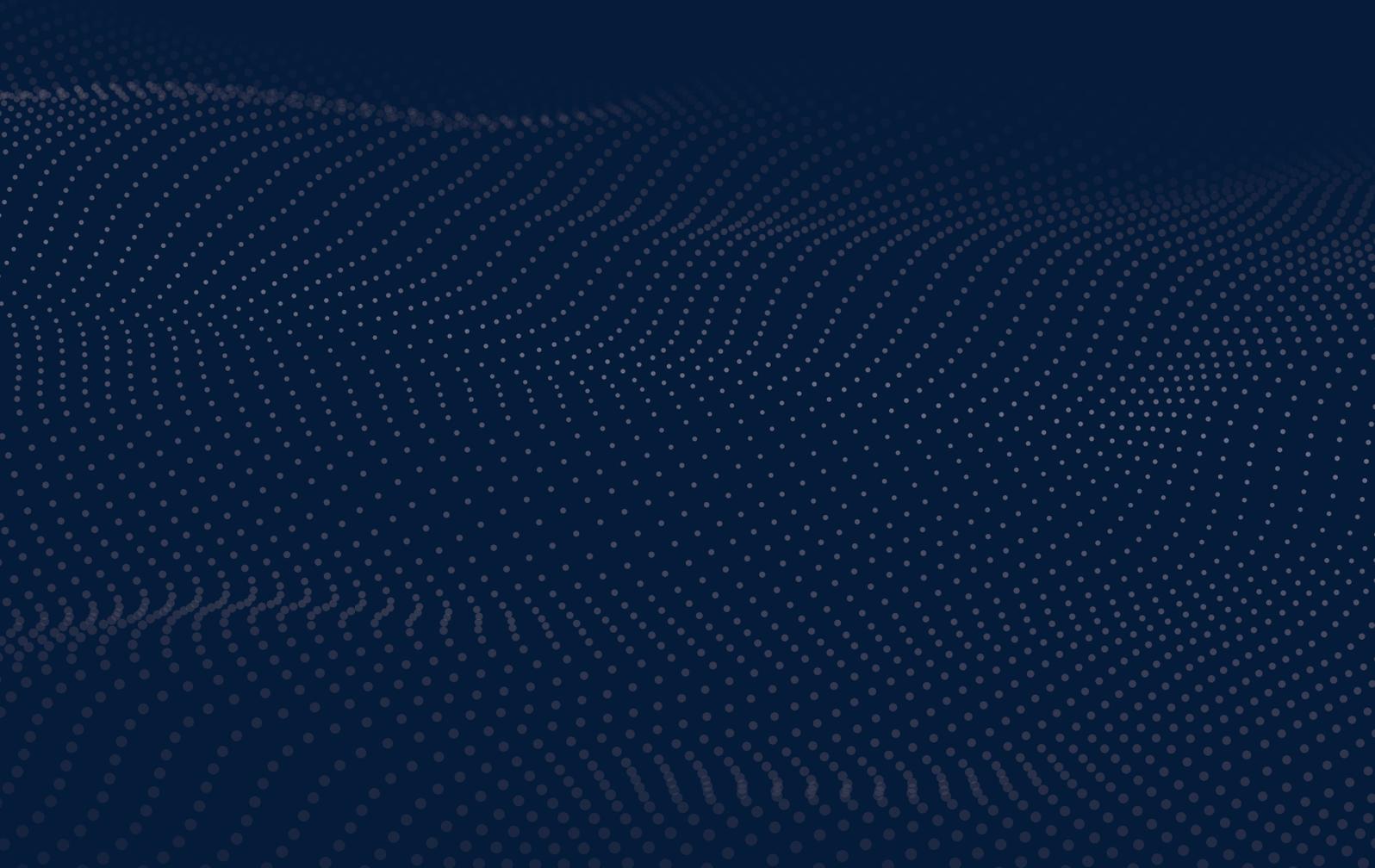


# BIONISCHE EXOSKELETTE

WHITEPAPER 2022



# INHALT

---

<b>Die Entstehung bionischer Exoskelette</b>	<b>3</b>
<b>Varianten bionische Exoskelette</b>	<b>4</b>
Passive Exoskelette	5
Robotische Exoskelette	6
Vernetzte Exoskelette	7
<b>Beispiele für Exoskelette</b>	<b>8</b>
Exoskelette für die Rehabilitation	9
Exoskelette für die Arbeitswelt	10
Überkopf-Schulter-Stütze	11
Unterstützung des unteren Rückens	12
Unterstützung des unteren Rückens in der Logistik	13
Andere Anwendungsfälle	15
<b>Markt-Übersicht</b>	<b>16</b>
<b>Muskel-Skelett-Erkrankungen</b>	<b>17</b>
<b>Fazit</b>	<b>19</b>
<b>Quellen</b>	<b>20</b>

---

# DIE ENTSTEHUNG BIONISCHER EXOSKELETTE

Wir Menschen gehen schon seit Jahrtausenden über unsere physischen und biologischen Kompetenzen hinaus – seit unsere Vorfahren damit begannen, mit den ersten einfachen Werkzeugen zu hantieren, um auch unter schwierigen Umweltbedingungen weniger mühsam zurechtzukommen und die eigenen Überlebenschancen zu verbessern.

All diese Fertigkeiten wurden nach und nach weiterentwickelt und haben zu Fortschritten in Wissenschaft, Technik, Medizin, Gesellschaft und Verkehr sowie sogar in Kultur und Unterhaltung beigetragen. Trotz all des Strebens unserer Spezies bleibt der Mensch als Lebewesen jedoch begrenzt – in Bezug auf das Altern, auf Krankheiten, kognitive Beeinträchtigungen und dauerhafte Verletzungen. Moderne Entwicklungen rund um menschliche Augmentierung zielen darauf ab, einige der grundlegendsten Herausforderungen zu lösen, mit denen wir Menschen je konfrontiert waren, zum Beispiel im Bereich persönlicher Mobilität und tiefgreifender demografischer Veränderungen.

## ALTERNDE GESELLSCHAFT



**1 von 6 Personen weltweit wird im Jahr 2030 60 Jahre alt oder älter sein.**

Der Anteil der Bevölkerung im Alter von 60 Jahren und mehr wird von 1 Milliarde im Jahr 2020 auf 1,4 Milliarden im Jahr 2030 steigen. Bis 2050 wird sich die Weltbevölkerung im Alter von 60 Jahren und älter auf 2,1 Milliarden verdoppeln.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> World Health Organization (WHO)

<sup>2</sup> ABI Research

<sup>3</sup> Ekso Bionics

Einige der ersten Exoskelette wurden für den medizinischen Einsatz entwickelt: um die Mobilität von Patientinnen und Patienten wiederherzustellen. Sie unterstützten die unteren Gliedmaßen beim Gehtraining nach einem Schlaganfall oder einer Wirbelsäulen-/Beinbehinderung.

Mittlerweile werden bionische Exoskelette in rasantem Tempo weiterentwickelt und eingesetzt. Sie helfen dabei, Verletzungen zu heilen oder die Körperfunktionen zu verbessern, um die Zeit des aktiven Lebens bis ins hohe Alter hinein zu verlängern.

## ZAHL DER EXOSKELETTE



**Die Zahl der weltweit eingesetzten Exoskelette wird sich zwischen 2022 und 2030 voraussichtlich versiebenfachen.**

Prognosen gehen davon aus, dass der Einsatz von Exoskeletten von 93.000 im Jahr 2022 auf 719.000 im Jahr 2030 ansteigen wird.<sup>2</sup>

Rehabilitations-Exoskelette haben Patientinnen und Patienten bislang dabei unterstützt, über 200 Millionen Schritte zu machen.<sup>3</sup>

# VARIANTEN BIONISCHER EXOSKELETTE

Derzeit sind verschiedene Varianten von Exoskeletten im Einsatz, die vor allem den unteren Rücken, die Schultern und andere Körperregionen unterstützen. Wichtig dabei ist der Unterschied zwischen passiven und aktiven Exoskeletten. Unter passiven Exoskeletten versteht man rein mechanische Konstruktionen, die meist leicht und kostengünstig in der Anschaffung sind. Bei aktiven Exoskeletten hingegen handelt es sich um robotische Geräte, die sehr viel mehr Assistenz und Unterstützung ermöglichen.

Die Anbieter von Exoskeletten sind heterogen und gehen aus ganz unterschiedlichen Gründen und Problemstellungen an die Herstellung von Assistenzsystemen heran.

Neben etablierten Unternehmen mit jahrzehntelanger Erfahrung im Bereich menschlicher Augmentation haben andere ihr Unternehmen explizit mit dem Ziel der Forschung und Entwicklung von Exoskelett-Technologie gegründet.



Abbildung 1: Ottobock begann 1919 mit der Herstellung von Prothesen

Unabhängig vom jeweiligen Ansatz versuchen die Hersteller von Exoskeletten, sehr spezifische Probleme rund um Einschränkungen des menschlichen Körpers zu lösen – sei es zur Rehabilitation nach Verletzungen, zur Förderung der Kraft oder zur Prävention von Verletzungen am Arbeitsplatz.



Abbildung 2: Das Exoskelett Guardian XO von Sarcos fördert die Kraft

Um das jeweils spezifische Problem bestmöglich zu lösen, haben die Herstellerfirmen entsprechende technologische und mechanische Entscheidungen getroffen und sind dabei auch Kompromisse eingegangen. Und so weisen die unterschiedlichen Varianten von Exoskeletten auch unterschiedliche Merkmale auf.

Selbst Geräte, die auf den ersten Blick dasselbe Problem zu lösen scheinen, können in Wirklichkeit ganz unterschiedliche Funktionen bieten.

## 1

# PASSIVE EXOSKELETTE

**Passive Exoskelette** bestehen aus rein mechanischen Strukturen. Sie unterstützen die Nutzenden bei Hebetätigkeiten, indem sie die Kraft von Federn und Dämpfern nutzen.

Da sie über keinerlei elektrische Komponenten, Softwaresteuerung oder zusätzliche Hilfsfunktionen verfügen, ist ihre Komplexität im Vergleich zu aktiven motorgetriebenen Geräten jedoch gering. Allerdings sind sie dadurch auch leichter und günstiger in der Anschaffung. Denn sie benötigen keine Batterien, Motoren und Antriebssysteme. In Japan haben Unternehmen wie Innophys ihr industrielles Angebot inzwischen eingestellt und konzentrieren sich ganz auf die Herstellung von Geräten für Endverbraucher. Diese sind mit viel billigeren pneumatischen Komponenten ausgestattet und sorgen mit Druckluft für den Lastenausgleich.<sup>4</sup>



Abbildung 3: B2C Pneumatik-/Druckluft-Exoskelett

Ähnlich haben in den USA einige Anbieter wie HeroWear damit begonnen, textilbasierte „Softexos“ auf den Markt zu bringen. Sie werden als Wearables wie Kleidung getragen und nutzen lediglich elastische Kraft, um Hebetätigkeiten zu unterstützen.<sup>5</sup>



Abbildung 4: Softexo

Komplexität und Kosten der Geräte hängen mit den jeweils eingegangenen Kompromissen bei der Wahl der eingesetzten Technologien zusammen. Denn diese entscheiden über den Grad der Unterstützung, die mögliche Lastenkompensation und damit über den spezifischen Einsatzbereich.

## UNTERSTÜTZUNG DURCH:



FEDERN



DÄMPFER

<sup>4</sup> Innophys  
<sup>5</sup> HeroWear

**Aktive Exoskelette** (auch „angetriebene“ oder „robotische“ Exoskelette) kombinieren mechanische Strukturen mit Robotertechnologie. Sie wurden speziell für repetitive Hebetätigkeiten mit schweren Lasten entwickelt, die den unteren Rücken stark belasten – insbesondere in großen Vertriebszentren und in der Logistik.

Im Gegensatz zu passiven Geräten sind diese komplexer, weiter entwickelt und mit Batterien, sensorgestützten Steuerungen und Antrieben ausgestattet. Bei Bedarf bieten sie eine Lastenkompensation. Wenn diese nicht benötigt wird, ermöglichen sie freie Bewegung und Flexibilität.



**Abbildung 5:** Cray X im Einsatz in einem der größten Logistikzentren Europas – Fiege Mega Center Ibbenbüren

Aktive Geräte unterstützen die Arbeit, indem sie eine positive Kraft erzeugen. Diese reduziert die Gesamtlast repetitiver Hebetätigkeiten und ermöglicht es, dass die Nutzenden die eigene Energie auf ihre eigentlichen Aufgaben konzentrieren können.

Mittlerweile haben einige Hersteller die aktiven Geräte so weiterentwickelt, dass sie sich an sämtliche Körpertypen und Arbeitsumgebungen anpassen lassen – zum einen durch Konnektivität mit dem Ziel der Echtzeitanalyse, zum anderen durch eine im Tagesverlauf variable Konfiguration. So gewährleisten sie Sicherheit und unterstützen auch an dynamischen Arbeitsplätzen. Mittels Konnektivität lassen sich die Geräte an die jeweiligen Trägerinnen und Träger anpassen – und nicht umgekehrt. Der entstehende Kommunikationskanal zwischen Anwendern, Management und Herstellern macht aktuelle Daten zugänglich und beschleunigt damit auch Forschung und Entwicklung.



**Abbildung 6:** Eine Krankenschwester nutzt ein aktives Exoskelett zum Heben einer Patientin, Charité – Universitätsmedizin Berlin

Das batterie- und motorbetriebene Exoskelett Cray X bietet eine Hebeunterstützung von 30 Kilogramm und kann in Echtzeit wichtige Gesundheitsdaten sammeln, um einen sicheren und ergonomischen Betrieb zu gewährleisten.<sup>6</sup>

## UNTERSTÜTZUNG DURCH:



**BATTERIE**



**MOTOR**

# VERNETZTE EXOSKELETTE

Konnektivität und die damit entstehende Möglichkeit, Daten zu erfassen, zu übertragen und zu analysieren, sind wesentliche Aspekte der Exoskelett-Forschung. Insbesondere im Rehabilitationsbereich verhilft die Vernetzung zu einem besseren Verständnis, wie Patientinnen und Patienten beispielsweise auf Gehtraining reagieren.

Auch in der Industrie setzen Unternehmen in jüngerer Zeit vernetzte Exoskelette ein, um ihren Kunden wichtige Informationen über den Faktor Mensch in ihren Prozessen, z. B. in der Logistik, zu liefern.

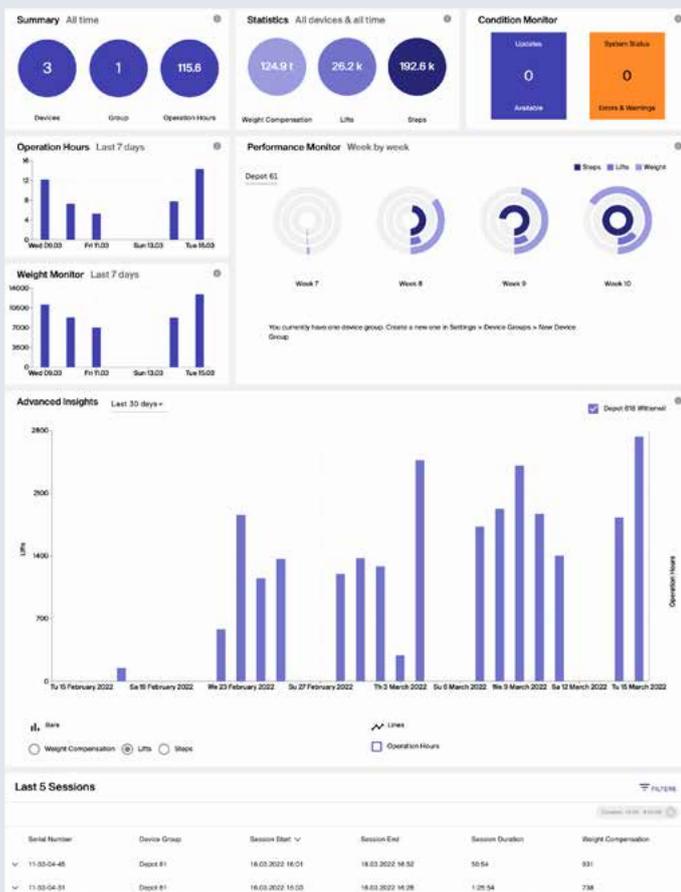


Abbildung 7: German Bionic IO-Plattform für Big-Data-Analyse

Bislang wurden Daten in Unternehmen meist manuell erfasst – durch Beauftragte für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Vernetzte Exoskelette dagegen ermöglichen einen sofortigen Zugriff auf Nutzungsdaten und Optimierungen auf verschiedenen Ebenen innerhalb der Organisation. Der Vorteil: Die gewonnenen Sensordaten erstrecken sich über tausende Stunden Bewegungserkennung und ermöglichen es, Empfehlungen für mehr Sicherheit, Effizienz und Produktivität am Arbeitsplatz zu geben.

Ein weiterer Vorteil der Vernetzung besteht darin, den Systemzustand für eine vorausschauende Wartung überwachen zu können. Das erleichtert die Planung und reduziert Ausfallzeiten.

Software und Firmware lassen sich zudem per Fernzugriff „over-the-air“ über eine Cloud-Plattform aktualisieren.

Die Logistikbranche ist auf Geschwindigkeit, Effizienz und Intelligenz angewiesen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. In Zeiten steigender Nachfrage und sinkender Fehlertoleranz in Logistikprozessen werden KI-fähige Supply-Chain-Lösungen unabdingbar.

Denn mit ihnen lassen sich, aus verschiedenen konsolidierten Datenquellen heraus, wertvolle Erkenntnisse generieren und für kontextbezogene und ganzheitliche Analysen im Hinblick auf Sicherheit, Effizienz und Produktivität nutzbar machen. So lassen sich die Betriebsabläufe verbessern und langfristig qualitativ bessere Produktflüsse und Prozesse schaffen.

Nach umfassenden Tests bekommen vernetzte Exoskelette daher bei den allermeisten Logistik- und Industrieexperten den Vorzug vor nicht vernetzten Systemen.

# BEISPIELE FÜR EXOSKELETTE

Wie bei jeglicher Innovation sind Forschung und Entwicklung ständig dabei, neue und spannende Einsatzmöglichkeiten für Exoskelette auszuloten.

Kliniken beispielsweise setzen Exoskelette in der Rehabilitation ein – als Kernbestandteil ihrer Physiotherapieprogramme, um körperlich beeinträchtigten Patientinnen und Patienten dabei zu helfen, wieder auf die Beine zu kommen und zu gehen.

## EKSO BIONICS<sup>7</sup>

Ekso NR

- ✔ 300 Geräte im Einsatz
- ✔ 2.000 Patientinnen und Patienten
- ✔ 30+ Länder
- ✔ Nur FDA-zugelassen



Einige Geräte sind ausschließlich für den Einsatz vor Ort bestimmt, andere dafür konzipiert, außerhalb des klinischen Umfelds persönliche Mobilität im Alltag zu ermöglichen.

## WANDERCRAFT<sup>8</sup>

Atalante X

- ✔ Selbstbalancierend
- ✔ Freihändig
- ✔ Dynamischer Stand
- ✔ Multi-direktional



Beim industriellen Einsatz verringern Exoskelette Verletzungen am Arbeitsplatz und beugen Muskelschmerzen vor – positive Effekte, die mehr und mehr Arbeitskräfte in ihrem Alltag zu schätzen wissen.

## SARCOS ROBOTICS<sup>9</sup>

Guardian XO

- ✔ Ganzkörper
- ✔ Schwere Aufgaben
- ✔ Hebe-Unterstützung für 90 kg
- ✔ Erhöht die Kraft um das 20-Fache



Sarcos Robotics hat ein Exoskelett für schwere Industriearbeiten entwickelt, das die Kraft der Trägerinnen und Träger potenziert. Es ermöglicht Arbeitskräften, das 20-Fache zu heben, bei einer maximalen Traglast von 90 Kilogramm.

Derzeit wird das Ganzkörper-Exoskelett Guardian XO von Sarcos in der Luftfahrt, im Bauwesen sowie in Montage und Fertigung eingesetzt, um Arbeitende in Mechanik und Ingenieurswesen bei ihren täglichen Aufgaben zu unterstützen.

## GERMAN BIONIC<sup>10</sup>

Cray X

- ✔ Unterer Rücken
- ✔ Logistische Aufgaben
- ✔ 30 kg Hebeunterstützung
- ✔ Konnektivität



Die 5. Generation des Cray X von German Bionic wird erfolgreich in der Logistik eingesetzt, um Mitarbeitende zu schützen und Arbeitsabläufe durch Echtzeit-Datenanalysen und vernetzte Dienste zu optimieren.

7 Ekso Bionics

8 Wandercraft

9 Sarcos Robotics

10 German Bionic

# EXOSKELETTE FÜR DIE REHABILITATION

Robotische Assistenzsysteme sind schon seit Jahren ein vertrauter Anblick im Gesundheitswesen. Tragbare, unterstützende Rehabilitations-Exoskelette dagegen sind noch eine relativ junge Innovation im klinischen Bereich.



**Abbildung 8:** Rehabilitations-Exoskelette helfen Patientinnen und Patienten dabei, wieder auf die Beine zu kommen.

Rehabilitations-Exoskelette werden in medizinischen Einrichtungen zur Behandlung von Patientinnen und Patienten eingesetzt, die unter motorischen Störungen leiden. Das Gerät wird direkt mit dem Körper verbunden und stützt Beine, Wirbelsäule und Rumpf, um Bewegungsmuster zu korrigieren und ein intensives und wiederholtes Gehtraining zu ermöglichen.

Im Laufe der Behandlung stellen die Patientinnen und Patienten ihre Mobilität wieder her. Sie bauen ihre motorischen Funktionen wieder auf, um schließlich ihre körperliche Autonomie zurückzugewinnen.

## REHABILITATIONS-EXOSKELETTE



**Rehabilitations-Exoskelette** werden erfolgreich zur Behandlung von Rückenmarksverletzungen, Schlaganfällen, erworbenen Hirnverletzungen und Multiple Sklerose eingesetzt.

Die unterstützende körperliche Rehabilitation hilft Querschnittsgelähmten nachweislich dabei, wieder ein aktiveres Leben zu führen und in ihr Lebensumfeld zurückzukehren.

## RÜCKENMARKSVERLETZUNGEN

# 500.000

**Menschen weltweit erleiden jedes Jahr eine Rückenmarksverletzung.**

Rehabilitationsmaßnahmen sind für die Bewältigung dieser Krankheiten – die bei einer weltweiten Erwerbslosenquote von über 60 % erhebliche Hindernisse für die wirtschaftliche Teilhabe darstellen – von entscheidender Bedeutung.<sup>11</sup>

Die Forschung führt immer deutlicher vor Augen, wie Exoskelette dazu beitragen können, Gehirn und Nervensystem beim motorischen Lernen und bei der Bewegungskoordination zu unterstützen.

Untersuchungen zeigen, dass das Nervensystem bestimmte Aspekte bei Bewegungen anpasst und gleichzeitig die Variabilität entlang dieser Aspekte verringert. Forschende fanden zudem heraus, dass diese adaptiven Veränderungen die Bewegung insgesamt verbessern und den Energieaufwand des Gehens um etwa ein Viertel senken.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> World Health Organization (WHO)

<sup>12</sup> Abram, et al.

# EXOSKELETTE FÜR DIE ARBEITSWELT

Exoskelette für die Arbeitswelt, oder Industrielle Exoskelette, sind tragbare Sicherheitsausrüstungen. Sie werden am Arbeitsplatz eingesetzt, um den menschlichen Körper leistungsfähiger zu machen.

Im Gegensatz zu Reha-Systemen dienen sie der Gesundheitsvorsorge. Sie verringern die muskuläre Belastung und den Energieaufwand bei sehr anstrengenden manuellen Tätigkeiten.

**Industrielle Exoskelette erfüllen in der Regel hauptsächlich die Funktionen, die folgenden beiden lokalen Muskelgruppen zu entlasten:**

## 1 Schultern bei Überkopparbeiten



Abbildung 9: Passives Exoskelett

## 2 den unteren Rücken bei Hebe- und Tragearbeiten



Abbildung 10: Robotisches Exoskelett

Industrielle Geräte fokussieren darauf, Arbeitskräfte bei alltäglichen Aufgaben zu unterstützen, um arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen vorzubeugen und vor Arbeitsunfällen zu schützen.

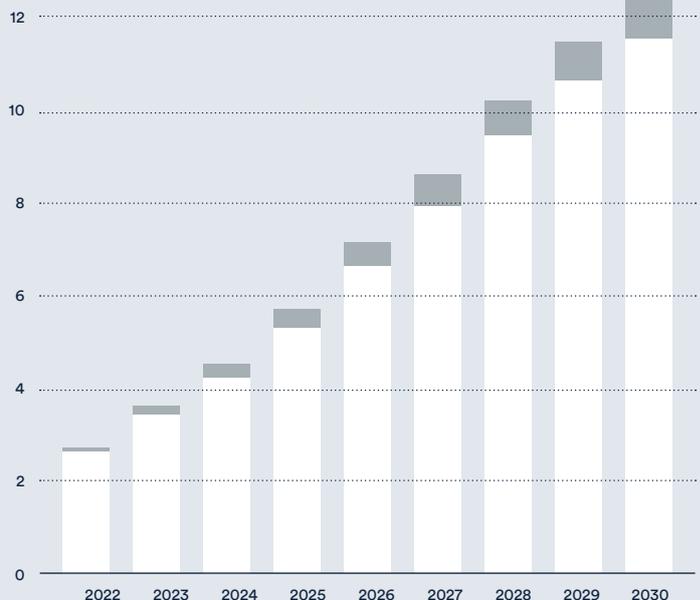
Sie lassen sich anhand der Technologiekomponenten kategorisieren, welche bei bestimmten Aufgaben unterstützen sollen.

Passive Exoskelette nutzen die Kräfte von Federn, Dämpfern oder anderen Materialien zur Unterstützung der menschlichen Bewegung. Der Lastenausgleich wird hierbei ausschließlich durch die eigene Kraft des Nutzenden erzeugt.<sup>13</sup>

Aktive Exoskelette hingegen, die die Arbeitskräfte bei Hebetätigkeiten unterstützen, nutzen externe Energiequellen, um die Antriebe, z. B. Elektromotoren, mit Strom zu versorgen.<sup>14</sup>

## MARKTGRÖSSE (U.S. \$, MILLIARDEN) <sup>15</sup>

● Aktiv ● Passiv



📌 **Prognosen zufolge werden im Exoskelett-Bereich zukünftig robotische Exoskelette am stärksten nachgefragt.**

<sup>13</sup> de Looze et al.

<sup>14</sup> Gopura et al.

<sup>15</sup> ABI Research

# INDUSTRIELLE EXOSKELETTE

## 1 ÜBERKOPF-SCHULTER-STÜTZE

Ein wesentlicher Faktor bei industriellen Exoskeletten ist der Tragekomfort. Das bedeutet, dass die biomechanischen Komponenten in der Lage sein müssen, sich an die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer anzupassen – auf Grundlage von Faktoren wie Körpergröße, von wichtigen Maßen wie Wirbelsäule oder, wie im Falle von Überkopf-Schulter-Exoskeletten, der Unterarmlänge.

Überkopf-Schulter-Exoskelette entlasten den gesamten Rücken sowie den Nackenbereich, indem sie bei Überkopfarbeiten die Arme und Schultern unterstützen, wie z. B. im Automobilbau bei Arbeiten an der Karosserie.

Bei den meisten derzeit auf dem Markt befindlichen Exoskeletten für den Schulterbereich handelt es sich um passive Systeme. Sie nutzen regenerative Kräfte, um die Belastung umzuverteilen und die muskuläre Beanspruchung auf robustere Körperbereiche wie die Hüften zu übertragen.

Hebekraft erzeugen diese Geräte über Rollen, Kabel und Federn. Dabei fixieren und stützen sie die Arme über einen längeren Zeitraum hinweg mit Armstützen.

Dies hat jedoch einen Nachteil: Da sich bei den Nutzerinnen und Nutzern eine Anspannung der Unterarme bemerkbar macht, sobald sie ihre Arme gegen die Kraft der Federn nach unten drücken, ist im Vergleich zu elektrisch angetriebenen Geräten die Bewegungsfreiheit eingeschränkt.

Um Bequemlichkeit und Bedienungsfreundlichkeit zu gewährleisten, legen die Hersteller daher Wert auf leichte Geräte, die ein hohes Maß an Bewegungsfreiheit bieten.

Überkopf-Schulter-Stützen gehören zu den ersten Exoskeletten, die weltweit in der Produktion auf breite Akzeptanz stießen.

So war Toyota Motor North America im Jahr 2020 das erste Unternehmen, das ein Exoskelett als obligatorische persönliche Schutzausrüstung (PSA) einführte.<sup>16</sup>



Abbildung 11: Das Levitate Airframe wird als obligatorische PSA von Toyota Motor NA eingesetzt

<sup>16</sup> Levitate Technologies

# INDUSTRIELLE EXOSKELETTE

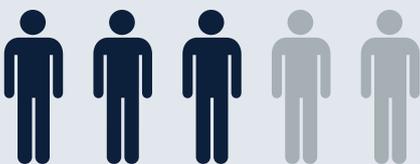
## 2 UNTERSTÜTZUNG FÜR DEN UNTEREN RÜCKEN

Exoskelette für den unteren Rücken entlasten lokale Muskelgruppen im Lendenbereich, um Arbeitende zu schützen, die repetitive Hebe- und Tragetätigkeiten ausführen. Ziel ist es, Schmerzen und Verletzungen im unteren Rückenbereich vorzubeugen oder Betroffene zu rehabilitieren, die bereits an Erkrankungen des Bewegungsapparats leiden.

Im Jahr 2021 kaufte der National Health Service (NHS) in Großbritannien 127 Exoskelette für den unteren Rückenbereich, um das Pflegepersonal bei der Versorgung von Patientinnen und Patienten zu unterstützen.<sup>17</sup>

Sie werden vor allem in der Logistik und in der Fertigung eingesetzt. Doch auch, wenn sie als industrielle Exoskelette bezeichnet werden, ist die Anwendung von Exoskeletten für den unteren Rücken breit gefächert. Beispielsweise gibt es erfolgreiche Einsatzbereiche im Gesundheitswesen, wo sie in der Alten- und Krankenpflege beim Heben und Drehen von Patientinnen und Patienten unterstützen.

### MUSKEL-SKELETT-ERKRANKUNGEN



**3 von 5 Personen melden eine oder mehrere Muskel-Skelett-Erkrankungen**

<sup>17</sup> Cyberdyne (2022)

<sup>18</sup> EU OSHA (2019)

<sup>19</sup> Japan Ministry of Agriculture, Forestry & Fisheries

Die am häufigsten gemeldete MSD waren Rückenschmerzen, wobei 45 % der männlichen und 42 % der weiblichen Befragten Verletzungen angaben.<sup>18</sup>

Rückenschmerzen sind nahezu unvermeidlich und treten mit fortschreitendem Alter häufiger auf. Da die Bevölkerung immer älter wird, ist zu erwarten, dass Exoskelette zunehmend genutzt werden, um ältere Menschen zu behandeln, die einen aktiven Lebensstil führen wollen. Schon jetzt gibt es Exoskelette für den unteren Rückenbereich in zahlreichen Ausführungen und Technologien, um sich verschiedenen Anwendungsfällen, Schwierigkeitsgraden und Kostenaspekten anzupassen.

### LANDARBEITER IN JAPAN

# 67 JAHRE

**ist das Durchschnittsalter eines Landarbeiters in Japan**

Japan hat im weltweiten Vergleich den höchsten Altersquotienten – mit einem Anteil der über 65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung von 28 %.<sup>19</sup>



Abbildung 12: Gepäckabfertigung am Flughafen Stuttgart

# INDUSTRIELLE EXOSKELETTE

## 3 UNTERSTÜTZUNG DES UNTEREN RÜCKENS IN DER LOGISTIK

Viele Logistikprozesse sind noch immer von einem großen Bestand an Arbeitskräften geprägt. Als anpassungsfähige, kognitive Leistungsträger sind menschliche Arbeitskräfte in der Regel von unschätzbarem Wert. Denn sie verfügen über Flexibilität und Problemlösungsfähigkeiten und sind zudem in der Lage, Pakete zu heben und zu transportieren.

Die steigende Nachfrage nach Online-Shopping und schnellen Lieferzeiten hat jedoch zur Folge, dass ein Großteil des entstehenden Drucks auf dem Rücken der Arbeitskräfte lastet.

Repetitive und anstrengende Hebe- und Verschiebewebungen verursachen körperliche Belastungen. Diese wiederum können zu schwerwiegenden chronischen Leiden wie Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSD) führen, die die Arbeitskräfte stark belasten und ihre Bewegung und Mobilität im Alltag einschränken.

Mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen ist zudem eine Reihe von Kosten verbunden – sowohl direkt als auch indirekt. Schätzungen zufolge machen die Kosten von Muskel- und Skeletterkrankungen in Form von Produktivitätsverlusten etwa 2 % des Bruttoinlandsprodukts (BIP) der Europäischen Union aus.<sup>20</sup>

**Die negativen Folgen für die Gesundheit der Arbeitskräfte sind vielschichtig:**

### **Körperlich**

- ➔ Sie reichen von Unbehagen und leichten Schmerzen bis hin zu schweren Erkrankungen und bleibender Behinderung.
- ➔ Die bekanntesten MSD sind Schmerzen im unteren Rückenbereich und arbeitsbedingte Erkrankungen der oberen Gliedmaßen.
- ➔ Die Hauptrisikofaktoren für letztere sind mit repetitiven Tätigkeiten und ungünstigen Arbeitshaltungen verbunden.<sup>21</sup>

### **Psychisch**

- ➔ Sie haben einen emotionalen Anteil und können physische oder psychische Gesundheitsschäden hervorrufen.<sup>22</sup>
- ➔ Sie hängen mit der Gestaltung, der Organisation, dem Management sowie dem wirtschaftlichen und sozialen Kontext der Arbeit zusammen.
- ➔ Sie verursachen ein höheres Stresslevel und eine erhebliche Schädigung der geistigen und körperlichen Gesundheit.<sup>23</sup>

Aus diesem Grund werden Exoskelette mittlerweile in großen Vertriebszentren eingesetzt, um Arbeitskräfte in der Logistik zu schützen und Krankheiten vorzubeugen.

„Technische und organisatorische Maßnahmen zur Gestaltung von Arbeitsplätzen können unpraktisch oder undurchführbar sein, so dass der Einsatz von Exoskeletten in Betracht gezogen werden muss.“<sup>24</sup>

<sup>20</sup> Bevan (2015)

<sup>21</sup> EU-OSHA (2019)

<sup>22</sup> Devereux, J. et al. (2004)

<sup>23</sup> EU-OSHA (2007)

<sup>24</sup> EU OSHA (2020)

# INDUSTRIAL EXOSKELETONS

## 3 UNTERSTÜTZUNG DES UNTEREN RÜCKENS IN DER LOGISTIK

Mit dem Einsatz von Exoskeletten können Logistikunternehmen Krankheitstage reduzieren, Kosten sparen und die Produktivität steigern.

### KRANKHEITSTAGE

25 % 

### Verringerung der Krankheitstage

Logistikunternehmen berichten außerdem von höheren Kommissionierraten, geringeren Fehlerquoten und weniger Erschöpfung.

Der internationale Paketzusteller DPD setzt das aktive und vernetzte Exoskelett Cray X ein, um Mitarbeitende bei Entladetätigkeiten zu entlasten.



Abbildung 13: Das robotische Exoskelett Cray X vor Ort bei DPD

25 DPD

26 OSHA.gov

Die bisherigen Ergebnisse sind sehr positiv, wie Vile Heimgartner, Senior Innovation Project & Sustainability Manager, erklärt:

„Exoskelette verringern die körperliche Arbeit und helfen somit, den Alltag unserer Depotmitarbeitenden angenehmer zu gestalten. Es handelt sich dabei nicht um eine Effizienzmaßnahme. In erster Linie dienen die Exoskelette dazu, die Gesundheit unserer Mitarbeitenden zu schützen, indem Rückenschmerzen oder Bandscheibenvorfälle vorgebeugt wird. Dadurch, dass mit den Gerüsten weniger körperliche Kraft gefordert ist, haben auch ältere oder weniger «sportliche» Mitarbeitende eine Chance, die Arbeit auszuführen. In unserer bisherigen Testphase konnte bereits durchschnittlich in einer Stunde eine Tonne pro Person an Gewicht entlastet werden – als Referenz gleicht dies ungefähr einem Auto pro Stunde und pro Mitarbeitenden.“<sup>25</sup>

Auch langfristig können Logistikunternehmen durch weniger Schadensfälle Kosten sparen, indem sie ihre Arbeitskräfte schützen und Verletzungen verhindern.<sup>26</sup>

UNFÄLLE/VERLETZUNGEN	DIREKT	INDIREKT	GESAMT
ÜBERLASTUNG	32.000 \$	35.000 \$	67.000 \$
VERSTAUCHUNGEN	30.000 \$	34.000 \$	64.000 \$
PSYCHISCH	59.000 \$	65.000 \$	124.000 \$

Die von der Occupational Safety & Health Agency (OSHA) der USA geschätzten Kosten könnten in vielen Fällen auch kumuliert werden, da körperliche Verletzungen oft direkt mit psychischen Schäden einhergehen. Dank Exoskeletten können Arbeitskräfte bis zur Rente körperlich und seelisch gesund bleiben – lange genug, um tagsüber Pakete zu heben und abends die eigenen Enkelkinder auf den Arm zu nehmen.

# INDUSTRIELLE EXOSKELETTE

## 4 ANDERE ANWENDUNGSFÄLLE

Der bedeutendste Anwendungsfall für industrielle Exoskelette ist derzeit wohl die Logistikbranche. Aber auch Unternehmen vieler anderer Branchen profitieren davon.

Automobilhersteller beispielsweise verwenden Exoskelette, um ihre Arbeitskräfte in der **Produktion** und **Wartung** von Fahrzeugen zu unterstützen, insbesondere beim Heben und Montieren von Reifen.



Abbildung 14: Das aktive Exoskelett Cray X im Einsatz bei BMW in Darmstadt

In der **Alten- und Krankenpflege** werden Exoskelette verwendet, um Patientinnen und Patienten in bequemere Positionen zu heben oder um sich auf Eingriffe vorzubereiten.



Abbildung 15: Cyberdyne HAL Lumbar in der Pflege

Arbeitende auf dem **Bau** werden bei schweren Hebetätigkeiten unterstützt.



Abbildung 16: Das Paexo Shoulder von Ottobock im Einsatz am Bau

Eisenbahnunternehmen verwenden wasser- und staubdichte Exoskelette für die **Wartung** der Gleisinfrastruktur im **Freien**.

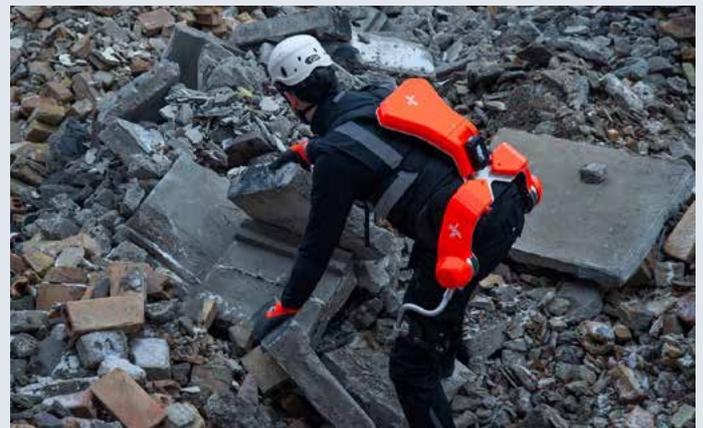


Figure 17: Das Cray+ von German Bionic wurde speziell für den Einsatz in Katastrophengebieten optimiert

Exoskelette können auch eingesetzt werden, um Ersthelfende im **Katastrophenfall** zu unterstützen.

# MARKT-ÜBERSICHT

Standorte der jeweiligen Unternehmenszentrale

## USA

---

**ekso**<sup>®</sup>  
BIONICS

  
HEROWEAR

 **LEVITATE**  
TECHNOLOGIES, INC.

 **SARCOS**<sup>™</sup>

**SUITX**

 **VERVE**  
MOTION

## EUROPA

---

**AGADE**

**EXOATLET**

 German  
Bionic

**Japet.**

**laevo**

**ottobock.**

## JAPAN

---

**CYBERDYNE**

 **INNOPHYS**  
株式会社

**JTEKT**

# MUSKEL-SKELETT-ERKRANKUNGEN: EIN WACHSENDES PROBLEM

Muskel-Skelett-Erkrankungen sind Verletzungen oder Störungen der Muskeln, Nerven, Sehnen, Gelenke, Knorpel und Bandscheiben. Sie treten mit zunehmendem Alter häufiger auf.

## ALTERSABHÄNGIGKEITSQUOTIENT %

Anzahl der Personen im Alter von 65+ in % der Erwerbsbevölkerung (15-64 Jahre)

### G7 Durchschnitt



### USA



### Kanada



### Großbritannien



### Schweiz



### Österreich



### Frankreich



### Deutschland



### Italien



### Japan



<sup>27</sup> International Labor Organization (ILO) (2020)

<sup>28</sup> Ergo Plus

## Zu den wichtigsten ergonomischen Risikofaktoren gehören:

- ➔ Häufige repetitive Tätigkeiten. Der repetitive Charakter von Tätigkeiten wird oft durch zeitkritische tägliche Quoten diktiert, die Arbeitskräfte unter immensen Druck setzen. Um mit den Anforderungen Schritt zu halten, ist dies oft mit einer schlechten Körperhaltung verbunden – denn eine korrekte Hebetechnik tritt hinter die Erfüllung der Quoten und die Ermüdung zurück.
- ➔ Hoher Kraftaufwand. Mit höheren Kraftanforderungen ist auch eine größere Muskelbelastung verbunden. Dies kann zu einer stärkeren allgemeinen Ermüdung führen, was wiederum Fehlhaltungen und letztlich Muskel-Skelett-Erkrankungen zur Folge haben kann.
- ➔ Ungünstige Körperhaltung. Druckkräfte und anhaltende Beanspruchung belasten die Sehnen rund um das Gelenk. Wenn Gelenke über einen längeren Zeitraum hinweg wiederholt außerhalb ihres optimalen „mittleren“ Bewegungsbereichs belastet werden, steigt das Risiko von Muskel-Skelett-Erkrankungen.<sup>28</sup>

📖 Exoskelette werden eingesetzt, um diese Risikofaktoren zu vermeiden. Sie sorgen nachweislich für eine mechanisch korrekte Körperhaltung, entlasten die Muskelgruppen und Sehnen um die Gelenke herum und verringern die allgemeine Ermüdung.



## PROF. DR. MED. HERBERT SCHUSTER

**Privatpraxis für Genetik und  
Präventivmedizin Medizin, Berlin**

**Wissenschaftlicher Beirat,**

VDEI – Verband der Exoskelett-Industrie e.V.

„Muskel- und Skeletterkrankungen sind für fast ein Viertel aller Krankheitstage in Deutschland verantwortlich und verursachen durch den Verlust von Bruttowertschöpfung einen volkswirtschaftlichen Schaden von mehr als 30 Milliarden Euro pro Jahr. Das hat die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin errechnet“, sagt Prof. Dr. Herbert Schuster.

Der renommierte Präventivmediziner ist Mitglied im wissenschaftlichen Beirat des VDEI, dem Verband der Exoskelett-Industrie mit Sitz in Berlin. Er führt weiter aus: „Dieses Gesundheitsrisiko entsteht, weil ein Drittel aller Beschäftigten bei der Arbeit zu schwere Materialien in hoher Wiederholungsintensität heben muss. Das Cray X revolutioniert die manuelle Handhabung und schafft Abhilfe, indem es schädliche Überlastungen und Arbeitsunfälle aktiv verhindert.“



## BERTALAN MESKÓ, MD, PHD

**Direktor des Medical Futurist Institute  
(Keynote Speaker, Autor & Futurist)**

„Über die Rehabilitation hinaus scheint sich ein Trend abzuzeichnen, Arbeitnehmer mit Exoskeletten auszustatten. Ein kleiner Pilotversuch mit etwa 40 Arbeitnehmern ergab vielversprechende Ergebnisse.

Diese Arbeiter berichteten, dass die Exoskelette zu einer Verringerung der Beschwerden im unteren Rückenbereich um 73 % und der Arbeitsbelastung um 30 % geführt haben. Darüber hinaus waren 80 % der Meinung, dass diese mechanischen Hilfsmittel Verletzungen des unteren Rückens verhindern können. Mit rund 100 Milliarden Dollar an Arztrechnungen, die sich in den USA auf Verletzungen von Arbeitnehmern zurückführen lassen, ist es für Arbeitgeber sinnvoll, neue Methoden zu erforschen, um Arbeitnehmern zu helfen und die Kosten für das Gesundheitswesen zu senken. Vor diesem Hintergrund entwickeln Unternehmen Exoskelett-Lösungen, um Arbeiter zu unterstützen und Verletzungen zu vermeiden. Das Cray X von German Bionic zum Beispiel ermöglicht es einem Arbeiter, Lasten von bis zu 30 kg problemlos zu tragen. Sein integriertes Smart Safety Companion System hilft außerdem, häufige Hebeverletzungen zu vermeiden.“

# FAZIT

Auch wenn Exoskelette noch eine ziemlich junge Innovation sind, profitieren bereits viele Menschen und Unternehmen weltweit von den damit verbundenen positiven Effekten.

Im Gesundheitswesen gibt es große Erfolge bei der Wiederherstellung des Gehvermögens von Patientinnen und Patienten mit motorischen Funktionsstörungen, die wieder mobil werden und ein erfülltes Leben führen können.

Arbeitende in der Industrie haben eine gesündere Zukunft vor sich. Indem sie mechanische Unterstützung und Hebeausgleich durch Exoskelette nutzen, schützen sie sich vor schwächenden Muskel-Skelett-Erkrankungen im Schulter- und unterem Rückenbereich.

In unkomplizierten Tätigkeitsbereichen bieten passive Geräte mit preiswerteren Komponenten und Technologien vor allem kleineren Unternehmen und Endverbrauchern einen einfachen Zugang.

Aktive Exoskelette dagegen, ausgestattet mit innovativen batterie- und motorgestützten Systemen, unterstützen körperlich schwere Arbeiten mit hoher Intensität und Wiederholungshäufigkeit, z. B. in großen Distributionszentren und in der Logistik.

Überall, wo Exoskelette eingesetzt werden, bedeutet dies mehr Sicherheit und Leistungsfähigkeit für die Belegschaft – und davon profitieren auch die Unternehmen.

Besonders innovative Unternehmen binden ihre manuellen Arbeitskräfte über die Vernetzung der Exoskelette in das industrielle IoT-Netzwerk ein und verbessern dadurch auch interne kommunikative Abläufe.

Solche vernetzten Geräte sind außerdem sehr variabel und lassen sich automatisch konfigurieren, um das Gerät an die spezifischen Bewegungen und Körpertypen der Nutzerinnen und Nutzer anzupassen.

Diese große Anpassungsfähigkeit sorgt auch dafür, dass das Exoskelett bequem und funktionell ist und die Nutzenden unterstützt, wenn sie es brauchen, aber weder unbeabsichtigte noch überflüssige Belastungen verursacht, wenn sie es nicht benötigen.

Früher waren Exoskelette ein Thema für Science-Fiction-Romane, heute erweisen sie sich als große Hilfe und realer Game-Changer im Gesundheitswesen und beim Arbeitsschutz. In dem Maße, in dem sie alltäglich werden, wandelt Science-Fiction sich in Realität.

# QUELLEN

ABI Research. (2019) Commercial and Industrial Robotics.

Table 69 Total Exoskeleton Revenue by Type, World Markets, Forecast: 2018 to 2030.

Abram, Sabrina J.; Poggensee, Katherine L.; Sánchez, Natalia; Finley, James M.; Collins, Steven H.; Donelan, J. Maxwell. (2022). General variability leads to specific adaptation toward optimal movement policies. *Current Biology* 32 (10), pp. 2222-2232.e5, May 23, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.04.015>.

Bevan, S. (2015): Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. In *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2015 Jun;29(3):356-73. DOI: 10.1016/j.berh.2015.08.002.

Cyberdyne. (2022) Consolidated Financial Result Briefing for the Fiscal Year Ended March 31, 2022. Available online at: [https://www.cyberdyne.jp/wp\\_uploads/2022/05/20220513\\_kessanhosokusetsumei\\_eng2.pdf](https://www.cyberdyne.jp/wp_uploads/2022/05/20220513_kessanhosokusetsumei_eng2.pdf)

DPD. (2022). Available online at: [www.dpd.com/ch/en/2022/03/09/what-are-exoskeletons/](http://www.dpd.com/ch/en/2022/03/09/what-are-exoskeletons/)

de Looze, Michiel P.; Bosch, Tim; Krause, Frank; Stadler, Konrad S.; O'Sullivan, Leonard W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. In *Ergonomics* 59 (5), pp. 671–681. DOI: 10.1080/00140139.2015.1081988.

Devereux, J., Rydstedt, L., Kelly, V., Weston, P., Buckle, P. The role of work stress and psychological factors in the development of musculoskeletal disorders: The stress and MSD study. HSE Research Report 273, Robens Centre for Health Ergonomics, Surrey, 2004.

Ekso Bionics. (Accessed 2022). Available online at: <https://eksobionics.com/eksohealth/>

Ergo Plus. (Accessed 2022). Available online at: <https://ergo-plus.com/musculoskeletal-disorders-msd/>

EU OSHA. (2007). Expert forecast on emerging psychosocial risks related to occupational safety and health (OSH). European Risk Observatory Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available online at: <https://osha.europa.eu/en/publications/report-expert-forecast-emerging-psychosocial-risks-related-occupational-safety-and-health-osh>

EU OSHA. (2019). Work-related Musculoskeletal Disorders: Prevalence, Costs, and Demographics in the EU. European Risk Observatory Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available online at: [https://osha.europa.eu/sites/default/files/Work-related\\_MSDs\\_prevalence\\_costs\\_and\\_demographics\\_in\\_the\\_EU\\_report.pdf](https://osha.europa.eu/sites/default/files/Work-related_MSDs_prevalence_costs_and_demographics_in_the_EU_report.pdf)

EU OSHA. (2020). Occupational Exoskeletons – Wearable Robotics Devices to Prevent WRMSDs in the Workplace of the Future. Discussion Paper. Available online at: <https://osha.europa.eu/en/publications/occupational-exoskeletons-wearable-robotic-devices-and-preventing->

work-related

German Bionic. (Accessed 2022). Available online at: <https://www.germanbionic.com/en/>

Gopura, R. A. R. C.; Kiguchi, K. (Eds.). (2009): Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: State-of-the-art and design difficulties. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto, 23 -26 June.

HeroWear. (Accessed 2022). Available online at: <https://herowareexo.com/>

Innophys. (Accessed 2022). Available online at: <https://innophys.jp/en/>

International Labor Organization (ILO). (2022). POPULATION AGEING: Alternative measures of dependency and implications for the future of work. Available online at: <https://www.ilo.org/legacy/english/intserv/working-papers/wp005/index.html>

Japan Ministry of Agriculture, Forestry & Fisheries. (2018). Accessed at: [nippon.com](http://nippon.com). Available online at: <https://www.nippon.com/en/features/h00227/>

Levitare Technologies Press Release. (2019). Toyota's Woodstock Plant Makes the Levitate Airframe As Mandatory Personal Protective Equipment. Available online at: <https://www.levitatetech.com/2019/03/29/industrial-exoskeletons-give-workers-lift-2/>

OSHA.gov. (Accessed 2022). Estimated Costs of Occupational Injuries and Illnesses and Estimated Impact on a Company's Profitability Worksheet. Available online at: <https://www.osha.gov/safetypays/estimator>

Sarcos Robotics. (Accessed 2022). Available online at: <https://www.sarcos.com/>

Wandercraft. (Accessed 2022). Available online at: <https://en.wander-craft.eu/>

World Health Organization (WHO). (2021). Ageing and Health Fact Sheet. Available online at: [www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health)

World Health Organization. (Accessed 2022). Spinal Cord Injuries Fact Sheet. Available online at: [www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury)

---

## Impressum:

German Bionic Systems GmbH &  
VDEI – Verband der Exoskelett-Industrie e.V.  
September 2022

