



Mensch und Arbeitsplatz

Auswahl und Einsatz von Exoskeletten

DGUV Information 208-062

Impressum

Herausgegeben von:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) Glinkastraße 40 10117 Berlin Telefon: 030 13001-0 (Zentrale) E-Mail: info@dguv.de Internet: www.dguv.de Sachgebiet Physische Belastung des Fachbereich Handel und Logistik
Ausgabe:	Oktober 2025
Satz und Layout:	Satzweiss.com Print Web Software GmbH, Saarbrücken
Bildnachweis:	Titelbild: © TERRITORY GmbH – BGHW Abb. 1, 2: © DGUV – KonzeptQuartier GmbH Abb. 3, 4: © DGUV – 480 HZ
Copyright:	Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet.
Bezug:	Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter www.dguv.de/publikationen › Webcode: p208062

Mensch und Arbeitsplatz

Auswahl und Einsatz von Exoskeletten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5	Anhang	21
1.1	Problemstellung	5	Anhang 1 – Checkliste zur Tätigkeitsanalyse	21
1.2	Ziel und Zielgruppe	5	Anhang 2 – Checkliste zur Analyse des Arbeitsumfelds	22
2	Was Sie über Exoskelette wissen sollten	6	Anhang 3 – Checkliste zur Analyse der Unternehmenskultur	23
2.1	Wie lassen sie sich unterscheiden?	6	Anhang 4 – Leitfragen zur Eignung von Exoskeletten	24
2.2	Wie funktionieren und wirken Exoskelette?	7	Anhang 5 – Kriterien-Methoden-Matrix (nach Priorität sortiert)	25
2.3	Wobei unterstützen sie?	9	Anhang 6 – Auswahl an Messmethoden zur Evaluation von Exoskeletten	26
2.4	Voraussetzungen für den betrieblichen Einsatz	9	Anhang 7 – Auswahl an Kriterien zur Evaluation von Exoskeletten	28
3	Die richtige Auswahl machts	10	Anhang 8 – Allgemeine funktionale Anforderungen an Exoskelette	30
3.1	Vorbereitung	12	Anhang 9 – Fragebögen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten	31
3.1.1	Grundlagen für die Systemauswahl	12	Anhang 9.1 – Fragebogen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – VOR DER EINFÜHRUNG	31
3.1.2	Einflussfaktoren auf die Systemauswahl	12	Anhang 9.2 – Fragebogen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – NACH ERSTER NUTZUNG	33
3.1.3	Festlegung der Zielvorgaben zur Systemauswahl	14	Anhang 9.3 – Fragebogen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – NACH DER (TEST-)NUTZUNG	35
3.2	Durchführung der Erprobung	15	Anhang 10 – Fragebögen für die Nutzung von Exoskeletten	38
3.3	Auswertung der Test- und Erprobungsphase	16	Anhang 10.1 – Fragebogen für die Nutzung eines rumpfunterstützenden Exoskelettes	38
4	Empfehlungen für den Einsatz, die Nutzbarkeit und Akzeptanz sowie die Erprobung von Exoskeletten	17	Anhang 10.2 – Fragebogen für die Nutzung eines schulterunterstützenden Exoskelettes	41
4.1	Generelle Empfehlungen in Bezug auf den Einsatz von Exoskeletten	17		
4.2	Empfehlungen in Bezug auf eine verbesserte Nutzbarkeit und Akzeptanz	19		
4.3	Empfehlungen in Bezug auf die Erprobung	20		

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Exoskelette stellen eine neue Möglichkeit der Prävention als personengebundene Maßnahme dar. Sie können an Arbeitsplätzen mit körperlicher Belastung eine Verringerung dieser bewirken. Es sollte jedoch für jeden Arbeitsplatz spezifisch geprüft werden, ob ein Exoskelett zu einer nachhaltigen Reduktion der Belastung führt und welches Exoskelett für den jeweiligen Anwendungsfall am besten geeignet ist. Hierfür braucht es eine Eignungsbewertung von Exoskeletten, für die es bisher noch kein standardisiertes und zuverlässiges Vorgehen gibt. Auswahl und Bewertung sind aufgrund der Vielzahl am Markt verfügbarer Produkte für Unternehmen nicht leicht. So gibt es Exoskelette für verschiedene Körperregionen, die sich hinsichtlich ihrer Gestalt, Bauweise sowie mechanischen und biomechanischen Funktionsweise unterscheiden. Weiterhin sind Exoskelette meist für bestimmte Anwendungsfälle entwickelt, die an gewerblichen Arbeitsplätzen in unterschiedlicher Form, Häufigkeit und Umfang auftreten können.

1.2 Ziel und Zielgruppe

Ziel dieser DGUV Information ist es, eine Grundlage zur Bewertung von Exoskeletten bei gewerblicher Anwendung bereitzustellen. Hierfür wird eine systematische Schritt-für-Schritt-Anweisung beschrieben und um Checklisten, Leitfragen, Diagramme und Handlungsempfehlungen ergänzt. Dadurch werden fundierte und vergleichbare Untersuchungsergebnisse sichergestellt und die Auswahl eines geeigneten Exosketts für den jeweiligen Anwendungsfall unterstützt.

Zielgruppe sind die Akteurinnen und Akteure für Sicherheit und Gesundheit in den Unternehmen, die einen betrieblichen Einsatz von Exoskeletten planen. Die zentralen Schritte der Auswahl und Bewertung sowie wesentliche Handlungsempfehlungen werden für die Anwender kompakt und praxistauglich zusammengefasst.



Regelwerke und weiterführende Informationen

- Lastenhandhabungsverordnung (LasthandhabV),
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV),
- Arbeitsmedizinische Regel 13.2 (AMR 13.2) – „Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System“,
- Technische Regel für Betriebssicherheit 11 51 (TRBS 1151) – „Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch – Arbeitsmittel – physische und psychische Faktoren“,
- DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen – „Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen“,
- DGUV Information 208-033 „Muskel-Skelett-Belastungen – Erkennen und beurteilen“,
- DGUV Information 208-052 „Mensch und Arbeitsplatz – Personengebundene Tragehilfen und Rückenstützsysteme“,
- DGUV Information 208-053 „Mensch und Arbeitsplatz – Physische Belastung“.

2 Was Sie über Exoskelette wissen sollten

Exoskelette sind am Körper getragene technische Systeme, die durch mechanische Kopplung auf den Körper einwirken. Im beruflichen Kontext zielen sie darauf ab, Funktionen des Muskel-Skelett-Systems bei körperlicher Arbeit zu unterstützen.

2.1 Wie lassen sie sich unterscheiden?

Exoskelette unterscheiden sich nach dem Antriebsprinzip (aktive und passive Exoskelette), der adressierten Körperregion (z. B. Schulter oder Rücken), ihrer Gestalt (z. B. körpernahe oder körperferne Struktur), ihrer Bauweise (z. B. Nutzung fester oder weicher Materialien) sowie ihrer mechanischen und biomechanischen Funktionsweise (z. B. Erzeugung einer Zug- bzw. Druckkraft).

Passive Exoskelette nutzen die von der anwendenden Person aufgebrauchte Energie, die in Elementen wie Federn oder elastischen Bändern gespeichert und in weiterer Bewegungsfolge mechanisch wieder freigegeben wird. Aktive Exoskelette verfügen dagegen zusätzlich über eine externe Energieversorgung und verwenden bspw. elektrische oder pneumatische Antriebe.

Für die Anwendung an gewerblichen Arbeitsplätzen existieren Exoskelette zur Unterstützung des Rückens, der oberen Extremitäten (z. B. Schulter, Arme, Hand) sowie der unteren Extremitäten (z. B. Hüfte, Beine). Am weitesten verbreitet sind schulter- und rückenunterstützende Exoskelette.

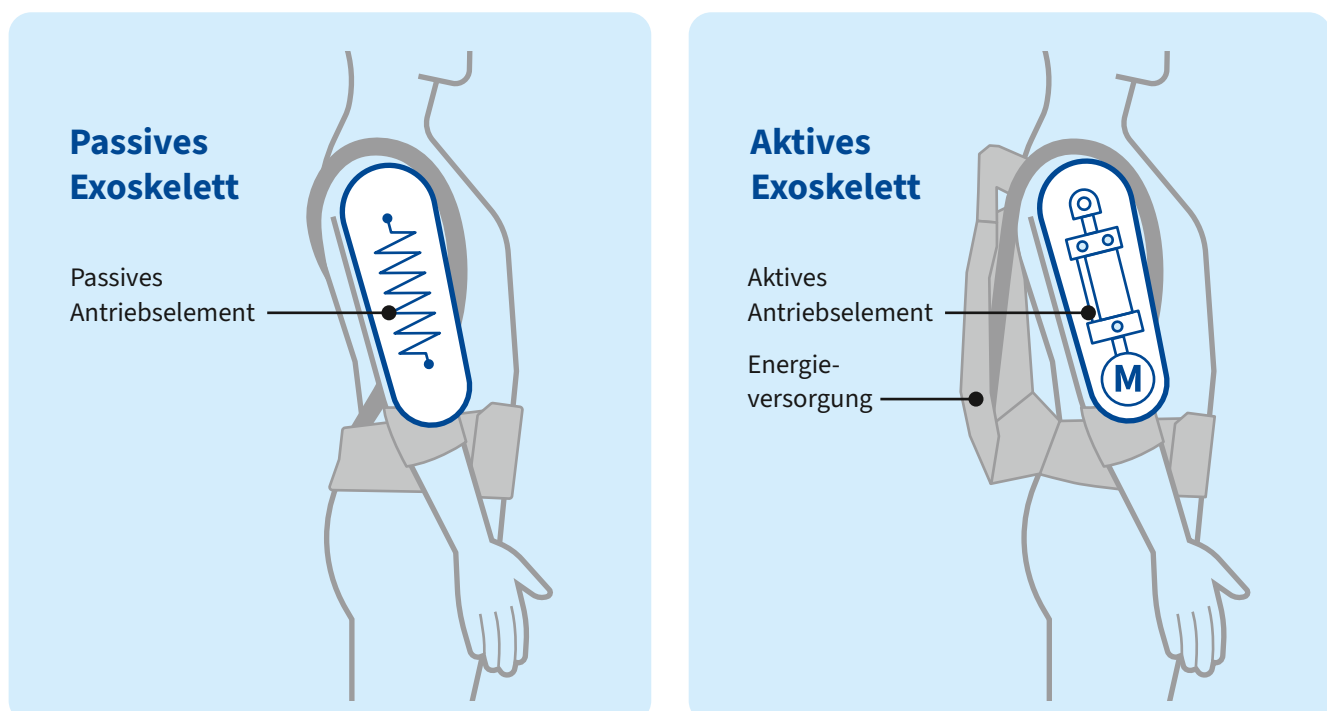


Abb. 1 Unterschiedliche Antriebsprinzipien von Exoskeletten

2.2 Wie funktionieren und wirken Exoskelette?

Entsprechend ihres Antriebsprinzips, adressierter Körperregion, Gestalt und Bauweise funktionieren und wirken Exoskelette unterschiedlich. Durch Aufnehmen oder Umleiten von Kräften können vorzeitige Ermüdung und Überbeanspruchungen besonders stark belasteter Körperregionen vermindert werden. Darüber hinaus können Exoskelette Körperhaltungen verbessern.

Dabei bieten die meisten derzeit auf dem Markt verfügbaren Exoskelette nur eine Teilunterstützung an. Alleine durch deren Einsatz können die Gefährdungen an unergonomischen Arbeitsplätzen, z. B. Handhabung schwerer Lastgewichte oder sehr häufige Lastenhandhabungen, nicht beseitigt werden.

Nachfolgend eine Auswahl zu verschiedenen Funktionsweisen von Exoskeletten zur Rückenunterstützung:

- Starrgliedrige Exoskelette erzeugen auf Höhe der Hüftgelenke bei Beugung und Streckung Drehmomente, die über ihre stabile Struktur (z. B. Metallstäbe) Unterstützungskräfte an den Kontaktstellen am Brustkorb und Oberschenkel auf den menschlichen Körper einleiten und damit auf die Entlastung des unteren Rückens abzielen.
- Elastische Textilien oder gummiartige Bänder, die bei Beugung über den Rücken gedehnt werden, liefern eine Zugkraft, die das Halten und das Aufrichten des Rumpfes unterstützen. Die Wirbelsäule dient dabei als Widerlager und kompensiert dabei die Zugkräfte des Exoskeletts durch entsprechende Druckkräfte.

Zur Vermeidung ungünstiger Körperhaltungen können die oben genannten Funktionsmechanismen durch zusätzliche Elemente zur Stabilisierung von Körperregionen ergänzt werden. Dadurch soll langfristig eine ergonomische Körperhaltung gefördert und bspw. ein Rundrücken oder eine verdrehte Hüfte beim Heben vermieden werden.

Systeme zur Schulterunterstützung:

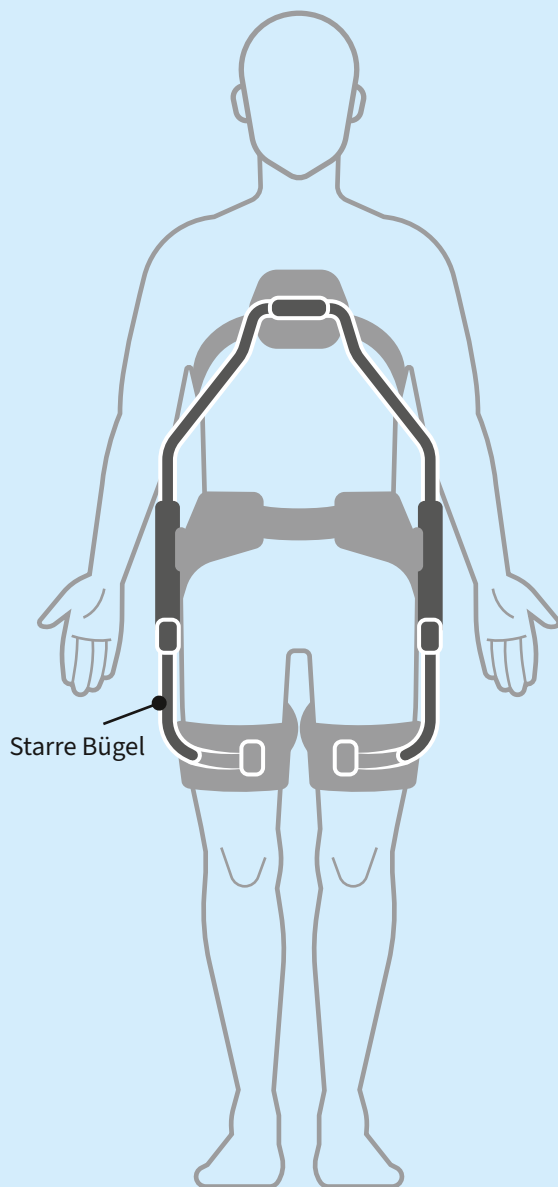
- Starrgliedrige Exoskelette erzeugen ein Drehmoment um das Schultergelenk in Abhängigkeit des Schultergelenkwinkels.
- Der Fokus liegt auf der muskulären Entlastung bei Tätigkeiten mit angehobenen Armen (z. B. bei Überkopfarbeit).
- Der Einsatz von elektrischen oder pneumatischen Aktuatoren in Verbindung mit einer starrgliedrigen Struktur erzeugt ein unterstützendes Drehmoment.

Systeme, die auf anderen Bauprinzipien basieren bzw. weitere Körperregionen unterstützen:

- Soft-Systeme, die ausschließlich mit elastischen Bändern bzw. elastischen Textilien arbeiten, die sich während der Beugung eines Gelenkes dehnen und bei Streckung wieder einen Teil der gespeicherten Energie zurückgeben.
- Reine Stützsysteme ohne Antrieb, die auf eine bestimmte maximale Gelenkbeugestellung eingestellt werden. So gibt es z. B. Systeme, die wie eine Stehhilfe teilweises Sitzen ermöglichen, aber am Körper getragen werden.
- Hand-Exoskelette, die das Greifen aktiv unterstützen.
- Oft werden auch personengebundene Halte- und Tragesysteme als Exoskelette bezeichnet. Diese Systeme werden in dieser Schrift nicht behandelt, da sie Gegenstand der DGUV Information 208-052 „Mensch und Arbeitsplatz – Personengebundene Tragehilfen und Rückenstützsysteme“ sind.

Auf eine tiefergehende Beschreibung dieser Systeme wird an dieser Stelle verzichtet.

Starrgliedrige Exoskelette



Exoskelette mit elastischen Textilien

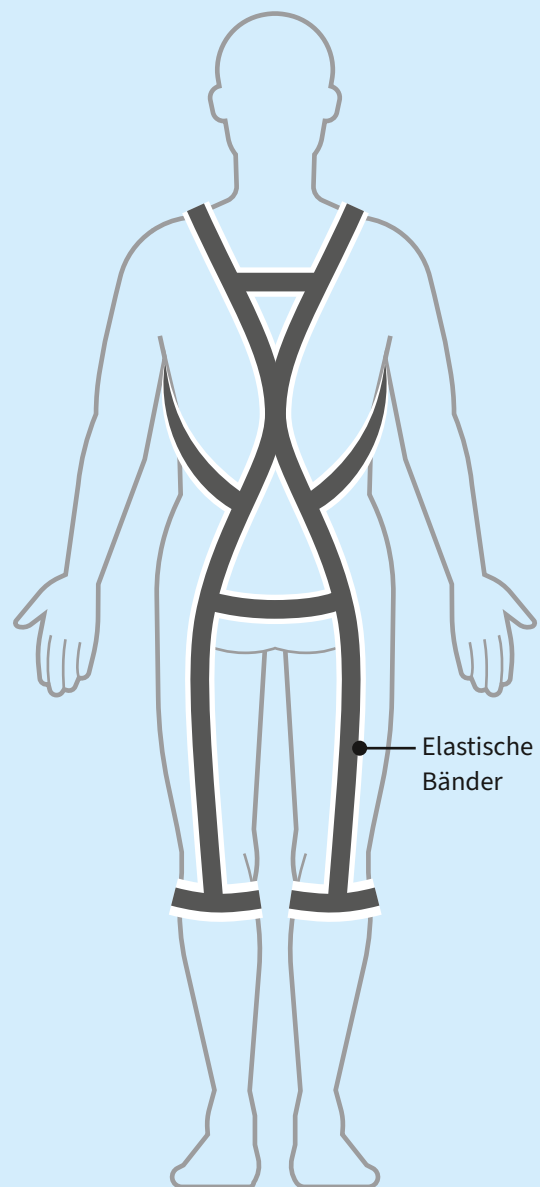


Abb. 2 Funktionsweisen von Exoskeletten

2.3 Wobei unterstützen sie?

Exoskelette in der gewerblichen Nutzung können belastende Bewegungen und Haltungen - vor allem Zwangshaltungen (z. B. Rumpfbeuge oder Überkopfarbeit) – erleichtern. Darüber hinaus können Körperhaltungen stabilisiert werden. Exoskelette entlasten zumeist nur eine Körperregion und Teilbewegungen.

Sowohl passive als auch aktive Exoskelette haben in Abhängigkeit der konkreten Tätigkeit unterschiedliche Unterstützungseffekte. In der Regel weisen aktive Exoskelette die Möglichkeit einer regelbaren Unterstützung während der Verrichtung einer Arbeitsaufgabe auf, insbesondere bei Tätigkeiten mit einer erhöhten Varianz bei den Bewegungsabläufen und Lastgewichten. Passive Systeme eignen sich vor allem für Arbeitsabläufe mit nur geringer Bewegungsvariation und gleichbleibenden Lastgewichten.

Exoskelette zur Entlastung des unteren Rückenbereiches unterstützen vorrangig beim tiefen Vorbeugen des Rumpfes wie teilweise beim Heben von Lasten (z. B. Pakete vom Boden anheben), aber im Allgemeinen nicht beim Tragen oder Ziehen und Schieben von Lasten. Systeme zur Entlastung der Schulterregion unterstützen nur bei Tätigkeiten mit angehobener Armstellung in oder über Schulter- und Kopfhöhe (z. B. bei Montagetätigkeiten über Kopfhöhe). Eine Steigerung der Kraftfähigkeiten beim Handhaben von schweren Lasten ist dabei aber in der Regel nicht gegeben.

Exoskelette kommen nur dort infrage, wo andere arbeitsgestalterische Maßnahmen wie eine Anpassung der Arbeitshöhe oder technische Hilfsmittel wie Gabelstapler, Kran und Vakuumheber etc. nicht möglich oder ausgeschöpft sind.

2.4 Voraussetzungen für den betrieblichen Einsatz

Vor einer Einführung von Exoskeletten an Arbeitsplätzen sollte die grundsätzliche Eignung geprüft werden:

- Exoskelette gehören zu den personenbezogenen Präventionsmaßnahmen. Sie werden als Unterstützung am gewerblichen Arbeitsplatz und nicht als medizinisches Hilfsmittel betrachtet.
- Der Einsatz von Exoskeletten ist kein Allheilmittel. Vor der Anwendung personenbezogener Maßnahmen müssen nach dem TOP-Prinzip (**T**echnisch – **O**rganisatorisch – **P**ersonenbezogen) zunächst technische und arbeitsorganisatorische Maßnahmen in Betracht gezogen werden.
- Der Einsatz von Exoskeletten darf nicht im Konflikt mit vorhandenen Arbeitsplatzregularien laut gesetzlichen und betrieblichen Vorgaben (z. B. Regelungen zum Arbeitsschutz) stehen.
- Das Tragen eines Exoskeletts darf die Schutzwirkung von getragener PSA nicht negativ beeinflussen.
- Wird eine Nutzung des Exoskeletts durch eine vorerkrankte Person (z. B. im Rahmen von BEM) geplant, sollte eine individuelle arbeitsmedizinische Beratung eingeholt werden. Exoskelette als medizinisches Hilfsmittel stellen eine Sonderform des Einsatzes dieser Geräte dar.
- Exoskelette sind zweckmäßig und bestimmungsgemäß einzusetzen. Für die grundsätzliche Eignung sind sowohl die Haupt- als auch die Nebentätigkeiten zu betrachten.
- Der Einsatz eines Exoskelettes ist bereits vor der Erprobung in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen und diese entsprechend zu erweitern ([Mustergefährdungsbeurteilung IFA](#)).
- Eine Leistungssteigerung durch den Einsatz von Exoskeletten ist im Sinne der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten nicht zu befürworten.

3 Die richtige Auswahl macht's

Bei der Auswahl eines geeigneten Exoskelettes ist die folgende Vorgehensweise zu beachten. Zunächst ist eine **Vorbereitung** erforderlich, welche die Analyse der Tätigkeiten, des Arbeitsumfeldes sowie der Unternehmensstruktur und -kultur beinhaltet. Außerdem sind Einflussfaktoren und Zielvorgaben für die Systemauswahl zu identifizieren bzw. festzulegen.

Darauf folgt die **Durchführung** von begleiteten Test- und Erprobungsphasen. Diese beinhalten die subjektive und objektive Bewertung der Eignung des Exoskelettes für den betreffenden Arbeitsplatz.

Abschließend wird die Test- und Erprobungsphase ausgewertet. Diese **Auswertung** bildet die Basis für die erfolgreiche Auswahl und Einführung eines Exoskelettes.

Abbildung 5 fasst das in den nachfolgenden Abschnitten beschriebene Vorgehen überblicksartig zusammen und verweist auf ergänzende Hilfsmittel wie Checklisten und Fragebögen, die im Anhang der DGUV Information beigefügt sind und die Auswahl eines geeigneten Exoskelettes unterstützen können.



Abb. 3 Einsatz eines Exoskelettes für Arbeiten über Schulterhöhe



Abb. 4 Einsatz eines Exoskelettes für das Heben von Lasten und Arbeiten in Rumpfvorneigung

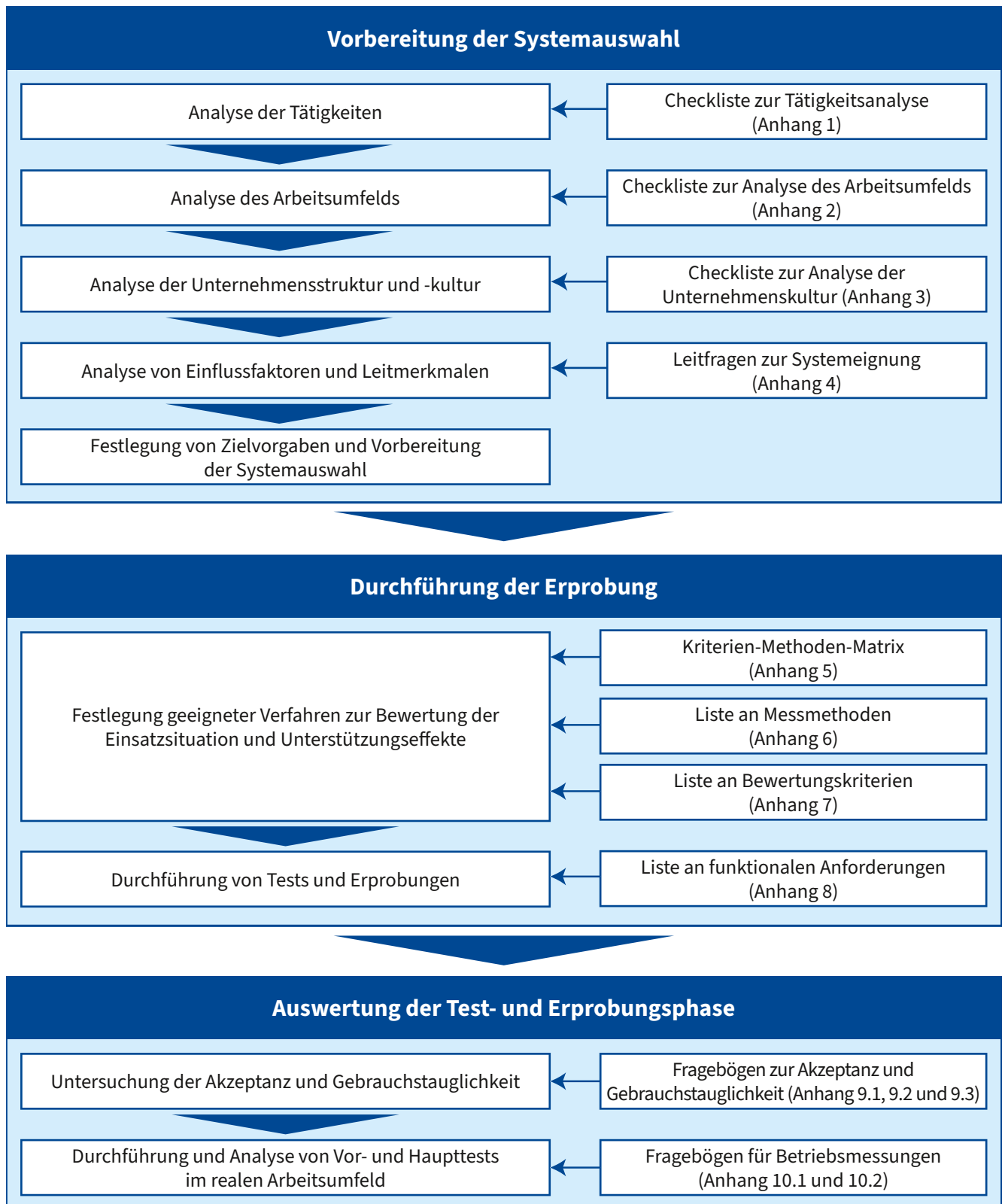


Abb. 5 Vorgehen zur Auswahl eines geeigneten Exoskeletts

3.1 Vorbereitung

3.1.1 Grundlagen für die Systemauswahl

Wesentliche Grundlage für eine Systemauswahl ist die Analyse der **Tätigkeiten**, bei welchen ein Exoskelett unterstützen soll (Haupttätigkeiten, z. B. Arbeiten über Schulterhöhe) bzw. das System nicht behindern darf (Nebentätigkeiten, z. B. Steigen von Treppen). Entscheidend für die richtige Auswahl ist auch die Kompatibilität mit Werkzeugen und weiteren Hilfsmitteln.

Folgende Aspekte sollten betrachtet werden:

- Körperhaltungen,
- Bewegungsradius,
- dynamische und statische Tätigkeiten,
- Häufigkeit, Wiederholungen,
- Varianz innerhalb der Tätigkeitsaufgaben,
- Handhabung von Bauteilen/Werkzeugen,
- handzuhabende Gewichte (Mittelwert und Varianz),
- Bewegungsspielraum/-freiheit,
- ein-/beidhändige Tätigkeitsausführung,
- Ausführungsgeschwindigkeit sowie
- Prozesskräfte/Interaktionskräfte.

Aus den ermittelten Tätigkeiten und Bewegungsmustern ist abzuleiten, ob und welche Körperregionen besonders belastet sind (Engpassbetrachtung) und unterstützt werden sollten. Es sollte ein Exoskelett ausgewählt werden, das die besonders belastete Körperregion adressiert.

Bei der Engpassbetrachtung kann die Gefährdungsbeurteilung physischer Belastungen des betreffenden Arbeitsplatzes unterstützen. Diese kann z. B. auf der [DGUV-Checkliste](#) oder den [Leitmerkmalmethoden \(LMM\)](#) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) basieren.



Eine Checkliste zur Tätigkeitsanalyse, welche bei der Ermittlung von Haupt- und Nebentätigkeiten unterstützen kann, befindet sich in [Anhang 1](#). Im Rahmen einer Beteiligung kann die Checkliste auch gemeinsam mit den betroffenen Beschäftigten ausgefüllt werden.

Neben Eigenschaften und Randbedingungen, die sich aus den betrieblichen Tätigkeiten ableiten lassen, kann auch das **Arbeitsumfeld** einen Einfluss auf die Auswahl eines Exoskeletts haben. Zentral sind bspw.:

- räumliche Parameter (z. B. Gänge und Fluchtwege),
- Umwelteinflüsse (z. B. klimatische Bedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit) sowie
- Gefahrenbereiche (z. B. Arbeiten mit Chemikalien oder schweren Maschinen).



Eine Checkliste zur Analyse des Arbeitsumfelds befindet sich in [Anhang 2](#).

Unternehmensstruktur und -kultur können einen Einfluss auf die Akzeptanz von Exoskeletten haben. Daher sind auch die Unternehmenskultur und bisherige Erfahrungen beim Einsatz neuer Technologien von Bedeutung. Zentrale Punkte hierbei sind bspw.:

- die Motivation, Ziele und Zusammenarbeit,
- die Akzeptanz der Einführung neuartiger Technologien sowie
- die Kompetenz, Kultivierung und Kontrolle (u. a. Standards, Sicherheit, Regeln).



Eine Checkliste zur Analyse der Unternehmenskultur befindet sich in [Anhang 3](#).

3.1.2 Einflussfaktoren auf die Systemauswahl

Bevor die Auswahl eines geeigneten Systems getroffen werden kann, ist es wichtig verschiedene **Eigenschaften** in Bezug auf den Arbeitsplatz, die nutzende Person sowie die in Betracht kommenden Exoskelette als Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Die **Arbeitsplätze** können durch Tätigkeits- und Bewegungsprofile, verwendete Arbeitsmittel und zu berücksichtigende Arbeitsschutzvorgaben aus Vorschriften und Regelwerken beschrieben werden. Hinzu kommen

räumliche und klimatische Einflüsse und der soziale Umgang in der Belegschaft.

In Bezug auf die **nutzende Person** sind deren individuelle Eigenschaften und Fähigkeiten relevant. Einen Einfluss auf die Unterstützung nehmen beispielsweise Aspekte der körperlichen Konstitution, des Qualifikationsprofils sowie der Arbeitsroutinen.

Bei **Exoskeletten** sind u. a. das Funktionsprinzip, die unterstützte Körperregion, die Unterstützungsform, das Unterstützungsverhalten sowie gestalterische Aspekte zu berücksichtigen.

Diese Eigenschaften fließen in übergeordnete **Leitmerkmale** ein und beeinflussen deren Ausprägung:

- Gestaltung des Systems (z. B. Energieversorgung, Systemanbindung, Systemgewicht)

- Handhabung des Systems (z. B. An- und Ablegen, Regelung der Unterstützungsleistung, Kompatibilität mit PSA, Entkopplung bei Nebentätigkeiten)
- Mensch-Technik-Interaktion (z. B. Bewegungsfreiheit, Größenanpassung, Wärmeentwicklung)
- Nutzen des Systems (z. B. Unterstützung bzw. Entlastung, unterstützte Bewegungen)

Diese Leitmerkmale bestimmen mit den Querschnittsthemen Tragekomfort, Sicherheit, Robustheit und Wartung (einschließlich Hygiene) maßgeblich die Eignung von Exoskeletten für den Einsatz in unterschiedlichen Arbeitsabläufen. Abbildung 6 verdeutlicht die Zusammenhänge grafisch.



Die in [Anhang 4](#) dargestellten Leitfragen können bei der Prüfung der Eignung eines Exoskeletts unterstützen.



Abb. 6 Einflussfaktoren auf die Systemauswahl

3.1.3 Festlegung der Zielvorgaben zur Systemauswahl

Sind die Grundlagen und Einflussfaktoren für die Systemauswahl identifiziert, folgt die Auswahl eines geeignet erscheinenden Exoskeletts. Die Grundlage dafür stellen die auftretenden Bewegungen und Belastungen während der Tätigkeiten dar. So sollte zunächst geprüft werden,

welche Körperregion vorrangig belastet ist. Als Folge kann dann die Zielregion des Exoskeletts ermittelt werden. Wird bspw. vor allem der untere Rücken belastet, sollte auf eine mögliche Unterstützung durch ein Exoskelett zur Rückenunterstützung fokussiert werden. Ein entsprechendes Vorgehen dafür ist in Abbildung 7 gezeigt.

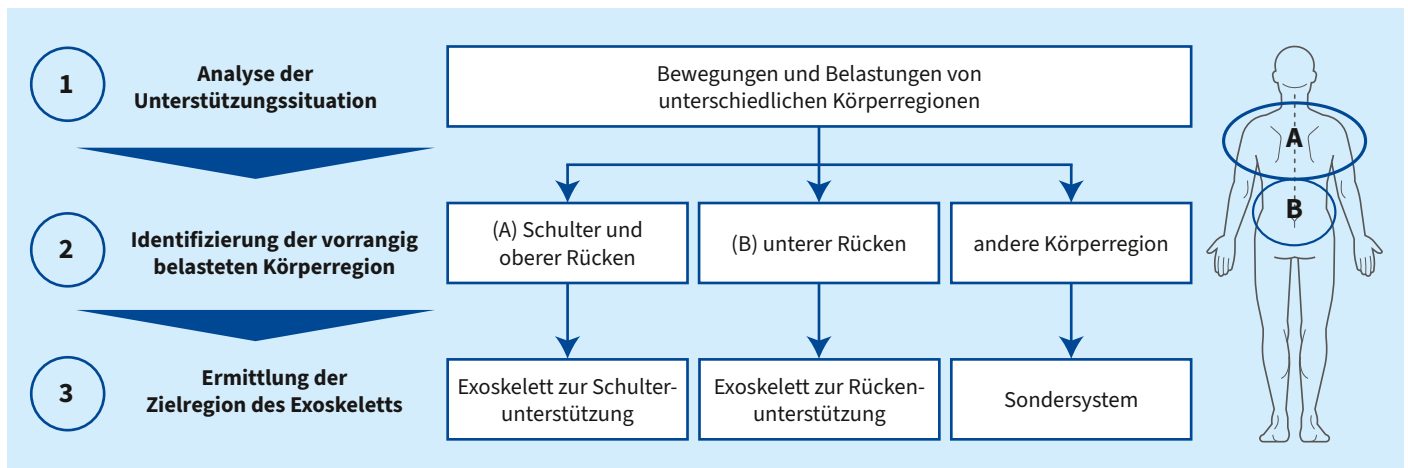


Abb. 7 Vorgehen bei der Systemauswahl

Nach erfolgter Ermittlung der Zielregion kann die Auswahl eines spezifischen Exoskeletts zur Unterstützung dieser Körperregion erfolgen. Dabei kann eine Entscheidungsmatrix unterstützen, deren Struktur schematisch anhand je eines Beispiels für Szenarien einer Schulter- bzw. Rückenunterstützung in Abbildung 8 dargestellt ist. Die Übersicht kann dabei helfen, das erforderliche Tätigkeitsprofil mit den vorhandenen technischen Eigenschaften des Exoskeletts abzugleichen und eine Abschätzung für die Auswahl eines geeigneten Exoskeletts vorzunehmen.

Für die Vorbereitung der Auswahl eignet sich das folgende schrittweise Vorgehen:

- **Schritt 1:** Auswahl relevanter Eigenschaften und Charakteristika, anhand derer die Exoskelette bewertet werden können (siehe Abb. 8, Dynamik der Arbeit, Rumpfvorbeuge, Lastgewicht, etc.)
- **Schritt 2:** Festlegen der tätigkeitsbezogenen Anforderungen anhand der in Schritt 1 ausgewählten Eigenschaften (siehe Abb. 8, orangene Kästchen)
- **Schritt 3:** Vergleich der Systemeigenschaften des Exoskeletts/der Exoskelette mit dem Anforderungsprofil aus Schritt 2 (siehe Abb. 8, Linien der verschiedenen Exoskelette)
- **Schritt 4:** Auswahl des Exoskeletts, dessen Systemeigenschaften am besten zu den tätigkeitsbezogenen Anforderungen passt (siehe Abb. 8, gestrichelte Linie)

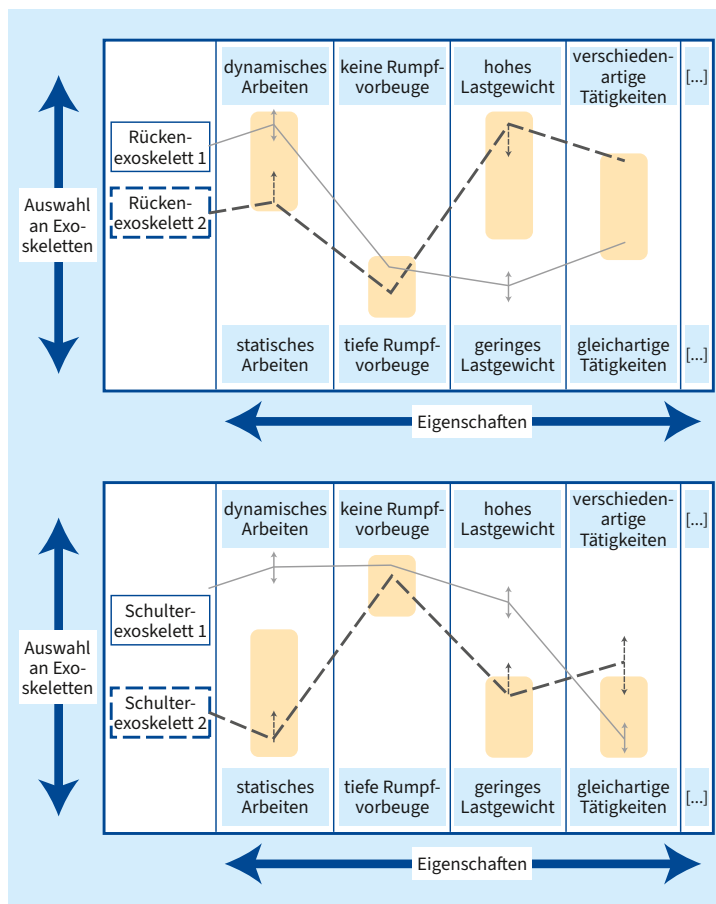


Abb. 8 Beispiel je einer Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines Rücken- (oben) und eines Schulterexoskeletts (unten)



Die Kriterien-Methoden-Matrix ist in [Anhang 5](#) zu finden. Eine Übersicht über Messmethoden zur Evaluation von Exoskeletten befindet sich in [Anhang 6](#). [Anhang 7](#) bietet eine Übersicht von Kriterien zur Evaluation von Exoskeletten.

3.2 Durchführung der Erprobung

Bevor die Erprobung eines Exoskeletts erfolgen kann, sind geeignete Verfahren zur Bewertung der Einsatzsituation und der Unterstützungseffekte des Exoskeletts festzulegen.

Dazu dient die Kriterien-Methoden-Matrix, welche eine Liste von unterschiedlichen Verfahren umfasst. Dabei eignen sich objektive Verfahren, wie die Messung der körperlichen Belastung, vorzugsweise für wissenschaftliche Feld- und Laboruntersuchungen. Subjektive Verfahren wie Befragungen sind für innerbetriebliche Test- und Erprobungsphasen geeignet. Im Idealfall werden bei innerbetrieblichen Anwendungen subjektive und objektive Verfahren kombiniert eingesetzt, um ein besseres Gesamtbild zu erhalten. Die subjektiven und objektiven Verfahren zielen darauf ab, unterschiedliche Kriterien wie Belastungsempfinden und Belastungsreduktion zu untersuchen.

Test- und Erprobungsphasen sind eine geeignete Möglichkeit, um Unterstützungseffekte von Exoskeletten zu bewerten. Ein einheitliches und systematisches Vorgehen trägt dazu bei, belastbare und untereinander vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Idealerweise werden Exoskelette direkt am betroffenen Arbeitsplatz getestet. Sollte aus organisatorischen Gründen eine Erprobung direkt am Arbeitsplatz nicht möglich sein, ist auch eine Studie an einem simulierten Arbeitsplatz oder in einem Testparcours mit realitätsnahen Arbeitsabläufen sowie funktionalen Tests (siehe Überblick in Abbildung 9) möglich. Eine arbeitsmedizinische Begleitung sollte auch bereits während der Test- und Erprobungsphasen gewährleistet sein, um Beschwerden (z. B. Hautverletzungen durch Reibungen etc.) frühzeitig zu erkennen.



Eine ausführliche Übersicht über allgemeine funktionale Anforderungen an Exoskelette ist in [Anhang 8](#) dargestellt.

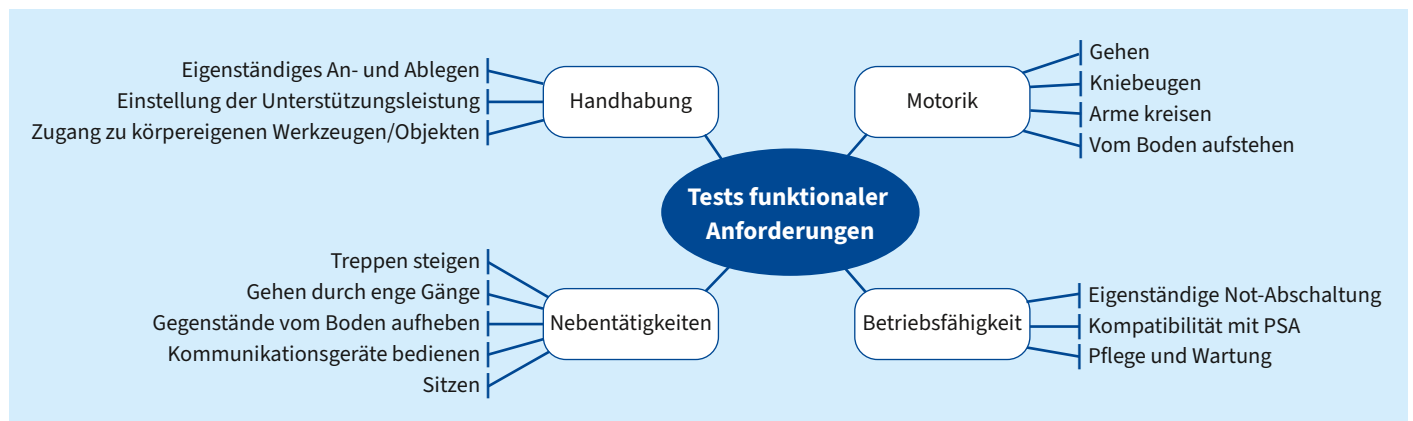


Abb. 9 Übersicht allgemeiner funktionaler Anforderungen

3.3 Auswertung der Test- und Erprobungsphase

Neben einer sorgfältigen Planung und Durchführung der Test- und Erprobungsphase bildet deren Auswertung die Basis für die erfolgreiche Auswahl und Einführung eines geeigneten Exoskeletts.

Für die Auswertung bietet es sich an, die Methodik zur Auswahl von Exoskeletten (Kapitel 3.1) für die Erprobung auf Basis der gesammelten Daten und Eigenschaften zu wiederholen und zu verfeinern. Das grundlegende Vorgehen ist dabei identisch, allerdings kann es auf Basis der durchgeführten Erprobung(en) ggf. in folgenden Aspekten angepasst werden:

- Welche Eigenschaften sollen für die Auswertung betrachtet werden?
- Wo liegen die Zielbereiche je Eigenschaft für das jeweilige Tätigkeitsprofil?
- Wie werden Exoskelette im Hinblick auf die jeweiligen Eigenschaften bewertet?



Wichtige Schritte für den Ablauf:

- Erweiterung der Gefährdungsbeurteilung für den Einsatz von Exoskeletten
- Vorauswahl möglicher Exoskelette
- Vortest mit den Beschäftigten (Aspekte: Bedienung, Motorik, betreffende Tätigkeiten simulieren, etc.) einschließlich Befragung – Hersteller hier mit einbeziehen
- Haupttest im Arbeitsumfeld mit möglichst kompetenter Begleitung (SiFa, Arbeitsmedizin, etc.) und detailliertem Tätigkeitsprotokoll (ggf. mit Messunterstützung)
- Gesamtbewertung
- Weitere Ausrichtung des Erprobungsablaufs



In [Anhang 9.1](#), [9.2](#) und [9.3](#) sind Fragebögen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – vor, während und nach der Erprobungsphase dargestellt.

Fragebögen für Erprobungen im realen Arbeitsumfeld sind in [Anhang 10.1](#)-Rumpfunterstützung und [10.2](#)-Schulterunterstützung zu finden.

4 Empfehlungen für den Einsatz, die Nutzbarkeit und Akzeptanz sowie die Erprobung von Exoskeletten

4.1 Generelle Empfehlungen in Bezug auf den Einsatz von Exoskeletten



Maßnahmenhierarchie nach dem TOP-Prinzip des Arbeitsschutzes beachten

Vor dem Einsatz von Exoskeletten muss gemäß Arbeitsschutzgesetz §4 „Allgemeine Grundsätze“ geprüft werden, ob technische oder organisatorische Maßnahmen möglich sind, um die Arbeitsbedingungen zu verbessern. Personenbezogene Maßnahmen wie der Einsatz eines Exoskeletts dürfen immer nur der letzte Schritt sein, wenn die Arbeitsbedingungen sonst nicht ausreichend zu verbessern sind.



Sicherheitsrelevante Aspekte beachten

Je nach Arbeitsplatz und Tätigkeitsprofil bestehen spezielle Sicherheitsanforderungen, die der Nutzung eines Exoskeletts nicht widersprechen dürfen. So ist eine Behinderung durch das Exoskelett, z. B. im Zusammenhang mit zu verwendender persönlicher Schutzausrüstung (PSA), auszuschließen.



Herstellerinformationen beachten

Exoskelett-Hersteller benennen in der Regel einen beabsichtigten Einsatzzweck (bestimmungsgemäße Anwendung), einen definierten Nutzerkreis (z. B. nicht für Personen mit Vorerkrankungen geeignet), mögliche Gefährdungen und technische Eigenschaften ihrer Produkte.



Eine Körperregion für die Unterstützung festlegen

Exoskelette unterstützen meist nur eine Körperregion. Daher ist es wichtig, eine Körperregion zu priorisieren, die besonders belastet ist.



Unterstützte Teiltätigkeiten beachten

Exoskelette können in der Regel nicht den gesamten Umfang einer Tätigkeit unterstützen, da die Systeme nur auf einzelne Bewegungsphasen ausgelegt sind. So können sie bei anderen Bewegungen und/oder Tätigkeiten sogar hinderlich wirken. Es sollte stets darauf geachtet werden, dass Exoskelette primär für Tätigkeiten eingesetzt werden, für welche diese ausgelegt sind (siehe dazu auch Herstellerinformationen).



Bewegungsbereiche der Teiltätigkeiten beachten

Häufig können Exoskelette nur in bestimmten Bewegungsbereichen (Winkelbereichen) unterstützen oder überhaupt genutzt werden. Daher sollte darauf geachtet werden, dass das Tätigkeitsprofil zu den Bewegungs- und Unterstützungsbereichen des Exoskeletts passt.



Anforderungen an Dynamik beachten

Die dynamischen Eigenschaften und Fähigkeiten eines Exoskeletts sollten zu den Anforderungen des Tätigkeitsprofils passen. Ist z. B. häufiges Bücken notwendig, sollte das Exoskelett in der Lage sein, Bückbewegungen schnell zu folgen, ohne diese zu behindern.



Nebentätigkeiten beachten

Viele Tätigkeitsprofile umfassen neben den zu unterstützenden Haupttätigkeiten auch verschiedene Nebentätigkeiten (z. B. Gehen, Sitzen, Treppensteigen). Dabei darf ein Exoskelett nicht stören. Parallel sollte daher geprüft werden, ob durch Umstrukturierung der Anteil nicht unterstützter oder gar behindernden Nebentätigkeiten reduziert werden kann, ohne dabei zu ergonomisch unerwünschter Arbeitsverdichtung oder Monotonie zu führen. Werden nur wenige Tätigkeiten unterstützt oder besteht der Bedarf das Exoskelett häufig an- und auszuziehen, kann dies bei nutzenden Personen zu Ablehnung führen.



Führen von Fahrzeugen vermeiden

Das Führen von Fahrzeugen mit angelegtem starrgliedrigem Exoskelett sollte vermieden werden. Ist dies doch vorgesehen, dann können nur vom Hersteller für diesen Anwendungsfall freigegebene Exoskelette verwendet werden. Zusätzlich müssen mögliche Risiken, die durch das Führen von Fahrzeugen mit angelegtem starrgliedrigem Exoskelett entstehen können, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ausgeschlossen werden. Überdies sollten für den Einsatz in den Betrieben die Hinweise der zuständigen Berufsgenossenschaft herangezogen werden. So können mögliche spezifische Gefährdungen der jeweiligen Branche direkt in die Beurteilung einfließen.



Flucht im Notfall sicherstellen

In einem Notfall sollte das angelegte Exoskelett so schnell wie möglich abgelegt werden können. Ist dies nicht möglich oder nicht zwingend erforderlich, dann sollte sichergestellt sein, dass die nutzende Person in der Lage ist, mit angelegtem Exoskelett die vorgesehenen Fluchtwege (z. B. über Treppen oder Fluchtleitern) zu nutzen, um sich im Notfall selbständig aus Gefahrenbereichen bewegen zu können. Die nutzende Person sollte in der Lage sein, das Exoskelett im Notfall eigenständig und sofort zu deaktivieren.



Erste-Hilfe Maßnahmen sicherstellen

Es besteht die Möglichkeit, dass bei einer Person, die ein Exoskelett trägt, Erste-Hilfe Maßnahmen wie z. B. stabile Seitenlage oder Herzdruckmassage nicht wie gewohnt durchgeführt werden können (evtl. behindert das angelegte Exoskelett Ersthelfende bei diesen Maßnahmen). Daher sind Maßnahmen für den Fall, dass das Exoskelett im Rahmen einer überlebenssichernden Maßnahme notfallmäßig abgenommen oder abgelegt werden muss, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen. Die Beschäftigten und Ersthelfenden sind entsprechend zu unterweisen. Die Maßnahmen sind der Betriebsanleitung zu entnehmen beziehungsweise beim Hersteller zu erfragen.



Arbeitsmedizinische Vorsorge ermöglichen

Sollte die Erprobung zum Regeleinsatz eines Exoskeletts führen, ist eine arbeitsmedizinische Vorsorge für die nutzenden Personen zu ermöglichen, um eventuell auftretende negative gesundheitliche Langzeiteffekte frühzeitig zu erkennen.

4.2 Empfehlungen in Bezug auf eine verbesserte Nutzbarkeit und Akzeptanz



Individuelle Unterschiede beachten

Nutzende Personen können unabhängig vom Tätigkeitsprofil individuell andere Anforderungen an die Unterstützungswirkung haben, z. B. kann die Körpergröße einen Einfluss darauf haben, in welchem Winkelbereich die größte Unterstützungswirkung benötigt wird.



Unterstützungsleistung des Exoskeletts beachten

Je nach Belastungsprofil der zu unterstützenden Tätigkeit kann es sinnvoll sein, die Unterstützungsleistung für verschiedene Winkelbereiche, Tätigkeiten oder Bewegungen einzustellen. Die Notwendigkeit solcher Einstellungen und Möglichkeiten des Exoskeletts sollten vor Auswahl eines Systems geprüft werden.



Einfluss auf Arbeitsqualität und Zeitvorgaben beachten

Beeinträchtigt das Exoskelett möglicherweise die Qualität des Arbeitsergebnisses oder lässt sich die Arbeit nicht in der vorgegebenen Zeit durchführen, ist mit einer verminderten Akzeptanz durch die Beschäftigten zu rechnen.



Systemeinführung und Testphase planen

Eine gut geplante Erprobung mit frühzeitiger Einbeziehung der nutzenden Personen kann die Akzeptanz steigern. Herstellerempfehlungen müssen bei der System-einführung berücksichtigt und die Unterstützung durch das Exoskelett (Nutzungsdauer, Unterstützungsgrad) schrittweise gesteigert werden, damit sich die nutzenden Personen eingewöhnen können.



Gute Passform garantieren

Es ist sicherzustellen, dass das Exoskelett durch seine Formgebung, Kontaktflächen und Einstellmöglichkeiten eine gute Passform aufweist. Dabei sollte individuell auf die nutzende Person mit der jeweiligen Körperstatur und resultierenden Anforderungen eingegangen werden, um die Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz eines Exoskeletts zu erhöhen. Hierbei sind auch die Herstellerinformationen und -konfektionen zu beachten.



Transparente Kommunikation fördern

Eine Einbindung betroffener nutzenden Personen während der Vorbereitung, Erprobung und Systemeinführung, ein ehrlicher Umgang mit dem Für und Wider sowie eine offene Diskussion eventueller Vorurteile zu Exoskeletten fördern die Akzeptanz von Exoskeletten.

4.3 Empfehlungen in Bezug auf die Erprobung



Wahl geeigneter Messmethoden sicherstellen

Es ist sicherzustellen, dass für jede Erprobung auch geeignete qualitative und quantitative Mess- und Bewertungsmethoden (siehe Kapitel 3.2) genutzt werden. Es gibt nicht die eine für jegliche Erprobung sinnvolle Universal-methode. Vielmehr sind die wichtigsten Parameter für die zu unterstützenden Tätigkeiten zu identifizieren, um gezielt geeignete Messmethoden zu wählen. Eine professionelle Unterstützung durch erfahrene Fachleute ist stets ratsam.



Messmethoden korrekt anwenden

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, die eingesetzten Messmethoden korrekt anzuwenden. Eine Unterstützung durch geschulte Fachleute ist dabei ratsam.



Qualitative und quantitative Messmethoden kombinieren

Um Ergebnisse aus verschiedenen Perspektiven zu erhalten, ist es oft vorteilhaft, eine Kombination aus qualitativen und quantitativen Messmethoden zu verwenden. Dies erfordert ggf. die Durchführung getrennter Testläufe, da quantitative Messmethoden durch am Körper angebrachte Sensorik das subjektive Empfinden der nutzenden Person stark beeinträchtigen können.



Standardisierte und charakteristische Bewegungsabläufe beachten

Unabhängig der eingesetzten Erhebungsmethoden sind standardisierte und charakteristische Bewegungsabläufe als Grundlage der Erprobung ratsam, da diese nicht nur einmalige Analysen zulassen, sondern auch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse über die Zeit ermöglichen. Vorgehen und Methoden der Erprobung sollten dabei stets selbst individuell ausgewählt und ggf. für künftige Erprobungen angepasst werden.



Überprüfung des Exoskeletteinsatzes in regelmäßigen Abständen wiederholen

Die einmalige Erprobung kann keinen Rückschluss auf resultierende Langzeiteffekte aus dem Einsatz von Exoskeletten auf nutzende Personen liefern. Eine wiederholte Durchführung in regelmäßigen Zeitabständen ist besonders bei langfristiger Nutzungsabsicht ratsam, um Verhaltensmuster sowie Lerneffekte zu ermitteln.



Vorgehensweise zum Effektnachweis beachten

Eine standardisierte Vorgehensweise ist wichtig, um Effekte eines Exoskeletts belastbar und vergleichbar nachweisen zu können.

Anhang

Anhang 1 – Checkliste zur Tätigkeitsanalyse

Fragestellung zur Tätigkeitsanalyse			Antworten/Notizen
1. Beschreiben Sie die Tätigkeit stichwortartig.			
2. Welche Körperbewegungen werden ausgeführt?			
3. Werden Werkzeuge benutzt, wenn ja welche? (Angaben zu Größe, Gewicht, Anwendung)			
4. Wie viel Zeit wird mit der zu unterstützenden Haupttätigkeit verbracht?			
5. Wird Zeit in erzwungenen Körperpositionen (Zwangshaltungen), z.B. Arbeiten unter niedriger Decke, verbracht? Wenn ja, wie lange?			
6. Wird Zeit mit anderen Nebentätigkeiten verbracht? Wenn ja, welche, wie lange und was wird dabei gemacht?			
Quick-Check zu Tätigkeiten			Notizen
1. Heben/Halten von Lasten:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
2. Tragen von Lasten:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
3. Greifen:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
4. Ziehen/Schieben von Lasten:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
5. Dauerhaftes Stehen/Gehen:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
6. Rumpfvorbeuge:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
7. Arbeiten über Schulter- oder Kopfhöhe:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
8. Körperzwangshaltung:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
9. Weitere:			

Anhang 2 – Checkliste zur Analyse des Arbeitsumfelds

Fragestellung zum Arbeitsumfeld			Antworten/Notizen
1. Wie sind die räumlichen Gegebenheiten?			
2. Wo wird die Tätigkeit ausgeführt?			
3. Gibt es weitere Orte/Ausnahmen, an denen die Tätigkeit ausgeführt wird bzw. an denen sich Beschäftigte aufhalten?			
4. Wie sind die Dimensionen des Arbeitsplatzes?			
5. Wie ist die Beschaffenheit des Arbeitsplatzes? Sind Umwelteinflüsse vorhanden?			
6. Sind Fluchtwege etc. gewährleistet (siehe Checkliste der DGUV)?			
7. Gibt es weitere, noch ungenannte Charakteristika des Arbeitsumfelds?			
Quick-Check zum Arbeitsumfeld			Notizen
1. Schmutz/Staub:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
2. Nässe/Feuchtigkeit:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
3. Hitze/Kälte:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
4. Elektromagnetische Felder:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
5. Beengte Tätigkeitsbereiche:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
6. Treppen/Leitern:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
7. Persönliche Schutzausrüstung:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
8. Weitere:			

Anhang 3 – Checkliste zur Analyse der Unternehmenskultur

Fragestellung zur Unternehmenskultur			Antworten/Notizen
1. Wurden Beschäftigte über den möglichen Einsatz von Exoskeletten informiert?			
2. Wurden Beschäftigte in die Planung für einen betrieblichen Einsatz von Exoskeletten miteinbezogen?			
3. Wie viele Beschäftigte sind von einer möglichen Implementierung betroffen?			
4. Sprechen der gesundheitliche Zustand oder Vorerkrankungen von Beschäftigten gegen den Einsatz von Exoskeletten?			
5. Welches Arbeitgeberimage hat das Unternehmen in der Gesellschaft?			
6. Ist das Unternehmen/die Belegschaft offen gegenüber neuen Technologien?			
7. Gibt es weitere Charakteristika in Ihrer Unternehmenskultur?			
Quick-Check zur Unternehmenskultur			Notizen
1. Teamarbeit:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
2. Zuständigkeiten:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
3. Schichtarbeit:	Ja	Nein	Wenn ja, für den Einsatz eines Exoskeletts relevant?
4. Sozialer Zusammenhalt/Betriebsklima:			
5. Verhältnis Männer/Frauen:			
6. Sonstige:			

Anhang 4 – Leitfragen zur Eignung von Exoskeletten

Fragen			
1. Unterstützt das Exoskelett die gewünschte Körperregion?	Ja	Nein	Wenn nein, wo nicht?
2. Unterstützt das Exoskelett die durchzuführenden Tätigkeiten und Bewegungen?	Ja	Nein	Wenn nein, wo/warum nicht?
3. Schränkt das System die Bewegungen der nutzenden Person ein, z. B. die Verrichtung von Nebentätigkeiten?	Ja	Nein	Wenn ja, wo und wie?
4. Steht die Systemnutzung in Konflikt mit der Arbeitsumgebung (Staub, Nässe, Hitze, räumliche Gegebenheiten, etc.)?	Ja	Nein	Wenn ja, wie?
5. Steht die Unternehmenskultur/ Akzeptanz der Beschäftigten in Konflikt mit der Systemnutzung?	Ja	Nein	Wenn ja, wie?
6. Gibt es (weitere) Einschränkungen/ Konflikte, z. B. Kompatibilität zu PSA?	Ja	Nein	Wenn ja, welche?
7. Kann das Exoskelett ggf. für eine andere Tätigkeit/an einem anderen Ort/Arbeitsplatz verwendet werden?	Ja	Nein	Wenn ja, wo?

Anhang 5 – Kriterien-Methoden-Matrix (nach Priorität sortiert)

Kriterien		Methoden															
		Quantitativ												Qualitativ			
		Kennlinienbestimmung	Elektromyographie	Motion Capture	Biomech. Modellierung	Herzschlagfrequenzmessung	Spiroergometrie	Nahinfrarotspektroskopie	Druckmessung	Interaktionskräfte	Posturographie	Ganganalyse	Nine-Hole Peg Test	D2-Test	Befragung/Interview	Borg-Skala	Beobachtung
Objektiv	Belastungen und Effekte																
	Gelenkbelastung				X										X		
	Muskuläre Be-/Entlastung		X		X			X							X		
	Kognitive Be-/Entlastung												X	X			
	Bewegungsänderung			X							X	X		X			X
	Feinmotorik			X								X		X			X
	Nutzungsgrad																X
	Auswirkung auf Weichteile und Gewebe							X	X	X					X		
	Herzschlagfrequenz					X											
	Energieumsatz						X										
	Sauerstoffsättigung							X									
	Technische Kriterien																
	Unterstützungskraft/-moment	X								X							
	Kraftpfad	X							X	X							
	Unterstützte Körpersegmente	X	X	X	X										X		
	Synchronität	X		X							X						X
Subjektiv	Körperliche Beanspruchung und Einschränkung																
	Globales Beanspruchungs-empfinden														X	X	
	Körperliches Entlastungs-empfinden														X	X	
	Körperliches (Mehr-) Beanspruchungsempfinden														X	X	
	Bewegungseinschränkung														X		X
	Tragekomfort																
	Einstellmöglichkeiten														X		X
	Tragekomfort								X						X		
	Passform														X		X
	Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz																
	Allgemeine Gebrauchstauglichkeit														X		
	Spezifische Gebrauchstauglichkeit														X		
	Akzeptanz														X		

Anhang 6 – Auswahl an Messmethoden zur Evaluation von Exoskeletten

	Mess-/Analysemethoden	Messgegenstand/Zielgröße
Quantitativ	Kennlinienbestimmung	Die Messung von Drehmoment-Winkel-Kurven von Exoskeletten ermöglicht ein detailliertes Verständnis über die bereitgestellte Unterstützungsleistung und eventuelle Hysterese-Effekte bei ausgewählten Bewegungsfolgen. Der Vergleich mit menschlichen Kraftkurven für ausgewählte Tätigkeiten lässt Aussagen zum Unterstützungsbedarf und der bereitgestellten Unterstützungsleistung zu.
	Elektromyographie	Die Oberflächenelektromyographie bietet die Möglichkeit, die elektrische Aktivität einzelner Muskelgruppen aufzuzeichnen und miteinander zu vergleichen. Es ist eine gängige Methode, um die Entlastung oder Belastung einzelner Muskelgruppen durch Exoskelette sowohl im Labor als auch im Feld zu untersuchen.
	Motion Capture	Motion Capturing erlaubt durch stationäre kamerabasierte Systeme oder mobile Initialsensoren eine Erfassung und Aufzeichnung von Bewegungen. Damit können Aussagen zu Bewegungsmustern oder Veränderungen der Bewegungsmuster getroffen werden.
	Biomechanische Modellierung der Exoskelette	Die biomechanische Modellierung ermöglicht die Bestimmung der inneren Muskel-Skelett-Belastungen inner- und außerhalb der Zielregion des Exoskeletts. Dies lässt Aussagen zum Unterstützungsbedarf und der anteilig bereitgestellten Unterstützung durch Vergleich von Gelenkmomenten und Kraftkurven zu.
	Herzschlagfrequenzmessung	Die Messung der Herzschlagfrequenz der Testpersonen stellt eine quantitative, physiologische Methode dar, mit welcher die körperliche Anstrengung der Testpersonen ermittelt und dann in Schlägen pro Minute angegeben werden kann.
	Spiroergometrie	Die Spiroergometrie wird genutzt, um die Belastbarkeit von Lunge und Herzkreislaufsystem und des Stoffwechsels bei variierender körperlicher Belastung zu analysieren und zu bestimmen. Sie wird vor allem bei Belastungen über einen längeren Zeitraum angewendet.
	Nahinfrarotspektroskopie	Die Nahinfrarotspektroskopie stellt eine Methode zur Ermittlung der körperlichen Veränderungen der Blutzufuhr zum ruhenden bzw. arbeitenden Muskel bei der nutzenden Person von Exoskeletten dar und kann Änderungen des Gehalts von sauerstoffreichem und sauerstoffarmem Hämoglobin im Blut feststellen.
	Druckmessung	Mittels Druckmesssensoren können sowohl statische (z. B. Druckverteilung) als auch dynamische Drücke (z. B. durch Systemansprechverhalten bzw. -verzögerungen, Intentionserkennung und Synchronität der Bewegung) an Schnittstellen und Tragegurten von Exoskeletten ermittelt werden.
	Interaktionskräfte	Mit Miniatur-Mehrkomponenten-Kraftsensoren können die Interaktionskräfte an der Mensch-Exoskelett-Schnittstellen gemessen werden. Neben den senkrecht zur Kontaktfläche auftretenden Druckkräften sind dies insbesondere Scherkräfte, die neben dem Gewichtskraftanteil auf Probleme hinsichtlich der Anpassung an die Anatomie und die Körperform hindeuten.
	Posturographie	Die Posturographie lässt sich zur Analyse des Gleichgewichts inkl. Körperschwankungen unter Einwirkung einer externen Belastung (wie Exoskelette) einsetzen.
	Ganganalyse	Die Ganganalyse wird herangezogen, um den Einfluss von Exoskeletten auf das Gangbild der nutzenden Person zu untersuchen. Es lassen sich typische Gangparameter (z. B. Schrittlänge, Schrittbreite, Schrittfrequenz) analysieren.
	Nine-Hole Peg Test	Der Nine-Hole Peg Test ist ein Geschicklichkeitstest aus der Ergotherapie. Durch diesen kann auf die Feinmotorik der nutzenden Person von Exoskeletten bei verschiedenen Bewegungsabläufen geschlossen werden.
	D2-Test	Der D2-Test ist eine Methode zur Messung des kognitiven Leistungsvermögens. Er misst, ob Exoskelette einen positiven Effekt haben und kognitiv entlastend wirken oder sie eine stärkere Belastung zur Folge haben.

	Mess-/Analysemethoden	Messgegenstand/Zielgröße
Qualitativ	Befragung/Interview	Eine Befragung mittels eines Fragebogens oder Interviews kann sich einerseits an die nutzenden Personen und andererseits an die Vorgesetzten oder weitere Personen (z. B. des Arbeitsschutzes) richten. In Verbindung mit einem oder mehreren quantitativen Verfahren bildet dieses Vorgehen den wesentlichen Grundstein für eine sachgerechte Evaluation.
	Borg-Skala	Die Borg-Skala ist eine subjektive Methode zur qualitativen Ermittlung der wahrgenommenen körperlichen Anstrengung. Sie ermöglicht ein direktes Feedback vor, während und nach den durchgeführten Versuchen mit Testpersonen.
	Beobachtung	Die fachkompetente Beobachtung der Arbeitstätigkeiten erlaubt die qualitative Beurteilung eines Arbeitsplatzes vor und nach der Einführung von Exoskeletten. Dies ist ein wesentliches Instrument des Grobscreenings.

Anhang 7 – Auswahl an Kriterien zur Evaluation von Exoskeletten

	Kriterium	Beschreibung
Objektiv	Belastungen und Effekte	
	Gelenkbelastung	Kenngroße zur Bewertung der Gelenkbelastung in Form von Gelenkmomenten und/oder Kompressionskräften, mögliche Unterscheidung hinsichtlich unterstützter und nicht unterstützter Gelenke.
	Muskuläre Be-/Entlastung	Maß der elektromyographisch höheren oder minderen Aktivität gegenüber der nicht unterstützten Situation, vorzugsweise in Kombination mit der Bestimmung der Gelenkbelastung (Gelenkmoment).
	Kognitive Be-/Entlastung	Kriterium zur Messung der Auswirkungen einer Unterstützung des Exoskeletts auf die kognitive Leistungsfähigkeit (z. B. höheres Konzentrationsvermögen aufgrund geringerer körperlicher Beanspruchung).
	Bewegungsänderung	Veränderung der menschlichen Bewegungsmuster durch die Unterstützung des Exoskeletts, in Bezug auf die Bewegungstrajektorie oder die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aller Gelenke (auch in den nicht unterstützten Gelenken).
	Feinmotorik	Kriterium, das eine mögliche Einschränkung in der Verrichtung feinmotorischer Tätigkeiten prüft.
	Nutzungsgrad	Anteil der Zeit an der gesamten Tragedauer, in der das Exoskelett eine Unterstützung der nutzenden Person leistet.
	Auswirkung auf Weichteile und Gewebe	Irritation der Haut und Weichteile durch die Nutzung eines Exoskelettes (besonders an den Schnittstellen). Unterscheidung zwischen Verletzung der Haut durch bspw. Abschürfungen oder Weichteilverletzungen tieferer Strukturen (z. B. Hämatome) sowie Weichteilunterversorgungen.
	Herzschlagfrequenz	Anzahl der Herzschläge pro Minute als Indikator für die Herz-Kreislauf-Belastung, absolute Herzschlagfrequenz von Alter und Fitness der nutzenden Person abhängig.
	Energieumsatz	Energieumsatz des menschlichen Organismus während der Durchführung einer Tätigkeit, indirekt Bestimmung über die Sauerstoffaufnahme.
	Sauerstoffsättigung	Maß für die Effektivität des Sauerstofftransportes, indem der Anteil des Hämoglobins im Blut angegeben wird, der mit Sauerstoff gesättigt ist.
	Sicherheit	
	An- und Abschalten	Möglichkeit des An- und Abschaltens des Unterstützungssystems und damit verbunden der Unterstützungsleistung.
	Sollbruchstelle	Durch entsprechende Struktur, Gestalt oder Konstruktion vorhersagbare Stelle eines Systems, an der das Versagen bei Überbelastung eintritt.
	Dauer des An- und Ablegens	Zeit, die es benötigt, um das System vor der Nutzung anzulegen bzw. danach oder im Gefahrenfall auszuziehen.
	Hygiene	Möglichkeit zur Reining und Desinfektion des Systems (z. B. in Bezug auf abnehmbare und wasch- bzw. desinfizierbare Schnittstellen/Polster).
	Technische Kriterien	
	Unterstützungskraft/-moment	Der nutzenden Person zur Verfügung gestellte(s) Unterstützungskraft bzw. -moment. Kraft- und Drehmomentverläufe von den Eigenschaften der Aktuatorik abhängig und je nach Winkelbereich unterschiedlich.
	Kraftpfad	Pfad, über welche biologischen oder technischen Strukturen/Elemente die externen Kräfte und Momente geleitet werden.
	Unterstützte Körpersegmente	Anzahl der Körpersegmente, die durch ein Exoskelett unterstützt werden.
	Systemgewicht	Gewicht des Exoskeletts inkl. aller Komponenten.

	Kriterium	Beschreibung
Objektiv	Betriebsdauer	Betriebsdauer bzw. Akkulaufzeit des technischen Systems (aktive Systeme benötigen eine dauerhafte Energiezufuhr für Antrieb und Steuerung).
	Ladezeit	Zeit, die für das Laden des aktiven Systems bis zur vollen Leistungsfähigkeit erforderlich ist.
	Synchronität	Synchronität zwischen technischem System und der nutzenden Person innerhalb der Aktivität, von der Güte der Steuerung abhängig.
	Anwendbarkeit	
	Kompatibilität mit Arbeitsmitteln und PSA	Möglichkeit, das Exoskelett während der Verwendung anderer Geräte, Hilfsmittel, persönlicher Schutzausrüstung etc. zu nutzen.
	Produktivität	Arbeitsperformance der nutzenden Person durch das Nutzen eines Exoskeletts, bspw. hinsichtlich Arbeitsgeschwindigkeit, Fehleranfälligkeit oder Arbeitsqualität.
Subjektiv	Körperliche Beanspruchung und Einschränkung	
	Globales Belastungsempfinden	Subjektiv empfundene physische Belastung einer berufsbezogenen Aktivität/Tätigkeit auf den gesamten Körper.
	Körperliches Entlastungsempfinden	Subjektiv empfundene Entlastung durch das Exoskelett global oder lokal für eine Körperpartie.
	Körperliches (Mehr-)Beanspruchungsempfinden	Subjektiv empfundene Mehrbelastung durch das Exoskelett global oder lokal für eine Körperpartie.
	Bewegungseinschränkung	Eingeschränkte Beweglichkeit oder zusätzlich erzwungene Körperhaltungen bei der Nutzung des Exoskeletts, häufig über einen längeren Zeitraum hinweg (oftmals als „Zwangshaltung“ beschrieben).
	Tragekomfort	
	Einstellmöglichkeiten	Möglichkeit und Komplexität der Anpassbarkeit eines Exoskeletts an die persönliche Körperkonstitution und Unterstützungsbedarfe der nutzenden Person, beeinflusst die Passfähigkeit eines Exoskeletts.
	Tragekomfort	Beschwerdefreie Nutzung des Exoskeletts in unterschiedlichen Situationen im Arbeitsalltag über einen längeren Zeitraum.
	Passform	Passfähigkeit eines Exoskeletts und seiner Schnittstellen.
	Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz	
	Allgemeine Gebrauchstauglichkeit	Handhabung des Systems beim An- und Ablegen sowie bei allgemeinen Tätigkeiten wie Gehen, Sitzen und Treppensteigen, speziell auch Berücksichtigung von nicht im Fokus stehenden Tätigkeiten.
	Spezifische Gebrauchstauglichkeit	Handhabung des Systems während der zu unterstützenden spezifischen Tätigkeiten, unter Berücksichtigung der Kompatibilität mit den vorhandenen Arbeits- und Umgebungsbedingungen.
	Akzeptanz	Einstellung bzw. Verhalten einer Person gegenüber dem Exoskelett (z. B. auf den äußeren Betrachter wirkendes Erscheinungsbild eines Exoskeletts).

Anhang 8 – Allgemeine funktionale Anforderungen an Exoskelette

	Name	Erläuterung
Handhabung	Eigenständiges Anlegen	Die nutzende Person sollte das System zur Benutzung anlegen können. Dauer und die Möglichkeit des eigenständigen Anlegens werden untersucht.
	Eigenständiges Ablegen	Die nutzende Person sollte das System nach der Benutzung ablegen können. Dauer und die Möglichkeit des eigenständigen Ablegens werden untersucht.
	Bedienung	Die nutzende Person sollte das System bedienen können. Sofern Einstellmöglichkeiten vorhanden sind, sollten diese einfach erreichbar und einstellbar für die nutzende Person sein.
	Deaktivierung der Unterstützungsleistung	Die nutzende Person sollte in der Lage sein, das Exoskelett in bestimmten Situationen zu deaktivieren, in denen eine Unterstützung nicht erwünscht bzw. hilfreich ist.
Motorik	Gehen	Die nutzende Person sollte in der Lage sein, mit Exoskelett auch längere Strecken zu gehen, da dies ein Bestandteil vieler Tätigkeiten ist.
	Kniebeugen	Die nutzende Person sollte in der Lage sein, in die Knie zu gehen und sich zu beugen, da solche Bewegungen in vielen Tätigkeiten wichtig sind.
	Arme kreisen	Die nutzende Person sollte in der Lage sein, die Arme in allen Richtungen zu bewegen, da eine flexible Nutzung von Armen bei vielen Tätigkeiten essenziell ist.
	Oberkörper verdrehen	Die nutzende Person sollte in der Lage sein, den Oberkörper seitlich zu verdrehen, da solche Bewegungen in vielen Tätigkeiten sinnvoll sind.
Sekundäraktivitäten	Treppe/Leiter steigen	Die grundlegende Mobilität sollte durch die Nutzung eines Exoskeletts nicht eingeschränkt sein, entsprechend sollten Treppen und Leitern bestiegen werden können.
	Gehen durch enge Gänge	Die Beweglichkeit und Manövrierbarkeit der nutzenden Person zum Beispiel in engen Gängen sollte durch ein Exoskelett möglichst wenig eingeschränkt werden, um die Agilität nicht einzuschränken und ein Hängen- oder Steckenbleiben zu vermeiden.
	Vom Boden aufheben	Die nutzende Person sollte eigenständig in der Lage sein, sich zum Boden zu bücken, um z. B. heruntergefallene Objekte aufzuheben oder sich die Schuhe zu binden.
	An Wand lehnen	Bei auftragenden Strukturen eines Exoskeletts ist sicherzustellen, dass diese nicht zu Problemen führen, wenn sich die nutzende Person mit dem Exoskelett anlehnt.
	Auf Stuhl sitzen	Die nutzende Person sollte in der Lage sein, mit Exoskelett auf einem Hocker oder Stuhl zu sitzen, da dies notwendig für Tätigkeiten oder zum Ausruhen sein kann.
	Türen öffnen und schließen	Die nutzende Person sollte mit Exoskelett in der Lage sein, Türen zu öffnen und zu schließen, um sich im Notfall selbstständig aus Gefahrenbereichen bewegen zu können.
	Tastatur/Bildschirm bedienen	Die nutzende Person sollte mit Exoskelett in der Lage bleiben, Tastaturen, Touch-Bildschirme oder Handgeräte wie Scanner zu halten und zu bedienen.
Betriebsfähigkeit	Eigenständige Not-Abschaltung	Die nutzende Person sollte im Fall eines Notfalls immer in der Lage sein, das Exoskelett eigenständig und sofort zu deaktivieren.
	Vom Boden aufstehen	Nach einem eventuellen Sturz sollte die nutzende Person in der Lage sein, eigenständig wieder aufzustehen.
	Kompatibilität mit Schutzkleidung	Sollte Schutzkleidung (z. B. Warnwesten, Schutzschuhe, Schutzhandschuhe etc.) an einem Arbeitsplatz vorgeschrieben sein, sollte die nutzende Person in der Lage sein, Exoskelett und Schutzkleidung gleichzeitig zu verwenden und uneingeschränkt bedienen zu können.

Anhang 9 – Fragebögen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten

Anhang 9.1 – Fragebogen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – VOR DER EINFÜHRUNG

Arbeitsbedingtes Belastungsempfinden/technisches Interesse/Erwartungen an Exoskelette:

Bitte kreuzen Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen für Sie zutreffen.

	stimmt gar nicht	stimmt eher nicht	neutral	stimmt eher	stimmt völlig
Ich empfinde meine Arbeit als körperlich anstrengend.					
Ich fühle mich am Ende eines Arbeitstages erschöpft.					
Ich werde körperliche Beschwerden durch meine Arbeit in den nächsten 10 Jahren haben.					
Ich beschäftige mich gern mit technischen Systemen (speziell Exoskeletten) und nicht nur, weil ich es muss.					
Ich bin misstrauisch bei der Verwendung von neuen technischen Systemen am Arbeitsplatz.					
Ich habe Angst, bei der Verwendung eines neuen technischen Systems etwas falsch zu machen.					
Ich habe mich schonmal mit Exoskeletten beschäftigt.					
Ich kenne den Zweck von Exoskeletten an Arbeitsplätzen.					
Ich bin offen gegenüber der Verwendung von Exoskeletten.					
Ein Exoskelett könnte mich bei meiner Arbeit unterstützen.					

Belastungen an Ihrem Arbeitsplatz:

Bitte schätzen Sie ein, ob die Belastungen an Ihrem Arbeitsplatz für Sie eher hoch oder niedrig sind.

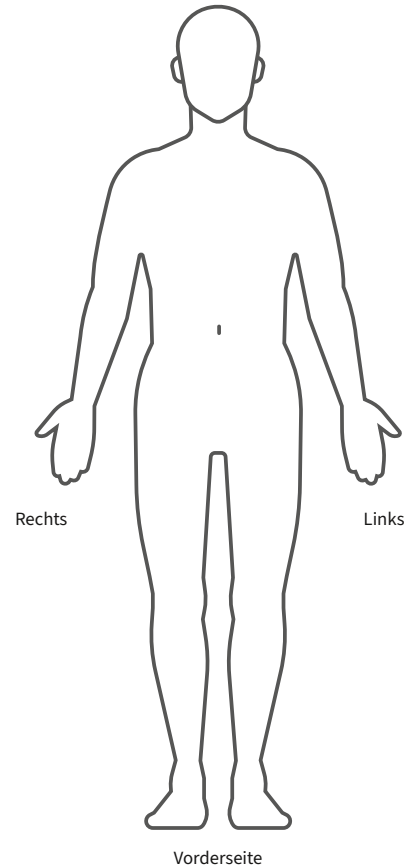
	sehr niedrig/ sehr gering	niedrig/ gering	neutral	hoch/ anstrengend	sehr hoch/sehr anstrengend
Wie geistig anstrengend sind Ihre Arbeitstage?					
Wie körperlich anstrengend sind Ihre Arbeitstage?					
Wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Arbeitstag?					
Wie gestresst fühlten Sie sich während Ihres Arbeitstages?					

Körperliche Beschwerden während oder nach Ihrem normalen Arbeitstag:

Bitte umkreisen Sie die zutreffende Zahl für jede Körperregion. 0 entspricht dabei „keine Beschwerden“ und 10 den „stärksten Beschwerden“, die Sie sich vorstellen können. In der rechten Abbildung können Sie markieren, wo am Körper die größten körperlichen Beschwerden aufgetreten sind.

Haben Sie während und/oder nach Ihrer Arbeit in den folgenden Körperbereichen Beschwerden?
Falls ja, geben Sie bitte die Stärke Ihrer Beschwerden an:

	keine Beschwerden					starke Beschwerden					
Kopf	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nacken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schultern	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
oberer Rücken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brust	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ellenbogen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hände	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
unterer Rücken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hüfte/Gesäß	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oberschenkel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Knie	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unterschenkel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Füße	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



Anhang 9.2 – Fragebogen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – NACH ERSTER NUTZUNG

Tätigkeitsprofil/Nutzung des Exoskeletts:

Wie lange haben Sie das Exoskelett genutzt? _____ Stunden _____ Minuten

Bitte beschreiben Sie kurz die Arbeit, die Sie mit Exoskelett durchgeführt haben:

Verwenden Sie Persönliche Schutzausrüstung während Ihrer Tätigkeit? Wenn ja, welche?

Benutzen Sie Hilfsmittel/Werkzeuge während Ihrer Tätigkeit? Wenn ja, welche?

Bitte kreuzen Sie „Ja“ oder „Nein“ an, was auf das Exoskelett zutrifft. Nur eine Antwort ist möglich.

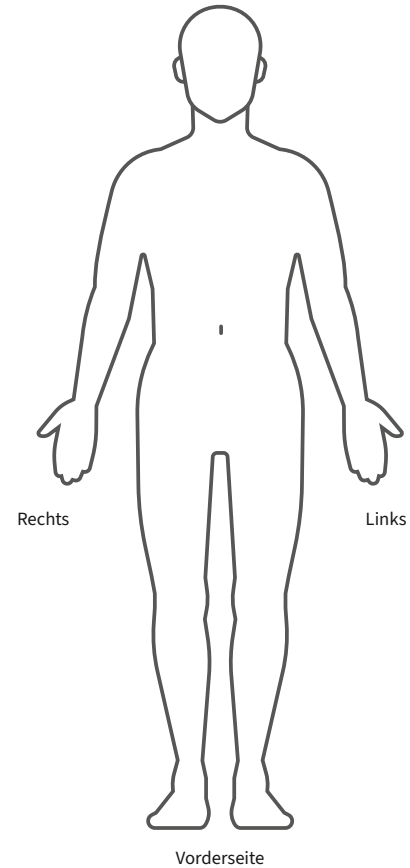
Ich empfinde das Exoskelett bzw. seine Nutzung als ...	Ja	Nein
behindernd.		
kompliziert.		
unangenehm.		
sicher.		
komfortabel.		
auffällig.		
stabil.		
nützlich.		
unterstützend.		
angenehm.		
einfach.		
interessant.		

Körperliche Beschwerden während oder nach Ihrem normalen Arbeitstag:

Bitte umkreisen Sie die zutreffende Zahl für jede Körperregion. 0 entspricht dabei „keine Beschwerden“ und 10 den „stärksten Beschwerden“, die Sie sich vorstellen können. In der rechten Abbildung können Sie markieren, wo am Körper die größten körperlichen Beschwerden aufgetreten sind.

Haben Sie während und/oder nach Ihrer Arbeit in den folgenden Körperbereichen Beschwerden?
Falls ja, geben Sie bitte die Stärke Ihrer Beschwerden an:

	keine Beschwerden					starke Beschwerden					
Kopf	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nacken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schultern	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
oberer Rücken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brust	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ellenbogen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hände	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
unterer Rücken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hüfte/Gesäß	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oberschenkel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Knie	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unterschenkel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Füße	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



Anhang 9.3 – Fragebogen zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit von Exoskeletten – NACH DER (TEST-)NUTZUNG

Tätigkeitsprofil/Nutzung des Exoskeletts:

Wie lange haben Sie das Exoskelett genutzt? Durchschnittlich _____ Stunden _____ Tagen

An wie vielen Tagen haben Sie das Exoskelett genutzt? _____ Tage

Bitte beschreiben sie kurz die Arbeit, die Sie mit Exoskelett durchgeführt haben:

Verwenden Sie Persönliche Schutzausrüstung während Ihrer Tätigkeit? Wenn ja, welche?

Benutzen Sie Hilfsmittel/Werkzeuge während Ihrer Tätigkeit? Wenn ja, welche?

Bitte kreuzen Sie „Ja“ oder „Nein“ an, was auf das Exoskelett zutrifft. Nur eine Antwort ist möglich.

Ich empfinde das Exoskelett bzw. seine Nutzung als ...	Ja	Nein
behindernd.		
kompliziert.		
unangenehm.		
sicher.		
komfortabel.		
auffällig.		
stabil.		
nützlich.		
unterstützend.		
angenehm.		
einfach.		
interessant.		

Möchten Sie das Exoskelett an Ihrem Arbeitsplatz gerne weiterhin nutzen? Ja Nein

Welche Note würden Sie dem Exoskelett insgesamt geben? ____ (1–6, 1 = sehr gut, 6 = sehr schlecht)

Akzeptanz/Gebrauchstauglichkeit/Handhabung/Umgang mit Exoskelett:

Bitte kreuzen Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen zutreffen.

	stimmt gar nicht	stimmt eher nicht	neutral	stimmt eher	stimmt völlig
Ich konnte das Exoskelett schnell und ohne Hilfe durch weitere Personen an- und ablegen.					
Das Exoskelett ist einfach zu bedienen.					
Ich hatte immer das Gefühl, die volle Kontrolle über das Exoskelett zu haben.					
Das Exoskelett hat immer das gemacht, was ich wollte.					
Das System hat sich meiner Bewegung gut angepasst und meine Bewegungen nicht eingeschränkt.					
Das Exoskelett war für mich eine Unterstützung.					
Ich habe mich schnell an das Exoskelett gewöhnt.					
Das Exoskelett ist angenehm am Körper zu tragen.					
Mir ist wichtig, dass meine Kolleginnen und Kollegen nicht sehen, dass ich durch ein Exoskelett unterstützt werde.					
Meine Kolleginnen und Kollegen haben sich über mich lustig gemacht, als ich das Exoskelett genutzt habe.					
Ich erzähle meinen Freunden und Bekannten, dass ich ein Exoskelett auf der Arbeit genutzt habe.					
Mir gefällt das Aussehen des Exoskeletts.					
Mir hat es gefallen, ein Exoskelett bei der Arbeit zu nutzen.					
Nach meinem Empfinden hat sich meine Arbeit durch das Nutzen eines Exoskeletts erleichtert.					
Ich habe keine Bedenken, das Exoskelett über einen längeren Zeitraum zu nutzen.					

Belastungen an Ihrem Arbeitsplatz:

Bitte schätzen Sie ein, ob die Belastungen an Ihrem Arbeitsplatz für Sie eher hoch oder niedrig sind.

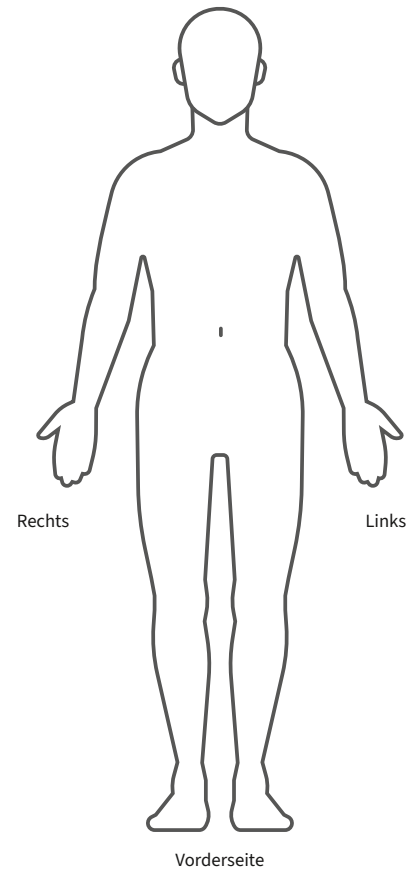
	sehr niedrig/ sehr gering	niedrig/ gering	neutral	hoch/ anstrengend	sehr hoch/sehr anstrengend
Wie geistig anstrengend waren Ihre Arbeitstage, wenn Sie das Exoskelett genutzt haben?					
Wie körperlich anstrengend waren Ihre Arbeitstage, wenn Sie das Exoskelett genutzt haben?					
Wie zufrieden waren Sie mit Ihrem Arbeitstag, wenn sie das Exoskelett genutzt haben?					
Wie gestresst fühlten Sie sich während Ihres Arbeitstages, wenn sie das Exoskelett genutzt haben?					

Körperliche Beschwerden während oder nach Ihrem normalen Arbeitstag:

Bitte umkreisen Sie die zutreffende Zahl für jede Körperregion. 0 entspricht dabei „keine Beschwerden“ und 10 den „stärksten Beschwerden“, die Sie sich vorstellen können. In der rechten Abbildung können Sie markieren, wo am Körper die größten körperlichen Beschwerden auftreten.

Haben Sie während und/oder nach Ihrer Arbeit in den folgenden Körperbereichen Beschwerden?
Falls ja, geben Sie bitte die Stärke Ihrer Beschwerden an:

	keine Beschwerden					starke Beschwerden					
Kopf	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nacken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schultern	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
oberer Rücken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brust	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ellenbogen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hände	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
unterer Rücken	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hüfte/Gesäß	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oberschenkel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Knie	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unterschenkel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Füße	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

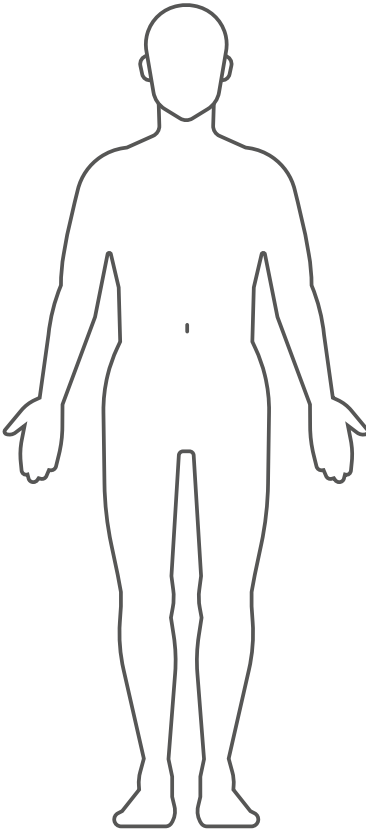
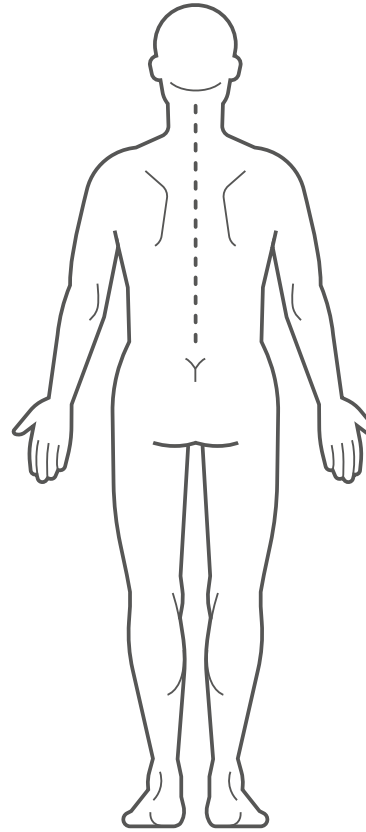


Anhang 10 – Fragebögen für die Nutzung von Exoskeletten

Anhang 10.1 – Fragebogen für die Nutzung eines rumpfunterstützenden Exoskelettes

Angaben zur Person:			
VP-Nr.		Name, Vorname:	
Körpergröße:		Körpergewicht:	
Alter:		Berufsjahre:	
Geschlecht:		Derzeitige berufliche Tätigkeit:	
Händigkeit	rechts links		
Messung Nr.:	Datum:	Beginn	Ende

Heben und Tragen:	
Wie viele Stunden müssen Sie durchschnittlich pro Woche heben und tragen?	
Wie belastend (körperlich anstrengend) empfinden Sie das Heben und Tragen in ihrem Beruf? (Bitte ein ☐ ankreuzen)	
wenig belastend	sehr belastend
Welche Haltung oder Tätigkeit empfinden Sie als am meisten belastend für Ihren Körper? Haltung/Tätigkeit.	
Markieren Sie anhand der nachfolgenden Skizze und Bezeichnungen die Stelle, an der Sie die höchste Belastung empfinden.	

	Kopf	vorne	hinten
	Nacken		
	Schulter	vorne	hinten
	Brustkorb		
	Oberer Rücken		
	Ellbogen	innen	außen
	Hand	beugeseitig	streckseitig
	Unterer Rücken	links	rechts
	Kreuz/Gesäß	links	rechts
	Hüfte	innen	außen
	Oberschenkel	vorne	hinten
	Knie	vorne	hinten
		innen	außen
	Unterschenkel	vorne	hinten
	Fuß	innen	außen
			

Entlastung durch Exoskelett:
Wie stark spüren Sie die Entlastung durch das Exoskelett insgesamt in Prozent?

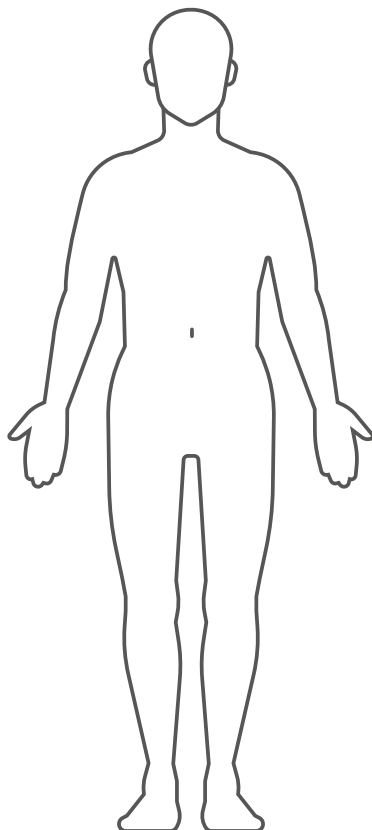
Bei welcher Tätigkeit/Situation spüren Sie die meiste Unterstützung durch das Exoskelett?

 (Bitte ein ☐ ankreuzen, wenn eine Unterstützung spürbar ist)

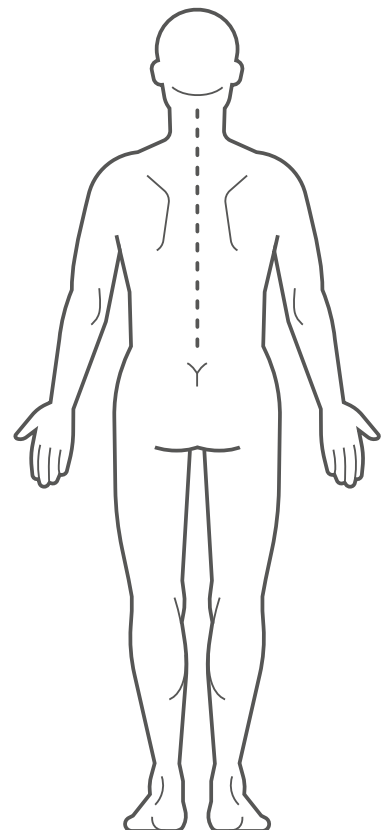
- ☐ Anheben von Lasten
- ☐ Tragen von Lasten (Gehen mit Last)
- ☐ Absetzen von Lasten
- ☐ Vorgebeugte Körperhaltung ohne Lastenhandhabung

Wo empfinden Sie die Entlastung durch das Exoskelett bei der zuvor angegebenen Tätigkeit/Situation am meisten?

Alternative: keine Entlastung

Markieren bzw. Umkreisen Sie die Stelle anhand der nachfolgenden Skizze. (Bei Symmetrie beide Körperseiten markieren)


Kopf	
vorne	hinten
Nacken	
Schulter	
vorne	hinten
Brustkorb	
Oberer Rücken	
Ellbogen	
innen	außen
Hand	
beugeseitig	streckseitig
Unterer Rücken	
links	rechts
Kreuz/Gesäß	
links	rechts
Hüfte	
innen	außen
Oberschenkel	
vorne	hinten
Knie	
vorne	hinten
innen	außen
Unterschenkel	
vorne	hinten
Fuß	
innen	außen



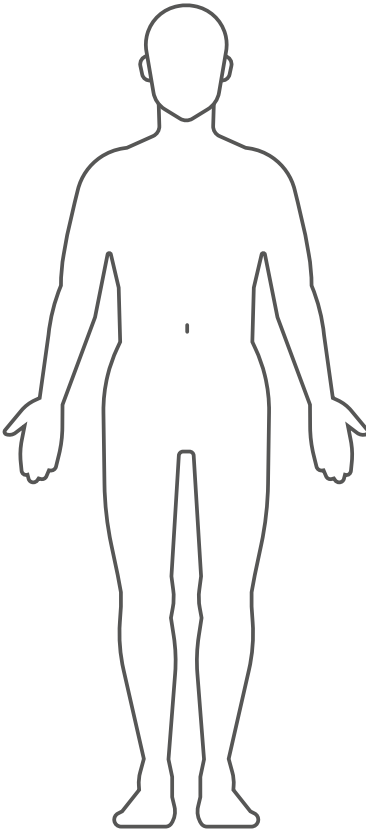
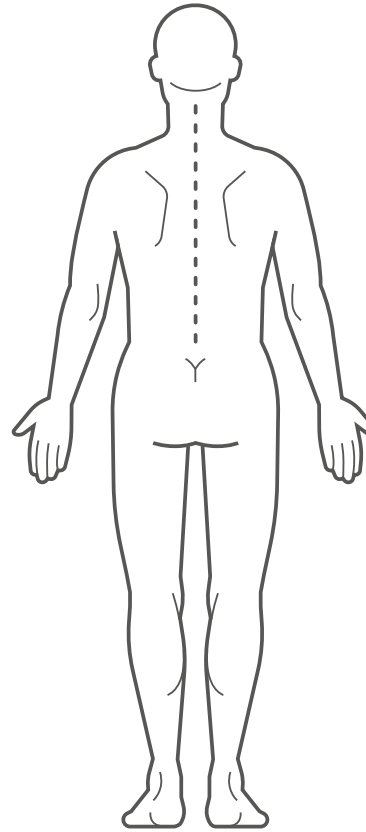
Tragekomfort des Exoskeletts bei längerem Gebrauch:

Spüren Sie Druckstellen oder Ähnliches durch das Exoskelett nach längerem Gebrauch (hier 1 h), was Sie beim längeren Tragen beeinträchtigen würde?

Ja Nein

Wenn ja:

Markieren Sie anhand der nachfolgenden Skizze und Bezeichnungen die Stelle (oder auch mehrere), an der das Exoskelett unangenehm drückt oder scheuert.

	Kopf		
	vorne		hinten
	Nacken		
	Schulter		
	vorne		hinten
	Brustkorb		
	Oberer Rücken		
	Ellbogen		
	innen		außen
	Hand		
	beugeseitig		streckseitig
	Unterer Rücken		
	links		rechts
	Kreuz/Gesäß		
	links		rechts
	Hüfte		
innen	außen		
Oberschenkel			
vorne	hinten		
Knie			
vorne	hinten		
innen	außen		
Unterschenkel			
vorne	hinten		
Fuß			
innen	außen		

Zusammenfassende Beurteilung:

Wie beurteilen Sie insgesamt den Nutzwert des Exoskeletts für Ihre Arbeit (Abwägung von Vor- und Nachteilen)?

kein Nutzwert großer Nutzwert

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Anhang 10.2 – Fragebogen für die Nutzung eines schulterunterstützenden Exoskelettes

Angaben zur Person:

VP-Nr.		Name, Vorname:	
Körpergröße:		Körpergewicht:	
Alter:		Berufsjahre:	
Geschlecht:		Derzeitige berufliche Tätigkeit:	
Händigkeit	rechts links		
Messung Nr.:	Datum:	Beginn	Ende

Arbeiten über Schulterniveau:

Wie viele Stunden müssen Sie durchschnittlich pro Woche mit den Händen über Schulterniveau arbeiten?

Wie belastend (körperlich anstrengend) empfinden Sie das Arbeiten über Schulterniveau in Ihrem Beruf?

(Bitte ein ☐ ankreuzen)

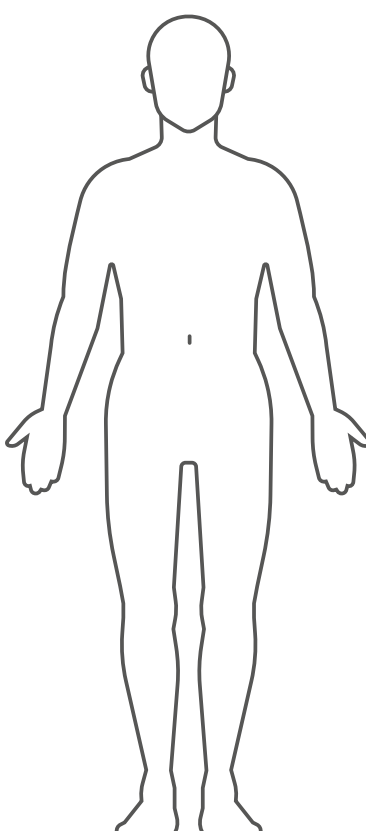
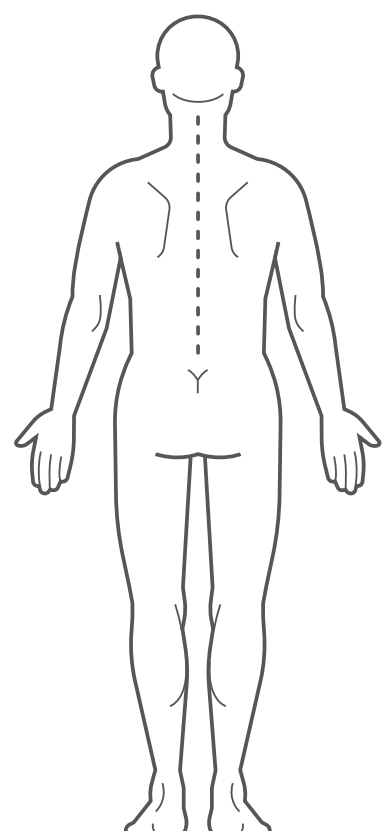
wenig belastend

sehr belastend

Welche Haltung oder Tätigkeit empfinden Sie als am meisten belastend für Ihren Körper?

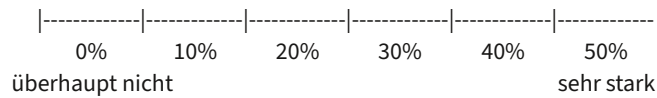
Haltung/Tätigkeit.

Markieren Sie anhand der nachfolgenden Skizze und Bezeichnungen die Stelle, an der Sie die höchste Belastung empfinden.

	Kopf		
	vorne		hinten
	Nacken		
	Schulter		
	vorne		hinten
	Brustkorb		
	Oberer Rücken		
	Ellbogen		
	innen		außen
	Hand		
	beugeseitig		streckseitig
	Unterer Rücken		
	links		rechts
	Kreuz/Gesäß		
links	rechts		
Hüfte			
innen	außen		
Oberschenkel			
vorne	hinten		
Knie			
vorne	hinten		
innen	außen		
Unterschenkel			
vorne	hinten		
Fuß			
innen	außen		

Entlastung durch Exoskelett:

Wie stark spüren Sie die Entlastung durch das Exoskelett insgesamt in Prozent?



Bei welcher Tätigkeit/Situation spüren Sie die meiste Unterstützung durch das Exoskelett?

(Bitte ein ☐ ankreuzen, wenn eine Unterstützung spürbar ist)

- ☐ Anheben von Lasten über Schulterniveau
- ☐ Halten von Lasten über Schulterniveau
- ☐ Absetzen von Lasten über Schulterniveau
- ☐ Halten der Arme ohne zusätzliche Last

Wo empfinden Sie die Entlastung durch das Exoskelett bei der zuvor angegebenen Tätigkeit/Situation am meisten?

Alternative: keine Entlastung

Markieren bzw. Umkreisen Sie die Stelle anhand der nachfolgenden Skizze. (Bei Symmetrie beide Körperseiten markieren)

	Kopf	
	vorne hinten	
	Nacken	
	Schulter	
	vorne hinten	
	Brustkorb	
	Oberer Rücken	
	Ellbogen	
	innen außen	
	Hand	
	beugeseitig streckseitig	
	Unterer Rücken	
	links rechts	
	Kreuz/Gesäß	
	links rechts	
	Hüfte	
Oberschenkel	vorne hinten	
Knie	vorne hinten	
innen außen		
Unterschenkel	vorne hinten	
Fuß	innen außen	

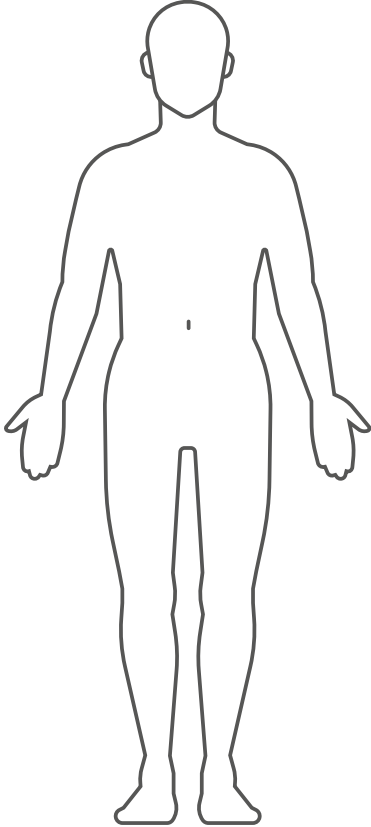
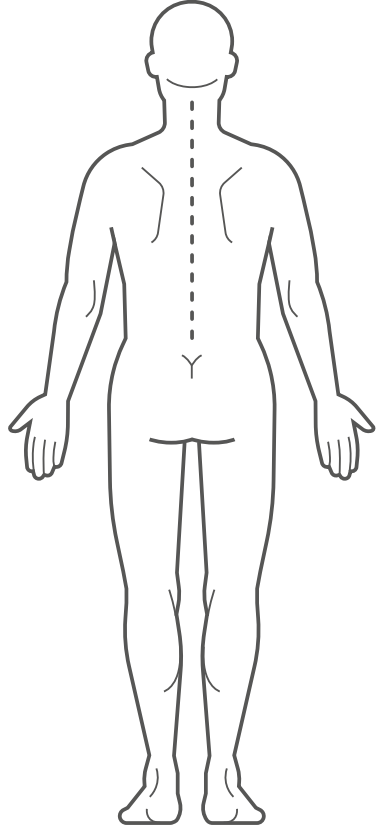
Tragekomfort des Exoskeletts bei längerem Gebrauch:

Spüren Sie Druckstellen oder Ähnliches durch das Exoskelett nach längerem Gebrauch (hier 1 h), was Sie beim längeren Tragen beeinträchtigen würde?

Ja Nein

Wenn ja:

Markieren Sie anhand der nachfolgenden Skizze und Bezeichnungen die Stelle (oder auch mehrere), an der das Exoskelett unangenehm drückt oder scheuert.

	Kopf	
	vorne hinten	
	Nacken	
	Schulter	
	vorne hinten	
	Brustkorb	
	Oberer Rücken	
	Ellbogen	
	innen außen	
	Hand	
	beugeseitig streckseitig	
	Unterer Rücken	
	links rechts	
	Kreuz/Gesäß	
links rechts		
Hüfte		
innen außen		
Oberschenkel		
vorne hinten		
Knie		
vorne hinten		
innen außen		
Unterschenkel		
vorne hinten		
Fuß		
innen außen		

Zusammenfassende Beurteilung:

Wie beurteilen Sie insgesamt den Nutzwert des Exoskeletts für Ihre Arbeit (Abwägung von Vor- und Nachteilen)?

kein Nutzwert

großer Nutzwert

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

**Berufsgenossenschaft
der Bauwirtschaft**

Bundesallee 210
10719 Berlin
www.bgbau.de

Präventions-Hotline der BG BAU:
0800 80 20 100 (gebührenfrei)
praevention@bgbau.de

