



Exoskelette im Betrieb: Wirkung und Nebenwirkung

Benjamin Steinhilber

09. Mai 2019



**Ich erkläre hiermit, dass keine
Interessenkonflikte bestehen**

Benjamin Steinhilber



Gliederung

Einleitung

Stand der Wissenschaft

- *Muskelskelett-System*
- *Arbeitssicherheit*
- *Akzeptanz*
- *Produktivität*

Ausblick



“An exoskeleton can be defined as a wearable, external mechanical structure that enhances the power of a person.”
[De Looze et al. 2016]

Aktive Exoskelette

- Elektroantrieb
- Pneumatischer Antrieb
- ...

Passive Exoskelette

- Federelemente
- Stützelemente
- ...



Potentieller Nutzen von Exoskeletten

- Reduktion physischer Arbeitsbelastung
- Verringerung muskuloskelettaler Beschwerden
- Vermeidung von Muskel-Skelett-Erkrankungen
- Erhöhung der Einsatzmöglichkeiten leistungsgewandelter Mitarbeiter
- Möglichkeit leistungsgewandelte Mitarbeit im Arbeitsmarkt zu halten
- ...
- ...

Quellen:

www.newsroom.hermesworld.com, www.mint-zirkel.de,
www.levitatetech.com, www.noonee.com, www.ottobock.com



Belastungsreduktion und -umverteilung



 Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Ergonomics

ISSN: 0014-0139 (Print) 1366-5847 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/terg20>

Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load

Michiel P. de Looze, Tim Bosch, Frank Krause, Konrad S. Stadler & Leonard W. O'Sullivan

40 Artikel eingeschlossen

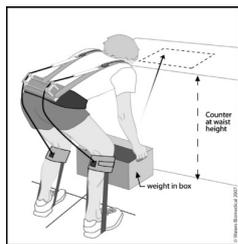
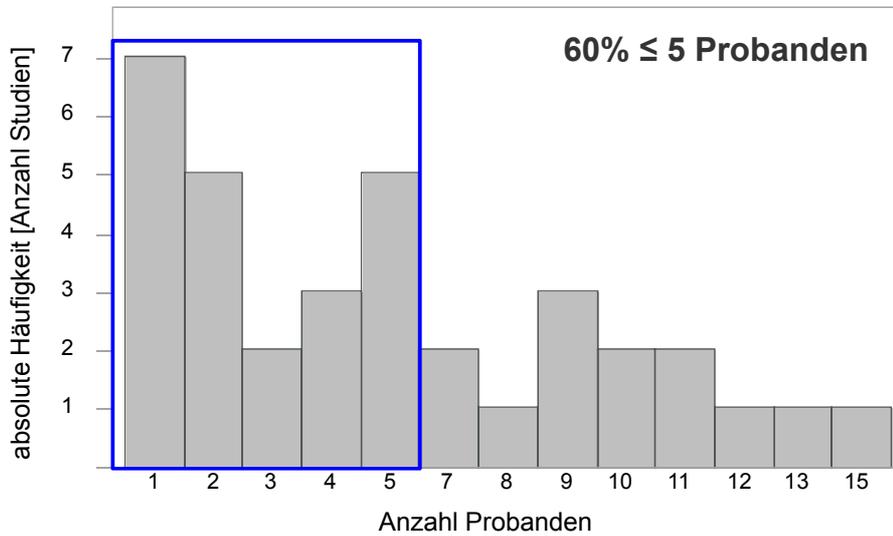
- 26 verschiedene Exoskelette (19 aktive, 7 passive Systeme)

Effekte auf physische Belastung?

- für 13 Exoskelette (35 Studien) wurde die physische Belastung untersucht.
→ Oberflächen-Elektromyographie (Muskelaktivität)



35 Studien mit sehr kleinen Stichproben



Bestenfalls „Proof of Concept“

Effect on muscle activation

Erector Spinae T9 AMP ▼ 14.4%

Belastungsreduktion
in der Zielregion

Erector Spinae T9 contralat. AMP ▼ 15.9%

Erector Spinae L4 contralat. AMP ▼ 22.6%

Erector Spinae T9 ipsilat. AMP ▼ 24.4%

Erector Spinae L4 ipsilat. AMP ▼ 23.9%

Erector Spinae T9 AMP ▼ 11–43%

Erector Spinae L4 AMP ▼ 10–40%

Effect of on biomechanical parameters

Lumbar flexion and pelvis flexion NS

Flexion
L4/L5
▼ 8–9%

Moment L4/L5 ▼ 22–26%

Lateral bending moment L4/L5 ▼ 30%

Rotational moment L4/L5 ▼ 24%

Flexion/extension moment L4/L5 ▼ 19.5%

Moment L4/L5 ▼ 17–19%

Other effects

Hinweise auf
Belastungsumverteilung
→ nicht/kaum weiter untersucht!

All subjects felt supported in down and up phase, 10% of all subjects complained about shoulder discomfort and 40% about knee discomfort when wearing PLAD



Applied Ergonomics 67 (2018) 211–217

Contents lists available at ScienceDirect

Applied Ergonomics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apergo

Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks

Jean Theurel*, Kevin Desbrosses, Terence Roux, Adriana Savescu

Working Life Department, National Research and Safety Institute, 54 500 Vandœuvre les Nancy, France




Probanden: 8 Personen (4 Frauen + 4 Männer, Altersdurchschnitt 32 Jahre)

- ohne Beschwerden
- Erfahrung in manuellen Tätigkeiten bei der Kisten bewegt werden

3 experimentelle Aufgaben

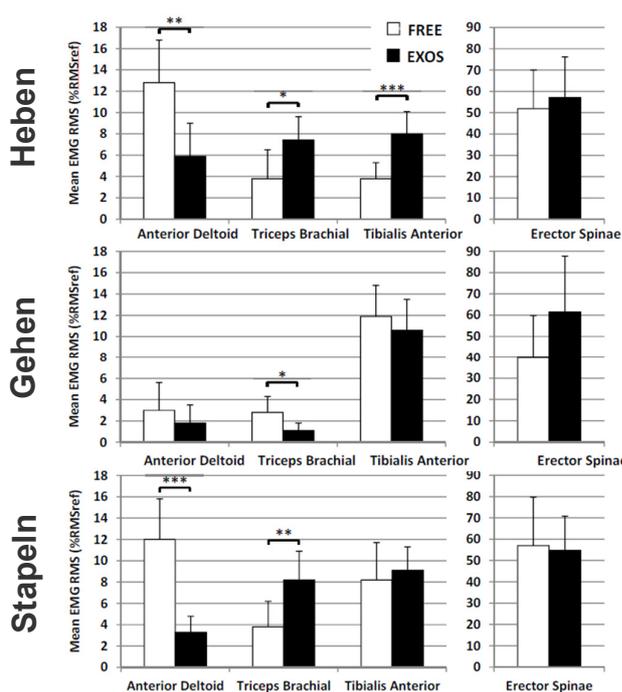
- A) Kisten heben B) Gehen mit Kiste C) Kisten stapeln

Oberflächen-Elektromyographie

- M. deltoideus anterior M. ticeps brachii
M. erector spinae M. tibialis anterior



Muskelaktivität



- Belastungsreduktion in Zielregion
- Lastumverteilung auf andere Körperregionen
- Abhängig von der Tätigkeit



Einleitung

Muskelskelett-System

Arbeitssicherheit

Nutzerakzeptanz

Produktivität

Applied Ergonomics 68 (2018) 101–108

Contents lists available at ScienceDirect

Applied Ergonomics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apergo

ELSEVIER

Biomechanical evaluation of exoskeleton use on loading of the lumbar spine

Eric B. Weston^{a,b,*}, Mina Alizadeh^{a,b}, Gregory G. Knapik^{a,b}, Xueke Wang^b, William S. Marras^{a,b}

^a Spine Research Institute, The Ohio State University, Columbus, OH, United States
^b Department of Integrated Systems Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH, United States

Check for updates



12 Studenten (25 Jahre) ohne Beschwerden

Experimentelle Aufgaben

- 2 Werkzeuge (~ 4,5 kg + ~ 13,5 kg)
- 2 Körperhaltungen



Einleitung

Muskelskelett-System

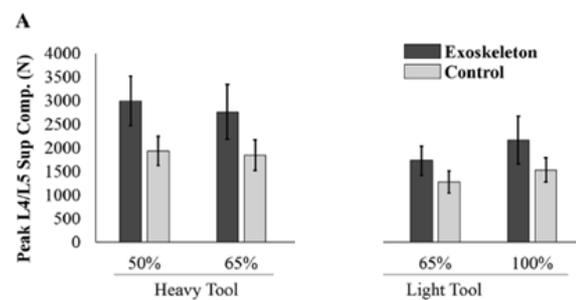
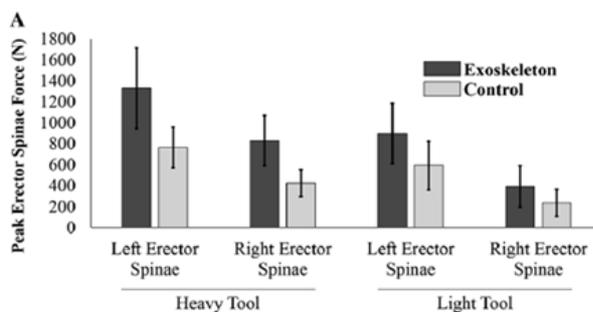
Arbeitssicherheit

Nutzerakzeptanz

Produktivität

Kraftaufwand des M. erector spinae

Kompression der Wirbelkörper L4/L5

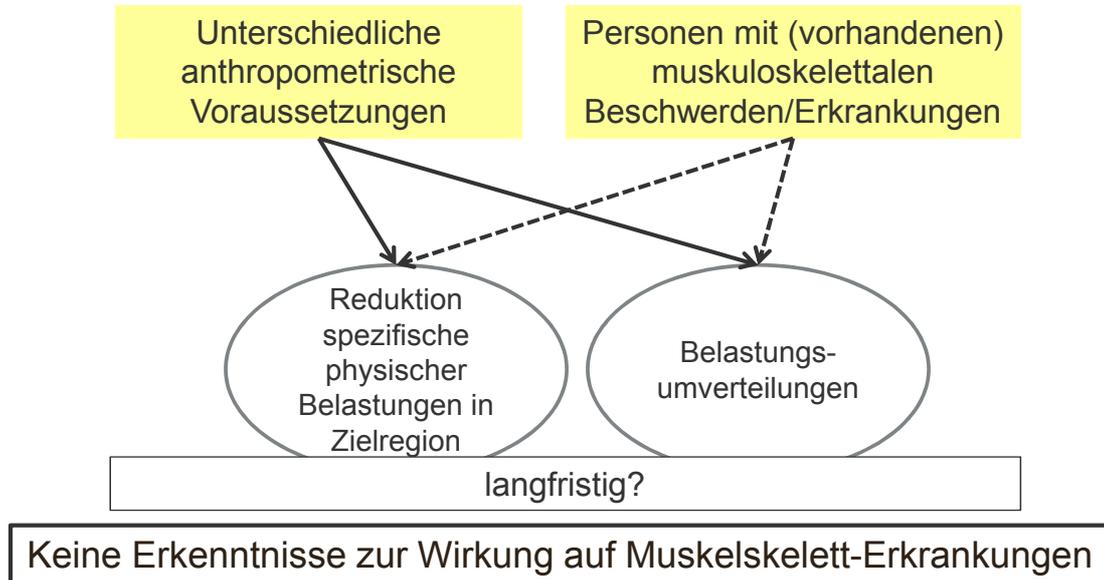


Unterschiede mit vs. ohne EXO waren statistisch signifikant ($p < 0,05$)

Erhöhte Belastungen der Wirbelsäule durch Nutzung des Exoskeletts



Zwischenfazit



Potentieller Nutzen von Exoskeletten

- Reduktion physischer Arbeitsbelastung
- Verringerung muskuloskelettaler Beschwerden
- Vermeidung von Muskel-Skelett-Erkrankungen
- Erhöhung der Einsatzmöglichkeiten leistungsgewandelter Mitarbeiter
- Möglichkeit leistungsgewandelte Mitarbeit im Arbeitsmarkt zu halten
- *Die körperliche Entlastung durch das Exoskelett kann zu einer Reduktion von Unfällen beitragen*
- Erhöhter Arbeitskomfort
- Produktivitäts- und Qualitätssteigerung

Quellen:

www.newsroom.hermesworld.com, www.mint-zirkel.de, www.levitatetech.com, www.noonee.com, www.ottobock.com

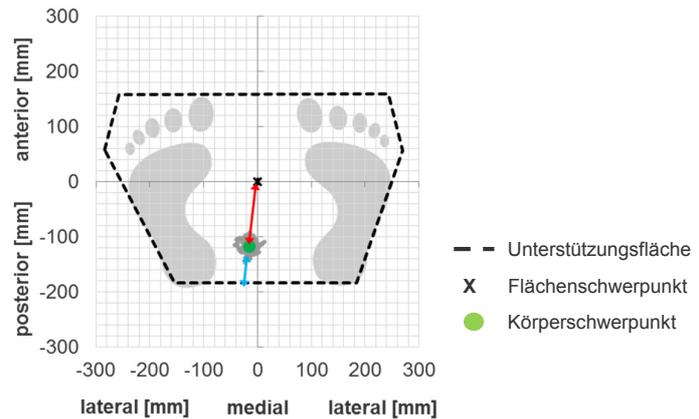
Arbeitssicherheit

- kaum Studien



Sturzrisiko bei Montagetätigkeiten durch Tragen des Chairless Chairs?

→ Ermittlung der relativen Standstabilität



Experimente I: Montagetätigkeit

45 männliche Probanden, Alter 25 Jahre

Aufgabe: Schrauben (A), Klipsen (B), Kabelstecken (C)

Exoskelettbedingung:

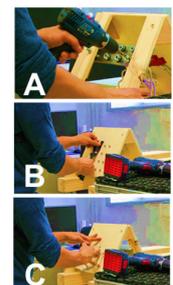
SITZ_{tief}, SITZ_{hoch}, STEHEN



SITZ_{tief}

SITZ_{hoch}

STEHEN

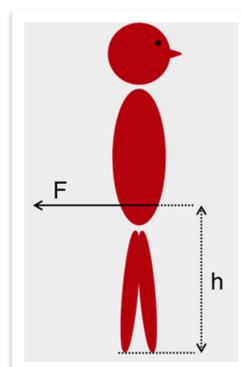


Experimente II: Kippmoment

8 Probanden

Exoskelettbedingung:

SITZ_{tief}, SITZ_{hoch}, STEHEN





Experimente I: Montagetätigkeit

45 männliche Probanden, Alter 25 Jahre

Aufgabe: Schrauben (A), Klipsen (B),

Kabelstecken (C)

Exoskelettbedingung:

SITZ_{tief}, SITZ_{hoch}, STEHEN

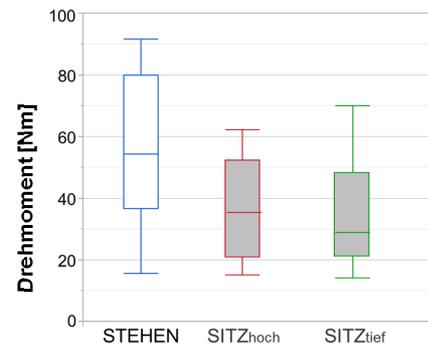
	Minimum SS_{REL}
● STEHEN	≈ 40%
● SITZ _{tief}	≈ 27%
● SITZ _{hoch}	≈ 25%

Experimente II: Kippmoment

8 Probanden

Exoskelettbedingung:

SITZ_{tief}, SITZ_{hoch}, STEHEN



- Bei ergonomischer Arbeitshaltung und ebenem, rutschfestem Untergrund scheint ausreichende Standsicherheit gegeben!
- **Vorsicht bei:** unebener Untergrund, unergonomischer Arbeitshaltung, möglichen externen Störungen



Schnittstellen

An den Mensch-Exoskelett-Schnittstellen kann es zu Diskomfort kommen

Anteil an Nebentätigkeiten

Wenn der Anteil an Tätigkeiten (Nebentätigkeiten) bei denen das Exoskelett als hinderlich empfunden wird, bzw. das Exoskelett keinen Nutzen hat hoch ist muss mit geringer Nutzerakzeptanz gerechnet werden



Produktivität/Qualität

Beschädigung von
Produkten ist möglich

Bearbeitungsdauer
Zunahme ca. 30%

Verlängerung der Haltedauer
bei statischer Muskelarbeit

[Constantinescu et al. 2016]

[Theurel et al. 2018]

[Liu et al. 2018]



Zusammenfassung

Muskelskelett-System

- Belastungsreduktion in Zielregion
- Belastungsumverteilung auf andere Körperregionen
- Quantität und Bedeutung unklar

Arbeitsunfälle

- Evtl. erhöhtes Sturzrisiko für einzelne Exoskelette in Abhängigkeit der Einsatzgebiete
- Kaum untersucht

Produktivität

- Teilweise eingeschränkt
- Teilweise erhöht
- Viele Aspekte bislang nicht untersucht

Nutzerakzeptanz

- Diskomfort an den Mensch-Exoskelett Schnittstellen
- Anteil an Nebentätigkeiten
- Optimierungspotential vorhanden

- Abhängig von Tätigkeit
- Abhängig von individuellen Voraussetzungen des Nutzers
- Abhängig vom Exoskelett (Modell)



Fazit

Potentieller Nutzen von Exoskeletten

• Reduktion physischer Arbeitsbelastung	→ Ja, teilweise! evtl. auch nur Verlagerung
• Vermeidung von Muskel-Skelett-Beschwerden/ Erkrankungen	→ unklar
• Erhöhung der Einsatzmöglichkeiten leistungsgewandelter Mitarbeiter	→ unklar
• Möglichkeit leistungsgewandelte Mitarbeit im Arbeitsmarkt zu halten	→ unklar
• Die körperliche Entlastung durch das Exoskelett kann zu einer Reduktion von Unfällen beitragen	→ unklar
• Erhöhter Arbeitskomfort	→ unklar
• Produktivitäts- und Qualitätssteigerung	→ unklar

- Hoher Forschungsbedarf
- Beratung/Lenkung

➡ Forschungsprojekte am IASV
➡ AWMF Leitlinie



Gliederung

Einleitung

Stand der Wissenschaft

- Muskelskelett-System
- *Arbeitssicherheit*
- *Akzeptanz*
- *Produktivität*

Ausblick



AWMF Leitlinie - Exoskelette

Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär- und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden

Niveau S2k



Ziele und Adressaten der Leitlinie

- Potentiale und Grenzen von derzeitigen Exoskeletten im betrieblichen Setting aufzuzeigen
- *Arbeitsmediziner, *Ergonomieexperten, *Arbeitssicherheitsingenieure, Arbeitsplaner, Betriebsleiter, Arbeitgeber und Anwender
 - Unterstützung bei Auswahl passender Produkte.
 - Unterstützung bei Entscheidungsfindung, ob die Anwendung eines Exoskelett sinnvoll ist oder nicht.
- *Arbeitsmediziner, Ergonomieexperten, Arbeitssicherheitsingenieure dazu befähigen Betriebe/Arbeitgeber und Anwender hinsichtlich des Einsatzes von Exoskeletten zu beraten.

Im Bereich der Primär-, Sekundär- und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten Muskelskelett-Beschwerden



Beteiligte Fachgesellschaften / Beratende Institutionen

Beteiligte Fachgesellschaften	
DGAUM	<i>Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.</i>
GfA	<i>Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.</i>
DGN	<i>Deutsche Gesellschaft für Neurologie e.V.</i>
DGOOC	<i>Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie e.V.</i>
DGOU	<i>Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie</i>
DGRW	<i>Deutsche Gesellschaft für Rehabilitationswissenschaften e.V.</i>
DGSMP	<i>Deutsche Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention</i>
DGSS	<i>Deutsche Schmerzgesellschaft e.V.</i>
Beratende Institutionen	
BGHM	<i>Berufsgenossenschaft Holz und Metall</i>
BGHW	<i>Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik</i>
BG Verkehr	<i>Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation</i>
DGUV	<i>Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.</i>
BAuA	<i>Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin</i>
EFL-Akademie	<i>Evaluation der funktionellen Leistungsfähigkeit</i>



Herausforderungen bei dieser Leitlinie

Wissenschaftliche Literatur

- Viele Studien mit geringem Probandenkollektiv
- Viele „proof of concept“ Studien
- Keine randomisierten-kontrollierten Längsschnittstudien

➔ Keine wissenschaftliche Evidenz

➔ Schnelle Weiterentwicklung / Optimierung der Produkte

➔ Einige Forschungsprojekte in Bearbeitung

➔ Viele Praxistests in Betrieben

➔ **Geplant frühzeitige Aktualisierung der Leitlinie**

Begleitung durch Akteure des praktischen Arbeitsschutzes, insbesondere Betriebsärzte



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Benjamin.steinhilber@med.uni-tuebingen.de