



DGUV

Fachbereich Handel und Logistik

Berufsgenossenschaft

Handel und Warenlogistik

Einsatz von Exoskeletten in Arbeitssystemen: Stand der Technik – Entwicklungen – Erfahrungen

Ralf Schick

Dipl.-Ing. (FH) Produktionstechnik

Leiter Sachgebiet Physische Belastungen

Dezernat Einwirkungen – Prävention – Mannheim

Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW)

135. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium
am 08.05.2018 im Institut ASER, Wuppertal-Vohwinkel

Gliederung

- Einleitung: Historie
- Anwendungsbereiche von Exoskeletten
- Definition: Was sind Exoskelette?
- Potentieller Nutzen der Exoskelette
- Bauarten und Eigenschaften von Exoskeletten
- Einsatzmöglichkeiten an gewerblichen Arbeitsplätzen
- Sicherheitstechnische Anforderungen
- Beurteilung der Gefährdungen
- Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte
- Anforderungen zur Erhöhung der Akzeptanz
- Forschungsprojekt Exo@work

Einleitung: Historie

- Der Hardiman
- Entwickelt von General Electric
- Zwischen 1965 und 1971
- Heben und Tragen von Lasten

Quelle: <https://i2.wp.com/www.cjmoseley.co.uk/wp/wp-content/uploads/2014/12/hardiman-ge.jpg>



Anwendungsbereiche von Exoskeletten



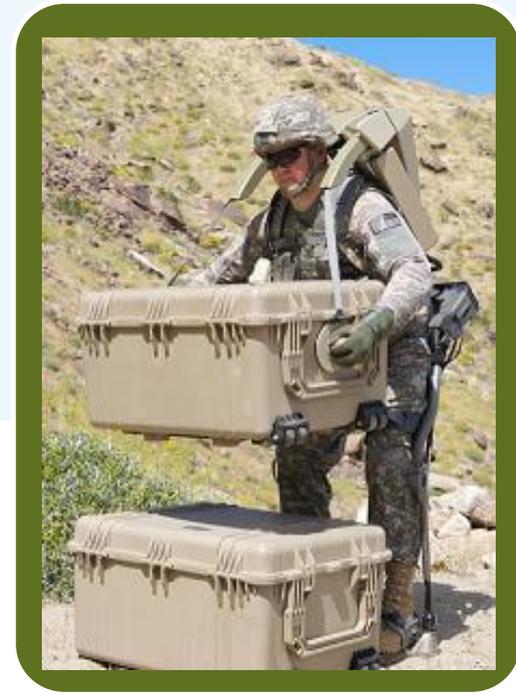
Quelle: <http://www.medicalexpo.fr/prod/rewalk-robotics/product-80949-510901.html>

Med. Rehabilitation
z.B. ReWalk™



Quelle: <https://www.germanbionic.com/news-press/>

Gewerbliche
Arbeitsplätze



Quelle: <http://singularityhub.com/wp-content/uploads/2010/07/hulc-field-tests.jpg>

Militärischer Bereich
z.B. HULC™

Definition: Was sind Exoskelette?

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken.

Mit Exoskeletten werden folgende Wirkungen angestrebt:

- Ausführbarkeit von Körperbewegungen und -haltungen
- Schädigungslosigkeit bei Körperbewegungen und -haltungen
- Beeinträchtigungsfreiheit bei Körperbewegungen und -haltungen

Potentieller Nutzen durch Exoskelette

- Senkung physischer Belastungen am Arbeitsplatz
- Verringerung muskuloskelettaler Beschwerden
- Reduktion der Fehlzeiten
- Erhöhter Arbeitskomfort
- Steigerung der Produktivität und Qualität
- Erhöhung der Einsatzmöglichkeiten leistungsgewandelter Menschen

Quelle: <http://www.levitatetech.com/> und <https://www.noonee.com/>

Bauarten und Eigenschaften von Exoskeletten

Bauart	A) Passive Exoskelette	B) Aktive Exoskelette	
Eigenschaften	passive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Bewegungen	aktive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Lastenhandhabungen	aktive (Voll-) Unterstützung der Körpersegmente bei Haltung und Bewegung inkl. Lastenhandhabungen
Unterstützte Körperregion	Beine / Rumpf / Arme / Kombinationen / Ganzkörper	Beine / Rumpf / Arme / Kombinationen	Beine / Rumpf / Arme / Kombinationen / Ganzkörper
Funktionsweise	mech. Feder / Gasdruckfeder / ggfs. max. Beugewinkelbegrenzung (Stützfunktion), ggfs. Funktion schaltbar (An / Aus)	elektrischer / pneumatischer Antrieb mit einfacher Regelungsfunktion, Stärke der Unterstützung einstellbar	elektrischer / pneumatischer Antrieb mit komplexer Regelungs-/Steuerungsfunktion (Bewegungsprogramme, neurophysiologische Sensorik)
Energiezufuhr	keine – Speicherung von Energie beim Beugen vorzugsweise durch die Schwerkraft und teilweise Rückgewinnung beim Aufrichten entgegen der Schwerkraft	Akku / Druckluft / Stromnetz	Akku / Druckluft / Stromnetz

Quelle: Fachbereich-Information FBHL-006, <http://www.dguv.de/medien/fb-handelundlogistik/pdf-dokumente/exoskelette.pdf>

Passive Exoskelette

Beispiel: Laevo

- Oberkörper-Exoskelett
- Unterstützt den unteren Rücken
- beim Heben von Lasten
- und bei der Rumpfvorneigung

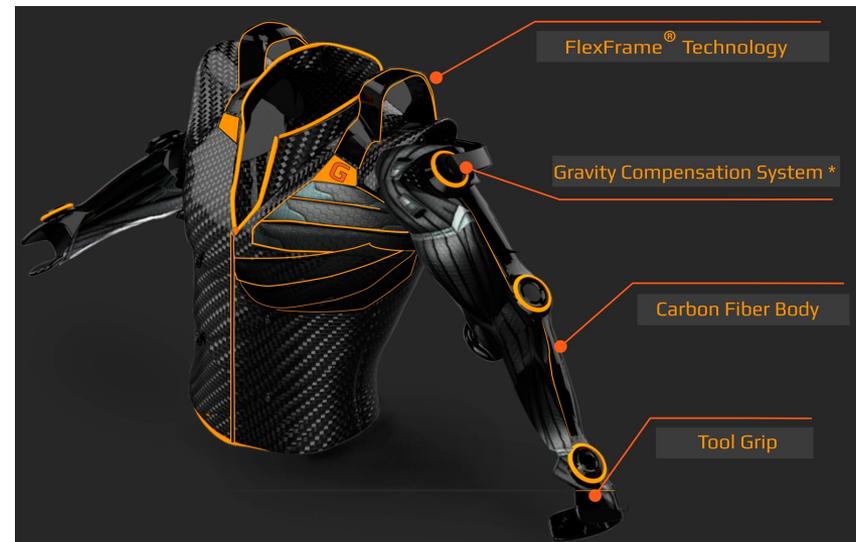


Quelle: <http://www.laevo.nl/>

Passive Exoskelette

Beispiel: SkelEx

- Oberkörper-Exoskelett
- Unterstützt Arme und Schulter
- bei Arbeiten über Schulterhöhe

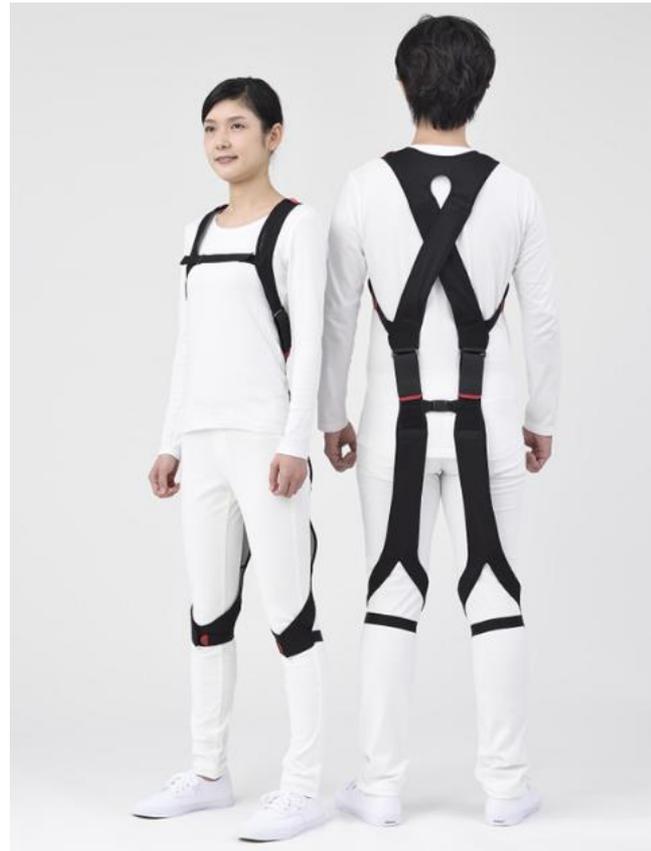


Quelle: <http://www.skel-ex.com//>

Passive Exoskelette

Beispiel: Rakunie

- Oberkörper-Exoskelett
- Soft/Gurt-System
- Unterstützt den unteren Rücken
- beim Heben von Lasten
- und bei der Rumpfvorneigung



Quelle: <https://shop.n-ippin.com/rakunie-ruecken-protect-system//>

Passive Exoskelette

Beispiel: Chairless Chair®

- Bein-Exoskelett
- Unterstützung der Beine
- bei Arbeiten im Stehen

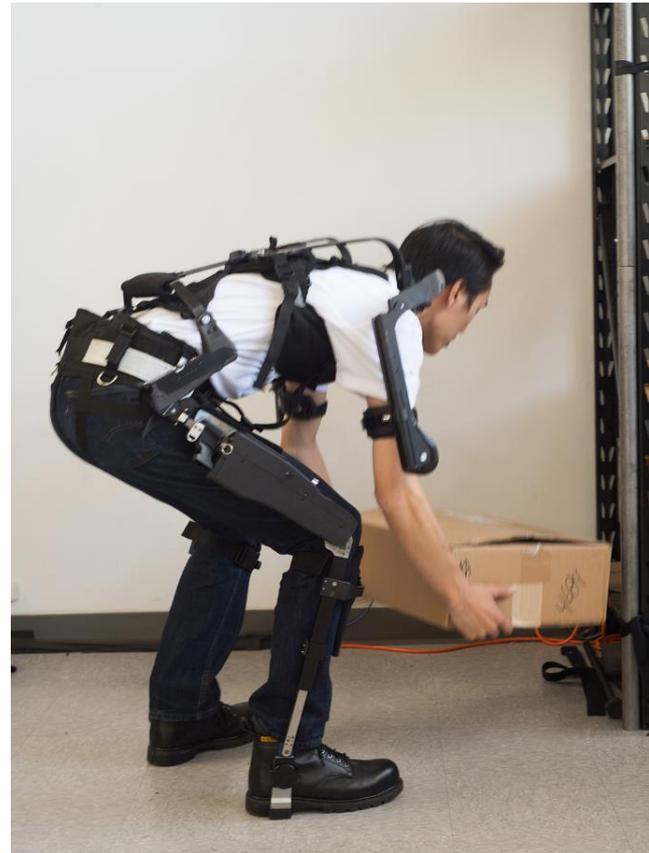


Quelle: <https://www.noonee.com/>

Passive Exoskelette

Beispiel: SUITX MAX

- Ganzkörper-Exoskelett
- Unterstützung oberer und unterer Extremitäten
- beim Heben von Lasten
- bei Arbeiten über Schulterhöhe
- und bei der Rumpfvorneigung



Quelle: <http://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton>

Passive Exoskelette

Beispiel: FORTIS Exoskeletton

- Ganzkörper-Exoskelett
- Unterstützung oberer und unterer Extremitäten
- beim Heben und Halten von schweren Werkzeugen
- bei Arbeiten über Schulterhöhe



Quelle: <http://www.lockheedmartin.com/us.products/exoskeleton.html>

Aktive Exoskelette

Beispiel: German Bionic Cray X

- Oberkörper Exoskelett
- Unterstützt den unteren Rücken
- beim Heben von Lasten
- und bei der Rumpfvorneigung



Quelle: <https://www.germanbionic.de/produkt/>

Aktive Exoskelette

Beispiel: Exo Jacket

- Oberkörper-Exoskelett
- Unterstützt Arme und Schulter
- bei Arbeiten über Schulterhöhe



Quelle: <https://www.ipa.fraunhofer.de> Fotos: Ludmilla Parsyak © Fraunhofer IPA

Aktive Exoskelette

Beispiel: HAL-Lumbar

- Lendenwirbelsäule-Exoskelett
- Unterstützt den unteren Rücken
- beim Heben von Lasten
- und bei der Rumpfvorneigung



Quelle: <http://www.ccr-deutschland.de/healthcare/>

Aktive Exoskelette

Beispiel: HAL-Roboteranzug

- Ganzkörper-Exoskelett
- Unterstützung oberer und unterer Extremitäten
- beim Heben von Lasten



Quelle: <https://www.cyberdyne.jp/english/products/HAL/>

Einsatzmöglichkeiten an gewerblichen Arbeitsplätzen

- Grundsätzlich sind Arbeitsplätze immer unter Berücksichtigung aller ergonomischen Aspekte menschengerecht zu gestalten.
- Zunächst sind alle technischen und organisatorischen Maßnahmen auszuschöpfen.
 - Das **TOP**-Prinzip leitet sich aus §4 Arbeitsschutzgesetz (ArbschG) ab.
 - ✓ Technische Maßnahmen
 - ✓ Organisatorische Maßnahmen
 - ✓ Persönliche Maßnahmen

Einsatzmöglichkeiten an gewerblichen Arbeitsplätzen

- Exoskelette sind dort sinnvoll, wo schwere Lasten manuell bewegt werden oder Tätigkeiten in Zwangshaltungen durchgeführt.
 - Technische Hilfsmittel, wie Gabelstapler, Kran, Vakuumheber etc., nicht zum Einsatz kommen können.
 - Bei nicht stationären Arbeitsplätzen ist dies oft der Fall, z. B.:
 - bei der Möbelauslieferung,
 - im Rettungsdienst, etc.,
 - An stationären Arbeitsplätzen bei Arbeiten in Zwangshaltungen, z. B.:
 - bei zahnärztlichen Operationen

Einsatzmöglichkeiten an gewerblichen Arbeitsplätzen

- Auf Grund der bestimmungsgemäßen Verwendung:
 - Persönliche Schutzausrüstung (PSA),
 - Im Rahmen von Präventionsmaßnahmen nach dem TOP-Prinzip.
 - Medizinisches Hilfsmittel,
 - Inklusion
 - betriebliche Wiedereingliederung (BEM)
 - Technische Hilfsmittel
 - Erhöhung des Arbeitskomforts
 - Produktivitätssteigerung

Sicherheitstechnische Anforderungen

- Auf Grund der bestimmungsgemäßen Verwendung:

Persönliche Schutzausrüstung

Richtlinie 89/686/EWG
wird bis 2019 ersetzt durch
PSA-Verordnung 2016/525

Technisches Hilfsmittel

Maschinenrichtlinie RL
2006/42/EG (Anhang 1)
Produktsicherheitsgesetz

Medizinisches Hilfsmittel

(z.B. bei beruflicher
Wiedereingliederung)
Medizinproduktegesetz



Schutzziele

Sicherheitstechnische Anforderungen

- **Problem:** Keine Produktnorm für Exoskelette
- **Lösung:** An existierenden Normanforderungen orientieren, z. B. :
 - DIN EN ISO 13482:2014-11 „Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter“,
 - DIN EN ISO 10218-1 „Industrieroboter“ oder
 - DIN ISO/TS 15066:2017-04; DIN SPEC 5306:2017-04 „Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter“
 - Normen müssen weiter konkretisiert werden.
 - Begrifflichkeiten müssen vereinheitlicht werden.
 - Neue Produktnorm für passive Exoskelette.

Beurteilung der Gefährdungen

- Die Beurteilung der Gefährdungen am Arbeitsplatz leitet sich aus §5 Arbeitsschutzgesetz (ArbschG) ab.
- Der Arbeitgeber hat die Aufgabe alle Gefährdungen der **Sicherheit** und **Gesundheit** der Beschäftigten, die durch die Nutzung von Exoskeletten auftreten können:
 - zu ermitteln,
 - zu beurteilen und
 - ggf. Präventionsmaßnahmen abzuleiten und umzusetzen.

Frage: Welche Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten können auftreten?

Frage: In welchem Umfang wird die Beanspruchung reduziert?

Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte

- **Gefährdungen der Arbeitssicherheit:**
 - durch Fehlfunktionen und Störungen,
 - durch fehlende Sicherheitsstandards,
 - durch Einsatz an ungeeigneten Arbeitsplätzen (Kollisionsgefahr),
 - durch Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle,
 - durch Notfälle am Arbeitsplatz (z. B. im Brandfall),
 - ...

Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte

- **Gefährdungen der Gesundheit:**

- durch Erhöhung der Belastung (z. B. höhere Lastgewichte),
- durch Verlagerung der Belastung (Lastumverteilung),
- durch Verlagerung der Muskelaktivität,
- durch Reduzierung der Rückenmuskelaktivität,
- durch Druckstellen (Verletzungen der Haut),
- durch Durchblutungsstörungen (z. B. bei Überkopfarbeiten)
- durch psychische Belastung,
- ...
- Langzeitauswirkungen durch die Nutzung bisher unbekannt.

Anforderungen zur Erhöhung der Akzeptanz

- Ergonomische und benutzerfreundliche Gestaltung
 - Hoher Tragekomfort
 - ✓ Geringes Eigengewicht
 - ✓ Individuell einstellbar
 - Einfache Handhabung
 - ✓ geringer Aufwand beim An- und Ablegen
- Störungsfreie Funktion
- Wetter- und Umgebungstauglich
- Nebentätigkeiten sollten nicht erschwert werden
- Arbeitsgeschwindigkeit sollte sich nicht verringern

Forschungsprojekt Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt

Gründe für das Projekt:

- Keine gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zur
 - Wirksamkeit sowie
 - möglichen Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit und
 - Langzeitfolgen durch die Nutzung von Exoskeletten vorhanden.
- Keine Verfahren zur Bewertung von Exoskeletten am Arbeitsplatz
- Keine Handlungshilfen für die Nutzung von Exoskeletten in der Praxis

Forschungsprojekt Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt

Arbeitspakete:

- Literatur- und Marktstudie
- Ermittlung der Beanspruchungsreduktion (Labor- u. Feldstudie)
- Ermittlung der Einflussfaktoren hinsichtlich der Akzeptanz
- Ermittlung der möglichen Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit
- Ergebnisdarstellung mit Ableitung von Bewertungskriterien und Handlungsempfehlungen

Laufzeit: 36 Monate

Projektstart: Juli 2018

Forschungsprojekt Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt

Untersuchungsgegenstand	Methoden	Typische Parameter bzw. Eigenschaften
Bewegung	3D-Kinemetrie (optische Messverfahren oder per Inertialsensorik)	typische Bewegungsmuster in der Ausgangssituation ohne Unterstützung (Geschwindigkeit, Beschleunigung), Vergleich von Bewegungsmustern zwischen der unterstützten und nicht unterstützten Situation
muskuläre Aktivität	Elektromyographie	Muskelaktivität in verschiedenen Frequenzbereichen, Muskelaktivität bei Untersuchungsbewegungen in Prozent maximaler Muskelaktivität (% MVC)
Herz-Kreislauf-Aktivität	Spiroergometrie, Herzfrequenzmessung	Herz-Kreislauf Beanspruchung, mittlere und maximale Herzfrequenz, Atemgaszusammensetzung, kardiopulmonale Leistungsfähigkeit
Weichteilgewebe	Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ärztliche Untersuchungen (Hautreaktion), qualitative Befragungen/Interviews	Sauerstoffsättigung des Blutes, Ableitung des Durchblutungszustandes der unterliegenden Muskulatur
Kraft- und Drehmomentverläufe	Dynamometrie	Bodenreaktionskräfte, Gleichgewichtsveränderungen, Körperschwerpunktverschiebungen, Druckverteilungen
subjektive Wahrnehmung/motivationale Faktoren	qualitative Befragungen/ Interviews, quantitative Fragebögen, ethnografische Untersuchungen	Wahrnehmung der Unterstützung zur Ableitung der Akzeptanz und Usability, Analyse der Veränderungen muskuloskelettaler Beschwerden

Quelle:
 Dr. Weidner, LaFT,
 Helmut-Schmidt-Universität,
 Hamburg

Start > Presse / Mediencenter > Pressemitteilungen > Pressearchiv > 2017 > 2. Quartal

Exoskelette in der Arbeitswelt

Gesetzliche Unfallversicherung zu Chancen und Risiken

25.04.2017



Exoskelett zur Entlastung bei Überkopfarbeiten. (Foto: Ludmilla Parsyak © Fraunhofer IPA)

Ganz ohne Mühe schwere Kisten heben? Ohne Rückenschmerzen ein Bauteil über Kopf montieren? Was nach den Superkräften der X-Men klingt, könnte durch Exoskelette in Betrieben und an Fertigungsbändern bald Realität werden. Körpergetragene Hebehilfen, die Beine und Becken oder Schulter und Arme unterstützen, werden bereits entwickelt und erprobt. Welche Auswirkungen die neuen Helfer auf den Arbeitsschutz haben, untersuchen Fachleute von Berufsgenossenschaften und Unfallkassen.

"Exoskelette sind eine spannende Innovation, die aber noch Entwicklungsarbeit braucht", sagt Ralf Schick von der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik: "Nach unserer Einschätzung kommen sie dort infrage, wo andere technische Hilfsmittel wie Stapler oder Kran nicht verwendet werden können. Profitieren könnten zum Beispiel Beschäftigte in der Automobildemontage,

der Möbelauslieferung oder bei Arbeiten auf der Baustelle." Exoskelette entlasten durch die Kraftunterstützung das Muskel-Skelett-System ihrer Träger. Muskel-Skelett-Erkrankungen zählen zu den häufigsten Ursachen für Arbeitsunfähigkeit. Exoskelette könnten helfen, diese Ausfallzeiten zu mindern. Sie könnten Menschen

Pressekontakt

DGUV - Pressestelle
Glinkastraße 40
10117 Berlin

[✉ presse@dguv.de](mailto:presse@dguv.de)

Pressesprecher:
Gregor Doepke
Stefan Boltz
Tel.: 030 288763768

Pressereferentin:
Elke Biesel
Tel.: 030 288763767

[➔ Pressestelle](#)

Informiert bleiben



Sie wollen regelmäßig Pressemitteilungen der DGUV erhalten? Dann können Sie sie [➔ hier abonnieren](#).

- ▶ Pressestelle
- ▶ Medien abonnieren
- ▶ Pressemitteilungen
- ▶ Meldungen von der Startseite
- ▶ Bilddatenbank
- ▶ Video- und Audiocenter
- ▶ DGUV-Newsletter
- ▶ DGUV Kompakt
- ▶ Publikationen
- ▶ Fachzeitschriften
- ▶ Hintergrund
- ▶ Termine und Veranstaltungen

Link: <http://www.dguv.de/fbhl/sachgebiete/physische-belastungen/index.jsp>

Sachgebiete ▾

Prüf- und Zertifizierungsstelle ▾

FB-Informationen ▾

Ansprechpersonen ▾

Wir über u

▶ Bauliche Einrichtungen und Handel

▶ Fördern, Lagern, Logistik im Warenumschat

▶ **Physische Belastungen**

▶ Lastenhandhabung

▶ Zwangshaltungen

▶ Kraftanstrengung oder Krafteinwirkung

▶ Repetitive Tätigkeiten

▶ Gefährdungsbeurteilung

▶ **Maßnahmen zur Primärprävention**

▶ Hilfsmittel zur Handhabung von Lasten

▶ Arbeitsmedizinische Vorsorge

▶ Publikationen

▶ Weiterführende Informationen

Fachbereichs-Information

Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen

Ausgabe 02/2018

FBHL 006

1. Was sind Exoskelette und welche Bauarten werden unterschieden?

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken.

Mit Exoskeletten werden folgende Wirkungen angestrebt:

- Ausführbarkeit von Körperbewegungen und -haltungen
- Schädigungslosigkeit bei Körperbewegungen und -haltungen
- Beeinträchtigungsfreiheit bei Körperbewegungen und -haltungen

Der Einsatz von Exoskeletten kann (in Abhängigkeit der bestimmungsgemäßen Verwendung) geeignet sein für:

- Personen ohne gesundheitliche Risiken, Einschränkungen oder körperlichen Fähigkeitseinschränkungen des Bewegungsapparates
- Personen mit gesundheitlichen Risiken für den Bewegungsapparat
- Personen mit (vorübergehenden) gesundheitlichen Einschränkungen des Bewegungsapparates
- Personen mit (permanenten) körperlichen Fähigkeitseinschränkungen des Bewegungsapparates

Hinsichtlich ihrer Bauart kann in passive und aktive Exoskelette unterschieden werden (siehe Tabelle1). Beide Varianten sind auch als Hybrid umsetzbar. Bei Hybrid Systemen werden die Steuerimpulse mittels Elektromyographie (EMG) oder Gehirnströmen an das Exoskelett weitergeben.“

Während der medizinischen Rehabilitation unterstützen Exoskelette bewegungseingeschränkte Menschen. Auch in militärischen Bereichen werden solche Systeme intensiv erprobt, um die Wirkung körpereigener Kräfte zu erhöhen.

Der Einsatz von Exoskeletten an Arbeitsplätzen ist noch nicht sehr verbreitet. Tests von Prototypen im industriellen Kontext werden bereits immer mehr durchgeführt.

Nach dem aktuellen Kenntnisstand können Exoskelette aus Sicht des Arbeitsschutzes wie folgt eingeteilt werden:

Leiter des Sachgebiets

Ralf Schick
Tel.: +49 621 183 5943
✉ E-Mail

Gesetze

✉ Arbeitsschutzgesetz



DGUV

Fachbereich Handel und Logistik
Berufsgenossenschaft
Handel und Warenlogistik

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ralf Schick

Dipl.-Ing. (FH) Produktionstechnik

Leiter Sachgebiet Physische Belastungen

Dezernat Einwirkungen – Prävention – Mannheim

Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW)

135. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium
am 08.05.2018 im Institut ASER, Wuppertal-Vohwinkel