DGUV
Fachbereich Handel und Logistik
Berufsgenossenschaft
Handel und Warenlogistik

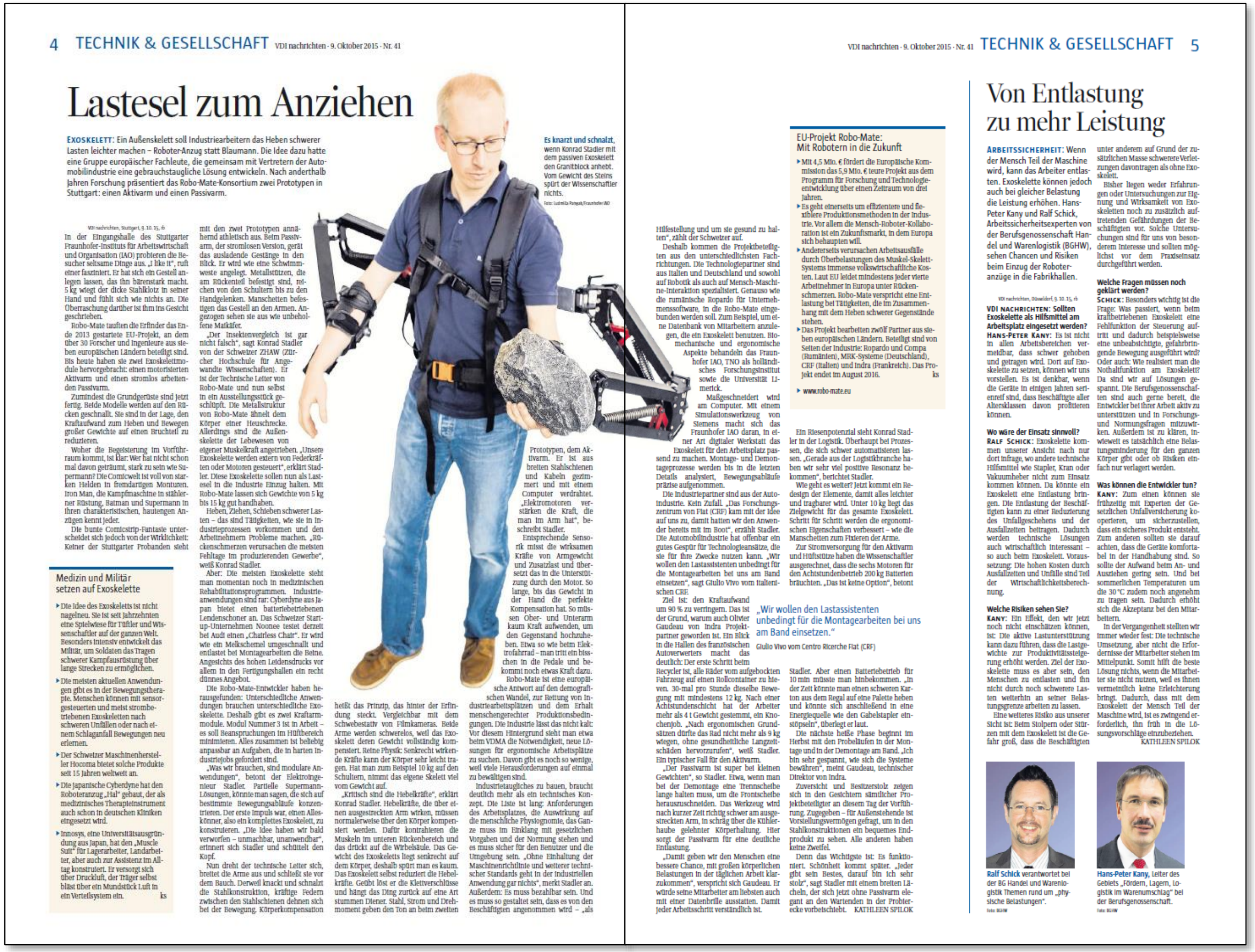
Exoskelette in der Arbeitswelt – Aktueller Kenntnistand

Dipl.-Ing. (FH) **Ralf Schick**
Sachgebiet Physische Belastung
Dezernat Einwirkungen – Prävention – Mannheim
Berufsgenossenschaft
Handel und Warenlogistik (BGHW)

LAK Bremen Herbstveranstaltung am 07.11.2024,
Handwerkskammer Bremen,
Ansgaritorstraße 24, 28195 Bremen

Exoskelette & Arbeitsschutz:

- Thema seit 2015 bei der DGUV im Sachgebiet Physische Belastung verortet
- und somit Ansprechpartner für alle Unfallversicherungsträger und deren Mitgliedsunternehmen
- Seit 2017 findet der Erfahrungs-austausch „Exoskelette in der Arbeitswelt“ in Mannheim statt
- Von 2018 bis 2021 wurde das Projekt „Exo@Work“ durchgeführt
- 2021 erfolgte Konstituierung des DIN NA 023-00-08 GA Exoskelette



4 TECHNIK & GESELLSCHAFT VDI nachrichten · 9. Oktober 2015 · Nr. 41

Lastesel zum Anziehen

EXOSKELETT: Ein Außenskelett soll Industriearbeitern das Heben schwerer Lasten leichter machen – Roboter-Anzug statt Blaumann. Die Idee dazu hatte eine Gruppe europäischer Fachleute, die gemeinsam mit Vertretern der Automobilindustrie eine gebrauchstaugliche Lösung entwickeln. Nach anderthalb Jahren Forschung präsentiert das Robo-Mate-Konsortium zwei Prototypen in Stuttgart: einen Aktivarm und einen Passivarm.

VDI nachrichten, Stuttgart, 9. 10. 15, rb

In der Eingangshalle des Stuttgarter Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) probieren die Besucher seltsame Dinge aus. „I like it“, ruft einer fasziniert. Er hat sich ein Gestell anlegen lassen, das ihn bärenstark macht. 5 kg wiegt der dicke Stahlklotz in seiner Hand und fühlt sich wie nichts an. Die Überraschung darüber ist ihm ins Gesicht geschrieben.

Robo-Mate tauften die Erfinder das Ende 2013 gestartete EU-Projekt, an dem über 30 Forscher und Ingenieure aus sieben europäischen Ländern beteiligt sind. Bis heute haben sie zwei Exoskelettmodule hervorgebracht: einen motorisierten Aktivarm und einen stromlos arbeitenden Passivarm.

Zumindest die Grundgerüste sind jetzt fertig. Beide Modelle werden auf den Rücken geschnallt. Sie sind in der Lage, den Kraftaufwand zum Heben und Bewegen großer Gewichte auf einen Bruchteil zu reduzieren.

Woher die Begeisterung im Vorführraum kommt, ist klar: Wer hat nicht schon mal davon geträumt, stark zu sein wie Supermann? Die Comicwelt ist voll von starken Helden in fremdartigen Monturen. Iron Man, die Kampfmaschine in stählerner Rüstung, Batman und Supermann in ihren charakteristischen, hautengen Anzügen kennt jeder.

Die bunte Comicstrip-Fantasie unterscheidet sich jedoch von der Wirklichkeit: Keiner der Stuttgarter Probanden sieht mit den zwei Prototypen annähernd athletisch aus. Beim Passivarm, der stromlosen Version, gerät das ausladende Gestänge in den Blick. Er wird wie eine Schwimmweste angelegt. Metallstützen, die am Rückenteil befestigt sind, reichen von den Schultern bis zu den Handgelenken. Manschetten befestigen das Gestell an den Armen. Angezogen sehen sie aus wie unbeholfene Maikäfer.

„Der Insektenvergleich ist gar nicht falsch“, sagt Konrad Stadler von der Schweizer ZHAW (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften). Er ist der Technische Leiter von Robo-Mate und nun selbst in ein Ausstellungsstück geschlüpft. Die Metallstruktur von Robo-Mate ähnelt dem Körper einer Heuschrecke. Allerdings sind die Außenskelette der Lebewesen von eigener Muskelkraft angetrieben. „Unsere Exoskelette werden extern von Federkräften oder Motoren gesteuert“, erklärt Stadler. Diese Exoskelette sollen nun als Lastesel in die Industrie Einzug halten. Mit Robo-Mate lassen sich Gewichte von 5 kg bis 15 kg gut handhaben.

Heben, Ziehen, Schieben schwerer Lasten – das sind Tätigkeiten, wie sie in Industrieprozessen vorkommen und den Arbeitnehmern Probleme machen. „Rückenschmerzen verursachen die meisten Fehltage im produzierenden Gewerbe“, weiß Konrad Stadler.

Aber: Die meisten Exoskelette sieht man momentan noch in medizinischen Rehabilitationsprogrammen. Industrieanwendungen sind rar: Cyberdyne aus Japan bietet einen batteriebetriebenen Lendenschoner an. Das Schweizer Start-up-Unternehmen Noonee testet derzeit bei Audi einen „Chairless Chair“. Er wird wie ein Melkschemel umgeschnallt und entlastet bei Montagearbeiten die Beine. Angesichts des hohen Leidensdrucks vor allem in den Fertigungshallen ein recht dünnes Angebot.

Die Robo-Mate-Entwickler haben herausgefunden: Unterschiedliche Anwendungen brauchen unterschiedliche Exoskelette. Deshalb gibt es zwei Kraftarmmodule. Modul Nummer 3 ist in Arbeit – es soll Beanspruchungen im Hüftbereich minimieren. Alles zusammen ist beliebig anpassbar an Aufgaben, die in harten Industriejobs gefordert sind.

„Was wir brauchen, sind modulare Anwendungen“, betont der Elektroingenieur Stadler. Partielle Supermann-Lösungen, könnte man sagen, die sich auf bestimmte Bewegungsabläufe konzentrieren. Der erste Impuls war, einen Alleskönner, also ein komplettes Exoskelett, zu konstruieren. „Die Idee haben wir bald verworfen – unmachbar, unanwendbar“, erinnert sich Stadler und schüttelt den Kopf.

Nun dreht der technische Leiter sich, breitet die Arme aus und schließt sie vor dem Bauch. Derweil knackt und schnalzt die Stahlkonstruktion, kräftige Federn zwischen den Stahlschienen dehnen sich bei der Bewegung. Körperkompensation heißt das Prinzip, das hinter der Erfindung steckt. Vergleichbar mit dem Schwebestativ von Filmkameras. Beide Arme werden schwerelos, weil das Exoskelett deren Gewicht vollständig kompensiert. Reine Physik: Senkrecht wirkende Kräfte kann der Körper sehr leicht tragen. Hat man zum Beispiel 10 kg auf den Schultern, nimmt das eigene Skelett viel vom Gewicht auf.

„Kritisch sind die Hebelkräfte“, erklärt Konrad Stadler. Hebelkräfte, die über einen ausgestreckten Arm wirken, müssen normalerweise über den Körper kompensiert werden. Dafür kontrahieren die Muskeln im unteren Rückenbereich und das drückt auf die Wirbelsäule. Das Gewicht des Exoskeletts liegt senkrecht auf dem Körper, deshalb spürt man es kaum. Das Exoskelett selbst reduziert die Hebelkräfte. Geübt löst er die Klettverschlüsse und hängt das Ding zurück auf eine Art stummen Diener. Stahl, Strom und Drehmoment geben den Ton an beim zweiten Prototypen, dem Aktivarm. Er ist aus breiten Stahlschienen und Kabeln gezimmert und mit einem Computer verdrahtet. „Elektromotoren verstärken die Kraft, die man im Arm hat“, beschreibt Stadler.

Entsprechende Sensorik misst die wirksamen Kräfte von Armgewicht und Zusatzlast und übersetzt das in die Unterstützung durch den Motor. So lange, bis das Gewicht in der Hand die perfekte Kompensation hat. So müssen Ober- und Unterarm kaum Kraft aufwenden, um den Gegenstand hochzuheben. Etwa so wie beim Elektrofahrrad – man tritt ein bisschen in die Pedale und bekommt noch etwas Kraft dazu.

Robo-Mate ist eine europäische Antwort auf den demografischen Wandel, zur Rettung von Industriearbeitsplätzen und dem Erhalt menschengerechter Produktionsbedingungen. Die Industrie lässt das nicht kalt: Vor diesem Hintergrund sieht man etwa beim VDMA die Notwendigkeit, neue Lösungen für ergonomische Arbeitsplätze zu suchen. Davon gibt es noch so wenige, weil viele Herausforderungen auf einmal zu bewältigen sind.

Industrietaugliches zu bauen, braucht deutlich mehr als ein technisches Konzept. Die Liste ist lang: Anforderungen des Arbeitsplatzes, die Auswirkung auf die menschliche Physiognomie, das Ganze muss im Einklang mit gesetzlichen Vorgaben und der Normung stehen und es muss sicher für den Benutzer und die Umgebung sein. „Ohne Einhaltung der Maschinenrichtlinie und weiterer technischer Standards geht in der industriellen Anwendung gar nichts“, merkt Stadler an. Außerdem: Es muss bezahlbar sein. Und es muss so gestaltet sein, dass es von den Beschäftigten angenommen wird – „als Hilfestellung und um sie gesund zu halten“, zählt der Schweizer auf.

Deshalb kommen die Projektbeteiligten aus den unterschiedlichsten Fachrichtungen. Die Technologiepartner sind aus Italien und Deutschland und sowohl auf Robotik als auch auf Mensch-Maschine-Interaktion spezialisiert. Genauso wie die rumänische Ropardo für Unternehmenssoftware, in die Robo-Mate eingebunden werden soll. Zum Beispiel, um eine Datenbank von Mitarbeitern anzulegen, die ein Exoskelett benutzen. Biomechanische und ergonomische Aspekte behandeln das Fraunhofer IAO, TNO als holländisches Forschungsinstitut sowie die Universität Limerick.

Maßgeschneidert wird am Computer. Mit einem Simulationswerkzeug von Siemens macht sich das Fraunhofer IAO daran, in einer Art digitaler Werkstatt das Exoskelett für den Arbeitsplatz passend zu machen. Montage- und Demontageprozesse werden bis in die letzten Details analysiert, Bewegungsabläufe präzise aufgenommen.

Die Industriepartner sind aus der Autoindustrie. Kein Zufall. „Das Forschungszentrum von Fiat (CRF) kam mit der Idee auf uns zu, damit hatten wir den Anwender bereits mit im Boot“, erzählt Stadler. Die Automobilindustrie hat offenbar ein gutes Gespür für Technologieansätze, die sie für ihre Zwecke nutzen kann. „Wir wollen den Lastassistenten unbedingt für die Montagearbeiten bei uns am Band einsetzen“, sagt Giulio Vivo vom italienischen CRF.

Ziel ist: den Kraftaufwand um 90 % zu verringern. Das ist der Grund, warum auch Olivier Gaudeau von Indra Projektpartner geworden ist. Ein Blick in die Hallen des französischen Autoverwerters macht das deutlich: Der erste Schritt beim Recycler ist, alle Räder vom aufgebockten Fahrzeug auf einen Rollcontainer zu hieven. 30-mal pro Stunde dieselbe Bewegung mit mindestens 12 kg. Nach einer Achtstundenschicht hat der Arbeiter mehr als 4 t Gewicht gestemmt, ein Knochenjob. „Nach ergonomischen Grundsätzen dürfte das Rad nicht mehr als 9 kg wiegen, ohne gesundheitliche Langzeitschäden hervorzurufen“, weiß Stadler. Ein typischer Fall für den Aktivarm.

„Der Passivarm ist super bei kleinen Gewichten“, so Stadler. Etwa, wenn man bei der Demontage eine Trennscheibe lange halten muss, um die Frontscheibe herauszuschneiden. Das Werkzeug wird nach kurzer Zeit richtig schwer am ausgestreckten Arm, in schräg über die Kühlerhaube gelehnter Körperhaltung. Hier sorgt der Passivarm für eine deutliche Entlastung.

„Damit geben wir den Menschen eine bessere Chance, mit großen körperlichen Belastungen in der täglichen Arbeit klarzukommen“, verspricht sich Gaudeau. Er würde seine Mitarbeiter am liebsten auch mit einer Datenbrille ausstatten. Damit jeder Arbeitsschritt verständlich ist.

Ein Riesenpotenzial sieht Konrad Stadler in der Logistik. Überhaupt bei Prozessen, die sich schwer automatisieren lassen. „Gerade aus der Logistikbranche haben wir sehr viel positive Resonanz bekommen“, berichtet Stadler.

Wie geht es weiter? Jetzt kommt ein Redesign der Elemente, damit alles leichter und tragbarer wird. Unter 10 kg liegt das Zielgewicht für das gesamte Exoskelett. Schritt für Schritt werden die ergonomischen Eigenschaften verbessert – wie die Manschetten zum Fixieren der Arme.

Zur Stromversorgung für den Aktivarm und Hüftstütze haben die Wissenschaftler ausgerechnet, dass die sechs Motoren für den Achtstundenbetrieb 200 kg Batterien bräuchten. „Das ist keine Option“, betont Stadler. Aber einen Batteriebetrieb für 10 min müsste man hinbekommen. „In der Zeit könnte man einen schweren Karton aus dem Regal auf eine Palette heben und könnte sich anschließend in eine Energiequelle wie den Gabelstapler einstöpseln“, überlegt er laut.

Die nächste heiße Phase beginnt im Herbst mit den Probeläufen in der Montage und in der Demontage am Band. „Ich bin sehr gespannt, wie sich die Systeme bewähren“, meint Gaudeau, technischer Direktor von Indra.

Zuversicht und Besitzerstolz zeigen sich in den Gesichtern sämtlicher Projektbeteiligter an diesem Tag der Vorführung. Zugegeben – für Außenstehende ist Vorstellungsvermögen gefragt, um in den Stahlkonstruktionen ein bequemes Endprodukt zu sehen. Alle anderen haben keine Zweifel.

Denn das Wichtigste ist: Es funktioniert. Schönheit kommt später. „Jeder gibt sein Bestes, darauf bin ich sehr stolz“, sagt Stadler mit einem breiten Lächeln, der sich jetzt ohne Passivarm elegant an den Wartenden in der Probierecke vorbeischiebt. KATHLEEN SPILOK

„Wir wollen den Lastassistenten unbedingt für die Montagearbeiten bei uns am Band einsetzen.“
Giulio Vivo vom Centro Ricerche Fiat (CRF)

Es knarzt und schnalzt, wenn Konrad Stadler mit dem passiven Exoskelett den Granitblock anhebt. Vom Gewicht des Steins spürt der Wissenschaftler nichts.
Foto: Ludmila Parsyak/Fraunhofer IAO

Medizin und Militär setzen auf Exoskelette

- Die Idee des Exoskeletts ist nicht nagelneu. Sie ist seit Jahrzehnten eine Spielwiese für Tüftler und Wissenschaftler auf der ganzen Welt. Besonders intensiv entwickelt das Militär, um Soldaten das Tragen schwerer Kampfausrüstung über lange Strecken zu ermöglichen.
- Die meisten aktuellen Anwendungen gibt es in der Bewegungstherapie. Menschen können mit sensorgesteuerten und meist strombetriebenen Exoskeletten nach schweren Unfällen oder nach einem Schlaganfall Bewegungen neu erlernen.
- Der Schweizer Maschinenhersteller Hocoma bietet solche Produkte seit 15 Jahren weltweit an.
- Die japanische Cyberdyne hat den Roboteranzug „Hal“ gebaut, der als medizinisches Therapieinstrument auch schon in deutschen Kliniken eingesetzt wird.
- Innosys, eine Universitätsausgründung aus Japan, hat den „Muscle Suit“ für Lagerarbeiter, Landarbeiter, aber auch zur Assistenz im Alltag konstruiert. Er versorgt sich über Druckluft, der Träger selbst bläst über ein Mundstück Luft in ein Verteilsystem ein. ks

EU-Projekt Robo-Mate: Mit Robotern in die Zukunft

- Mit 4,5 Mio. € fördert die Europäische Kommission das 5,9 Mio. € teure Projekt aus dem Programm für Forschung und Technologieentwicklung über einen Zeitraum von drei Jahren.
- Es geht einerseits um effizientere und flexiblere Produktionsmethoden in der Industrie. Vor allem die Mensch-Roboter-Kollaboration ist ein Zukunftsmarkt, in dem Europa sich behaupten will.
- Andererseits verursachen Arbeitsausfälle durch Überbelastungen des Muskel-Skelett-Systems immense volkswirtschaftliche Kosten. Laut EU leidet mindestens jeder vierte Arbeitnehmer in Europa unter Rückenschmerzen. Robo-Mate verspricht eine Entlastung bei Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit dem Heben schwerer Gegenstände stehen.
- Das Projekt bearbeiten zwölf Partner aus sieben europäischen Ländern. Beteiligt sind von Seiten der Industrie: Ropardo und Compa (Rumänien), MRK-Systeme (Deutschland), CRF (Italien) und Indra (Frankreich). Das Projekt endet im August 2016. ks

- www.robo-mate.eu

VDI nachrichten · 9. Oktober 2015 · Nr. 41 TECHNIK & GESELLSCHAFT 5

Von Entlastung zu mehr Leistung

ARBEITSSICHERHEIT: Wenn der Mensch Teil der Maschine wird, kann das Arbeiter entlasten. Exoskelette können jedoch auch bei gleicher Belastung die Leistung erhöhen. Hans-Peter Kany und Ralf Schick, Arbeitssicherheitsexperten von der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), sehen Chancen und Risiken beim Einzug der Roboteranzüge in die Fabrikhallen.

VDI nachrichten, Düsseldorf, 9. 10. 15, rb

VDI NACHRICHTEN: Sollten Exoskelette als Hilfsmittel am Arbeitsplatz eingesetzt werden?
HANS-PETER KANY: Es ist nicht in allen Arbeitsbereichen vermeidbar, dass schwer gehoben und getragen wird. Dort auf Exoskelette zu setzen, können wir uns vorstellen. Es ist denkbar, wenn die Geräte in einigen Jahren serienreif sind, dass Beschäftigte aller Altersklassen davon profitieren können.

Wo wäre der Einsatz sinnvoll?
RALF SCHICK: Exoskelette kommen unserer Ansicht nach nur dort infrage, wo andere technische Hilfsmittel wie Stapler, Kran oder Vakuumheber nicht zum Einsatz kommen können. Da könnte ein Exoskelett eine Entlastung bringen. Die Entlastung der Beschäftigten kann zu einer Reduzierung des Unfallgeschehens und der Ausfallzeiten beitragen. Dadurch werden technische Lösungen auch wirtschaftlich interessant – so auch beim Exoskelett. Voraussetzung: Die hohen Kosten durch Ausfallzeiten und Unfälle sind Teil der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Welche Risiken sehen Sie?
KANY: Ein Effekt, den wir jetzt noch nicht einschätzen können, ist: Die aktive Lastunterstützung kann dazu führen, dass die Lastgewichte zur Produktivitätssteigerung erhöht werden. Ziel der Exoskelette muss es aber sein, den Menschen zu entlasten und ihn nicht durch noch schwerere Lasten weiterhin an seiner Belastungsgrenze arbeiten zu lassen.

Eine weiteres Risiko aus unserer Sicht ist: Beim Stolpern oder Stürzen mit dem Exoskelett ist die Gefahr groß, dass die Beschäftigten unter anderem auf Grund der zusätzlichen Masse schwerere Verletzungen davontragen als ohne Exoskelett.

Bisher liegen weder Erfahrungen oder Untersuchungen zur Eignung und Wirksamkeit von Exoskeletten noch zu zusätzlich auftretenden Gefährdungen der Beschäftigten vor. Solche Untersuchungen sind für uns von besonderem Interesse und sollten möglichst vor dem Praxiseinsatz durchgeführt werden.

Welche Fragen müssen noch geklärt werden?
SCHICK: Besonders wichtig ist die Frage: Was passiert, wenn beim kraftbetriebenen Exoskelett eine Fehlfunktion der Steuerung auftritt und dadurch beispielsweise eine unbeabsichtigte, gefahrbringende Bewegung ausgeführt wird? Oder auch: Wie realisiert man die Nothaltfunktion am Exoskelett? Da sind wir auf Lösungen gespannt. Die Berufsgenossenschaften sind auch gerne bereit, die Entwickler bei ihrer Arbeit aktiv zu unterstützen und in Forschungs- und Normungsfragen mitzuwirken. Außerdem ist zu klären, inwieweit es tatsächlich eine Belastungsminderung für den ganzen Körper gibt oder ob Risiken einfach nur verlagert werden.

Was können die Entwickler tun?
KANY: Zum einen können sie frühzeitig mit Experten der Gesetzlichen Unfallversicherung kooperieren, um sicherzustellen, dass ein sicheres Produkt entsteht. Zum anderen sollten sie darauf achten, dass die Geräte komfortabel in der Handhabung sind. So sollte der Aufwand beim An- und Ausziehen gering sein. Und bei sommerlichen Temperaturen um die 30 °C zudem noch angenehm zu tragen sein. Dadurch erhöht sich die Akzeptanz bei den Mitarbeitern.

In der Vergangenheit stellten wir immer wieder fest: Die technische Umsetzung, aber nicht die Erfordernisse der Mitarbeiter stehen im Mittelpunkt. Somit hilft die beste Lösung nichts, wenn die Mitarbeiter sie nicht nutzen, weil es ihnen vermeintlich keine Erleichterung bringt. Dadurch, dass mit dem Exoskelett der Mensch Teil der Maschine wird, ist es zwingend erforderlich, ihn früh in die Lösungsvorschläge einzubeziehen. KATHLEEN SPILOK

Ralf Schick verantwortet bei der BG Handel und Warenlogistik Themen rund um „physische Belastungen“.
Foto: BGHW

Hans-Peter Kany, Leiter des Gebiets „Fördern, Lagern, Logistik im Warenumschlag“ bei der Berufsgenossenschaft.
Foto: BGHW

Definition: Was sind Exoskelette?

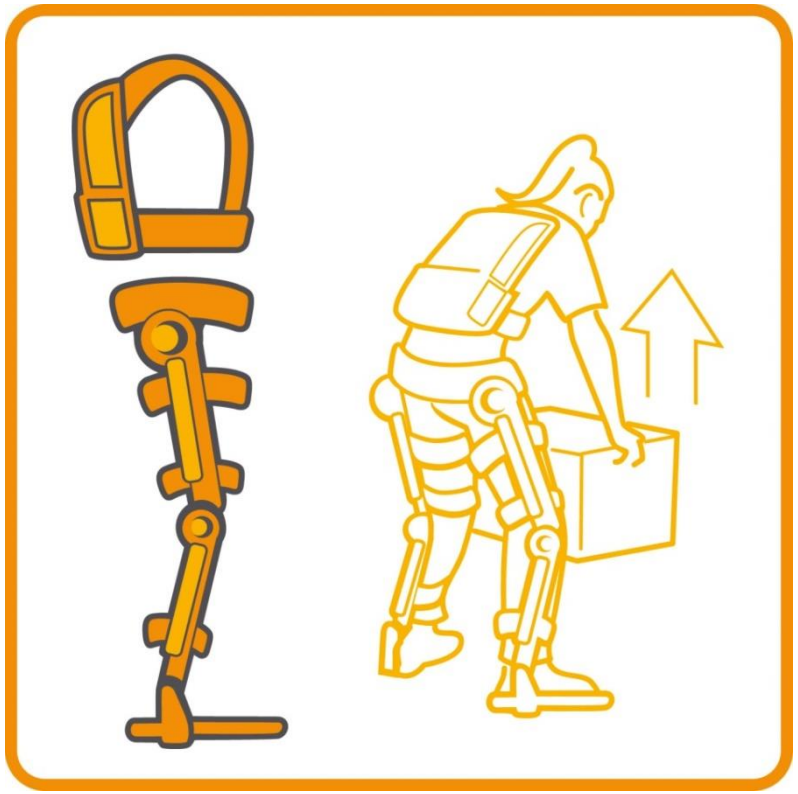
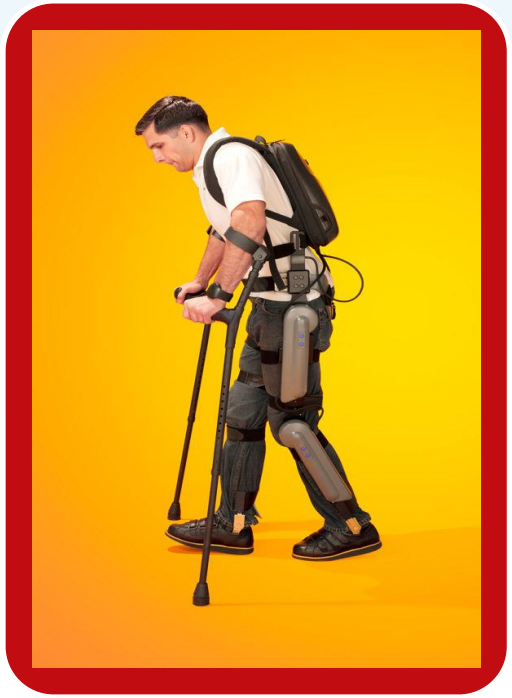


Foto: © Albert Morell

„Exoskelette sind am menschlichen Körper getragene technische Systeme, welche definierte Bewegungen bzw. Körperhaltungen durch mechanische Kopplung und Interaktion ermöglichen, verstärken, erleichtern, stabilisieren und/oder ergänzen.“

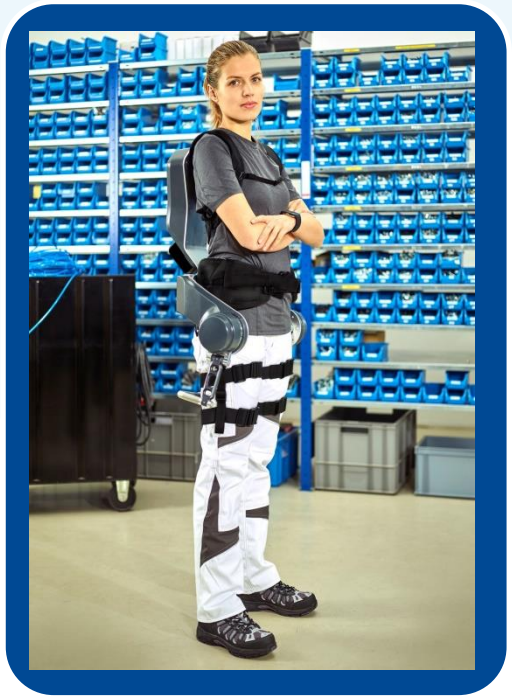
Quelle: DIN NA 023-00-08 GA Exoskelette

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/

Arbeitsplätze
z.B. Cray X©

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

Militärischer Bereich
z.B. HULC™

Potentieller Nutzen durch Exoskelette

Foto: ©Audi

- Senkung physischer Belastungen am Arbeitsplatz
- Verringerung von Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems
- 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	Passive Exoskelette	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. Beugewinkel-begrenzung (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

Anforderungen an Exoskelette 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

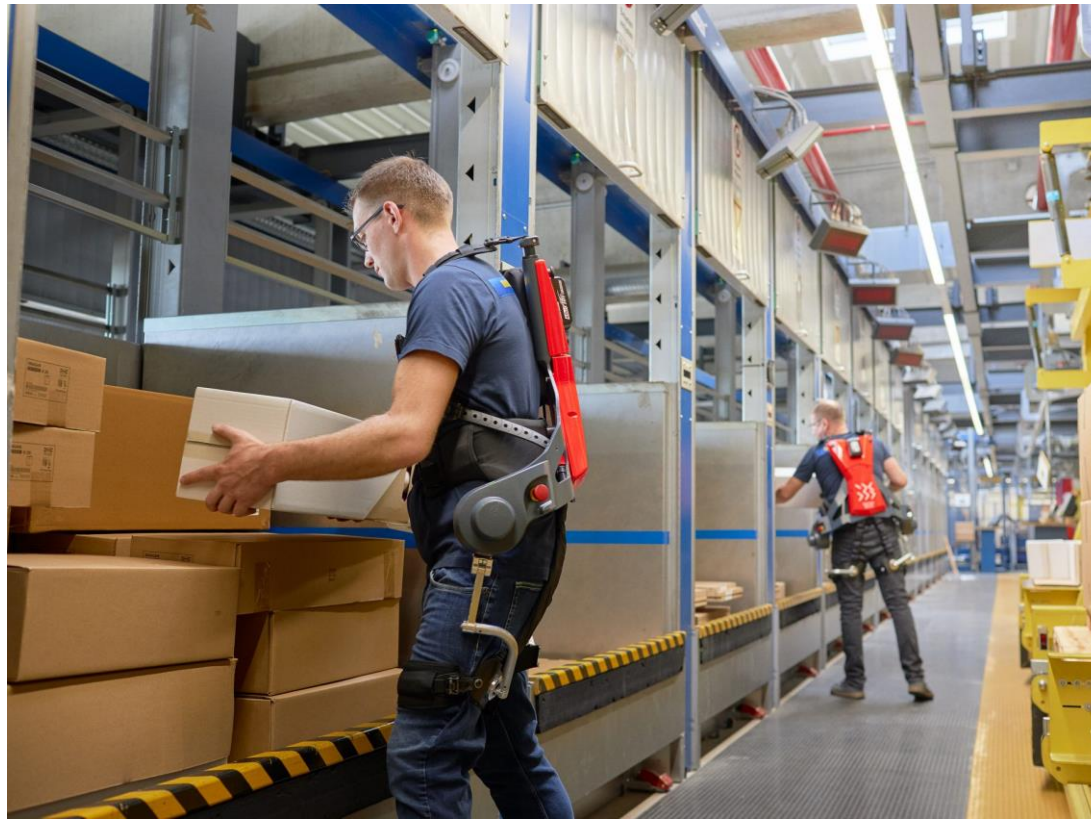


Foto: ©German Bionic

Sicherheitstechnische Anforderungen an Exoskelette

- Auf Grund der bestimmungsgemäßen Verwendung:

Persönliche Schutzausrüstung

Richtlinie 89/686/EWG wird bis 2019 ersetzt d.

PSA-Verordnung 2016/425

Arbeitsmittel

Maschinenrichtlinie RL 2006/42/EG (Anhang 1)

Produktsicherheitsgesetz

Medizinisches Hilfsmittel

(z.B. bei beruflicher Wiedereingliederung)

Medizinproduktegesetz

Schutzziele

Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte

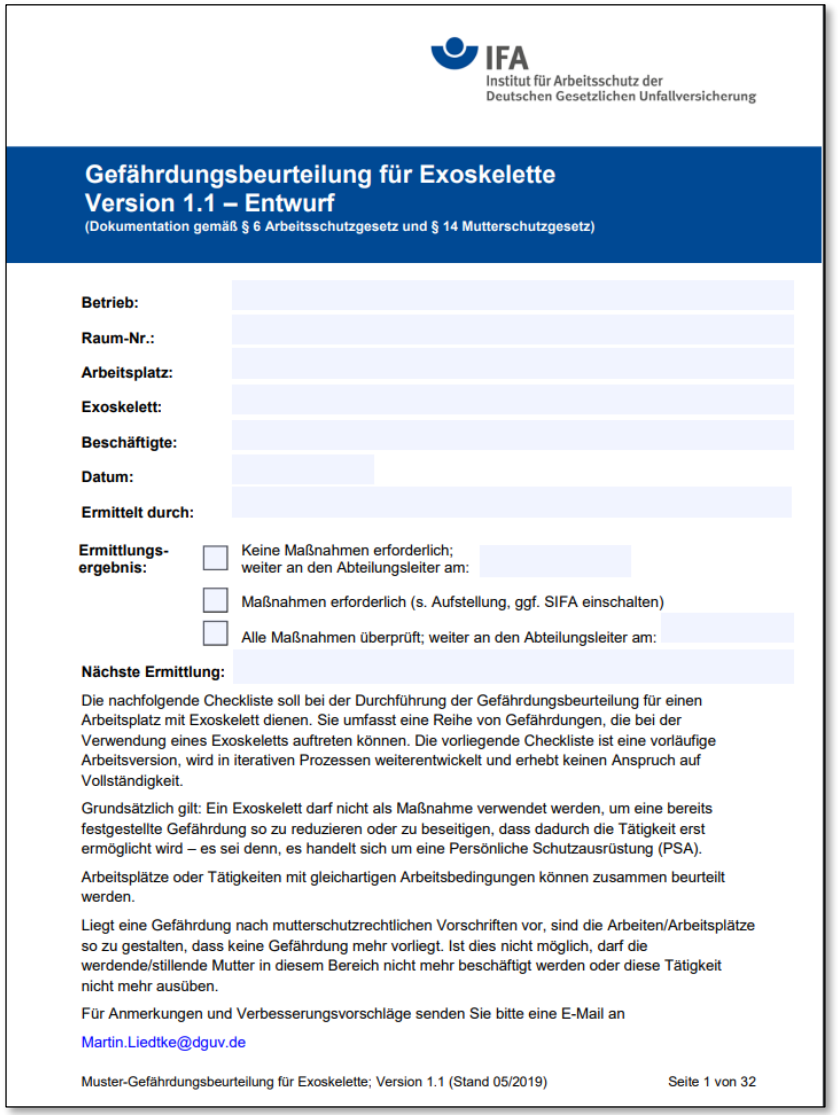
- **Gefährdungen der Gesundheit:**
  - durch Erhöhung der Belastung (z. B. höhere Lastgewichte),
  - durch Verlagerung der Belastung (Lastumverteilung),
  - durch Verlagerung der Muskelaktivität,
  - durch Reduzierung der Rückenmuskelaktivität,
  - durch Druckstellen (Verletzungen der Haut),
  - durch Durchblutungsstörungen (z. B. bei Überkopfarbeiten)
  - durch Behinderung bei Erste-Hilfe-Maßnahmen
  - durch psychische Belastung,
  - …
  - Langzeitauswirkungen durch die Nutzung bisher unbekannt.

Foto: ©Volkswagen

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),
  - …

- Arbeitshilfe für die Gefährdungsbeurteilung



IFA
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette
Version 1.1 – Entwurf
(Dokumentation gemäß § 6 Arbeitsschutzgesetz und § 14 Mutterschutzgesetz)

Betrieb:
Raum-Nr.:
Arbeitsplatz:
Exoskelett:
Beschäftigte:
Datum:
Ermittelt durch:

Ermittlungs-ergebnis:
☐ Keine Maßnahmen erforderlich; weiter an den Abteilungsleiter am:
☐ Maßnahmen erforderlich (s. Aufstellung, ggf. SIFA einschalten)
☐ Alle Maßnahmen überprüft; weiter an den Abteilungsleiter am:

Nächste Ermittlung:

Die nachfolgende Checkliste soll bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung für einen Arbeitsplatz mit Exoskelett dienen. Sie umfasst eine Reihe von Gefährdungen, die bei der Verwendung eines Exoskeletts auftreten können. Die vorliegende Checkliste ist eine vorläufige Arbeitsversion, wird in iterativen Prozessen weiterentwickelt und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Grundsätzlich gilt: Ein Exoskelett darf nicht als Maßnahme verwendet werden, um eine bereits festgestellte Gefährdung so zu reduzieren oder zu beseitigen, dass dadurch die Tätigkeit erst ermöglicht wird – es sei denn, es handelt sich um eine Persönliche Schutzausrüstung (PSA).

Arbeitsplätze oder Tätigkeiten mit gleichartigen Arbeitsbedingungen können zusammen beurteilt werden.

Liegt eine Gefährdung nach mutterschutzrechtlichen Vorschriften vor, sind die Arbeiten/Arbeitsplätze so zu gestalten, dass keine Gefährdung mehr vorliegt. Ist dies nicht möglich, darf die werdende/stillende Mutter in diesem Bereich nicht mehr beschäftigt werden oder diese Tätigkeit nicht mehr ausüben.

Für Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge senden Sie bitte eine E-Mail an

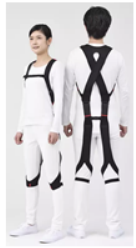
Martin.Liedtke@dguv.de

Muster-Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette; Version 1.1 (Stand 05/2019) Seite 1 von 32

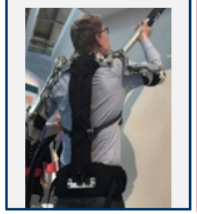
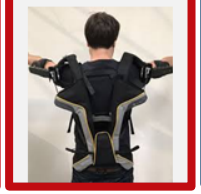
Ergebnisse Forschungsprojekt Exo@Work

Im Rahmen des Projektes untersuchte Exoskelette

Rückenunterstützung

passives Starrkörper-Exoskelett für den unteren Rücken **Laevo v2** (Laevo)	passives textilbasiertes Exoskelett für den unteren Rücken **SoftExo** (Hunic)	aktives Exoskelett für den unteren Rücken **Cray X** (German Bionic)	textilbasiertes Exoskelett **Rakunie** (N-Ippin)	aktiver textiler ExoSuit **ExoSuit** (HSU)	passiver textiler ExoSuit **HeroWear Apex** (HeroWear)	passives Exoskelett für den unteren Rücken **Auxivo LiftSuit** (Auxivo)	aktives Exoskelett für den unteren Rücken **Japet.W** (Japet)	passives Exoskelett für den unteren Rücken **BionicBack** (hTRIUS)
								

Schulterunterstützung

einfach aktives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten **Lucy** (HSU)	passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten **Airframe** (Levitate)	passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten **Paexo Shoulder** (Otto Bock)	passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten **SkelEx Shoulder** (SkelEx)	passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten **Comau Shoulder** (Comau)
				

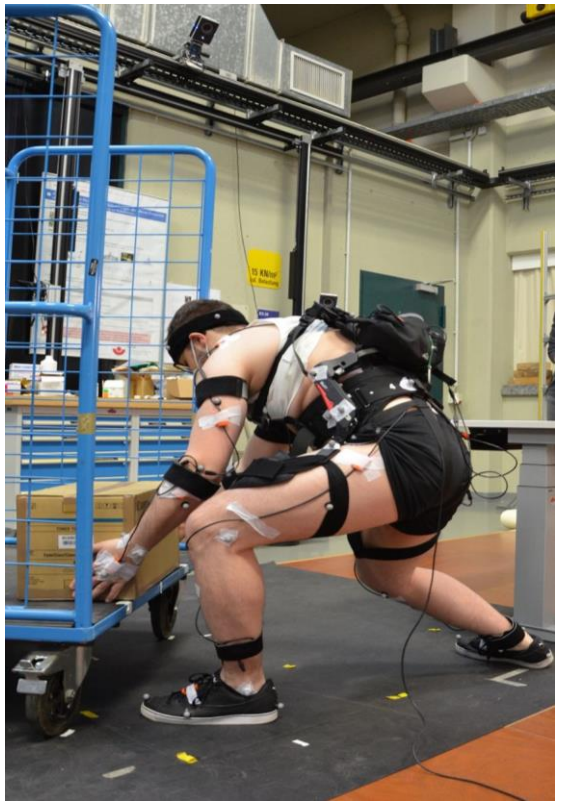
Greifunterstützung

aktives textilbasiertes Exoskelett für die Hand **Ironhand** (BioServo)

Standunterstützung

passives starres System zur Entlastung unterer Extremitäten **Chairless Chair** (Noonee)

IFA-Untersuchung



BackX

Bild: IFA

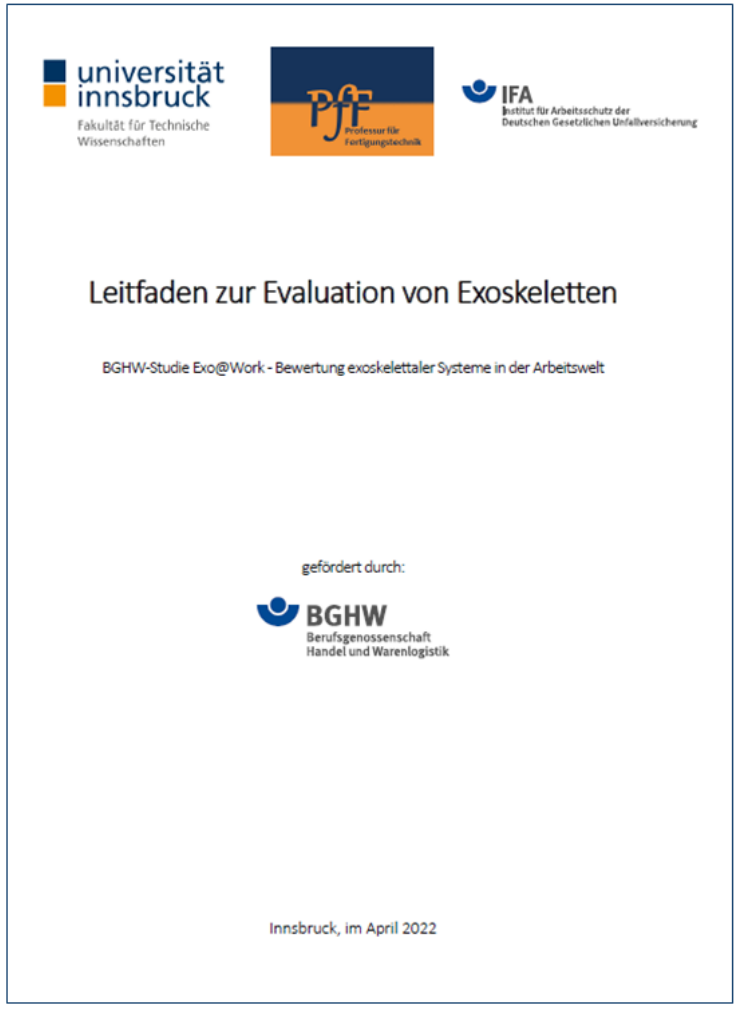
Abbildung: universität innsbruck

Abgeleitete Empfehlungen aus den Studienerkenntnissen

Empfehlungen			
Einsatz		**Akzeptanz und Usability**	**Evaluation**
TOP-Prinzip des Arbeits-schutzes beachten	Nebentätigkeiten beachten	individuelle Unterschiede beachten	Wahl geeigneter Messmethoden sicherstellen
Gefährdungsbeurteilung durchführen	Anforderungen an Dynamik beachten	Bewegungstreue beachten	Messmethoden korrekt anwenden
Herstellerinformationen beachten	Bewegungsbereiche beachten	gute Passform garantieren	qualitative und quantitative Messmethoden kombinieren
Exoskelette adressieren meist nur eine Körperregion	sicherheitsrelevante Aspekte beachten	Drehmoment-Kennlinie des Exoskeletts beachten	standardisierte und charakteristische Bewegungsfolgen beachten
Exoskelette unterstützen nur Teile der Tätigkeiten		Systemeinführung und Testphase planen	Vorgehensweise zum Effektnachweis beachten
		transparente Kommunikation fördern	arbeitsmedizinische Vorsorge ermöglichen
			Evaluation in regelmäßigen Abständen wiederholen

Abbildung: universität innsbruck

Leitfaden mit Handlungsempfehlungen als zentrales Ergebnis



- **Modularer Aufbau**
- **Umfang 10 Seiten plus 23 Seiten Anlagen:**
  - Anlagen: Checklisten, Fragebögen, etc.
- **Zielgruppe sind Praktiker*innen in gewerblichen Betrieben**
- **Download** im Kompendium Arbeitsschutz der BGHW
  - Leitfaden
  - Abschlussbericht (Kurzfassung)

DGUV Information 208-xxx Auswahl und Einsatz von Exoskeletten

1. Einleitung (Ziel und Zielgruppe)
2. Was Sie über Exoskelette wissen sollten
   - 2.1 Wie lassen sie sich unterscheiden?
   - 2.2 Wie funktionieren und wirken Exoskelette?
   - 2.3 Wobei unterstützen sie?
   - 2.4 Voraussetzungen für den betrieblichen Einsatz
3. Die richtige Auswahl machts
   - 3.1 Vorbereitung
   - 3.2 Durchführung der Erprobung
   - 3.3 Auswertung der Test- und Erprobungsphase
4. Empfehlungen für Einsatz, Nutzbarkeit und Akzeptanz
5. Anhang (Checklisten, Auswahlmatrix, Fragebögen, etc.)

In Bearbeitung!

Abbildung: BGHW Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik

Veröffentlichung in 2025

DIN – Technische Spezifikation – Exoskelette

Inhalt

		Seite
1	Anwendungsbereich	5
2	Normative Verweisungen	5
3	Begriffe	5
4	Strukturierung und Klassifikation von Exoskeletten	6
4.1	Struktur der Einsatzgebiete von Exoskeletten	6
4.2	Ansatz zur Klassifikation von Exoskeletten	6
5	Sicherheitstechnische Anforderungen	8
5.1	Anforderungen an die Gestaltung der physischen Schnittstelle	8
5.2	Gefährdungen	8
6	Rahmenbedingungen für die Prüfung der technisch-funktionellen Eigenschaften von Exoskeletten	13
7	Kennzeichnung	13
8	Herstellerinformationen	13
8.1	Allgemeines	13
8.2	Anleitungen für die Reinigung und Pflege	13
8.3	Anleitungen für die Lagerung	14
8.4	Anleitungen für regelmäßige Überprüfungen	14
8.5	Vergleichstabelle	14
Anhang A (normativ)	Anforderungen zum Ausfüllen der Vergleichstabelle	17
A.1	Allgemeine Informationen	17
A.2	Technische Daten	17
A.3	Sicherheit	20
A.4	Wirkung und Wirksamkeit	20
A.5	Nutzungsmöglichkeiten	20

In Bearbeitung!

Abbildung: BGHW Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik

Veröffentlichung in 2025

DGUV
Fachbereich Handel und Logistik
Berufsgenossenschaft
Handel und Warenlogistik

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dipl.-Ing. (FH) **Ralf Schick**
Sachgebiet Physische Belastung
Dezernat Einwirkungen – Prävention – Mannheim
Berufsgenossenschaft
Handel und Warenlogistik (BGHW)

LAK Bremen Herbstveranstaltung am 07.11.2024,
Handwerkskammer Bremen,
Ansgaritorstraße 24, 28195 Bremen