielbereiche sowohl objektiv als auch subjektiv zu reduzieren, konnte bereits gezeigt werden (Looze et al., 2016). Viele Fragen zu den Auswirkungen von Exoskeletten bleiben bisher jedoch unerforscht. Eine erhebliche Forschungslücke besteht noch in der Betrachtung möglicher Nebeneffekte wie der Mehrbelastung anderer Körperbereiche oder Bewegungseinschränkungen (Heydari et

al., 2013; Kim et al., 2018). Durch eine detaillierte biomechanische Betrachtung von möglichst einsatznahen Bewegungsmustern können solche Nebeneffekte aufgedeckt werden.

2. Versuchskonzept

Um die Auswirkungen von Exoskeletten am Arbeitsplatz zu verstehen, ist es unabdingbar diese auch im Arbeitsumfeld zu prüfen. Bislang fanden die meisten biomechanischen Untersuchungen im Labor statt (Looze et al., 2016), während Feldversuche in vielen Fällen auf eine Evaluation durch subjektive Bewertungen der Nutzer setzen (Hensel & Keil, 2018). Laborstudien finden unter kontrollierten Bedingungen statt, die dem Arbeitsumfeld nicht entsprechen und dazu führen können, dass Effekte überschätzt werden. Eine Evaluation ausschließlich anhand subjektiver Bewertungen ist zwar wichtig für Erkenntnisse zu Usability und Nutzerakzeptanz, jedoch nicht ausreichend um die Entlastung oder unerwartete Nebeneffekte zu beurteilen.

Eine mögliche Methode zur Abschätzung des Nutzens von Exoskeletten ist eine Kombination aus objektiven Daten aus Laborstudien und subjektiven Daten aus Befragungen im Feld. Hier besteht jedoch weiterhin das Problem, dass isolierte Laborstudien zu einer Überschätzung der Effekte führen können, sowie mögliche Nebenwirkungen nicht erkannt werden. Alternativ könnten objektive Daten, parallel zu subjektiven Bewertungen, direkt im Feld erhoben werden. Eine Untersuchung der Kinematik während komplexerer Bewegungsabläufe kann weiteren Aufschluss über mögliche Auswirkungen geben, als unter kontrollierten Laborbedingungen. Hier wird ein Konzept vorgestellt, das es ermöglicht Exoskelette in Feldversuchen anhand biomechanischer Kriterien zu evaluieren.

Die klassische Bewegungsanalyse findet hauptsächlich im Laborumfeld statt, wo Infrarot-Kamerasysteme als der Goldstandard gelten. Diese sind sehr präzise, weisen jedoch eine geringe Mobilität und dadurch geringe Einsatzfähigkeit für Feldstudien auf.

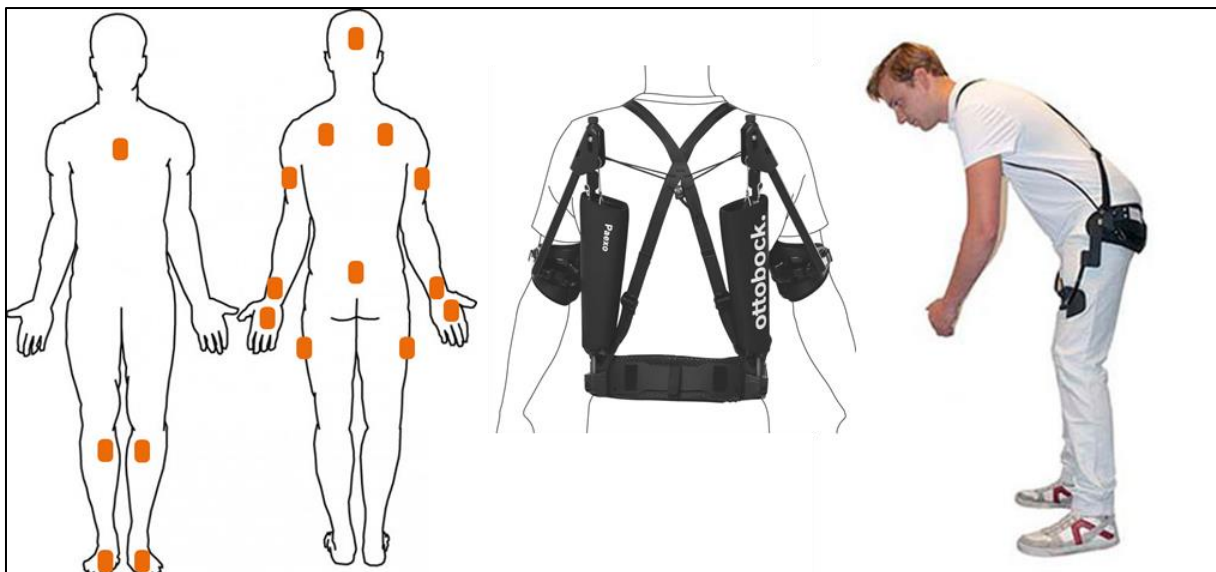


Abbildung 1: Positionen der IMU-Sensoren am Körper des Probanden (links) und die getesteten Exoskelette Ottobock Paexo (mitte) und Laevo (rechts) (Quelle: www.ottobock.com; www.en.laevo.com)

Entwicklungen in den letzten Jahren haben zu einem großen Fortschritt im Bereich des mobilen Motion Capture durch Inertialsensorik geführt. Anhand eines solchen Systems (Xsens-Technologies, NL) wurden explorative Daten in Feldversuchen mit Exoskeletten erhoben. Das Messsystem besteht aus 17 am Körper des Probanden angebrachten inertialen Messeinheiten (IMU), welche in der Software Xsens-MVN als kinematisches Ganzkörpermodell dargestellt werden (siehe Abbildung 2). Ein zusätzlicher IMU kann an dem Exoskelett angebracht werden um entweder die Arm-Elevation (für Exoskelette für Überkopfarbeiten) oder die Rumpfvorneigung (für Exoskelette zur manuellen Lastenhandhabung) zu betrachten. Die inertialen Messeinheiten haben eine Größe von 47 x 30 x 13 mm und werden mit einem Klettbandsystem am Probanden befestigt. Zunächst wurde im Laborumfeld untersucht, ob bei der Kombination von Exoskeletten und dem IMU-System Probleme, z.B. bei Berührung der Sensoren und dem Exoskelett, entstehen. Dafür wurden zwei repräsentative Exoskelette, eines für den Überkopf-Bereich und eines für den Rücken herangezogen (siehe Abbildung 1). Aufgrund des explorativen Charakters der Untersuchungen wurden die Versuche nur mit einem Probanden durchgeführt.

In einem nächsten Schritt wurde das Konzept in unterschiedlichen Feldversuchen explorativ getestet. Dabei wurden Daten mit dem IMU-System und parallel mit einer Videokamera aufgezeichnet. Abbildung 2 zeigt eine untersuchte Überkopftätigkeit in der Software und aus der Videoaufnahme.

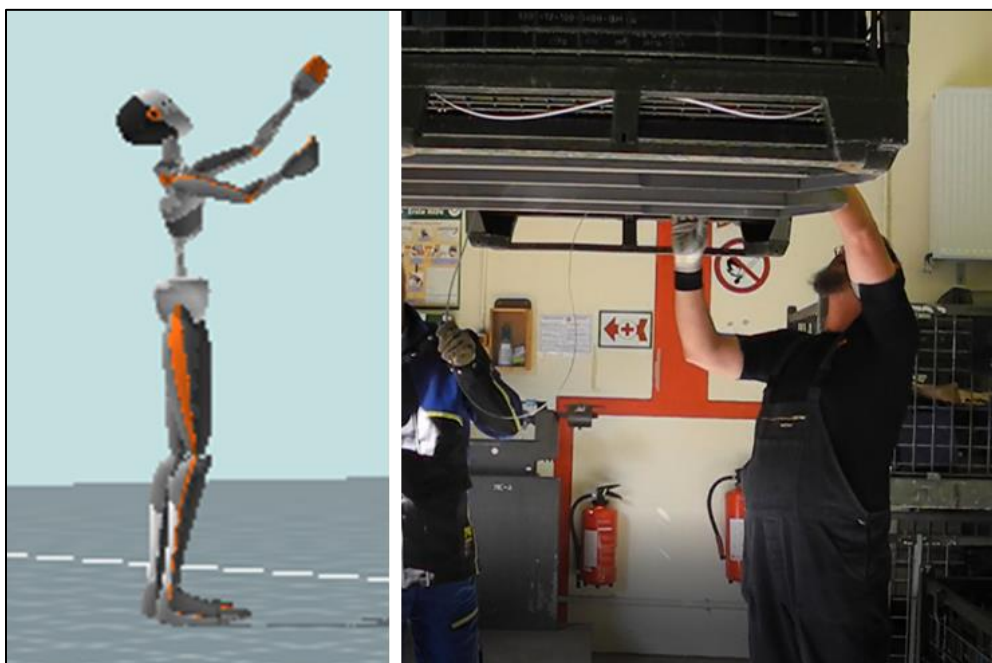


Abbildung 2: Aufnahme von Überkopfarbeit mit dem IMU-System –
links: Darstellung in der Software; rechts: live-Aufnahme der Tätigkeit

3. Ergebnisse

Es konnte festgestellt werden, dass bei den getesteten Exoskeletten keine erheblichen Probleme bei der Kombination mit dem Bewegungsanalyse-System auftreten. An manchen Stellen (z.B. Schultern), mussten die IMU-Sensoren jedoch zusätzlich mit Kinesio-Tape fixiert werden, um nicht durch die Bewegung des Exoskeletts abgerissen zu werden. An anderen Stellen wie den Oberarmen bei dem Paexo-Exoskelett oder

den Beinen bei dem Laevo-Exoskelett musste die Platzierung der Sensoren teilweise leicht angepasst werden. Dies stellt jedoch bei geringer Verschiebung kein Problem dar, solange das System nach der Verschiebung der Sensoren kalibriert wird.

Im Gegensatz zu kamerabasierten Systemen ist es bei diesem Konzept kein Problem, wenn Sensoren von dem Exoskelett verdeckt werden. So liegt z.B. der Sacrum-Sensor bei beiden Exoskeletten unter dem Hüftgürt.

Mit den aufgenommenen Daten, können Bewegungsabläufe genau betrachtet und zwischen den Bedingungen ‚mit Exoskelett‘ und ‚ohne Exoskelett‘ verglichen werden. Dabei sind vor allem die Range of Motion (RoM) und Gelenkwinkelverläufe ein wichtiger Hinweis auf durch das Exoskelett modifizierte Bewegungsmuster. Weiterhin können biomechanische Modelle wie ‚Anybody‘ oder ‚OpenSim‘ angetrieben werden, um innerer Kräfte zu berechnen. Es besteht auch die Möglichkeit Bewegungsmuster oder Bewegungsbereiche im Laborumfeld, wo genauere Messungen möglich sind, praxisnah nachzustellen.

4. Fazit

Das vorgestellte Versuchskonzept wurde mit einem Probanden und zwei unterschiedlichen Exoskeletten, Paexo (repräsentativ für Exoskelette für Überkopfarbeiten) und Laevo (repräsentativ für für Exoskelette für den Rücken-Bereich) getestet. Es konnten noch keine statistisch verwendbaren Daten erhoben werden, jedoch konnten diese ersten explorativen Messungen mit dem Versuchskonzept valide Daten liefern. Dies dient als Grundlage für weitere Untersuchungen mit einer größeren Anzahl an Probanden oder als Basis für eine Langzeitstudie, welche untersucht, wie die langfristige Nutzung von Exoskeletten auf Bewegungsmuster wirkt.

5. Literaturverzeichnis

- Andersen, L. L., Fallentin, N., Ajslev, J. Z. N., Jakobsen, M. D. & Sundstrup, E. (2017). Association between occupational lifting and day-to-day change in low-back pain intensity based on company records and text messages. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 43 (1), 68-74.
- Armfield, D. R., Stickle, R. L., Robertson, D. D., Towers, J. D. & Debski, R. E. (2003). Biomechanical basis of common shoulder problems. *Seminars in musculoskeletal radiology*, 7 (1), 5-18.
- Da Costa, B. R. & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American journal of industrial medicine*, 53 (3), 285-323.
- Hensel, R. & Keil, M. (2018). Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72 (4), 252-263.
- Heydari, H., Hoviattalab, M., Azghani, M. R., Ramezanzadehkoldeh, M. & Parnianpour, M. (2013). Investigation on a developed wearable assistive device (WAD) in reduction lumbar muscles activity. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 25 (03), 1350035.
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B. & Rashedi, E. (2018). 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. *Applied ergonomics*, 70, 323-330.
- Looze, M. P. de, Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S. & O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59 (5), 671-681.
- Van der Molen, H. F., Foresti, C., Daams, J. G., Frings-Dresen, M. H. W. & Kuijjer, P. P. F. M. (2017). Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and environmental medicine*, 74 (10), 745-755.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

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 Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband 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

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de