



DGUV

Fachbereich Handel und Logistik

Berufsgenossenschaft

Handel und Warenlogistik

Exoskelette in der Arbeitswelt: Aktueller Kenntnisstand

Ralf Schick

Dipl.-Ing. (FH) Produktionstechnik

Leiter Sachgebiet Physische Belastungen

Dezernat Einwirkungen – Prävention – Mannheim

Berufsgenossenschaft

Handel und Warenlogistik (BGHW)

Wie Muskel-Skelett-Erkrankungen im Arbeitsleben vermeiden?
Fachveranstaltung des SMWA Sachsen,
28. Juni 2023, Technisches Hilfswerk (THW) Dresden

Gliederung

- Definition: Was sind Exoskelette?
- Welche Bauarten werden unterschieden?
- Welche Einsatzmöglichkeiten sind vorstellbar?
- Anforderungen an Sicherheit und Akzeptanz
- Beurteilung der Gefährdungen
- Ergebnisse Forschungsprojekt „Exo@Work“
- Aktueller Stand der Normung von Exoskeletten

Ein kurzer Blick zurück!

- Der Hardiman,
- entwickelt von General Electric,
- zwischen 1965 und 1971,
- für das Heben und Tragen von schweren Lasten.

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



Definition: Was sind Exoskelette?

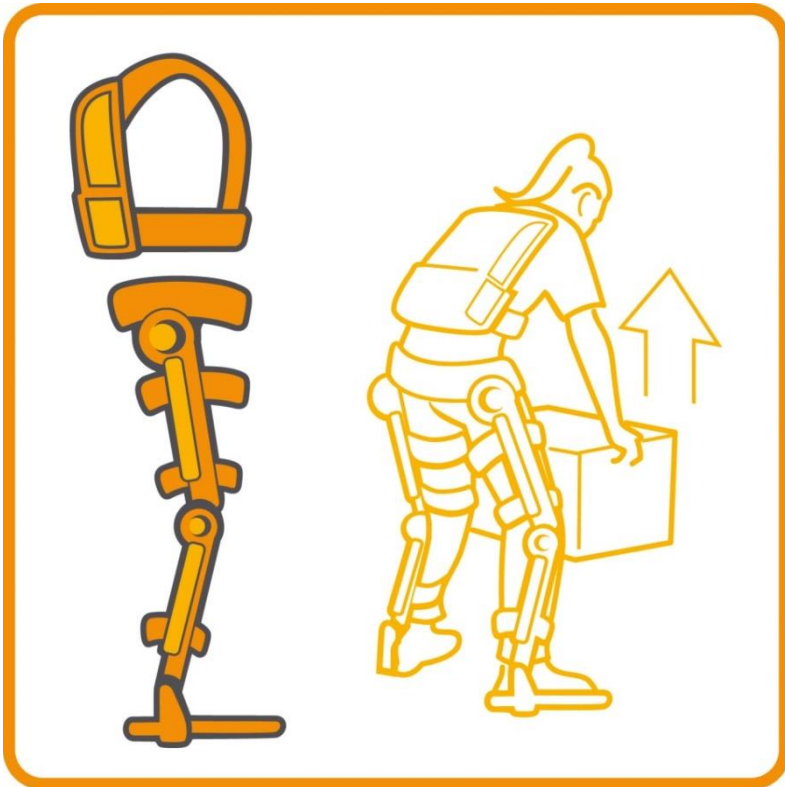


Foto: © Albert Morell

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

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™

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. 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

Passive Exoskelette

Beispiel: Laevo V2.5

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



Foto: ©Audi

Passive Exoskelette

Beispiel: Paexo Shoulder

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

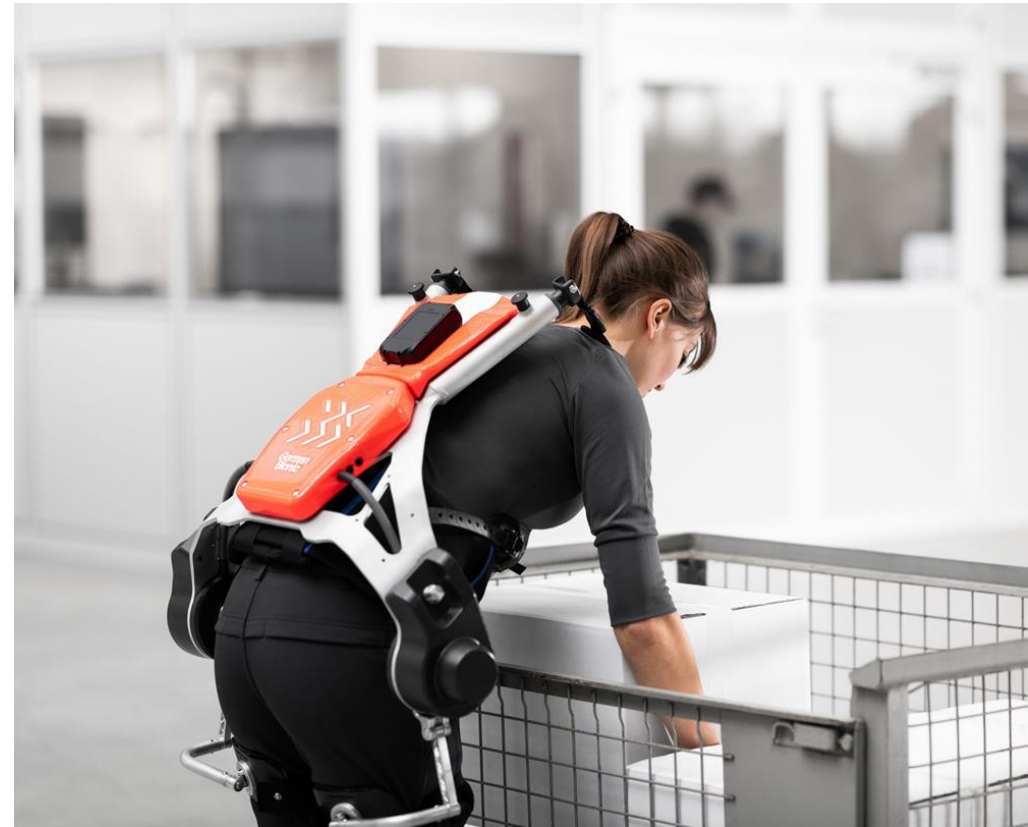


Foto: ©Volkswagen

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.com>

Aktive Exoskelette

Beispiel: Exo Jacket

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



Fotos: Ludmilla Parsyak © Fraunhofer IPA



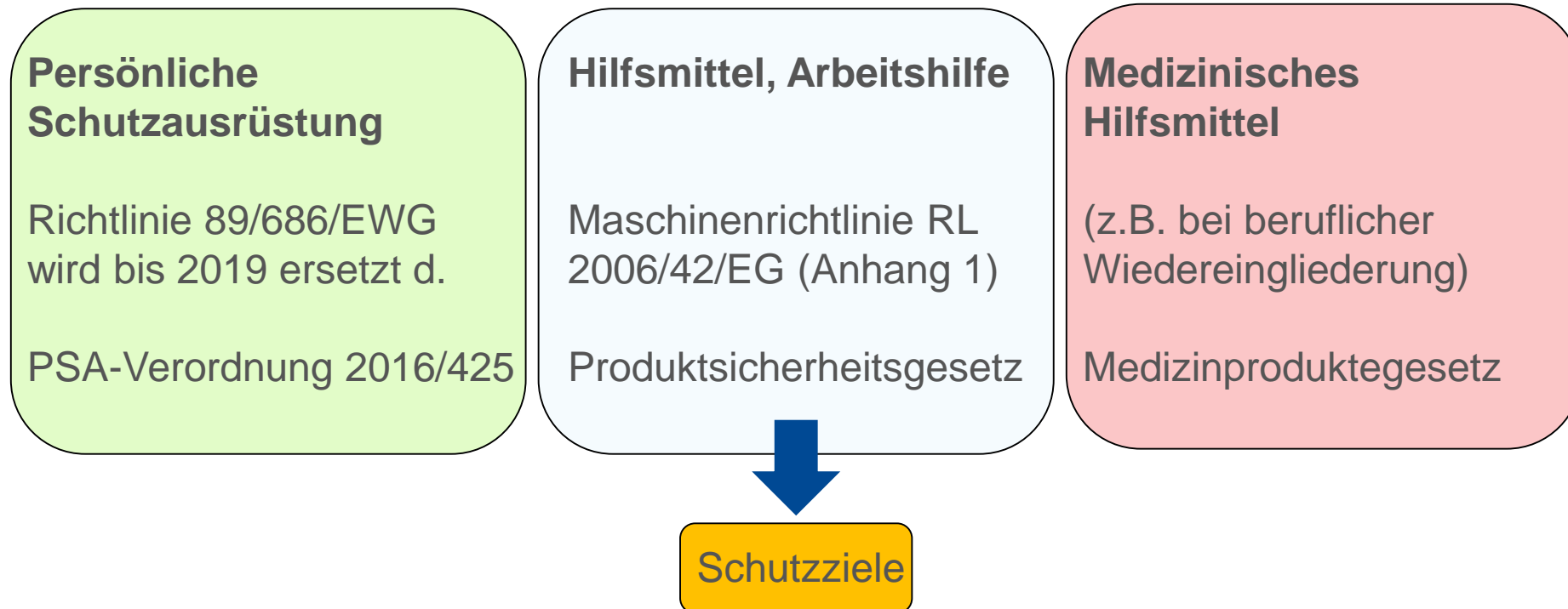
Quelle: <https://www.ipa.fraunhofer.de>

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)
 - Hilfsmittel, bzw. Arbeitshilfe
 - ✓ Erhöhung des Arbeitskomforts
 - ✓ Produktivitätssteigerung

Sicherheitstechnische Anforderungen

- Auf Grund der bestimmungsgemäßen Verwendung:



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

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.

► Bauliche Einrichtungen und Leitern

► Intralogistik und Handel

► **Physische Belastungen**

► Lastenhandhabung

► Zwangshaltungen

► Kraftanstrengung oder
Krafteinwirkung

► Repetitive Tätigkeiten

► Gefährdungsbeurteilung

► Maßnahmen zur Primärprävention

► Hilfsmittel zur Handhabung von
Lasten

► Arbeitsmedizinische Vorsorge

► Publikationen

► Weiterführende Informationen

► **FAQ zum Thema Exoskelette**

► Postsendungen

Start > Sachgebiete > Physische Belastungen > FAQ zum Thema Exoskelette

Fragen und Antworten zum Thema Exoskelette

"Möglicher Einsatz von Exoskeletten in der Industrie"

+ 1. Was sind Exoskelette und welche Bauarten werden unterschieden?

+ 2. Welche Perspektiven und Herausforderungen stellen Exoskelette für den Arbeitsschutz dar?

+ 3. An welchen Arbeitsplätzen oder bei welchen Tätigkeiten könnten Exoskelette sinnvoll eingesetzt werden?

+ 4. Wo kann auf den Einsatz von Exoskeletten verzichtet werden?

+ 5. Was ist bei der Verwendung von Exoskeletten hinsichtlich der Gefährdungsbeurteilung zu beachten?

+ 6. Welche sicherheitstechnischen Anforderungen müssen beim Inverkehrbringen von Exoskeletten beachtet werden?

+ 7. Welche Gefahren könnten im Umgang mit Exoskeletten entstehen?

+ 8. Ist ein Exoskelett als technische oder als personenbezogene Maßnahme einzustufen?

+ 9. Kann ein Exoskelett zur Stärkung der Muskulatur oder für das Einüben belastungsreduzierender Bewegungsabläufe genutzt werden (z.B. im Rahmen des Betrieblichen Eingliederungsmanagements)?

+ 10. Lassen sich Geräte auf die individuellen Leistungsvoraussetzungen des Trägers/der Trägerin anpassen?

+ 11. Ist eventuell mit negativen physischen Beanspruchungsfolgen (z.B. Abbau der Muskulatur durch dauerhafte Minderbelastung) bei einer täglichen Dauernutzung der Exoskelette über Monate oder Jahre zu rechnen?

+ 12. Könnte man durch den Einsatz von Exoskeletten die Arbeitsfähigkeit, insbesondere älterer gewerblich Beschäftigter, dauerhaft stärken und damit auch die Kosten für arbeitsbedingte Erkrankungen senken?

+ 13. Wäre die Nutzung von Exoskeletten im Rahmen der Inklusion sinnvoll?

+ 14. Unter welchen Voraussetzungen können Exoskelette zur Leistungssteigerung eingesetzt werden?

Downloads



[BGHW-Studie Exo@Work – Abschlussbericht – Kurzfassung](#)

[Leitfaden zur Evaluation von Exoskeletten](#)

[FBHL-020 "Checkliste für den betrieblichen Einsatz von Exoskeletten"](#)

[FBHL 006 – Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen](#)

[Arbeitshilfe für die Gefährdungsbeurteilung](#)

Ergebnisse Forschungsprojekt Exo@Work



gefördert durch:



Exo@Work - Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt

Dipl.-Ing. (FH) Ralf Schick, M.Sc. Lennart Ralfs, M.Sc. Niclas Hoffmann, Prof. Dr.-Ing. Robert Weidner

Präventionsausschuss

Mannheim, Juli 2022



Potentieller Nutzen durch Exoskelette

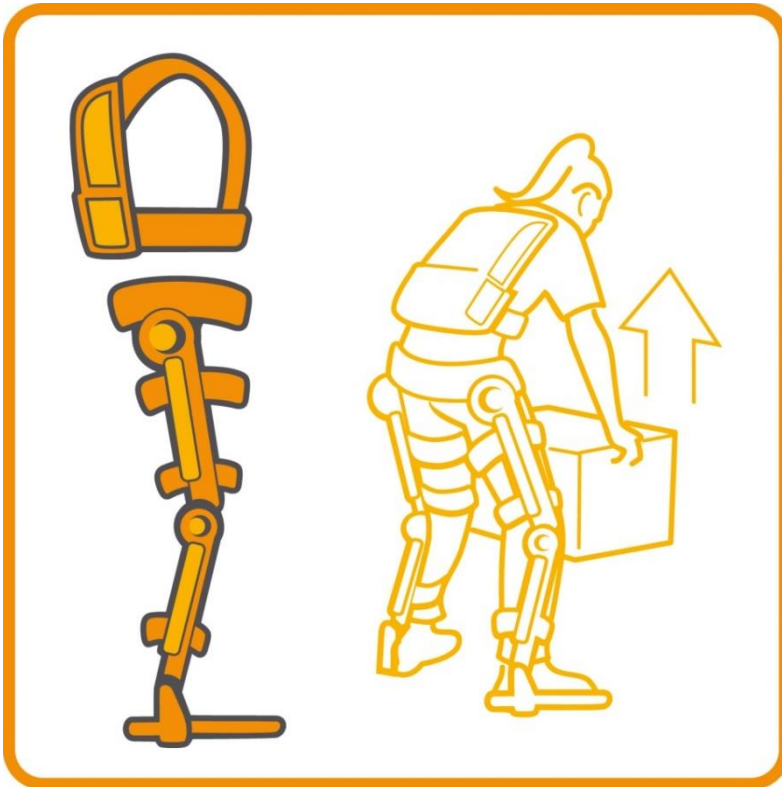


Foto: © Albert Morell

- 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/>

Pilotierung von Exoskeletten in der Logistik



Foto: ©German Bionic

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

Frage:
In welchem Umfang wird die Beanspruchung reduziert?

Initiierung des Forschungsprojektes Exo@Work

Gründe für das Projekt:

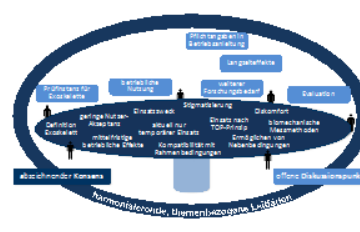
- Keine gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zur
 - Wirksamkeit sowie
 - möglichen Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit und
 - Langzeitfolgen durch die Nutzung von Exoskeletten vorhanden.
- Keine Verfahren zur Bewertung von Exoskeletten am Arbeitsplatz
- Keine Handlungshilfen für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

Projektstart: Oktober 2018

Projektende: Dezember 2021

Übersicht der Projektschwerpunkte in Exo@Work

Experteninterviews



The diagram illustrates a circular process for expert interviews. It starts with 'Vorbereitung' (Preparation), followed by 'Durchführung' (Execution), and 'Auswertung' (Evaluation). Key activities include 'Kontakt aufnehmen', 'Termin vereinbaren', 'Interview durchführen', and 'Ergebnisse auswerten'. A central box mentions 'Kommunikations- und Teamarbeit'.

Aufnahme des Standes und Analyse der Exoskelette

Analyse und Dokumentation aktueller Exoskelette



This slide details the process of analyzing and documenting current exoskeletons. It includes a list of key points: 'Nutzung der Dokumentation des Bestands der Technik und Entwicklung von Exoskeletten im Bereich der industriellen Fertigung', 'Anforderungen an Exoskelette', 'Anforderungen an die Dokumentation', and 'Anforderungen an die Entwicklung'. A central image shows a person wearing an exoskeleton.

Klassifikation von Tätigkeiten

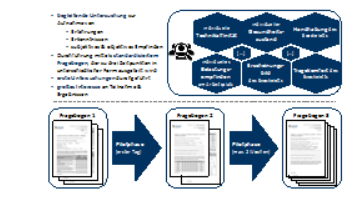
Klassifikation charakteristischer Tätigkeiten in Logistik und Produktion



This slide focuses on the classification of characteristic tasks in logistics and production. It lists key activities: 'Aufnahme und Analyse typischer Tätigkeiten unterschiedlicher Branchen mit unterschiedlichen Tätigkeitsprofilen und Technol.ogieförderung', 'Abbildung von Tätigkeiten und branchenspezifischen Charakteristika', and 'Anpassung notwendiger Unterstützung bedarf und Anforderungen'. A central image shows a grid of task icons.

Akzeptanz- und Usability-Studien


Akzeptanzstudie zur Aufnahme der Ergebnisse aus Testphasen



This slide describes acceptance and usability studies. It includes a list of key activities: 'Ergänzung der Untersuchung zur Aufnahme der Ergebnisse aus Testphasen', 'Anforderungen an die Untersuchung', 'Anforderungen an die Dokumentation', and 'Anforderungen an die Entwicklung'. A central image shows a flowchart of the study process.


Workshops

Erweiterung zu Feldversuchen mit biomechanischen Messmethoden und einem Untersuchungsdesign



This slide discusses the extension of field experiments with biomechanical measurement methods and a study design. It includes a list of key activities: 'Erfahrungen', 'Aufnahmen', and 'Klärung'. A central image shows a person working in a field.

Testparcours



This slide presents various test scenarios for exoskeletons. It includes a grid of images and text boxes for scenarios like 'Regelung & Einseitigkeit', 'Gang unter abgegrünter Decke', 'Gehen', 'Anlehnen an eine Rückenlehne', 'Schieben & Ziehen', 'Kompatibilität mit Sicherheitsausrüstung', 'Aufstehen aus dem Liegen', 'Gefahr des Hängenbleibens', 'An- und Ausziehen eines Exoskeletts', and 'Not-Aus'. Other scenarios include 'Hinsetzen auf Hocker', 'Bewegungsfreiheit', 'Erreichbarkeit von Tischen', 'Treppengang', and 'Herstellervorgaben'.

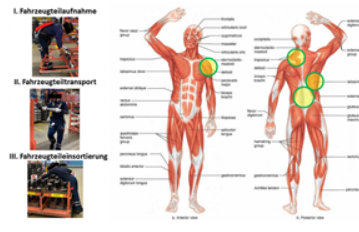
Labortests

Aufbau einer Testbatterie für die Anwendung im Labor



This slide details the setup of a test battery for laboratory use. It includes a list of key activities: 'reale Tätigkeiten', 'belebte Systeme', 'Störereignisse', 'Kontrollsysteme', 'Sprachsysteme', 'Kommunikation', 'HMI', 'Dynamische Systeme', and 'Feedback'. A central image shows a person in a laboratory setting.

Feldstudien



This slide presents field studies in different environments. It includes a list of key activities: 'I. Fahrzeugaufnahme', 'II. Fahrzeugtransport', and 'III. Fahrzeugabfertigung'. A central image shows a person working in a field.

Ableitung von Handlungsempfehlungen



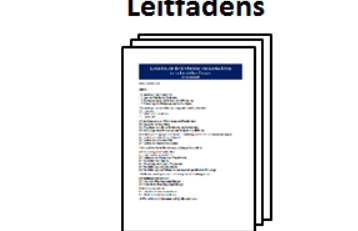
This slide discusses the derivation of action recommendations. It includes a list of key activities: 'Handlungsempfehlungen', 'Handlungsempfehlungen', 'Handlungsempfehlungen', and 'Handlungsempfehlungen'. A central image shows a person working in a field.

Konzeption des Leitfadens



This slide details the conception of a guide. It includes a list of key activities: 'Gefährdungsbeurteilung', 'Anpassung und Usability', 'Evaluationskriterien', 'Methoden & Vorgehensweisen zur Evaluation', and 'Supportsysteme'. A central image shows a person working in a field.

Ausgestaltung eines Leitfadens



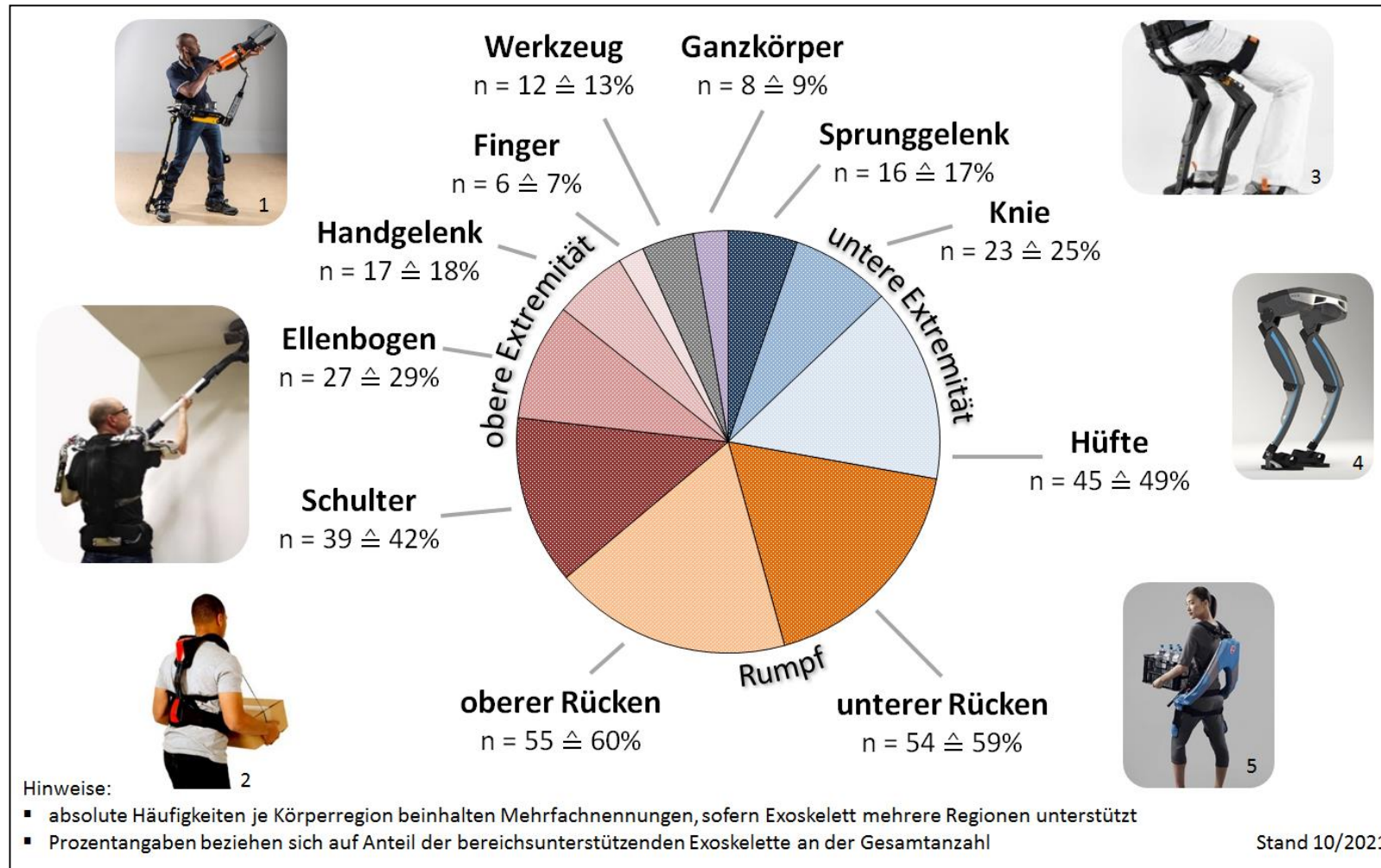
This slide discusses the design of a guide. It includes a list of key activities: 'Ausgestaltung eines Leitfadens', 'Ausgestaltung eines Leitfadens', 'Ausgestaltung eines Leitfadens', and 'Ausgestaltung eines Leitfadens'. A central image shows a person working in a field.

Validierung des Leitfadentwurfs



This slide details the validation of the guide design. It includes a list of key activities: 'Validierung des Leitfadentwurfs', 'Validierung des Leitfadentwurfs', 'Validierung des Leitfadentwurfs', and 'Validierung des Leitfadentwurfs'. A central image shows a person working in a field.

Marktstudie – Verfügbare Exoskelette (N=92)



Im Rahmen der Studie untersuchte Exoskelette

















Rückenunterstützung	<p>passives Starrkörper-Exoskelett für den unteren Rücken</p> <p>Laevo v2 (Laevo)</p> 	<p>passives textilbasiertes Exoskelett für den unteren Rücken</p> <p>SoftExo (Hunic)</p> 	<p>aktives Exoskelett für den unteren Rücken</p> <p>Cray X (German Bionic)</p> 	<p>textilbasiertes Exoskelett</p> <p>Rakunie (N-Ippin)</p> 	<p>aktiver textiler ExoSuit</p> <p>ExoSuit (HSU)</p> 	<p>passiver textiler ExoSuit</p> <p>HeroWear Apex (HeroWear)</p> 	<p>passives Exoskelett für den unteren Rücken</p> <p>Auxivo LiftSuit (Auxivo)</p> 	<p>aktives Exoskelett für den unteren Rücken</p> <p>Japet.W (Japet)</p> 	<p>passives Exoskelett für den unteren Rücken</p> <p>BionicBack (hTRIUS)</p> 	
	Schulterunterstützung	<p>einfach aktives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten</p> <p>Lucy (HSU)</p> 	<p>passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten</p> <p>Airframe (Levitare)</p> 	<p>passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten</p> <p>Paexo Shoulder (Otto Bock)</p> 	<p>passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten</p> <p>SkelEx Shoulder (SkelEx)</p> 	<p>passives Starrkörper-Exoskelett für obere Extremitäten</p> <p>Comau Shoulder (Comau)</p> 	Greifunterstützung	<p>aktives textilbasiertes Exoskelett für die Hand</p> <p>Ironhand (BioServo)</p> 	Standunterstützung	<p>passives starres System zur Entlastung unterer Extremitäten</p> <p>Chairless Chair (Noonee)</p> 

Abbildung:  universität innsbruck

Zentrale Erkenntnisse aus Exo@Work



Abbildung:  universität innsbruck

Abgeleitete Empfehlungen aus den Studienerkenntnissen

Empfehlungen					
Einsatz		Akzeptanz und Usability		Evaluation	
TOP-Prinzip des Arbeitsschutzes 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

7 Phasen Modell als Grundlage für die Evaluation von Exoskeletten

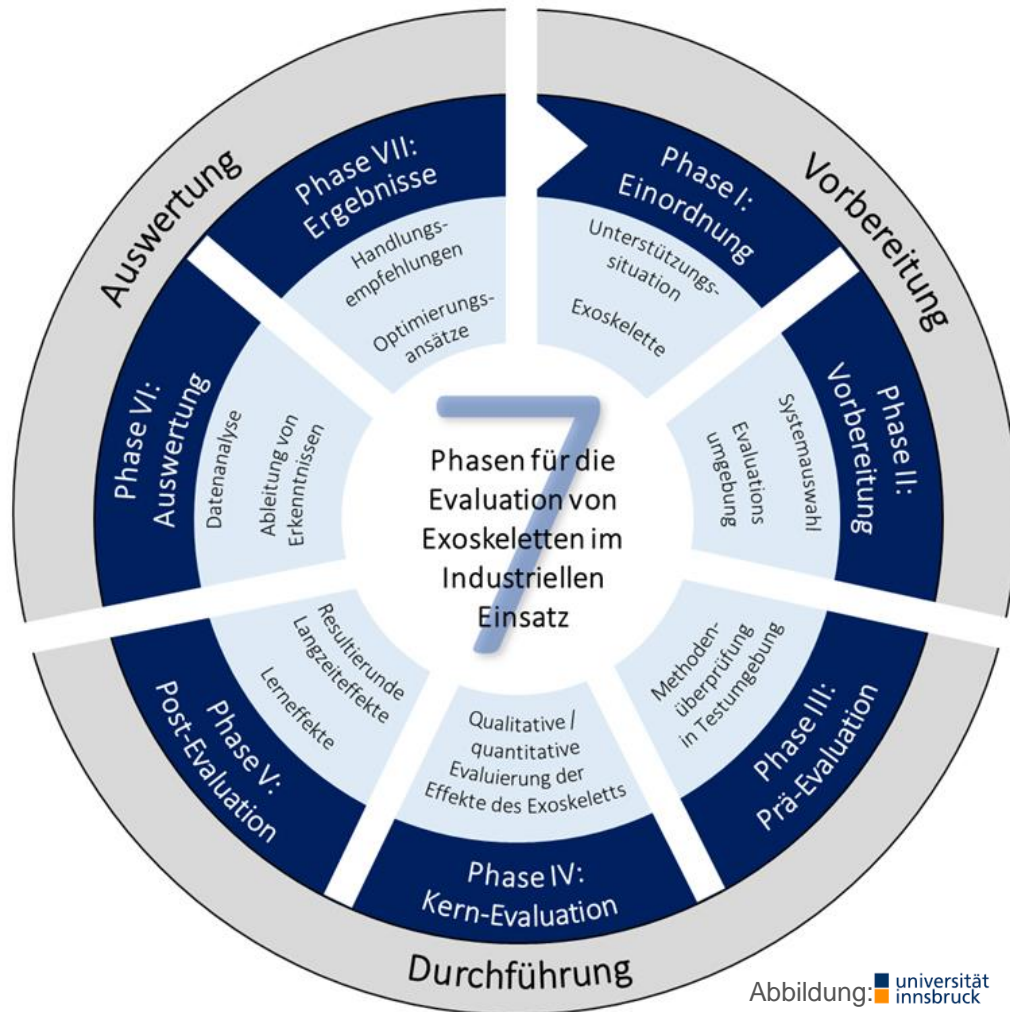
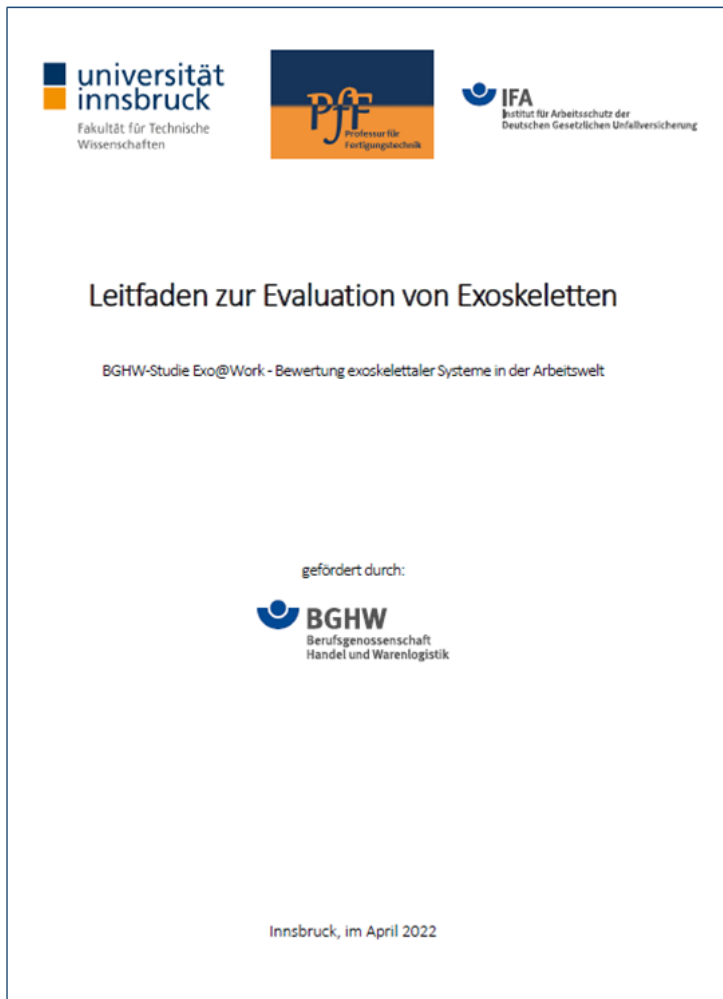


Abbildung: universität innsbruck

- **generische Methodik** zur ganzheitlichen Bewertung von industriellen Exoskeletten
- **drei Bewertungsstufen** mit **sieben untergeordneten Phasen**
- anwendbar und **anpassbar für verschiedene Akteure**
- **geführte Selbstevaluation**
- **iterativer und zirkulärer Prozess**

Leitfaden mit Handlungsempfehlungen als zentrales Ergebnis



- **Strukturierung** des Leitfadens **nach 7-Phasen-Modell**
- **Umfang insgesamt 33 Seiten**
(10 Seiten plus Anhang)
- **modulare Gestalt**
- adressiert **Praktiker*innen in gewerblichen Betrieben**
- Möglichkeit der Anwendung durch **weitere Nutzergruppen**
- **Download** im Kompendium Arbeitsschutz der BGHW
 - [Leitfaden](#)
 - [Abschlussbericht](#) (Kurzfassung)

Aktueller Stand der Normung von Exoskeletten



DIN NA 023-00-08 GA Exoskelette

Einrichtung erfolgte auf Beschluss 12/2020 des NAErg Beirats:

- konstituierende Sitzung fand am 11. Januar 2021 statt
- breite Beteiligung aus verschiedenen interessierten Kreisen mit 46 Teilnehmenden
- Beteiligung NA Maschinenbau (Robotik), NA Feinmechanik und Optik (Orthopädietechnik)
- Fachliche Gremienleitung, Ralf Schick (BGHW), Stellv. Prof. Robert Weidner (Uni Innsbruck)
- Derzeit arbeiten etwa 32 Personen im GA Exoskelette

DIN NA 023-00-08 GA Exoskelette

Aufgaben des GA Exoskelette:

- Normungs- und Standardisierungsbedarf im Themengebiet Exoskelette auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene zu prüfen und entsprechende Projekte zu initiieren
- Ziel ist die Einrichtung entsprechender europäischer/internationaler Gremien und die Verfolgung von Normungsarbeiten in anderen Ländern
- Normungsarbeiten sind nicht zulässig, wenn spezifische Exoskelette in das Aufgabengebiet eines anderen Normungsgremiums fallen (bspw. NA 060-38-01 AA Robotik)
- Aktiver Austausch und Koordinierung mit anderen Normenausschüssen

Einteilung der Themen im GA Exoskelette

Fokus der bisherigen Arbeiten:

Übergreifende Themen

(Terminologie, Klassifikation, Wirksamkeit, physische Schnittstelle, Herstellerinformationen, Kennzeichnung...)

Spezifische Produktnormen

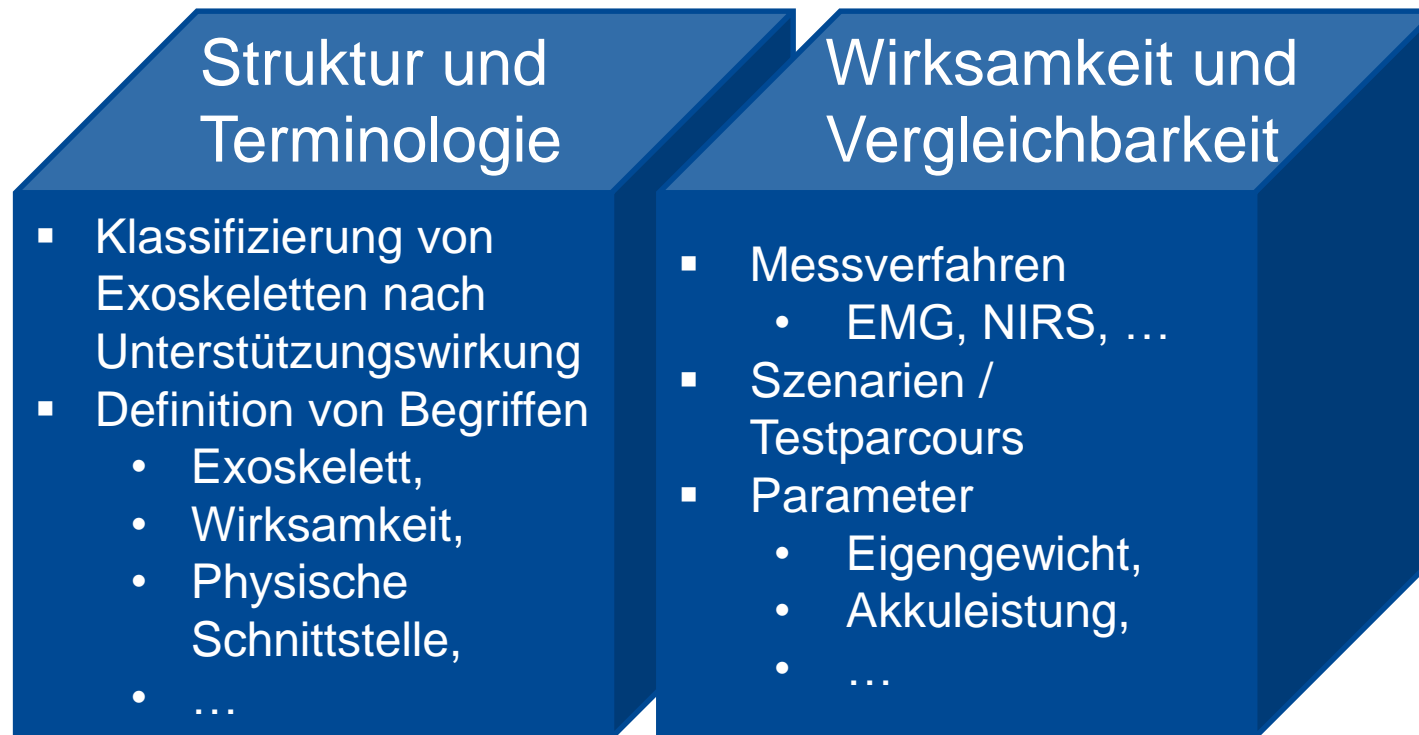
(bauen auf den übergreifenden Festlegungen auf und ergänzen produktspezifische Anforderungen und Prüfverfahren)

Arbeitsgruppen des GA Exoskelette

Struktur und Terminologie

- Klassifizierung von Exoskeletten nach Unterstützungswirkung
- Definition von Begriffen
 - Exoskelett,
 - Wirksamkeit,
 - Physische Schnittstelle,
 - ...

Arbeitsgruppen des GA Exoskelette



Arbeitsgruppen des GA Exoskelette





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)

Wie Muskel-Skelett-Erkrankungen im Arbeitsleben vermeiden?

Fachveranstaltung des SMWA Sachsen,

28. Juni 2023, Technisches Hilfswerk (THW) Dresden