



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology



INSTITUT FÜR  
MANAGEMENTWISSENSCHAFTEN  
Human Centered Cyber Physical  
Production and Assembly Systems

# Diplomarbeit

## Einsatz von Exoskeletten als Assistenzsystem in der Produktion

### Eine Marktanalyse industrieller Exoskelette

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical Production  
and Assembly Systems)

**Patrick Rupprecht, MSc MSc MA**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical Production  
and Assembly Systems)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Natascha Hajek, BSc**

MatrNr.: 0200163 (Kennzahl: 066 482)

Pilzgasse 34/5/35

1210 Wien

Wien, im Juni 2019

---

Natascha Hajek

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Juni 2019

---

Natascha Hajek

## Danksagung

Da für das Zustandekommen und die Realisierung dieser Diplomarbeit die Kooperationsbereitschaft einiger Schlüsselpersonen und vieler unterstützender Personen erforderlich und entscheidend war, möchte ich an dieser Stelle einige Worte des Dankes aussprechen.

Zunächst möchte ich mich ausdrücklich bei Univ.-Prof. Sebastian Schlund und Patrick Rupprecht für ihre hervorragende Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit, sowie der stets raschen und konstruktiven Beantwortung sämtlicher auftretender Fragen, bedanken.

Weiterer Dank ist den beiden Gründern, John Bernhardt und Veronika Pauser, des Start-ups Exomys geschuldet. Ohne ihr einschlägiges Know-how und ihre Expertise bezüglich Exoskelette und ohne ihren wertvollen Input, wäre die in dieser Arbeit durchgeführte Marktanalyse nicht in diesem Umfang und dieser Vollständigkeit möglich gewesen.

Gerade die Durchführung der Marktanalyse war von der Kooperationsbereitschaft der Unternehmen und Institute, die Exoskelette herstellen und/oder entwickeln, abhängig. An dieser Stelle möchte ich mich daher, bei all den Mitarbeitern jener Unternehmen und Institute bedanken, die sich die Zeit genommen haben, um alle meine Fragen zu ihren Produkten und Prototypen geduldig und ausführlich zu beantworten.

Zusätzlicher Dank ist dem Abteilungsleiter der Vorproduktion und der Sicherheitsfachkraft des Partnerunternehmens XY aus dem Praxisteil dieser Arbeit geschuldet, deren Namen an dieser Stelle nicht genannt werden, um etwaige Rückschlüsse auf das betreffende Unternehmen zu verhindern. Ihre Kooperationsbereitschaft, Zeit aber vor allem auch ihr Know-how waren ebenfalls für die Realisierung dieses Praxisteils entscheidend und unerlässlich. Ein herzliches Dankeschön richtet sich dabei auch an alle jene Mitarbeiter dieses Unternehmens, die bereitwillig zur Verfügung standen, sodass ich ihre Arbeitsabläufe beobachten konnte und die auch später motiviert waren, die bereitgestellten Exoskelette auf Eignung zu testen.

Zuletzt möchte ich noch meinen Eltern, Anna und Alfred Hajek, danken, die mich während des gesamten Studiums unentwegt und in jeglicher Hinsicht unterstützt haben. Ohne sie wäre letztlich diese Diplomarbeit auch nicht zustande gekommen.

## Kurzfassung

Der demografische Wandel konfrontiert produzierende Unternehmen mit einer zunehmend älter werdenden Belegschaft, der eine immer geringere Anzahl junger Erwerbstätiger gegenübersteht. Um diese Entwicklung zu bewältigen, ist es einerseits erforderlich die Gesundheit von Arbeitnehmer/-innen so lange als möglich aufrecht zu erhalten und andererseits Arbeitsplätze und -tätigkeiten so zu gestalten, dass diese auch im fortgeschrittenen Erwerbsalter schädigungsfrei ausführbar sind.

Einen Ansatz, Arbeitsplätze ergonomischer zu gestalten und die körperliche Belastung der Arbeitnehmer/-innen zu reduzieren, bietet der Einsatz von Assistenzsystemen, welche in produzierenden Unternehmen in den unterschiedlichsten Formen zur Anwendung kommen und bereits seit einigen Jahrzehnten in der Branche etabliert sind. Neu hingegen, ist der Einsatz von körpergetragenen Exoskeletten als Assistenzsysteme in der industriellen Produktion. Diese verspricht sich durch deren Anwendung, eine an das jeweilige Individuum optimal anpassbare ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und gleichzeitig die Aufrechterhaltung menschlicher Flexibilität bei der Erfüllung auszuführender Tätigkeiten, welche durch rein stationäre oder hochautomatisierte Assistenzsysteme nicht möglich wäre.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es daher das Themengebiet industrieller Exoskelette aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und zu analysieren. Zu diesem Zweck unterteilt sich diese Arbeit in fünf größere Kapitel. Das erste Kapitel, die Einleitung, stellt den Themenkomplex, die Notwendigkeit dieser Arbeit und die ihr zu Grunde liegende Methodologie vor. Im zweiten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen in Bezug auf den demografischen Wandel, arbeitsplatzbedingten Erkrankungen, ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, industrielle Unterstützungs- und Assistenzsysteme und schließlich industrielle Exoskelette präsentiert. In der anschließenden Marktanalyse, welche das dritte Kapitel einnimmt, werden die gegenwärtig am Markt vorhandenen Unternehmen und Institute einschließlich ihrer jeweiligen Produkte und Prototypen in strukturierter Art und Weise vorgestellt. Das vierte Kapitel beinhaltet den Praxisteil dieser Diplomarbeit, indem im Rahmen einer Kooperation mit einem Partnerunternehmen ein geeignetes Exoskelett für einen konkreten Anwendungsfall gefunden werden soll. Eine abschließende Präsentation und Diskussion der ermittelten Resultate und gewonnen Erkenntnisse, inklusive eines Ausblickes, findet im fünften und somit letzten Kapitel dieser Arbeit statt.

Lesern dieser Arbeit soll es hiermit ermöglicht werden, einen fundierten Einblick in die Welt der industriellen Exoskelette, ihren gegenwärtigen Markt und den aktuellen Stand der Technik zu bekommen.

## Abstract

Demographic change is confronting manufacturing companies with an aging workforce that faces fewer young workers. To cope with this development, it is necessary, on the one hand, to maintain the health of workers for as long as possible and, on the other hand, to design jobs and activities in such a way that they can be carried out without damage even at an advanced working age.

One approach making workplaces more ergonomic and reducing workers' physical strain is to use assistance systems that are used in manufacturing companies in a wide variety and have been established in the industry for several decades. New, however, is the use of body-worn exoskeletons as assistance systems in industrial production. This promises by their use, an optimally adapted ergonomic workplace design to the respective individual, while maintaining human flexibility in meeting various activities which would not be possible by purely stationary or highly automated assistance systems.

The aim of this diploma thesis is therefore to examine and analyze the topic of industrial exoskeletons from different perspectives. For this purpose, this work is divided into five major chapters. The first chapter, the introduction, introduces the thematic complex, the necessity of this work and the underlying methodology. The second chapter presents the theoretical foundations of demographic change, workplace-related illnesses, ergonomic workplace design, industrial support and assistance systems, and finally industrial exoskeletons. The subsequent market analysis, which occupies the third chapter, presents in a structured way the companies and institutions currently on the market, including their respective products and prototypes. The fourth chapter contains the practical part of this diploma thesis, in which a suitable exoskeleton for a specific application should be found in cooperation with a partner company. A concluding presentation and discussion of the results and insights gained, including an outlook, will take place in the fifth and last chapter of this work.

It is intended to enable readers of this thesis to gain a profound insight into the world of industrial exoskeletons, their current market, and the actual state of the art.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
1.2	Forschungsfrage und Ziel der Arbeit .....	1
1.3	Verwendete Methodik und Vorgehensweise .....	3
1.3.1	Ablauf und Vorgehensweise .....	3
1.3.2	Auswertungsverfahren .....	4
1.3.3	Potenzielle Hindernisse .....	4
1.4	Erwartetes Ergebnis .....	5
1.5	Relevanz der Arbeit.....	5
1.5.1	Praktische Relevanz .....	5
1.5.2	Theoretische Relevanz .....	6
1.6	Aufbau und Struktur der Arbeit.....	6
2	Theoretische Grundlagen.....	9
2.1	Gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen in der industriellen Produktion .....	9
2.1.1	Demografischer Wandel .....	9
2.1.2	Erkrankungen am Arbeitsplatz.....	14
2.1.3	Zusammenfassung und Fazit.....	21
2.2	Ergonomie am Arbeitsplatz .....	22
2.2.1	Definitionen.....	22
2.2.2	Allgemeine Grundsätze zur Arbeitsplatzgestaltung.....	23
2.2.3	Anthropometrie und räumliche Gestaltung.....	24
2.2.4	Schutz der Gesundheit .....	26
2.2.5	Reduktion und Kompensation zu leistender Arbeit .....	28
2.2.6	Energetisch-effektorische Arbeit und biomechanische Aspekte .....	29
2.2.7	Die Wirbelsäule.....	31
2.2.8	Zusammenfassung und Fazit.....	34
2.3	Industrielle Unterstützungs- und Assistenzsysteme .....	35
2.3.1	Was sind Unterstützungs- und Assistenzsysteme? .....	35
2.3.2	Taxonomie von Unterstützungs- und Assistenzsystemen.....	39

2.3.3	Einsatz und Nutzen von Assistenzsystemen .....	47
2.3.4	Zusammenfassung und Fazit.....	52
2.4	Exoskelette in der industriellen Produktion.....	53
2.4.1	Was sind Exoskelette?.....	54
2.4.2	Klassifizierung von Exoskeletten.....	55
2.4.3	Anforderungen an Exoskelette.....	57
2.4.4	Effekte beim Einsatz von Exoskeletten .....	58
2.4.5	Standards für industrielle Exoskelette.....	60
2.4.6	Stand der Technik.....	63
2.4.7	Zusammenfassung und Fazit.....	64
3	Marktanalyse.....	66
3.1	Methodologie.....	66
3.2	Ergebnisse der Marktanalyse .....	69
3.3	Zusammenfassung und Fazit .....	87
4	Praktischer Teil - Partnerunternehmen XY.....	93
4.1	Status Quo im Partnerunternehmen XY .....	93
4.2	Anforderungskatalog .....	97
4.3	Bewertung der Exoskelette aus der Marktanalyse .....	100
4.4	Auswertung der Ergebnisse und Praxistests .....	108
5	Auswertung, Diskussion und Ausblick.....	115
5.1	Resultate der angewendeten Methoden.....	115
5.2	Resultate in Bezug auf die Forschungsfragen.....	117
5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	120
5.4	Mögliche Schritte zur Weiterentwicklung .....	123
6	Abbildungsverzeichnis .....	124
7	Tabellenverzeichnis .....	125
8	Abkürzungsverzeichnis .....	127
9	Literaturverzeichnis .....	128
10	Anhang .....	133

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates zählen zu den am häufigsten auftretenden Erkrankungen am Arbeitsplatz und damit zu einem der Hauptursachen für Ausfallszeiten und gesundheitsbedingtem Ausscheiden aus dem Berufsleben.<sup>1</sup> Neben der Erhaltung der Gesundheit und Mobilität von Mitarbeitern/-innen, auch unter dem Aspekt des voranschreitenden demographischen Wandels, ist es notwendig, Arbeitsplätze ergonomisch zu gestalten und gleichzeitig Mitarbeiter/-innen bei Hebe-, Trage- und Manipulationstätigkeiten zu unterstützen und zu entlasten.<sup>2,3</sup>

Um Mitarbeiter/-innen zukünftig bei körperlich anspruchsvollen Tätigkeiten zu entlasten, wird untersucht welchen Beitrag der Einsatz von Exoskeletten leisten kann. Erforscht werden zu diesem Zweck die derzeit am Markt erhältlichen Exoskelette. Neben einer ausführlichen Marktanalyse sollen auch die mit Sicherheit bestehenden, aber oftmals nicht beleuchteten Anwendungsgrenzen beim Einsatz von Exoskeletten herausgearbeitet werden.

Das oben genannte Forschungsfeld fokussiert auf folgende konkrete Problemstellung. Ein österreichisches Unternehmen produziert Rohre und Profile. Die Herstellung dieser Produkte erfordert körperlich anspruchsvolle Rüsttätigkeiten an Produktionsanlagen, die von den Mitarbeitern/-innen mehrmals täglich auszuführen sind. Erschwerend kommt hinzu, dass der Rüstprozess durch Platzmangel und einer von Staub und Zunder verunreinigten Atmosphäre gekennzeichnet ist. Um die Mitarbeiter/-innen zu entlasten sollen Exoskelette eingesetzt werden.

Um zu verhindern, dass aufgrund der in dieser Arbeit veröffentlichten Details zum Arbeitsablauf, den Arbeitsbedingungen und den ausgeführten Arbeitsprozessen Rückschlüsse auf das real existierende Unternehmen und seine Mitarbeiter/-innen gezogen werden können, wird dieses Unternehmen im Folgenden nur noch als Partnerunternehmen XY bezeichnet.

## 1.2 Forschungsfrage und Ziel der Arbeit

Basierend auf einer fundierten Marktanalyse vorhandener bzw. verfügbarer Exoskelette inklusive Analyse ihrer Einsatzfähigkeit, Gegenüberstellung und

<sup>1</sup> vgl. Statistik Austria; 2014; S.37f.

<sup>2</sup> vgl. Statistik Austria; 2014; S.51ff.

<sup>3</sup> vgl. Wirtschaftskammer Österreich; 2009; S.4ff.



Bewertung, sollen für den beschriebenen Anwendungsfall des Partnerunternehmens XY folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche industriell einsetzbaren Exoskelette sind gegenwärtig am Markt erhältlich, welche Spezifikationen besitzen diese Exoskelette und von welchen Unternehmen werden sie angeboten.
- Gibt es ein Exoskelett, das für den konkreten Anwendungsfall einsatzfähig bzw. am geeignetsten ist?
- In welcher Form bzw. in wie weit führt der Einsatz dieses Exoskelettes, unter den oben genannten erschwerten Bedingungen, zu einer ergonomischen Entlastung der Mitarbeiter/-innen?
- Kann mit dem Einsatz dieses Exoskelettes auch eine Produktivitätserhöhung, in Form einer Reduzierung der Rüstzeiten erreicht werden?
- Kann auf Basis der durchgeführten Marktanalyse ermittelt werden, bei welchen manuellen Tätigkeiten, welche Exoskelette welchen Beitrag zur ergonomischen Entlastung von Arbeitskräften leisten?

Das Ziel der Arbeit lässt sich in drei Teilbereiche untergliedern:

#### 1. Teilbereich:

Es soll ein fundierter Überblick aktuell am Markt erhältlicher Exoskelette geschaffen werden. Diese Marktanalyse soll zwar allgemein gehalten werden, allerdings vor dem Hintergrund der Anwendung in der Produktion. Nicht im Fokus dieser Analyse stehen Exoskelette, die im medizinischen Bereich zu Rehabilitationszwecken eingesetzt werden. Es sei denn, dass sich ein solches Exoskelett abseits seines ursprünglichen Einsatzgebietes auch sinnvoll in produzierenden Unternehmen verwenden lässt.

#### 2. Teilbereich:

Inhalt dieses Teiles ist eine Gegenüberstellung der Exoskelette im Hinblick auf ihre Spezifikationen, Einsatzmöglichkeiten, Anforderungen, Vor- und Nachteile, sowie ihrer Kosten.

#### 3. Teilbereich:

Ziel dieses letzten Teiles ist es, für den beschriebenen Anwendungsfall, nämlich den Anforderungen des Rüst Arbeitsplatzes, das aktuell geeignetste Exoskelett zu ermitteln und zu diskutieren.

## 1.3 Verwendete Methodik und Vorgehensweise

### 1.3.1 Ablauf und Vorgehensweise

Um die Basis zur Beantwortung der Forschungsfragen zu schaffen, wird eine Markanalyse durchgeführt. Begonnen wird mit einer Literaturrecherche einschlägiger wissenschaftlicher Artikel bzw. Fachbücher zum Thema Assistenzsysteme, insbesondere Exoskeletten in der Produktion. Zu diesem Zweck wird auf die Bibliotheken einschlägiger Fachjournale, Universitäten und wissenschaftliche Datenbanken zurückgegriffen. Der nächste Schritt besteht darin, Herstellerfirmen von Exoskeletten zu eruiieren, um Informationen zu den Produktspezifikationen zu sammeln. Diese Informationsbeschaffung wird sich aus Internetrecherche auf den Firmenhomespages und gezielter Kontaktaufnahme via Email und Telefon zusammensetzen.

Anschließend gilt es die gesammelten Informationen und Daten zu sortieren und in einer zur Gegenüberstellung vordefinierten, strukturierten Tabelle darzustellen. Diese Tabelle beinhaltet, die Produktspezifikationen, Einsatzmöglichkeiten, Anforderungen, Grenzen der Anwendung, Vor- und Nachteile für das Unternehmen bzw. Mitarbeiter/-innen und falls verfügbar, die damit verbundenen Kosten für die Beschaffung bzw. den Betrieb.

Parallel zu den oben beschriebenen Recherchen wird ein Besuch bei dem Partnerunternehmen XY stattfinden, um den bereits beschriebenen Arbeitsplatz, an dem das Exoskelett zur Unterstützung der Mitarbeiter/-innen beim Rüstprozess eingesetzt werden soll, zu analysieren. Vor Ort gilt es die vorliegende Arbeitssituation und die vorherrschenden Arbeitsbedingungen kennen zu lernen und zu erfassen. Zu diesem Zweck werden die Fakten, wie zur Verfügung stehender Platz, Verunreinigung durch Staub, Zunder und Emulsion, anzuhebende Massen usw. ermittelt. Darüber hinaus werden auch Gespräche mit betroffenen Mitarbeitern/-innen geführt, um deren Bedürfnisse und Anregungen mit einzubeziehen. Insbesondere der Bewegungsablauf, der während des Rüstvorgangs ausgeführt wird, muss genau beobachtet und analysiert werden. Es ist zu klären, ob von Seiten des Unternehmens und der Personalvertretung dem Einsatz einer Kamera zur Bewegungsanalyse zugestimmt wird.

Anhand der aus dem Unternehmen gewonnenen Erkenntnisse und ermittelten Informationen wird eine Liste an Anforderungen, die das Exoskelett im Praxiseinsatz zu erfüllen hat, erstellt.

### 1.3.2 Auswertungsverfahren

Die gewonnenen Informationen aus der Literatur- und Produktrecherche werden anschließend mit den gewonnenen Erkenntnissen aus dem untersuchten Unternehmen abgeglichen, um festzustellen welches der am Markt verfügbaren Exoskelette die spezifischen Praxisanforderungen des Partnerunternehmens XY am besten erfüllt.

Zu diesem Zweck werden die bereits erhobenen Praxisanforderungen in drei Anforderungsgruppen unterteilt: MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen, wobei es sich bei der Gruppe der MUSS-Anforderungen um Knock-Out Kriterien handelt. Verfügt ein am Markt erhältliches Exoskelett nicht über die ermittelten MUSS-Anforderungen, wird es grundsätzlich nicht mehr in Betracht gezogen. Die verbleibenden SOLL- und KANN-Anforderungen werden folgendermaßen bewertet: das ermittelte Exoskelett erfüllt die jeweilige Anforderung vollständig (1 Punkt), teilweise (0,5 Punkte) oder gar nicht (0 Punkte). Anschließend an die Bewertung werden die vergebenen Punkte pro Exoskelett aufsummiert, wobei jenes mit der größten Summe den Favoriten repräsentiert.

Davon ausgehend werden schließlich die angeführten Forschungsfragen beantwortet. Sollten mehrere Exoskelette bezogen auf den Anwendungsfall ähnlich gute Ergebnisse aufweisen, aber kein einziges sich als herausragend erweisen, werden die Forschungsfragen für alle ermittelten Exoskelette mit guten Ergebnissen beantwortet.

### 1.3.3 Potenzielle Hindernisse

Potentielle Hindernisse bei der ausgewählten Methodik bzw. Vorgehensweise bestehen in der möglichen mangelnden Kooperationsbereitschaft der kontaktierten Hersteller von Exoskeletten und in der mangelhaften bzw. unvollständigen Bereitschaft detaillierte Produktinformationen zur Verfügung zu stellen. Beim Besuch des Partnerunternehmens XY muss vor allem darauf geachtet werden, den befragten Mitarbeitern auch konkrete, vorab festgelegte Fragen zu stellen, um möglichst exakte, die gegenwärtige Problematik fokussierende Antworten zu erhalten.

Weitere Hindernisse bei der Beantwortung der Forschungsfragen wären, wenn kein gegenwärtig am Markt verfügbares Exoskelett den Anforderungen für den beschriebenen Rüstprozess genügt oder, dass durch den Mangel an Informationen keine umfassende Beurteilung der Exoskelette und damit keine klare Zuordnung zum Rüst Arbeitsplatz erfolgen kann.

## 1.4 Erwartetes Ergebnis

Diese Arbeit soll zwei Ergebnisse liefern. Das erste Ergebnis beinhaltet einen Überblick gegenwärtig am Markt verfügbarer Exoskelette. Dieses Ergebnis wird in Form einer Tabelle präsentiert, in der folgende Aspekte der eruierten Exoskelette beschrieben werden: Produktspezifikationen, Einsatzmöglichkeiten, Anforderungen, Grenzen der Anwendung, Vor- und Nachteile für das Unternehmen bzw. Mitarbeiter/-innen und falls verfügbar, die damit verbundenen Kosten für die Beschaffung bzw. den Betrieb.

Das zweite Ergebnis beinhaltet die Beantwortung folgender Forschungsfragen:

- Gibt es ein Exoskelett, das für den konkreten Anwendungsfall einsatzfähig bzw. am geeignetsten ist?
- In welcher Form bzw. in wie weit führt der Einsatz dieses Exoskelettes, unter den oben genannten erschwerten Bedingungen, zu einer ergonomischen Entlastung der Mitarbeiter/-innen?
- Kann mit dem Einsatz dieses Exoskelettes auch eine Produktivitätserhöhung, in Form einer Reduzierung der Rüstzeiten erreicht werden?
- Kann auf Basis der durchgeführten Marktanalyse ermittelt werden, bei welchen manuellen Tätigkeiten, welche Exoskelette welchen Beitrag zur ergonomischen Entlastung von Arbeitskräften leisten?

Im Idealfall werden die ersten drei Forschungsfragen für exakt ein Exoskelett, welches die Praxisanforderungen am allerbesten erfüllt, beantwortet. Für den Fall, dass ein solches Exoskelett nicht ermittelt werden kann, aber mehrere, die die geforderten Anforderungen gut erfüllen, werden die Forschungsfragen für alle guten Exoskelette beantwortet. Die Beurteilung dafür erfolgt nach bereits oben beschriebenen Auswertverfahren, entsprechend der Einteilung in MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen inklusive Punktevergabe.

## 1.5 Relevanz der Arbeit

### 1.5.1 Praktische Relevanz

Dieses Thema ist insofern von Relevanz, da es konkret um den praktischen Einsatz von Assistenzsystemen in Form von Exoskeletten in der Produktion geht. Es ist für Unternehmen, insbesondere produzierenden Unternehmen von Interesse, da sich durch den Einsatz von Exoskeletten die physische Belastung von Mitarbeitern/-innen bei körperlich anspruchsvollen bzw. anstrengenden Tätigkeiten, wie z.B. bei Überkopfarbeiten oder beim Heben und Manipulieren schwerer Werkzeuge, reduzieren lässt.

Dies führt dazu, die Gesundheit und Mobilität der Mitarbeiter/-innen langfristig zu erhalten und somit Ausfallszeiten zu reduzieren. Darüber hinaus kommt es zu einer Produktivitätserhöhung der eingesetzten betroffenen Mitarbeiter/-innen. Gleichzeitig gelingt es Unternehmen dadurch, sich den demographischen Veränderungen und Herausforderungen in unserer Gesellschaft zu stellen, da mit Hilfe der Exoskelette auch ältere oder körperlich eingeschränkte Personen in der Lage sind Tätigkeiten auszuführen, welche sie ohne den Einsatz dieser Assistenzsysteme nicht bewältigen könnten.

Diese Arbeit liefert daher einen Anreiz für Unternehmen, ihre Mitarbeiter/-innen zukünftig bei körperlich anspruchsvollen Tätigkeiten zu unterstützen und zu entlasten, indem Arbeitsplätze ergonomischer gestaltet werden.

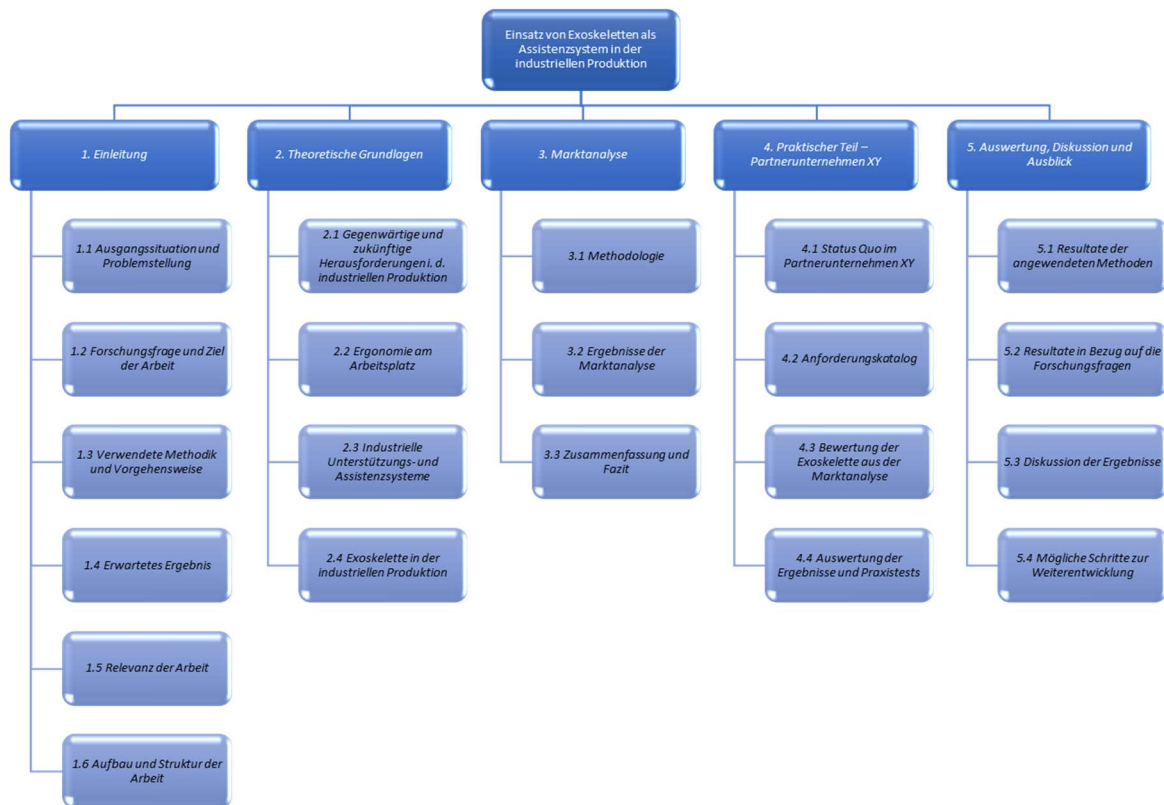
Ergänzend dazu liefert sie eine fundierte Markanalyse der gegenwärtig am Markt verfügbaren Exoskelette, die zukünftig auch als Grundlage zur Auswahl geeigneter Exoskelette für spezifische Anwendungen herangezogen werden kann.

### **1.5.2 Theoretische Relevanz**

Diese Arbeit ist von theoretischer Relevanz, weil sie einen weiteren Beitrag dazu leistet, wie Arbeitsplätze ergonomisch bzw. ergonomischer gestaltet werden können, um Arbeitskraft in Unternehmen länger und gesünder erhalten zu können. Sie reiht sich damit in eine Vielzahl von Fachartikel ein, die sich dem Themengebiet Arbeitsplatzergonomie und inwiefern diese verbessert werden kann, widmen. Da die langfristige Erhaltung der Gesundheit und Mobilität von Arbeitskräften eine Entlastung der Sozialsysteme zur Folge hat, ist diese Arbeit auch für die Allgemeinheit von Relevanz.

## **1.6 Aufbau und Struktur der Arbeit**

Im Anschluss an diesen einleitenden Teil folgen weitere vier Teile, in die diese Arbeit gegliedert ist. Einen Überblick liefert folgende Abbildung 1.



**Abbildung 1: Aufbau und Struktur der Diplomarbeit**

Der erste dieser Teile lautet: „Theoretische Grundlagen“, welcher sich wiederum aus vier Subteilen zusammensetzt. Zuerst wird die Notwendigkeit von Assistenzsystemen bzw. Exoskeletten untermauert, indem die gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen in der industriellen Produktion angesprochen werden. Von besonderer Relevanz sind hierbei der demographische Wandel und Erkrankungen am Arbeitsplatz. Danach wird zum Thema, Ergonomie am Arbeitsplatz, übergegangen. Hier gilt es die fachspezifischen Definitionen, die gültigen Normen, sowie die biomechanische, physiologische Arbeitsplatzgestaltung und auftretende Belastungen vorzustellen. Anschließend werden industrielle Assistenzsysteme adressiert, die speziell in der Industrie eingesetzt werden, um Mitarbeiter/-innen bei der Ausführung ihrer Aufgaben zu entlasten. Dieser Abschnitt beinhaltet eine Klassifikation bzw. Taxonomie von Assistenzsystemen, außerdem ihren Nutzen und Beispiele, die den gegenwärtigen Stand der Technik repräsentieren. Der letzte dieser Subteile beschäftigt sich mit dem eigentlichen Thema dieser Arbeit, nämlich den Exoskeletten in der industriellen Produktion. Hier werden die Grundlagen hinsichtlich einer Definition, Klassifizierung, Effekte beim Einsatz von Exoskeletten, Richtlinien und Normen, sowie dem Stand der Technik vorgestellt. Dieses erste Kapitel, der theoretischen Grundlagen, ist das Ergebnis umfangreicher Recherche in einschlägigen Fachartikeln, Fachbüchern und Datenbanken.

Der darauffolgende Teil dieser Arbeit lautet: „Marktanalyse“. Hier werden die Ergebnisse und Informationen, bezüglich der gegenwärtig am Markt vorhandenen

Exoskelette inklusive jener Exoskelette, die sich noch im Stadium eines Prototyps befinden, in aufbereiteter, kategorisierter und strukturierter Form präsentiert. Der Fokus liegt hierbei, der Aufgabe dieser Arbeit entsprechend, bis auf wenige Ausnahmen, auf ausschließlich industriell einsetzbaren Exoskeletten. Sämtliche zusammengetragenen Informationen stammen aus einer umfangreichen Recherche, deren Quellen, in erster Linie die jeweiligen Homepages der Exoskelettanbieter waren. Aufbauend darauf wurden die aus der Korrespondenz mit den Unternehmen erhaltenen Zusatzinformationen ergänzt. Zusätzlich dazu konnte noch auf eine bestehende Marktanalyse, die durch das Start-up, Exomys, zur Verfügung gestellt wurde zurückgegriffen werden.

Der nächste Teil trägt den Titel: „Praktischer Teil – Partnerunternehmen XY“ und repräsentiert den praktischen Teil dieser Arbeit. Hier wird die gegenwärtige Situation am vorliegenden Rüstearbeitsplatz, den es ergonomisch zu optimieren gilt, vorgestellt. Basierend darauf wird ein Anforderungskatalog für das dort einzusetzende Exoskelett erstellt und mit den Erkenntnissen und Informationen aus der Marktanalyse abgeglichen und bewertet. Die Vorgehensweise wurde bereits im Abschnitt 1.3 beschrieben. Am Ende dieses Teils werden die ermittelten Ergebnisse für das Partnerunternehmen XY präsentiert.

Im letzten Teil dieser Arbeit werden die Resultate in Bezug auf den Praxisteil des Partnerunternehmens XY und der Forschungsfragen diskutiert und analysiert und ein Ausblick über zukünftige Erfordernisse und den weiteren Forschungsbedarf gegeben.



## 2 Theoretische Grundlagen

Ziel dieses Kapitels ist es die theoretischen Grundlagen, die der Thematik dieser Diplomarbeit zu Grunde liegen, zu präsentieren. Adressiert werden in diesem Kontext zuerst die Herausforderungen, mit denen sich die Industrie gegenwärtig und zukünftig konfrontiert sieht. Anschließend wird als Antwort auf die Herausforderungen, auf das Thema der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung eingegangen. Als logische Konsequenz wird ein Abriss über industrielle Assistenzsysteme präsentiert und schließlich auf die theoretischen Grundlagen industriell einsetzbarer Exoskelette fokussiert.

### 2.1 Gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen in der industriellen Produktion

Innerhalb dieses Abschnittes, der die Herausforderungen in der industriellen Produktion zum Inhalt hat, werden die Themen demografischer Wandel und Erkrankungen am Arbeitsplatz vorgestellt. Die hier verwendeten Daten stammen überwiegend aus den Erhebungen des Statistischen Bundesamtes in Deutschland und der Statistik Austria. Demnach beziehen sich die hier dargelegten Inhalte und zukünftigen Entwicklungen sowohl auf Deutschland als auch auf Österreich.

#### 2.1.1 Demografischer Wandel

Versucht man eine eindeutige Definition des Begriffs „Demografischer Wandel“ zu finden, begegnet man einer breiten Vielfalt an Begriffserklärungen. Eine sinnvolle Definition bietet das Gabler Wirtschaftslexikon unter dem wissenschaftlich korrekten Begriff „Demografische Alterung“: *„Demografische Alterung ist als Vorgang aufzufassen, der das Durchschnittsalter einer Bevölkerung (Medianalter, in dem sich eine Bevölkerung in zwei gleich große Teile Älterer und Jüngerer teilt) ansteigen lässt.“*<sup>4</sup>

Dabei lassen sich die Kennzeichen des demografischen Wandels auf zwei Ursachen zurückführen:

- einer dem Geburtenrückgang geschuldeten schrumpfenden Bevölkerung,
- bei einer gleichzeitig älter werdenden Bevölkerung.

Als direkte Konsequenz dieser beiden Ursachen kommt es zu einer Verschiebung der Altersstruktur, sodass der Anteil der Bevölkerung unter 50 Jahren zurück geht, während der Anteil der älteren Menschen (über 50 Jahren) anwächst und schließlich

---

<sup>4</sup> <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/demografische-alterung-51464/version-274631>; 2018.



jenen der jungen Bevölkerung überschreitet. Entwicklungen wie diese lassen sich in nahezu allen westlichen Industrieländern Europas erkennen.<sup>5</sup>

Eine quantitative Analyse zur Bevölkerungsentwicklung in Deutschland liefert das Statistische Bundesamt, Wiesbaden aus dem Jahr 2015. Demzufolge werden sich die Relationen zwischen den Altersgruppen, wie Abbildung 2 zeigt, folgendermaßen entwickeln:

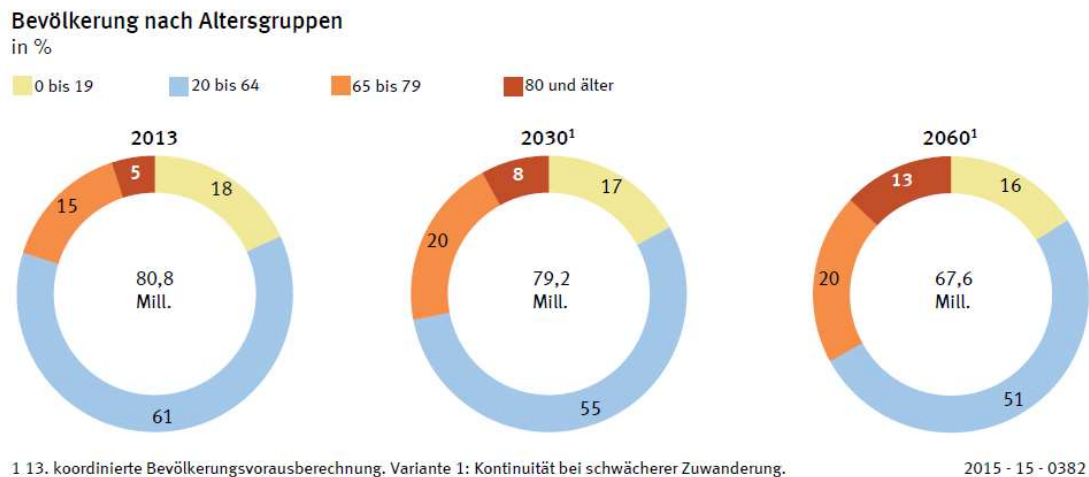


Abbildung 2: Bevölkerung nach Altersgruppen 2013, 2030, 2060<sup>6</sup>

Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland:<sup>7</sup>

- 2013: Im Jahr 2013 bestand die Bevölkerung Deutschlands zu 18% aus Kindern und Jugendlichen unter 20 Jahren, zu 61% aus 20-64-Jährigen und zu 21% aus über 65-Jährigen.
- 2030: Bereits für das Jahr 2030 lässt sich eine Verschiebung im Altersaufbau zu Gunsten der über 65-Jährigen erkennen, während die Gruppe der Menschen im erwerbsfähigen Alter schrumpft.
- 2060: Bis zum Jahr 2060 wird – bei einer kontinuierlichen demografischen Entwicklung und einer langfristigen Nettozuwanderung von 100.000 Personen pro Jahr – der Anteil der unter 20-jährigen auf 16% und der Anteil der erwerbsfähigen Menschen auf 51% sinken. Unter Nettozuwanderung wird die Differenz zwischen zugewanderten und abgewanderten Personen verstanden. Bereits jeder Dritte (33%) wird das 65. Lebensjahr durchlebt haben. Darüber hinaus lässt sich ein allgemeiner Bevölkerungsrückgang in Deutschland erkennen, von 80,8 Millionen Einwohner im Jahr 2013 auf 67,6 Millionen Einwohner im Jahr 2060.

Aus Abbildung 2 und den beiden folgenden Abbildungen 3 und 4 ist deutlich erkennbar, dass vor allem die Bevölkerung im Erwerbsalter stark von Schrumpfung und Alterung

<sup>5</sup> vgl. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.; 2015; S.11

<sup>6</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2015; S.19

<sup>7</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2015; S.17

betroffen sein wird. Als Erwerbsalter wird die Spanne von 20 bis 64 Jahren betrachtet. Während im Jahr 2013 noch 49,2 Millionen Menschen dieser Altersgruppe angehören, sind es 2030 nur noch 44 bis 45 Millionen. Abhängig von der Stärke der Zuwanderung werden sich im Jahr 2060 lediglich 34 bis 38 Millionen Menschen im erwerbsfähigen Alter befinden. Dies entspricht einem Rückgang von 23-30% gegenüber 2013.<sup>8</sup>

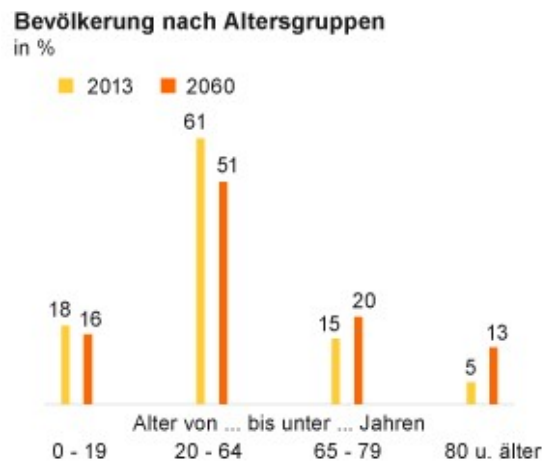


Abbildung 3: Bevölkerung nach Altersgruppen in Deutschland 2013, 2060<sup>9</sup>

<p><b>2020</b>  <b>Bevölkerung</b> <b>81,4 Millionen</b>                  unter 20 Jahre: 14,3 Mill. (18%)                  20-64 Jahre: 48,8 Mill. (60%)                  65+: 18,3 Mill. (23%)                  Medianalter: 46,3 Jahre</p>	<p><b>2060</b>  <b>Bevölkerung</b> <b>67,6 Millionen</b>                  unter 20 Jahre: 10,9 Mill. (16%)                  20-64 Jahre: 34,4 Mill. (51%)                  65+: 22,3 Mill. (33%)                  Medianalter: 50,5 Jahre</p>
<p><b>2030</b>  <b>Bevölkerung</b> <b>79,2 Millionen</b>                  unter 20 Jahre: 13,8 Mill. (17%)                  20-64 Jahre: 43,6 Mill. (55%)                  65+: 21,8 Mill. (28%)                  Medianalter: 47,6 Jahre</p>	
<p><b>2040</b>  <b>Bevölkerung</b> <b>76,0 Millionen</b>                  unter 20 Jahre: 12,6 Mill. (17%)                  20-64 Jahre: 40,2 Mill. (53%)                  65+: 23,2 Mill. (31%)                  Medianalter: 49,8 Jahre</p>	
<p><b>2050</b>  <b>Bevölkerung</b> <b>71,9 Millionen</b>                  unter 20 Jahre: 11,4 Mill. (16%)                  20-64 Jahre: 37,7 Mill. (52%)                  65+: 22,7 Mill. (32%)                  Medianalter: 50,9 Jahre</p>	

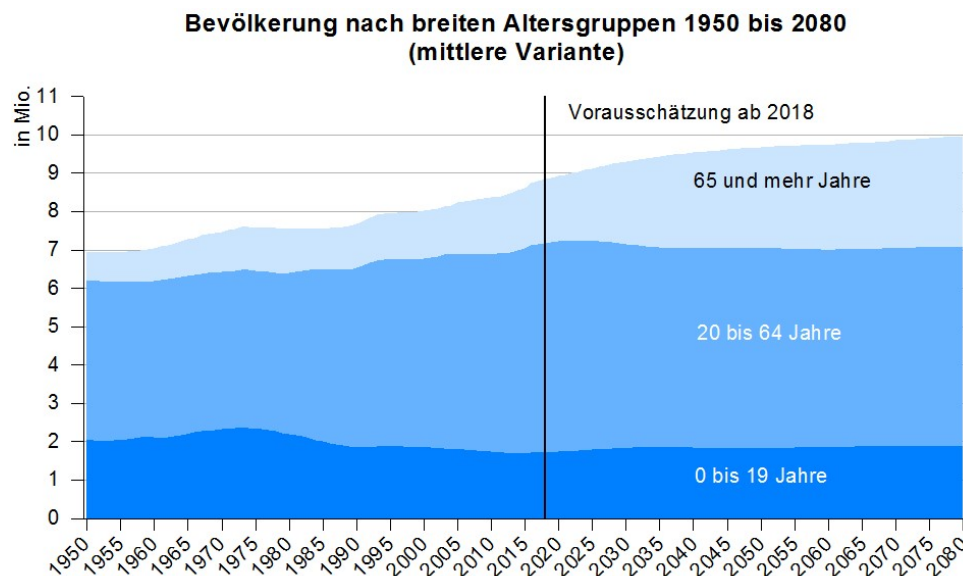
Abbildung 4: Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland bis 2060<sup>10</sup>

<sup>8</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2015.; S.6

<sup>9</sup> Statistisches Bundesamt (Destatis); 2015a.

<sup>10</sup> Statistisches Bundesamt (Destatis); 2015b.

Auch in Österreich ist laut Statistik Austria mit einer ähnlichen Entwicklung der Bevölkerung zu rechnen. Im Unterschied zu Deutschland wird allerdings von einem Bevölkerungswachstum auf ca. 10 Millionen Menschen bis zum Jahr 2080 ausgegangen. Der Anteil der Erwerbstätigen, also der 20 bis 64-Jährigen, liegt dann ähnlich wie in Deutschland bei knapp über 50%, wie Abbildung 5 zeigt.



**Abbildung 5: Bevölkerung nach breiten Altersgruppen in Österreich 1950-2080<sup>11</sup>**

Zusammenfassend zeigen beide Bevölkerungsprognosen, sowohl die für Deutschland als auch jene für Österreich, dass zukünftig immer mehr Senioren und Seniorinnen einer schrumpfenden Bevölkerung im Erwerbsalter gegenüberstehen wird.<sup>12</sup>

Die Konsequenzen des demografischen Wandels lassen sich auf unterschiedlichen Interessens- und Handlungsebenen diskutieren:

- **Ebene der Politik:**  
Aufgrund der Verschiebung der Altersstruktur wird sich das zahlenmäßige Verhältnis von potentiellen Leistungsempfängern der Alterssicherungssysteme zu den potentiellen Leistungserbringern verschlechtern.<sup>13</sup> Um daher die Finanzierbarkeit der Sozialversicherungssysteme langfristig zu sichern, sind von Seite der Gesetzgebung nachhaltige Maßnahmen zu treffen, wie z.B. die Anhebung des Rentenalters.<sup>14</sup> Eine Maßnahme, die dazu führen würde, dass auch die Gruppe der über 65-Jährigen Teil der erwerbstätigen Bevölkerung wäre.

<sup>11</sup> Statistik Austria; 2018.

<sup>12</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2015; S.7

<sup>13</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2015; S.7

<sup>14</sup> vgl. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.; 2015; S.14

Das Interesse der Politik, vor allem der Arbeitsmarktpolitik, muss daher darin bestehen, möglichst viele Menschen, sowohl Ältere aber auch Jüngere in Beschäftigung zu bringen. Entsprechende Förderungen, insbesondere zur Beschäftigung Älterer wären erforderlich, um die Sozialsysteme für die zukünftigen Generationen zu sichern.<sup>15</sup>

- Unternehmensebene:

Auf Unternehmensebene gilt es bereits gegenwärtig, aber zukünftig umso mehr, zwei Herausforderungen zu bewältigen, einerseits den Fach- und Arbeitskräftemangel und andererseits die älter werdende Belegschaft.

Aufgrund dessen, dass es immer weniger jüngere Menschen geben wird, wird es für Unternehmen zunehmend schwerer werden geeignete Ausbildungskandidaten, Nachwuchs- und Fachkräfte zu finden. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass die benötigten Fach- und Arbeitskräfte nicht nur gefunden werden müssen, sondern auch an das Unternehmen gebunden werden sollen. Es ist zu erwarten, dass der Wettbewerb zwischen den Unternehmen nach qualifiziertem Personal zunehmen wird. Gerade für kleinere und mittlere Unternehmen, dürfte dies eine ernstzunehmende Herausforderung werden, um sich gegenüber den großen Unternehmen und Konzernen durchsetzen zu können.<sup>16</sup>

Mit der älter werdenden Bevölkerung wird auch die Erwerbsbevölkerung älter werden, wodurch das Durchschnittsalter der Belegschaft in den meisten Betrieben ansteigen wird. Für die Arbeitgeber stellen sich somit einige Fragen:<sup>17</sup>

- Wie kann es gelingen die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten zu erhalten, um auch mit älteren Belegschaften innovativ und produktiv bleiben zu können?
- Wie gelingt es die gesundheitliche Arbeits- und Leistungsfähigkeit aller Mitarbeiter, sowohl der Jüngeren als auch der Älteren, langfristig aufrecht zu erhalten, um ein gesundheitsbedingtes, frühzeitiges Ausscheiden aus dem Erwerbsleben zu verhindern?

Die Erkenntnisse dieses Abschnitts lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Um die Zahl der Erwerbstätigen, trotz des demografischen Wandels und der damit verbundenen, besprochenen Herausforderungen, aufrecht zu erhalten, ist es notwendig älter werdende Mitarbeiter/-innen so lange als möglich in den Betrieben zu halten. Um das zu gewährleisten, sollte die körperliche Gesundheit von Mitarbeiter/-innen langfristig erhalten bleiben. Als oberstes Ziel gilt es somit, krankheitsbedingten

---

<sup>15</sup> vgl. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.; 2015; S.15f.

<sup>16</sup> vgl. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.; 2015; S.16f.

<sup>17</sup> vgl. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.; 2015; S.17f.

Arbeitsausfällen entgegen zu wirken. Der nun folgende Abschnitt dieser Arbeit widmet sich daher der Thematik, Erkrankungen am Arbeitsplatz.

## 2.1.2 Erkrankungen am Arbeitsplatz

Wie im vorigen Abschnitt ausführlich dargelegt, werden Belegschaften in Unternehmen immer älter. Somit gewinnt das Thema der gesundheitlichen Folgen bezahlter Arbeit an Bedeutung. Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz werden dadurch in allen westlichen Industrieländern zu vorrangigen arbeitsmarktpolitischen Themenfeldern.<sup>18</sup>

Erhebungen zu diesem Themenkomplex wurden im Rahmen des Mikrozensus 2013 durchgeführt und vom Statistischen Bundesamt in Deutschland und der Statistik Austria in Österreich veröffentlicht. Im Folgenden werden die länderspezifischen Ergebnisse sowohl für Deutschland als auch für Österreich präsentiert.

Zunächst ist zu klären, was unter arbeitsbedingten Gesundheitsproblemen zu verstehen ist: *„Unter arbeitsbedingtem Gesundheitsproblem ist eine chronische oder permanente Einschränkung oder Belastung zu verstehen, die im Zusammenhang mit einer ausgeübten Erwerbstätigkeit steht, wie beispielsweise Rückenschmerzen oder psychische Belastungen. Gemeint sind jedoch keine Beschwerden, die in der Folge eines Arbeitsunfalls auftreten.“*<sup>19</sup>

**Tabelle 1: Erwerbstätige nach arbeitsbed. Gesundheitsproblemen in Deutschland 2013<sup>20</sup>**

	Insgesamt <sup>1</sup>	Arbeitsbedingtes Gesundheitsproblem vorhanden				
		gültige Angaben <sup>2</sup>	ja – Gesundheitsbelastung vorhanden			nein
			insgesamt	ja – eine Belastung	ja – mehr als eine Belastung	
	1 000		%			
Insgesamt .....	42 871	41 250	8,3	7,0	1,3	91,7
Männer .....	22 975	22 161	7,8	6,7	1,1	92,2
Frauen .....	19 896	19 089	8,9	7,4	1,4	91,1
nach Altersgruppen						
15 bis 24 Jahre .....	4 607	4 446	3,0	2,7	/	97,0
25 bis 34 Jahre .....	8 560	8 246	6,5	5,3	1,2	93,5
35 bis 44 Jahre .....	9 403	9 058	8,3	7,3	1,1	91,7
45 bis 54 Jahre .....	11 721	11 280	10,1	8,7	1,4	89,9
55 bis 64 Jahre .....	7 419	7 097	11,6	9,5	2,0	88,4
nach Berufsbereichen <sup>3</sup>						
Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau ....	942	877	14,7	11,9	/	85,3
Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung ....	8 732	8 481	9,2	7,8	1,4	90,8
Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik .....	2 689	2 584	11,0	9,6	/	89,0
Naturwissenschaft, Geografie und Informatik .....	1 469	1 403	5,5	5,1	/	94,5
Verkehr, Logistik, Schutz und Sicherheit .....	5 837	5 599	8,9	7,3	1,6	91,1
Kaufmännische Dienstleistungen, Warenhandel, Vertrieb, Hotel und Tourismus .....	5 555	5 337	7,8	6,5	1,4	92,2
Unternehmensorganisation, Buchhaltung, Recht und Verwaltung .....	8 263	7 914	6,1	5,4	0,7	93,9
Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung .....	7 877	7 598	8,7	7,5	1,2	91,3
Sprach-, Literatur-, Geistes-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medien, Kunst, Kultur und Gestaltung .....	1 340	1 294	6,9	4,9	/	93,1

Ergebnisse der Arbeitskräfteerhebung

1 Personen, die zum Zeitpunkt der Befragung erwerbstätig waren, oder Personen, die innerhalb der letzten zwölf Monate erwerbstätig waren.

2 Gültige Angaben bedeutet alle Angaben ohne die Kategorien „entfällt“ und „ohne Angabe“.

3 Darstellung der Berufsbereiche anhand der Klassifikation der Berufe 2010. Dargestellt werden nur die Berufsbereiche, für die aufgrund der Fallzahlen Aussagen möglich waren.

<sup>18</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2014; S.562

<sup>19</sup> Statistisches Bundesamt; 2014; S.566

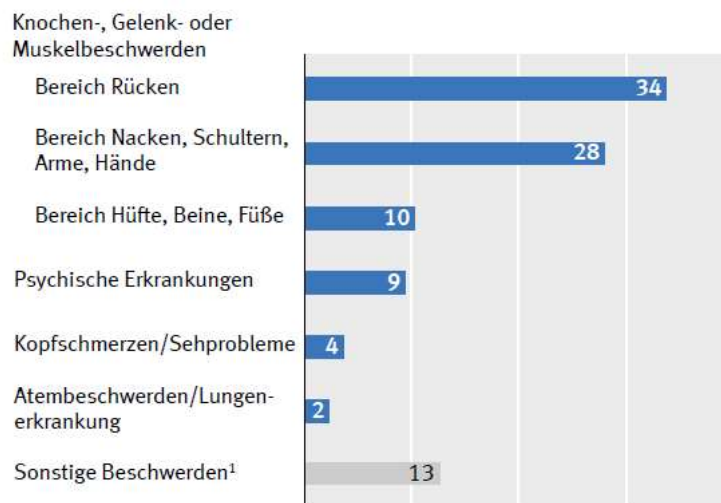
<sup>20</sup> Statistisches Bundesamt; 2014; S.566



Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, lagen 2013 in Deutschland bei insgesamt 8,3% der Auskunft gebenden Erwerbstätigen, arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme vor. Deutlich erkennbar ist, dass gerade mit zunehmendem Alter die Zahl der Betroffenen ansteigt. Während in der Gruppe der jüngsten Erwerbstätigen (bis 24 Jahre) nur 3% der Fälle eine Belastung angaben, steigt der Anteil bei den älteren Gruppen, der 45-54-Jährigen und der 55-64-Jährigen, auf 10,1% respektive 11,6%. Vor allem die letztgenannte, älteste Altersgruppe gab am häufigsten an, unter mehr als einem Gesundheitsproblem aufgrund der Arbeit zu leiden.<sup>21</sup>

Betrachtet man die Branchen, in denen arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme auftreten, steht an erster Stelle die Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau, gefolgt von Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik. An dritter Stelle befindet sich bereits der Berufsbereich Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung.

Abbildung 6 zeigt welche Beschwerden von den befragten Erwerbstätigen am häufigsten genannt wurden. Diese Rangliste wird von Knochen-, Gelenk- oder Muskelbeschwerden angeführt, wobei der Bereich Rücken (wurde zu 33,8% genannt) und der Bereich Nacken, Schultern, Arme, Hände (wurde zu 28,0% genannt) besonders hervorzuheben sind.<sup>22</sup>



Ergebnisse der Arbeitskräfteerhebung.

<sup>1</sup> Unter anderem Hautprobleme, Probleme mit dem Gehör, Herz- und Kreislaufprobleme, Infektionskrankheiten, Erkrankung innerer Organe.

**Abbildung 6: Arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme in % in Deutschland 2013<sup>23</sup>**

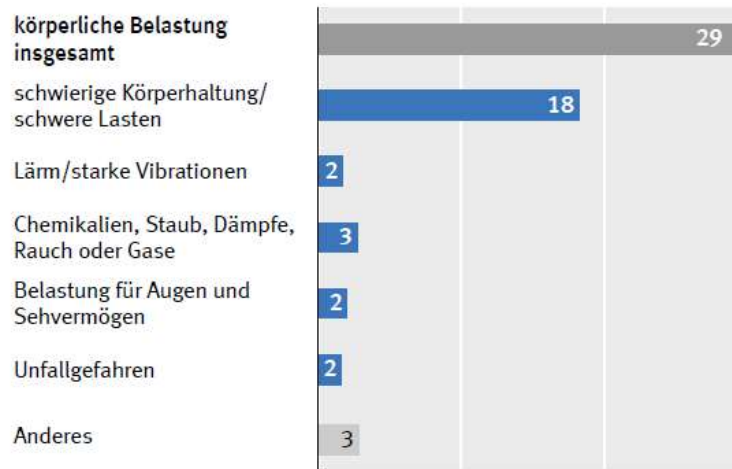
Im Rahmen dieser Arbeitskräfteerhebung wurde ebenfalls ermittelt, welche Belastungsart bei den befragten Erwerbstätigen das körperliche Wohlbefinden am

<sup>21</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2014; S.566f.

<sup>22</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2014; S.567

<sup>23</sup> Statistisches Bundesamt; 2014; S.567

meisten beeinflusst. Abbildung 7 zeigt, dass 18,2% schwierige Körperhaltungen und das Manipulieren schwerer Lasten, als das schwerwiegendste Problem angaben.<sup>24</sup>



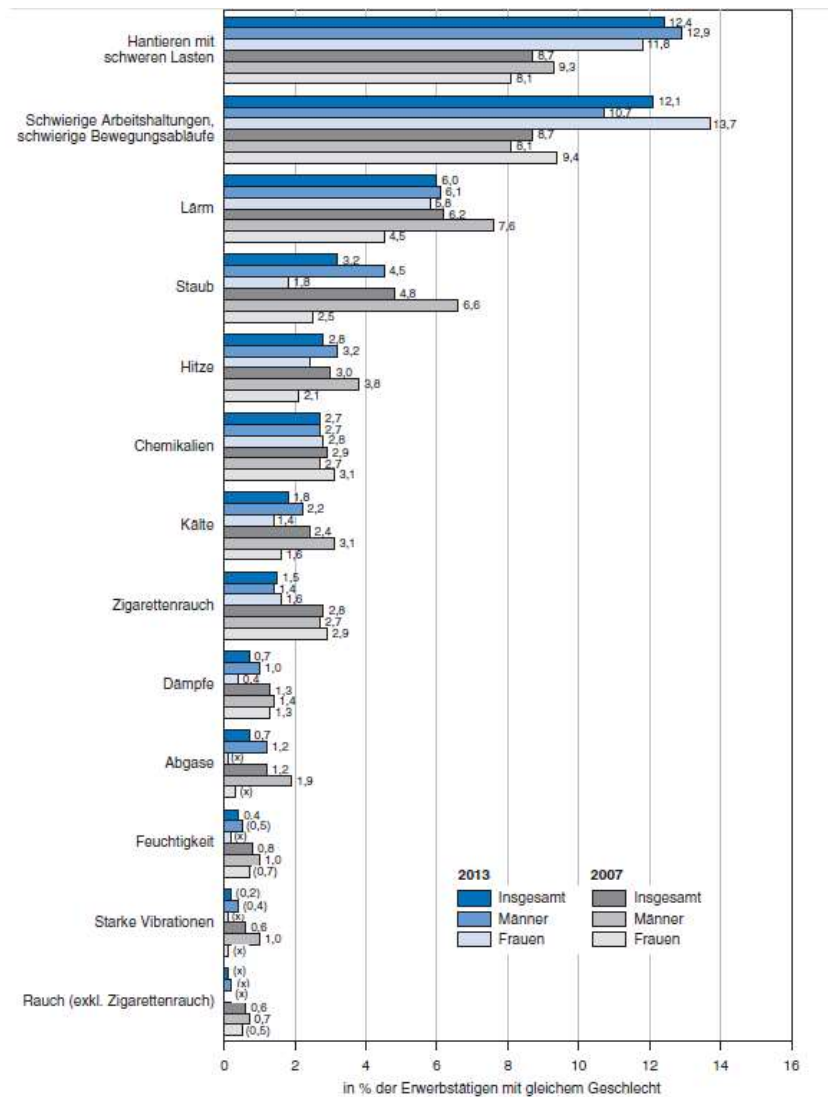
**Abbildung 7: Art der körperlichen Belastung in % in Deutschland 2013<sup>25</sup>**

Die vom Statistischen Bundesamt in Deutschland veröffentlichten Daten und darin enthaltenen Aussagen lassen sich qualitativ auf die Erwerbstätigen in Österreich umlegen. Die quantitative Auswertung kann der Arbeitskräfteerhebung von 2013 der Statistik Austria<sup>26</sup> entnommen werden und ist in Abbildung 8 veranschaulicht. In dieser Erhebung wurde auch die Entwicklung der schwerwiegendsten körperlichen Belastungsfaktoren anhand der Daten aus 2007 und 2013 dargestellt.

<sup>24</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2014; S.569

<sup>25</sup> Statistisches Bundesamt; 2014; S.569

<sup>26</sup> Statistik Austria; 2014.



**Abbildung 8: Erwerbstätige nach dem schwerwiegendsten Belastungsfaktor in Österreich<sup>27</sup>**

Der Vergleich der beiden Jahre 2007 und 2013 zeigt zwar einen deutlichen Rückgang der Belastungen durch Rauch, starken Vibrationen und Feuchtigkeit und einen geringfügigeren Rückgang in allen anderen Bereichen. Bei den zwei ergonomischen Belastungsfaktoren hat sich jedoch ein Anstieg der Belastung ergeben, nämlich beim Hantieren mit schweren Lasten und beim Einnehmen schwieriger Arbeitshaltungen bzw. schwierigen Bewegungsabläufen.<sup>28</sup>

Arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme stellen nicht nur eine Belastung für die betroffene Person dar. Es entstehen hierbei Kosten für den Arbeitgeber, den Staat und auch die Gesellschaft, sollte das Gesundheitsproblem zu einer Arbeitsunfähigkeit führen.<sup>29</sup>

<sup>27</sup> Statistik Austria; 2014; S.53

<sup>28</sup> vgl. Statistik Austria; 2014; S.52

<sup>29</sup> vgl. Statistisches Bundesamt; 2014; S.567



Die volkswirtschaftlichen Konsequenzen, die aus Unfall- und Berufskrankheiten hervorgehen, werden jährlich vom deutschen Bundesministerium für Arbeit und Soziales in einem Bericht zur Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit präsentiert. Die in Abbildung 9 vorgestellten Ergebnisse stammen aus dem Berichtsjahr 2017. Hierbei wird eine Schätzung der Produktionsausfälle (Lohnkosten) und Bruttowertschöpfungsausfälle (Verlust an Arbeitsproduktivität) durch Arbeitsunfähigkeit durchgeführt.<sup>30</sup>

<b>Schätzung der volkswirtschaftlichen Produktionsausfallkosten und der ausgefallenen Bruttowertschöpfung durch Arbeitsunfähigkeit 2017</b>	
39.975 Tsd. Arbeitnehmer/-innen x 16,7 Arbeitsunfähigkeitstage	
→ 668,6 Mio. Arbeitsunfähigkeitstage beziehungsweise ausgefallene Erwerbsjahre:	1,8 Mio.
<b>Schätzung der Produktionsausfallkosten anhand der Lohnkosten (Produktionsausfall)</b>	
1,8 Mio. ausgefallene Erwerbsjahre x 41.700 € durchschnittliches Arbeitnehmerentgelt*	
→ ausgefallene Produktion durch Arbeitsunfähigkeit:	76 Mrd. €
→ Produktionsausfall je Arbeitnehmer/-in:	1.911 €
→ Produktionsausfall je Arbeitsunfähigkeitstag:	114 €
→ Anteil am Bruttonationaleinkommen:	2,3 %
<b>Schätzung des Verlustes an Arbeitsproduktivität (Ausfall an Bruttowertschöpfung)</b>	
1,8 Mio. ausgefallene Erwerbsjahre x 74.000 € durchschnittliche Bruttowertschöpfung*	
→ ausgefallene Bruttowertschöpfung:	136 Mrd. €
→ Ausfall an Bruttowertschöpfung je Arbeitnehmer/-in:	3.391 €
→ Ausfall an Bruttowertschöpfung je Arbeitsunfähigkeitstag:	203 €
→ Anteil am Bruttonationaleinkommen:	4,1 %

**Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (Statistisches Bundesamt)**

**Abbildung 9: Produktionsausfallkosten und ausgefallene Bruttowertschöpfung 2017<sup>31</sup>**

Für das Jahr 2017 ergeben sich mit einer durchschnittlichen Arbeitsunfähigkeitsdauer von 16,7 Tagen pro Arbeitnehmer/-in insgesamt 668,6 Millionen Arbeitsunfähigkeitstage. Auf Basis davon werden die volkswirtschaftlichen Produktionsausfälle auf 76,4 Milliarden Euro und der Ausfall an Bruttowertschöpfung auf 135,5 Milliarden Euro geschätzt.<sup>32</sup>

Abbildung 10 zeigt, dass Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes die höchsten Ausfallkosten verursachen. Die Produktionsausfallkosten liegen hier bei 17,2 Mrd.€ und die Ausfallkosten an Bruttowertschöpfung bei 30,5 Mrd.€. Das bedeutet aber auch, dass genau bei dieser Diagnosegruppe das größte Präventionspotential zu finden ist.<sup>33</sup>

<sup>30</sup> vgl. Bundesministerium für Arbeit und Soziales; 2017; S.116

<sup>31</sup> Bundesministerium für Arbeit und Soziales; 2017; S.117

<sup>32</sup> vgl. Bundesministerium für Arbeit und Soziales; 2017; S.116

<sup>33</sup> vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; 2018; S.50

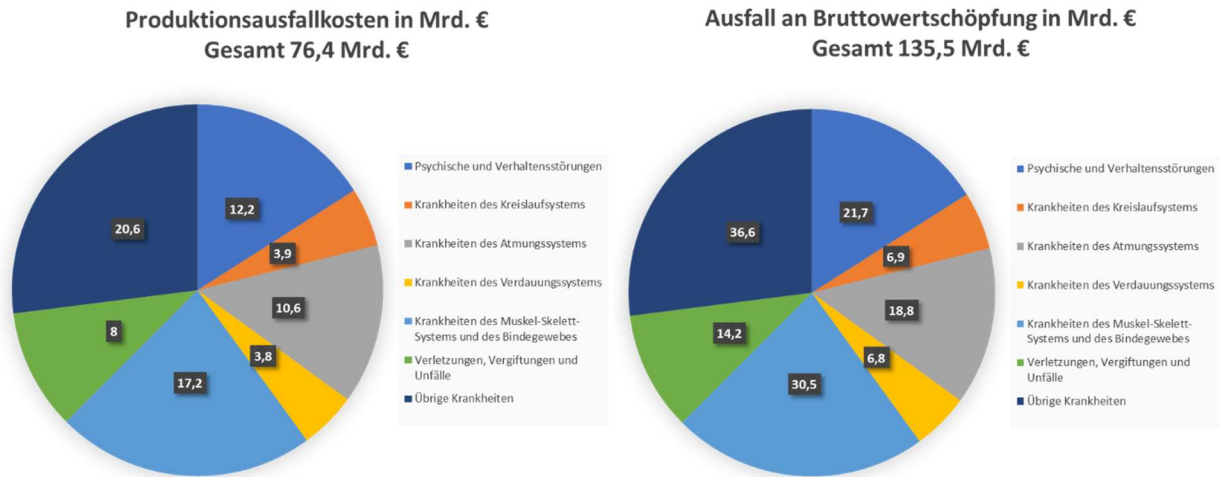


Abbildung 10: Kosten der Arbeitsunfähigkeit nach Diagnosegruppen<sup>34</sup>

Vergleicht man, wie in Tabelle 2 dargestellt, die Kosten der Arbeitsunfähigkeit nach Wirtschaftszweigen, erkennt man, dass die höchsten Bruttowertschöpfungsausfälle im produzierenden Gewerbe ohne Baugewerbe (42,2 Mrd.€) auftreten. Bei den Produktionsausfallkosten befindet sich der Wirtschaftszweig des Produzierenden Gewerbes ohne Baugewerbe (24,9 Mrd.€) an zweiter Stelle nach den Öffentlichen und sonstigen Dienstleistern, Erziehung und Gesundheit (26,1 Mrd.€).<sup>35</sup>

Tabelle 2: Kosten der Arbeitsunfähigkeit nach Wirtschaftszweigen<sup>36</sup>

Wirtschaftszweige	Arbeitnehmer/-innen im Inland in Tsd.	Arbeitsunfähigkeitstage		Durchschnittliches Arbeitnehmerentgelt in €	Durchschnittliche Bruttowertschöpfung in €	Produktionsausfallkosten			Ausfall an Bruttowertschöpfung		
		Tage pro Arbeitnehmer/-in	Tage in Mio.			Mrd. €	je Arbeitnehmer/-in in €	pro Arbeitsunfähigkeitstag in €	Mrd. €	je Arbeitnehmer/-in in €	pro Arbeitsunfähigkeitstag in €
Land-, Forstwirtschaft, Fischerei	350	16,2	5,7	23.000	41.400	0,4	1.019	63	0,6	1.834	113
Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe	7.936	20,6	163,2	55.660	94.300	24,9	3.133	152	42,2	5.314	258
Baugewerbe	2.007	19,5	39,2	41.100	58.000	4,4	2.197	112	6,2	3.101	159
Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation	10.204	18,1	184,5	36.500	54.200	18,4	1.808	100	27,4	2.685	148
Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen	6.654	14,6	97,2	40.900	97.500	10,9	1.637	112	26	3.903	267
Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit	12.824	19,4	248,4	38.400	46.500	26,1	2.038	105	31,6	2.468	127

Vergleichbare Informationen bezüglich krankheitsbedingter Fehlzeiten in Österreich, kann man dem jährlich erscheinenden Fehlzeitenreport des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung – WIFO entnehmen.<sup>37</sup>

<sup>34</sup> Bundesministerium für Arbeit und Soziales; 2017; S.117

<sup>35</sup> vgl. Bundesministerium für Arbeit und Soziales; 2017; S.116

<sup>36</sup> Bundesministerium für Arbeit und Soziales; 2017; S.118

<sup>37</sup> Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; 2018.

Betrachtet man die Verteilung der Krankenstände nach Krankheitsgruppen, prägen folgende Gruppen das Bild des Krankenstandgeschehens. So verursachten im Jahr 2017, Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes, vor allen anderen Krankheitsgruppen, 21,4% aller Krankenstandtage. Bei den Krankenstandfällen befinden sich die Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und Bindegewebes (13,4%) an dritter Stelle nach den Krankheiten des Atmungssystems (36,6%) und infektiösen und parasitären Krankheiten (16,3%). Diese Verteilung wird in Abbildung 11 veranschaulicht.<sup>38</sup>



Abbildung 11: Krankheitsquoten nach Branchen in Österreich 2017 in %<sup>39</sup>

Eines der wichtigsten Ergebnisse der branchenspezifischen Krankenstandquoten ist, dass etwa ein Fünftel aller Krankenstandtage in den Bereich verarbeitendes Gewerbe und Herstellung von Waren auftritt. Die Krankenstandquote betrug im Jahr 2017 3,7%.<sup>40</sup> Die Krankenstandquote in % ergibt sich aus der Summe der Krankenstandtage im Jahr, dividiert durch das Arbeitsvolumen der Versicherten (Anzahl der Versicherten multipliziert mit 365 Kalendertagen).<sup>41</sup>

Auch hier ist der Kostenfaktor berufsbedingter Krankheiten für die Volkswirtschaft erheblich. So zahlten im Jahr 2016 die Arbeitgeber/-innen laut Angaben des Sozialministeriums 2,9 Mrd.€ an Entgeltfortzahlungen. Von den Sozialversicherern wurden weitere 704 Mio.€ in Form von Krankengeld ausbezahlt. Daraus ergeben sich in Summe direkte Krankenstandkosten in der Höhe von 3,6 Mrd.€ oder 1% des BIP.

<sup>38</sup> vgl. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; 2018; S.47

<sup>39</sup> Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; 2018; S.33

<sup>40</sup> vgl. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; 2018; S.33

<sup>41</sup> Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; 2018; S.4

Aufgrund von krankheitsbedingten Abwesenheiten vom Arbeitsplatz entstehen darüber hinaus noch Wertschöpfungsverluste und andere betriebliche Kosten (Produktivitätsrückgänge, Kosten für Ersatzarbeitskräfte, ...). Es wurde geschätzt, dass diese indirekten betriebs- und volkswirtschaftlichen Kosten eine Höhe von 0,8-1,7% des BIP ausmachen.<sup>42</sup>

### 2.1.3 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Kapitel wurden zwei wesentliche Herausforderungen für die industrielle Produktion, die demografische Alterung und Erkrankungen am Arbeitsplatz, besprochen. Es konnte gezeigt werden, dass beide Herausforderungen unmittelbar miteinander in Zusammenhang stehen.

So führt die demografische Alterung dazu, dass immer weniger junge Arbeits- und Fachkräfte ins Erwerbsleben eintreten, während der Anteil der älteren Arbeitnehmer zunimmt. Ziel ist es daher die Gesundheit und Arbeitsfähigkeit dieser älteren Erwerbstätigen so lange als möglich zu erhalten, um einem vorzeitigen Ausscheiden aus dem Arbeitsleben und den beschäftigenden Betrieben entgegenzuwirken. Denn gerade bei dieser älteren Gruppe an Beschäftigten treten arbeitsbedingte Erkrankungen häufiger auf als bei den Jüngeren.

Dabei gilt es nicht nur ein verfrühtes Ausscheiden zu verhindern. Unter Erhaltung von Gesundheit am Arbeitsplatz wird auch das Vermeiden von arbeitsbedingten Erkrankungen verstanden, die jedes Jahr eine Vielzahl von Krankenständen verursachen. Beides, sowohl das frühzeitige Ausscheiden aus der Erwerbstätigkeit als auch die Krankenstände, verursachen nicht nur persönliches Leid der betroffenen Personen, sondern auch enorme betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Schäden. Es müssen also Möglichkeiten und Maßnahmen gefunden und eingesetzt werden, um dies zu verhindern.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass Erkrankungen des Muskel-Skelett Systems und des Bindegewebes, vor allem im verarbeitenden Gewerbe und der Herstellung von Waren, zu den am häufigsten auftretenden, arbeitsbedingten Erkrankungen gehören. Zu den Hauptursachen, welche diese Beschwerden und Erkrankungen hervorrufen, zählen das Hantieren mit schweren Lasten und das Einnehmen schwieriger Arbeitshaltungen und schwierige Bewegungsabläufe.

Um diesen gesundheitlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen entgegenzusteuern, ist es notwendig Mitarbeiter/-innen vor allem bei körperlich anspruchsvollen Tätigkeiten zu entlasten, indem man Arbeitsplätze ergonomisch gestaltet. Daher ist das Thema, Ergonomie am Arbeitsplatz, auch Inhalt des folgenden Kapitels.

---

<sup>42</sup> vgl. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; 2018; S.IIlf.

## 2.2 Ergonomie am Arbeitsplatz

Im vorhergehenden Kapitel wurden die Gründe dargelegt, warum es notwendig ist Arbeitsplätze ergonomisch zu gestalten. Ziel dieses Kapitels ist es vorzustellen, was unter dem Begriff Ergonomie überhaupt zu verstehen ist und was bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen zu beachten ist. Zu diesem Zweck werden unter anderem die wichtigen Normen zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen, DIN EN ISO 26800, DIN EN ISO 6385 und DIN EN ISO 9241-210 herangezogen. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die hier vorgestellten Inhalte und Überlegungen auf physische Aspekte der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung fokussieren. Psychische Aspekte werden in dieser Arbeit nicht adressiert.

### 2.2.1 Definitionen

Der Begriff Ergonomie stammt aus dem Altgriechischen und setzt sich aus den beiden Wörtern *ergon*, deutsch ‚Arbeit‘, ‚Werk‘ und *nomos*, deutsch ‚Regel‘, ‚Gesetz‘ zusammen.<sup>43</sup>

Der Deutsche Duden beschreibt Ergonomie folgenderweise:<sup>44</sup>

1. *„Wissenschaft von den Leistungsmöglichkeiten und -grenzen des arbeitenden Menschen sowie von der optimalen wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen.“*
2. *„optimale wechselseitige Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen.“*

Entsprechend der Norm DIN EN ISO 26800, Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte, wird Ergonomie definiert, als:<sup>45</sup>

*„wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst, und der Berufszweig, der Theorie, Grundsätze, Daten und Verfahren auf die Gestaltung von Arbeitssystemen anwendet mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren.“*

Ein weiterer Begriff, der im Zusammenhang mit ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung auftritt, ist „menschenzentrierte Arbeitsgestaltung“. Die Norm DIN ISO EN 9241-210, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210, Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme, liefert eine entsprechende Definition:<sup>46</sup>

<sup>43</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Ergonomie>; zuletzt gelesen am: 12. März 2019

<sup>44</sup> <https://www.duden.de/rechtschreibung/Ergonomie>; zuletzt gelesen am: 12. März 2019

<sup>45</sup> Norm DIN EN ISO 26800:2011-11 (EN ISO 26800:2011 (D)); S.5

<sup>46</sup> Norm DIN EN ISO 9241-210:2011-01 (EN ISO 9241-210:2010 (D)); S.6



*„Herangehensweise bei der Gestaltung und Entwicklung von Systemen, die darauf abzielt, interaktive Systeme gebrauchstauglicher zu machen, indem sie sich auf die Verwendung des Systems konzentriert und Kenntnisse und Techniken aus den Bereichen der Arbeitswissenschaft/Ergonomie und der Gebrauchstauglichkeit anwendet.“*

*ANMERKUNG 1 Es ist eher der Begriff „menschzentrierte Gestaltung“ zu verwenden als „benutzerzentrierte Gestaltung“, um zu betonen, dass dieser Teil der ISO 9241 auch Auswirkungen auf eine Reihe von Stakeholdern berücksichtigt, die normalerweise nicht als Benutzer betrachtet werden. In der Praxis werden diese Begriffe jedoch häufig synonym verwendet.*

*ANMERKUNG 2 Gebrauchstaugliche Systeme können eine Reihe von Vorteilen bieten; dazu zählen verbesserte Produktivität, gesteigertes Wohlbefinden der Benutzer, Vermeidung von Stress, erhöhte Zugänglichkeit und ein vermindertes Risiko psychischer und physischer Belastung und Beanspruchung.*

*INTERAKTIVES SYSTEM Kombination von Hardware, Software und/oder Dienstleistungen, die Eingaben von einem (einer) Benutzer(in) empfängt und Ausgaben zu einem (einer) Benutzer(in) übermittelt.*

## 2.2.2 Allgemeine Grundsätze zur Arbeitsplatzgestaltung

Einige allgemeine Grundsätze zur Gestaltung von Arbeitsplätzen liefert die Norm DIN EN ISO 6385, in der der Mensch als zentraler Faktor des zu gestalteten Systems betrachtet wird. Ergänzend dazu müssen während des Gestaltungsprozesses auftretende Wechselwirkungen zwischen den betroffenen Personen und den Bestandteilen des Arbeitssystems berücksichtigt werden.<sup>47</sup>

Die Betrachtung dieser Wechselwirkung ist insofern wichtig, da ihre Gesamtheit, die resultierenden Anforderungen an die Arbeitenden repräsentiert. Diese wird auch als Arbeitsbelastung bezeichnet und ruft bei den ausführenden Arbeitenden eine entsprechende Reaktion, die Arbeitsbeanspruchung, hervor. Die Arbeitsbeanspruchung wiederum, kann sowohl fördernde (z.B. Entwicklung von Fertigkeiten) als auch beeinträchtigende Auswirkungen (z.B. durch Arbeit hervorgerufene Ermüdung) zur Folge haben.<sup>48</sup>

Die ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen verfolgt daher das Ziel, beeinträchtigende Auswirkungen an Arbeitenden zu vermeiden, sodass Ergonomie auch als eine wichtige präventive Funktion verstanden werden kann. Generell beziehen sich ergonomische Grundsätze nicht nur auf die Konzeption und Entwicklung von Arbeitssystemen, sondern auf ihren gesamten Lebenszyklus einschließlich Umsetzung und Einführung, Nutzung, Instandhaltung bis zur Außerbetriebnahme.<sup>49</sup>

Bezieht man nun den menschenzentrierten Ansatz in den Gestaltungsprozess ein, ist es unumgänglich Arbeitende, einschließlich der Verantwortlichen für Konstruktion,

<sup>47</sup> vgl. Norm DIN EN ISO 6385:2016-12 (EN ISO 6385:2016 (D)); S.10

<sup>48</sup> vgl. Norm DIN EN ISO 6385:2016-12 (EN ISO 6385:2016 (D)); S.10

<sup>49</sup> vgl. Norm DIN EN ISO 6385:2016-12 (EN ISO 6385:2016 (D)); S.6ff

Instandhaltung, Bedienung und Überwachung an dem Prozess teilhaben zu lassen. Durch das Einbeziehen von Arbeitenden lassen sich suboptimale Lösungen vermeiden.<sup>50</sup>

Ein menschenzentrierter Ansatz sollte unabhängig vom Gestaltungsprozess, den bestehenden Verantwortlichkeiten und den jeweiligen Rollen, folgende Grundsätze befolgen:<sup>51</sup>

- die Gestaltung beruht auf einem umfassenden Verständnis der Benutzer, Arbeitsaufgaben und Arbeitsumgebungen,
- die Benutzer sind während der Gestaltung und Entwicklung einbezogen,
- das Verfeinern und Anpassen von Gestaltungslösungen wird fortlaufend auf der Basis benutzerzentrierter Evaluierung vorangetrieben,
- der Prozess ist iterativ,
- bei der Gestaltung wird die gesamte User Experience berücksichtigt,
- im Gestaltungsteam sind fachübergreifende Kenntnisse und Perspektiven vertreten.

### 2.2.3 Anthropometrie und räumliche Gestaltung

Unter Anthropometrie (aus griechisch *anthropos*, deutsch ‚menschlich‘, und *metron*, deutsch ‚Maß‘) versteht man die Lehre zur Ermittlung und Anwendung der Maße des menschlichen Körpers.<sup>52</sup>

Sie bildet die wissenschaftliche Grundlage für die räumliche Gestaltung von Arbeitssystemen, welche die ergonomische Auslegung und Anpassung von geometrisch definierten Beziehungen zwischen den arbeitenden Menschen und den Elementen des Arbeitssystems umfasst.<sup>53</sup>

Zu den wichtigsten geometrischen Parametern für die Arbeitsplatzgestaltung zählen die Körpermaße der Arbeitenden. Diese lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:<sup>54</sup>

- Räumliche Begrenzungsmaße des menschlichen Körpers (Skelett- und Umrissmaße),
- Funktionsmaße des menschlichen Körpers (z.B. Bewegungsbereiche, Reichweiten, ...).

Zu den wichtigsten anthropometrischen Parametern zählt die Körperhöhe. Um unverhältnismäßig hohe Auslegungsanforderungen zu vermeiden und gleichzeitig

<sup>50</sup> vgl. Norm DIN EN ISO 6385:2016-12 (EN ISO 6385:2016 (D)); S.10

<sup>51</sup> Norm DIN EN ISO 9241-210:2011-01 (EN ISO 9241-210:2010 (D)); S.9

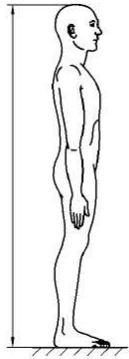
<sup>52</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Anthropometrie>; zuletzt gelesen am: 12. März 2019

<sup>53</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.477

<sup>54</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.478

eine allgemeingültige Gestaltung von Arbeitsplätzen zu realisieren, wurden Körpergrößenklassen gebildet und entsprechende Verteilungsbereiche ausgewählt. Die Grenzen dieser Verteilungsbereiche werden üblicherweise bei 5% und 95% festgelegt, wobei als Grenzwerte die Maße einer Frau des 5. Perzentils und die eines Mannes des 95. Perzentils herangezogen werden. Somit sind ungefähr 95% der Bevölkerung berücksichtigt. Diese Festlegung wird bei sicherheitsrelevanten Einrichtungen auf das 1. bzw. das 99. Perzentil erweitert.<sup>55</sup>

Sämtliche Werte für das 5. und 95. Perzentil lassen sich aus Tabellenwerken entnehmen. Die DIN 33402-2, Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte, enthält ein solches Tabellenwerk, indem neben der Körperhöhe auch eine Vielzahl anderer Körpermaße enthalten sind. Exemplarisch ist in Abbildung 12 die Tabelle für die Körperhöhe abgebildet:



Altersgruppen	Körperhöhe mm					
	Männer			Frauen		
	Perzentil					
Jahre	5	50	95	5	50	95
18-65	1 650	1 750	1 855	1 535	1 625	1 720
18-25	1 685	1 790	1 910	1 560	1 660	1 760
26-40	1 665	1 765	1 870	1 545	1 635	1 725
41-60	1 630	1 735	1 835	1 525	1 615	1 705
61-65	1 605	1 710	1 805	1 510	1 595	1 685

Abbildung 12: Körperhöhe nach DIN 33402-2<sup>56</sup>

Für die Raumauslegung werden meist Funktionsräume, wie Sicht-, Greif- und Bewegungsräume, angewandt. Diese Räume werden im Wesentlichen durch eine konkrete Tätigkeit mit ihren Randbedingungen und den anatomischen Gegebenheiten bestimmt.<sup>57</sup>

Diese variieren stark von Fall zu Fall, daher können Angaben zu Funktionsräumen in der Literatur nur für eindeutig definierte Fälle gelten. Oft werden Überdeckungen von Funktionsräumen für unterschiedliche Körperhöhen (5. und 95. Perzentil) angegeben, um günstige räumliche Verhältnisse für alle Arbeitenden zu schaffen. Um das zu

<sup>55</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.479f.

<sup>56</sup> Norm DIN 33402-2:2005-12; S.9

<sup>57</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.482



realisieren müssen Arbeitsplätze so gestaltet werden, dass einzelne Arbeitsplatzelemente (z.B. Sitzflächen, Fußstützen, Arbeitsflächen, ...) verstellbar sind.<sup>58</sup> Entsprechende Abmessungen lassen sich z.B. aus der Norm DIN EN ISO 14738<sup>59</sup>, Sicherheit von Maschinen - Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen, entnehmen.

## 2.2.4 Schutz der Gesundheit

Wenn es um die Gestaltung von Arbeitsplätzen geht, hat der Schutz der Gesundheit der Arbeitenden höchste Priorität. Es gilt in diesem Zusammenhang zu prüfen, ob eine Gesundheitsgefährdung möglich bzw. wahrscheinlich ist. Falls dies zutreffend ist, sind sofortige Maßnahmen einzuleiten, die auf die technisch-physiologische Gestaltung von Arbeitsplätzen und -prozessen abzielt. Eine Gesundheitsgefährdung bei energetisch-effektorischen Arbeitsformen tritt vor allem beim Handhaben von Lasten auf.<sup>60</sup> Diesem Aspekt wird im Folgenden besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Unter energetisch-effektorischer Arbeit versteht man jene Arbeitsform, die besonders durch Kräfte und Bewegungen gekennzeichnet ist (siehe 2.2.6).<sup>61</sup>

Das Österreichische ArbeitnehmerInnenschutzgesetz in der Fassung vom 13. März 2019 regelt die Handhabung schwerer Lasten nach § 64 wie folgt:<sup>62</sup>

*(1) Als manuelle Handhabung im Sinne dieser Bestimmung gilt jede Beförderung oder das Abstützen einer Last durch Arbeitnehmer, insbesondere das Heben, Absetzen, Schieben, Ziehen, Tragen und Bewegen einer Last, wenn dies auf Grund der Merkmale der Last oder ungünstiger ergonomischer Bedingungen für die Arbeitnehmer eine Gefährdung, insbesondere des Bewegungs- und Stützapparates, mit sich bringt.*

*(2) Arbeitgeber haben geeignete organisatorische Maßnahmen zu treffen oder geeignete Mittel einzusetzen, um zu vermeiden, daß Arbeitnehmer Lasten manuell handhaben müssen.*

*(3) Läßt es sich nicht vermeiden, daß Arbeitnehmer Lasten manuell handhaben müssen, so haben die Arbeitgeber im Rahmen der Ermittlung und Beurteilung der Gefahren insbesondere die Merkmale der Last, den erforderlichen körperlichen Kraftaufwand, die Merkmale der Arbeitsumgebung und die Erfordernisse der Aufgabe zu berücksichtigen. Die Arbeitgeber haben dafür zu sorgen, daß es bei den Arbeitnehmern nicht zu einer Gefährdung des Bewegungs- und Stützapparates kommt oder daß solche Gefährdungen gering gehalten werden, indem sie unter Berücksichtigung der Merkmale der Arbeitsumgebung und der Erfordernisse der Aufgabe geeignete Maßnahmen treffen.*

*(4) Arbeitnehmer dürfen mit der manuellen Handhabung von Lasten nur beschäftigt werden, wenn sie dafür körperlich geeignet sind und über ausreichende Kenntnisse und eine ausreichende Unterweisung verfügen.*

<sup>58</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.483f.

<sup>59</sup> Norm DIN EN ISO 14738:2009-07 (EN ISO 14738:2008 (D)).

<sup>60</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.418

<sup>61</sup> <https://www.dmtm.com/glossar/>; zuletzt gelesen am: 13. März 2019

<sup>62</sup> Bundeskanzleramt Österreich; § 64 ASchG Fassung: 13.März 2019

*(5) Arbeitnehmer, die mit der manuellen Handhabung von Lasten beschäftigt werden, müssen Angaben über die damit verbundene Gefährdung des Bewegungs- und Stützapparates sowie nach Möglichkeit auch genaue Angaben über das Gewicht und die sonstigen Merkmale der Lasten erhalten. Die Arbeitnehmer müssen genaue Anweisungen über die sachgemäße Handhabung von Lasten und Angaben über die bestehenden Gefahren bei unsachgemäßer Handhabung erhalten.*

Gerade für die Problematik der Lastenbewegung stellt sich in Betrieben die praktische Frage nach dem Zusammenhang zwischen den Beschreibungsgrößen der Arbeitsaufgabe und den daraus resultierenden mechanischen Belastungen für den menschlichen Körper, insbesondere des Stütz- und Bewegungsapparates. Da es in der Praxis häufig nicht möglich ist für jeden Einzelfall eine biomechanische Analyse durchzuführen, werden von betrieblicher Seite Verfahren bzw. Methoden zur Abschätzung der Belastungen angewendet.<sup>63</sup>

Eine sehr häufig und bei vielen Betrieben eingesetzte Methode stellt die Leitmerkmalmethode zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung dar. Hierbei erfolgt eine Bewertung der Arbeitsbedingungen bei manueller Handhabung von Lasten auf Basis von den vier Merkmalen Lastgewicht, Zeitdauer, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen. Diese werden durch die Vergabe von Rangzahlen bewertet und so Risikobereichen zugeordnet, die die Höhe einer potentiellen Gefahr für die Wirbelsäule repräsentieren.<sup>64</sup> Die Leitmerkmalmethode wurde unter Zusammenwirken der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt, der Deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, der Deutschen IVSS Sektion Metall und der Österreichischen Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt erstellt. Sie basiert auf den gesetzlichen Regelungen der jeweiligen Länder, sowie der internationalen Norm ISO 11228-1 – Ergonomics – Manual handling – Lifting and carrying und der EU-Richtlinie 90/269/EWG.<sup>65</sup>

Neben der Leitmerkmalmethode existieren auch noch weitere Methoden auf die hier nicht näher eingegangen wird. Einen Überblick dazu liefert (C. Schlick et al. 2018). Die Gemeinsamkeit aller Verfahren besteht jedoch darin, dass es sich bei den ermittelten Ergebnissen nicht um exakte Grenzwerte, sondern vielmehr um Anhaltspunkte handelt, ob kritische Grenzen erreicht werden. Darüber hinaus können die ermittelten Ergebnisse von Verfahren zu Verfahren auch variieren. Grundsätzlich sind aber für die Handhabung von Lasten folgende Gestaltungsregeln zu berücksichtigen:<sup>66</sup>

- Körpernahe Handhabung der Last,
- Heben durch Beinarbeit bei möglichst geradem Rücken,
- Beidhändig symmetrische Handhabung,
- Vermeidung der Torsion des Oberkörpers,

<sup>63</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.419

<sup>64</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.419

<sup>65</sup> vgl. D. Schmitter et al.; 2010; S.2ff.

<sup>66</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.419f.

- Gleichmäßiger, nicht ruckartiger Bewegungsablauf.

Zusätzlich zur Gestaltung von Arbeitsaufgaben müssen weitere Faktoren, wie die Ausführungsdauer und -häufigkeit berücksichtigt werden. Auch spielt die individuelle körperliche Konstitution der Arbeitenden eine wesentliche Rolle bezüglich der Zumutbarkeit auszuführender Tätigkeiten.<sup>67</sup>

### 2.2.5 Reduktion und Kompensation zu leistender Arbeit

Bevor man Arbeitsbewegungen durch geeignete Maßnahmen der Arbeitsplatzgestaltung optimiert, sollte darüber nachgedacht werden, ob und inwieweit zu leistende physikalische Arbeit reduzierbar ist. Tatsächlich ist menschliche Arbeit immer positiv gerichtet. Das bedeutet, dass einwirkende Kräfte nicht wie z.B. bei mechanischen Systemen in Energie zurückgewandelt werden können. Es gilt daher Möglichkeiten zu finden, den menschlichen Energiebedarf bzw. -verbrauch zu minimieren.<sup>68</sup>

Maßnahmen dafür sind unter anderem:<sup>69</sup>

- Verringerung der Hubhöhe beim Be- und Entladen von Lasten führt zu einer Verringerung des Arbeitsenergieumsatzes und damit zu einer geringeren Beanspruchung für das Herz-Kreislaufsystem, bei gleichzeitiger Steigerung der Arbeitsleistung.
- Ausnutzen von Schwerkraften (z.B. durch das eigene Körper(teil)gewicht), wenn die auszuübenden Kräfte nach unten gerichtet sind, wie z.B. bei Pedalbetätigungen.
- Anbringen von Abstützungsmöglichkeiten, um die bei Schwerpunktverlagerung zusätzlich auftretende innere Arbeit zu reduzieren.
- Vermeiden von statischer Muskelarbeit, da die Muskulatur für statische Kraftaufbringung äußerst ermüdungsempfindlich ist.
- Möglichst senkrechte Haltung der Arme beim Heben von Gewichtslasten und symmetrische Lastverteilung.
- Körperstellungen sollten im mittleren Bereich des Bewegungsbereichs eingenommen werden, da die Effizienz der Krafterzeugung bei kleiner und großer Muskellänge abnimmt.
- Arbeiten im Bereich mittlerer Geschwindigkeiten, da zu schnelles aber auch zu langsames Arbeiten zu Ineffizienzen führt bzw. die Gesamtbelastung zusätzlich erhöht.

<sup>67</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.420

<sup>68</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.420

<sup>69</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.420ff.

- Sinnvolle Pausengestaltung, d.h. besser kurzzyklische Arbeits- und Erholungsphasen, anstelle von Arbeitsphasen bis zum Eintreten von Erschöpfung und daraus resultierenden unverhältnismäßig langen Erholungsphasen.

## 2.2.6 Energetisch-effektorische Arbeit und biomechanische Aspekte

Die Arbeitswissenschaft unterscheidet die zwei idealtypischen Extremformen menschlicher Arbeit, die informatorische und energetische Arbeit. Sie können in seltenen Fällen isoliert auftreten, in der Realität liegt im Allgemeinen eine Kombination der beiden Formen in unterschiedlichen Gewichtungen vor. Diese Arbeit fokussiert, wie bereits erwähnt, auf den energetischen Anteil von Arbeitstätigkeiten, der sich mit der Inanspruchnahme der Skelettmuskulatur zur Erzeugung von Kräften und Ausführung von Bewegungen, befasst. In diesem Zusammenhang wird daher auch von energetisch-effektorischer Arbeit gesprochen (siehe 2.2.4).<sup>70</sup>

Einen Überblick über die unterschiedlichen Formen von Muskelarbeit beinhaltet Tabelle 3:

**Tabelle 3: Formen der Muskelarbeit<sup>71</sup>**

Muskelbelastungsform			Beispiele	Biomechanische Kennzeichen
<i>Physiologische Grobgliederung</i>	<i>Kriterien für Feingliederung</i>	<i>Ergonomische Bezeichnung</i>		
statisch	Innere und äußere Kraftwirkung	Statische Haltungsarbeit	Halten des Oberkörpers beim gebeugten Stehen	Keine Bewegung von Gliedmaßen, keine Kräfte auf Werkstück oder Bedienelemente
		Statische Haltearbeit	Überkopfschweißen oder Montieren, Tragearbeit	Keine Bewegung von Gliedmaßen, Kräfte an Werkstück, Werkzeug oder Bedienelement
		Kontraktionsarbeit	Gussschleifen	Folge statischer Kontraktionen
dynamisch	Größe der Muskelgruppe	Einseitig dynamische Arbeit	Handhebelpresse, Schere betätigen	Kleine Muskelgruppen im Allgemeinen mit relativ hoher Bewegungsfrequenz
		Schwere dynamische Arbeit	Schaufelarbeit	Muskelgruppen >1/7 der gesamten Skelettmuskelmasse
		Allseitig dynamische Arbeit	Erntekampagne	Gesamtkörper

<sup>70</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.142

<sup>71</sup> C. Schlick et al.; 2018; S.144

Ohne auf die einzelnen Formen von Muskelarbeit eingehen zu wollen, ist es dennoch notwendig ein paar Ergänzungen dazu anzubringen. Die bei der statischen Arbeit auftretende Daueranspannung der Muskeln führt dazu, dass der Muskelstoffwechsel als Folge der hohen Muskelinnendrucke nicht ausreichend gewährleistet werden kann. Der damit verbundene Sauerstoffmangel führt zu einer schnelleren Ermüdung des Muskels. Werden nun größere Muskelgruppen statisch belastet, kommt es darüber hinaus zu einer erheblichen Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems.<sup>72</sup> Der statischen Arbeit muss daher besondere Aufmerksamkeit in Hinblick auf Arbeitsbelastung gewidmet werden.

Natürlich kommt es auch immer dazu, dass Knochen, Gelenke, Sehnen und Bänder beansprucht werden. Diese zeichnen sich jedoch dadurch aus, dass ihre Schmerzrezeptoren eine wesentlich höhere Empfindlichkeitsschwelle haben. Schmerzen werden bei diesen passiven Elementen erst bei starker Beanspruchung bzw. Überbeanspruchung merkbar. Daher muss vor allem bei diesen Elementen arbeitsgestalterisch präventiv vorgegangen werden, um vor Überbeanspruchungen zu schützen. Im Gegensatz dazu verfügen die Muskulatur und das Herz-Kreislaufsystem über eigene, im Normalfall, gut funktionierende Begrenzungsmechanismen.<sup>73</sup>

Betrachtet man den menschlichen Körper unter mechanischen Gesichtspunkten, könnte man als mechanisches Ersatzsystem, ein lose gekoppeltes Stabwerk heranziehen, in dem die Stäbe die Knochen repräsentieren, welche über bewegliche Gelenke miteinander verbunden sind. Werden nun Kräfte auf- bzw. eingebracht, wirken diese nicht nur an der Angriffsstelle und den daran beteiligten Gelenken, sondern im gesamten Körper, um das notwendige Kräftegleichgewicht aufrecht zu erhalten.<sup>74</sup>

Entsprechend der klassischen Mechanik, kann somit für jeden Gelenkpunkt eine Momentenbilanz aufgestellt und der statische und dynamische Kraftfluss nachverfolgt werden. So werden z.B. beim stehenden Menschen, Zugkräfte in den Händen mit entsprechenden Kräften im Rumpf, in den Knien und in den Füßen ausgeglichen, sodass der Körper in freier Lage unverändert bleibt. Hat man es mit bewegten Massen zu tun, müssen auch Massenträgheitskräfte berücksichtigt werden. Bei hohen Bewegungsfrequenzen treten zusätzlich noch visköse Dämpfungskräfte, durch die Verformung von Körpergewebe und innere Reibung auf.<sup>75</sup> Folgende Aussagen und Rückschlüsse lassen sich anhand der biomechanischen Analyse ziehen, siehe folgende Tabelle 4:

<sup>72</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.148

<sup>73</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.149f.

<sup>74</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.147

<sup>75</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.147

Tabelle 4: Aussagen und Rückschlüsse der biomechanischen Analyse<sup>76</sup>

Aussagen bzgl. mechanischer Verhältnisse	Rückschlüsse bzgl. der im Körper auftretenden Belastungen
der Standsicherheit	der Muskultur, mit der Kräfte erzeugt werden
der Wirkung von Körperunterstützungsflächen	der Knochen, Gelenke, Sehnen und Bänder, die Kräfte aufnehmen müssen
dem Kräftefortsatz um Körper	des Stoffwechsels und des Herz-Kreislaufsystems, welche die von den Muskeln benötigte Energie bereitstellen müssen

Im Rahmen der biomechanischen Analyse nimmt die Wirbelsäule eine besondere Bedeutung ein. Ihre Belastung ist klinisch weder mittelbar noch unmittelbar messbar.<sup>77</sup> Aus diesem Grund und weil die Wirbelsäule im praktischen Teil dieser Diplomarbeit eine wesentliche Rolle spielt, wird ihr der folgende Abschnitt gewidmet.

### 2.2.7 Die Wirbelsäule

Das Skelettsystem des menschlichen Körpers besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, den Knochen, den Bändern und den Gelenken. Während es bei Knochen und Bändern im Normalfall zu keiner Überbeanspruchung durch aktiv aufgebrauchte Kräfte kommt (z.B. im Rahmen einer auszuführenden Arbeitstätigkeit), sind die beweglichen Teile des Skeletts, nämlich die Gelenke und insbesondere die Bandscheiben der Wirbelsäule, beim Handhaben schwerer Lasten sehr hohen Belastungen und Beanspruchungen ausgesetzt. Diese können irreversible Schädigungen des Skelettsystems hervorrufen.<sup>78</sup>

Die Wirbelsäule, *Columna vertebralis*, besteht normalerweise aus 24 freien oder präsakralen Wirbeln (*Vertebrae*), die durch 23 Zwischenwirbelscheiben (*Disci intervertebrales*) beweglich miteinander verbunden sind. Auf sieben Halswirbel (*Vertebrae cervicales, C1-C7*) folgen zwölf Brustwirbel (*Vertebrae thoracales, Th1-Th12*) und fünf Lendenwirbel (*Vertebrae lumbales, L1-L5*). Das mit dem 5. Lendenwirbel beweglich verbundene Kreuzbein, *Os sacrum*, geht aus der Verwachsung von fünf Wirbelelementen und vier Zwischenwirbelscheiben hervor. Das Steißbein, *Os coccygis*, ist das Rudiment einer Schwanzwirbelsäule.<sup>79</sup> Die genannten Abschnitte sind in Abbildung 13 (J.Fanghänel et al. 2003) dargestellt.

<sup>76</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.147

<sup>77</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.147

<sup>78</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.177f.

<sup>79</sup> vgl. J.Fanghänel et al.; 2003; S.631



Die Zwischenwirbelscheiben (auch Bandscheiben genannt), sind in sagittaler Richtung keilförmig und etwa 5mm dick. Sie bestehen aus zwei Schichten von Bindegeweben:

- einem Außenring, *Anulus fibrosus*, aus dicken kollagenen Fasern und Faserknorpel und
- einem Gallertkern, *Nucleus pulposus*. Dieser gleicht wie ein Wasserkissen die Druckunterschiede zwischen zwei Wirbeln aus, wenn sich diese gegeneinander bewegen.

Die Bandscheiben bilden elastische Verbindungen der Wirbelkörper untereinander. Sie erhöhen die Beweglichkeit der Wirbelsäule, indem sie sich entsprechend mitverformen und fangen wie ein Stoßdämpfer Stauchungen der Wirbelsäule auf.<sup>80</sup> Einen Medianschnitt durch die Lendenwirbelsäule zeigt Abbildung 14.

Degenerativ bedingte Schwächung des äußeren Faserrings einer Zwischenwirbelscheibe und belastungsbedingte, starke Druckerhöhungen können zur Verlagerung von Nukleusanteilen führen. Zu unterscheiden ist beim vom Laien als Bandscheibenvorfall bezeichnetem Krankheitsbild, ob weggedrängte Nukleusanteile den Faserring und das Lig. longitudinale posterius durchbrechen (*Nukleusprolaps*) oder diese buckelig vorwölben (*Nukleusprotrusion*, siehe Abbildung 15).<sup>81</sup>



Abbildung 13: Wirbelsäule von links

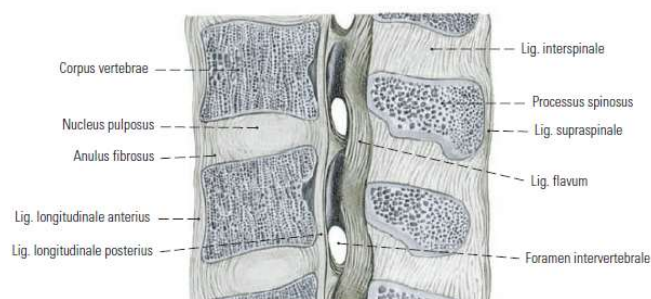
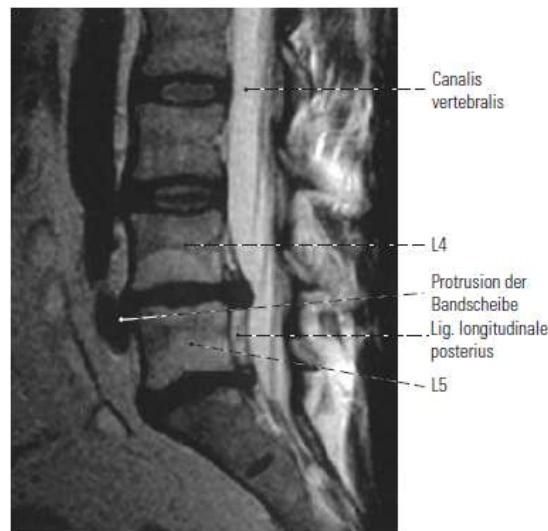


Abbildung 14: Medianschnitt durch die Lendenwirbelsäule<sup>82</sup>

<sup>80</sup> vgl. A. Schäffler; 2000; S.110

<sup>81</sup> J.Fanghänel et al.; 2003; S.639

<sup>82</sup> J.Fanghänel et al.; 2003; S.638



**Abbildung 15: MRT der lumbosakralen Wirbelsäule mit Protrusion<sup>83</sup>**

Aufgrund der kleinen Flächen, die die Bandscheiben einnehmen, sind diese bei entsprechender Belastung enorm hohen Drücken ausgesetzt, wobei die Druckbelastung in Richtung Kreuzbein zunimmt und somit am letzten Bandscheibensegment (L5/S1) am größten ist. Bei zusätzlich anzuhebenden oder zu tragenden Lasten entsteht ein spezifischer Belastungsschwerpunkt auf der Wirbelsäule. Die Wirbelsäule erfährt so eine, über die Hebelwirkung der äußeren Last mit großen Momenten und daraus resultierenden inneren Kräften, erhebliche Belastung. Bei gleichzeitiger Beugung des Rückens treten zusätzlich innere Querkräfte auf. Daher stellen das Heben und Tragen schwerer Lasten und häufiges Arbeiten in extremer Beugehaltung ernstzunehmende Gefahrenquellen für bandscheibenbedingte Erkrankungen der Wirbelsäule dar.<sup>84</sup>

Betrachtet man, entsprechend Abbildung 16, die Belastung (Druckkraft) in Abhängigkeit der Körperstellung und der äußeren Last zeigt sich, dass maximale Belastungen vorliegen, bei Rumpfneigung im mittleren Bereich und beim Halten von Lasten mit ausgestreckten Armen. Treten zusätzlich noch Seitenneigung, Torsion, asymmetrische Lastverteilung und/oder ruckartige Bewegungen auf, so führt dies zu einer Vergrößerung der Belastung von Wirbelkörpern und Bandscheiben.<sup>85</sup>

<sup>83</sup> J.Fanghänel et al.; 2003; S.639

<sup>84</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.179f.

<sup>85</sup> vgl. C. Schlick et al.; 2018; S.180f.



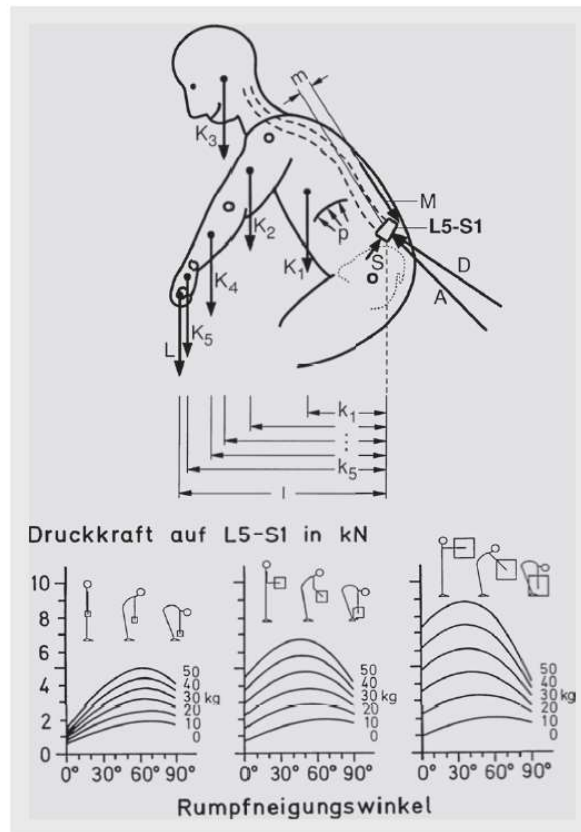


Abbildung 16: Druckkraft am Lenden-Kreuzbein-Übergang beim Halten von Lasten mit vorgeneigtem Oberkörper für verschiedene Lastmassen<sup>86,87</sup>

## 2.2.8 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel dieses Kapitels bestand darin einen Einblick in das Fachgebiet, Ergonomie am Arbeitsplatz, zu geben. Da es sich dabei um ein sehr weitläufiges Themengebiet handelt, wurde hier der Versuch unternommen die wesentlichsten Grundlagen und Aspekte zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung vorzustellen und somit dem Leser einen gewissen Überblick zu ermöglichen.

Dafür wurden zunächst einige wichtige begriffliche Definitionen und praxisrelevante Normen, Richtlinien und Methoden vorgestellt. Diese bilden die Basis für eine ergonomische, menschenzentrierte Arbeitsplatzgestaltung. Ergänzend dazu wurde auf die räumliche Gestaltung unter Einbeziehung anthropometrischer Parameter eingegangen. Von entscheidender Bedeutung ist, dass Arbeitsplätze so gestaltet werden müssen, dass die Gesundheit der Arbeitenden nicht beeinträchtigt wird. In diesem Zusammenhang wurde die in der Praxis häufig eingesetzte Leitmerkmalmethode vorgestellt und Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der körperlichen Belastung führen.

<sup>86</sup> M. Jäger et al.; 1992.

<sup>87</sup> M. Jäger und A. Luttmann; 1995.

Anschließend wurden die unterschiedlichen Formen von physischer Arbeit, insbesondere energetisch-effektorischer Arbeit, adressiert, um darauf aufbauend auch einen Einblick in die Biomechanik geben zu können. Der Fokus, lag hierbei in der Betrachtung des menschlichen Bewegungs- und Stützapparates, vor allem aber des Skelettsystems. Hiervon wurde exemplarisch die Wirbelsäule herausgegriffen, da Beschwerden bzw. Erkrankungen der Wirbelsäule in der Praxis in großer Häufigkeit vorkommen und auch im praktischen Teil dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielen.

Der Vollständigkeit halber müsste in diesem Kapitel ebenso auf die Problematiken anderer Gelenke, z.B. dem Kniegelenk, aber auch auf muskuläre Beschwerden, wie des Rückens und Nacken-Schulter-Bereichs eingegangen werden. Da dies allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, verweise ich interessierte Leser an dieser Stelle auf (C. Schlick et al. 2018).

In diesem Kapitel konnte gezeigt werden, welchen physischen Belastungen und Beanspruchungen der menschliche Körper bei energetisch-effektorischer Arbeit ausgesetzt wird. Darüber hinaus wurden sowohl die rechtlichen Rahmenbedingungen und Gestaltungsmaßnahmen für eine ergonomische, menschenzentrierte Arbeitsplatzgestaltung vorgestellt. Welche Möglichkeiten es nun in der Praxis gibt, diese zu realisieren, wird in dem folgenden Kapitel anhand industrieller Assistenzsysteme besprochen.

## **2.3 Industrielle Unterstützungs- und Assistenzsysteme**

In diesem Kapitel wird auf den Themenkomplex der industriellen Unterstützungs- und Assistenzsysteme eingegangen. Ziel ist es zunächst einen allgemeinen Überblick zu schaffen und anschließend die Einsatzmöglichkeiten insbesondere im industriellen Bereich vorzustellen. Abschließend wird der Fokus auf den Nutzen von Assistenzsystemen gerichtet, da durch ihren Einsatz, den in den vorhergehenden Kapiteln besprochenen Herausforderungen in der industriellen Produktion begegnet und die ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen realisiert werden kann.

### **2.3.1 Was sind Unterstützungs- und Assistenzsysteme?**

Seit einigen Jahren besteht ein Trend dahingehend, Technik so zu entwickeln, dass Menschen in unterschiedlichen Anwendungskontexten unterstützt werden. Das betrifft unter anderen das industrielle Umfeld, den Bereich der Altenpflege aber auch Unterstützung im Alltag. Die damit verbundenen technischen Lösungen verfolgen im Allgemeinen folgende Ziele: Steigerung der Produktivität, Verringerung körperlicher und geistiger Belastung und Erhöhung der Lebensqualität. Konkrete praktische Beispiele sind z.B. Industrie- und Service-Roboter, Hebehilfen, Werkzeuge, Assistenzsysteme in Flug- und Fahrzeugen, Exoskelette, Sehhilfen, Implantate, Elektroräder oder Apps für Mobiltelefone. Allein diese Aufzählung zeigt die breite

Palette an unterstützenden Systemen, die sich durch unterschiedliche Anwendungskontexte auszeichnen und in ihrer Vielfalt kaum zu überblicken ist. Hinzukommt, dass sich der Begriff „Assistenzsystem“ aus marketingtechnischen Gründen vielfach durchgesetzt hat, wodurch eine eindeutige Differenzierung der einzelnen Systeme oft ausbleibt.<sup>88</sup>

Im Lauf der Zeit sind Mensch und Technisch schrittweise „zusammengewachsen“, beginnend mit der Zuhilfenahme von Werkzeugen, über den Einsatz von vollautomatisierten Systemen durch Industrieroboter und Mensch-Roboter-Kooperationen, bis zur Hybridisierung von biomechanischen und technischen Elementen in einem System. Anhand dieser Entwicklung lassen sich zwei Arten von technischen Hilfesystemen unterscheiden:<sup>89</sup>

- Technische Systeme, die Personen substituieren und dadurch zu einer Entlastung führen, indem die Technik die Arbeit für den Menschen ausführt, und
- technische Systeme, die den Menschen bei der Ausführung seiner Aufgaben unterstützen aber nicht ersetzen, wodurch der Mensch die Hoheit beibehält.

Von einem Unterstützungssystem spricht man, wenn:<sup>90</sup>

- es den Menschen bei den auszuführenden Tätigkeiten unterstützt, ohne diesen ganz oder auch nur teilweise zu substituieren,
- der Mensch die Hoheit über die Ausführung behält,
- es sich beim Menschen um den Systembediener handelt und
- vom System keine Gefahr für den Bediener bzw. die Bedienerin und für Dritte ausgeht.

Die in den letzten Jahren stattgefundene Entwicklung von Unterstützungssystemen für das Berufsleben, lässt sich überblicksmäßig in Abbildung 17 veranschaulichen:

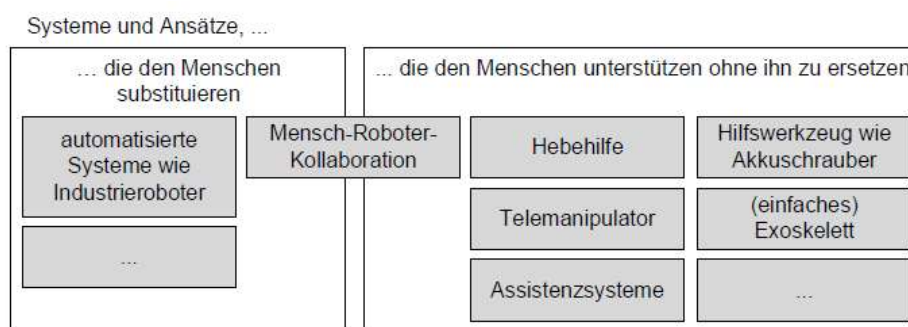


Abbildung 17: Unterstützungssysteme für das Berufsleben<sup>91</sup>

<sup>88</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.233

<sup>89</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.13

<sup>90</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.13

<sup>91</sup> R. Weidner et al.; 2015b; S.14

Eine detailliertere Übersicht inklusive der jeweiligen zentralen Eigenschaften von Unterstützungssystemen für manuelle Tätigkeiten liefert Tabelle 5:

**Tabelle 5: Charakterisierung unterstützender Systeme<sup>92</sup>**

Ansatz / System	Eigenschaften
<b>Werkzeuge wie Schraubenzieher und Akkuschauber</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterschiedliche Bauformen etc. verfügbar</li> <li>• Werkzeuge werden durch den Nutzer gehalten und bedient</li> <li>• Unterstützung bei der Ausführung manueller Tätigkeiten</li> <li>• in aller Regel geringe Intelligenz</li> </ul>
<b>Hebehilfen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterschiedliche Bauformen etc. verfügbar, bestimmen Traglast und legen maßgeblich Struktur und benötigten Platz fest</li> <li>• Nutzer bedient Gerät direkt oder über Bediengerät</li> <li>• Abnahme der Last bei Handhabungsaufgaben</li> </ul>
<b>Systeme, basierend auf dem Konzept der Mensch-Maschine Kooperation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufteilung aller Teiltätigkeiten auf Mensch und Technik in Abhängigkeit der Fertigkeiten und Fähigkeiten, auch Abnahme von Teiltätigkeiten</li> <li>• verschiedene Formen der Intelligenz möglich, z.B. durch Integration unterschiedlicher Sensorik in der Applikation</li> </ul>
<b>Unterstützungssysteme nach dem Ansatz des Human Hybrid Robot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• intelligente, parallele und/oder serielle Kopplung von biomechanischen und technischen Elementen</li> <li>• gleichzeitige Nutzung der individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten in einem hybriden System</li> <li>• physische und perzeptive Unterstützung manueller Tätigkeiten</li> <li>• Mensch besitzt stets die Systemhoheit</li> </ul>
<b>Assistenzsystem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• visuelle, akustische oder haptische Unterstützung bei manuellen Tätigkeiten (vor allem kognitiver Strukturen)</li> <li>• Körpergetragene, körpernahe oder interagierende Systeme</li> <li>• in aller Regel Anweisungen und Daten für manuelle Tätigkeiten hinterlegt</li> </ul>
<b>Exoskelett</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• körpergetragenes System zur Kraftverstärkung („zweites Skelett“)</li> <li>• Nutzer gibt direkt die Sollwerte vor</li> </ul>

Betrachtet man nun Assistenzsysteme, so handelt es sich hierbei um Systeme, die im Sinn von Kompensation, Prävention und Befähigung folgenden Zweck erfüllen, nämlich die Unterstützung von sensorischen, physischen und kognitiven Funktionen. Es sind hierbei drei menschenbezogene Unterstützungsansätze unterscheidbar:<sup>93</sup>

<sup>92</sup> Rodeck et al.; 2016; S.625

<sup>93</sup> vgl. W. Apt et al.; 2018; S.20

- **Sensorische Assistenzsysteme:**

Diese Systeme haben den Zweck die fünf Sinne des Menschen zu unterstützen und sind in der Lage funktionale, oft altersbedingte, Veränderungen der Sinnesorgane auszugleichen. Zu unterscheiden sind hierbei die visuelle, auditive und taktile Assistenz (Tabelle 6):<sup>94,95</sup>

**Tabelle 6: Sensorische Assistenzsysteme<sup>96</sup>**

Visuelle Assistenz	Auditive Assistenz	Taktile Assistenz
<i>Digitale Anzeigen</i> (Displays, Pick-by-light, Augmented Reality): Flexible Darstellung von Informationen.	<i>Signaltöne</i> : Dienen der schnellen Rückmeldung von Zuständen.	<i>Vorrichtungen</i> : Geben eine definierte Position und Orientierung vor.
<i>Laserprojektion</i> : Anzeigen von Positionen und Anweisungen.	<i>Sprache</i> : Ermöglicht das Aufnehmen von komplexen Informationen ohne maßgeblichen Verlust der Aufmerksamkeit bezüglich des aktuellen Prozesses.	<i>Vibration</i> : Rückmeldung, z.B. bei der Eingabe von Daten auf berührungsempfindlichen Anzeigen.
<i>2D- oder 3D-Kamera mit Bildauswertung</i> : Erkennung von Objekten.		<i>Druckpunkte</i> : z.B. bei Teach-In-Verfahren zur Unterstützung der intuitiven Roboterprogrammierung.
<i>Gesten</i> : Der Roboter kann Mitarbeiter durch Gesten zu einem bestimmten Verhalten animieren.		
<i>Regelbare Beleuchtungseinrichtung</i> : Optimierung des Kontrasts führt zu erhöhter Konzentration.		

- **Kognitive Assistenzsysteme:**

Hierbei geht es um die wahrnehmungsfördernde Präsentation von Informationen.<sup>97</sup> Der Zweck besteht darin, Informationen anwendungsgerecht und echtzeitnah den Beschäftigten zur Entscheidungsunterstützung zur Verfügung zu stellen. Dabei geht es vor allem um die Unterstützung von Reaktions-, Denk-, Merk- und Schlussfolgerungsfähigkeit. Realisiert wird diese Unterstützung durch das Verwenden von z.B. mobilen Endgeräten oder Visualisierungssystemen.<sup>98</sup>

- **Physische Assistenzsysteme:**

Die Aufgabe von physischen Assistenzsystemen besteht darin, die Ausführbarkeit einer Aufgabe sicherzustellen, Belastungen zu reduzieren und/oder die Ausführungsgeschwindigkeit, -präzision und -qualität zu steigern sowie Aufgaben vom Menschen auf den Roboter zu übertragen.<sup>99</sup> Darüber hinaus dienen sie dem

<sup>94</sup> vgl. W. Apt et al.; 2018; S.21

<sup>95</sup> vgl. R. Müller et al.; 2014; S.555

<sup>96</sup> vgl. R. Müller et al.; 2014; S.555

<sup>97</sup> vgl. R. Müller et al.; 2014; S.556

<sup>98</sup> vgl. W. Apt et al.; 2018; S.21

<sup>99</sup> vgl. G. Reinhart et al.; 2013; S.545

Ausgleich körperlich nachlassender Fähigkeiten bzw. der Vorbeugung eines frühzeitigen Verlustes dieser Fähigkeiten. Zu den physischen Assistenzsystemen zählen Systeme zur mechanisch-motorischen Kraftunterstützung und personalisierte Arbeitsplätze aber auch adaptive, kollaborative Robotersysteme für Produktions-, Montage- und Wartungsprozesse. Im Allgemeinen unterstützen diese Systeme das Muskel-Skelett-System.<sup>100</sup>

Physische Assistenzsysteme haben vor allem in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung in der Industrie, z.B. in der variantenreichen Montage, gefunden. Ihre Verfügbarkeit und Anwendungsreife ist vergleichsweise hoch. Durch die zunehmende Wissensintensität von Tätigkeiten ist davon auszugehen, dass der Bedarf von kognitionsunterstützenden Systemen zukünftig zunehmen wird.<sup>101</sup>

### 2.3.2 Taxonomie von Unterstützungs- und Assistenzsystemen

Aufgrund der raschen Entwicklung von Unterstützungs- und Assistenzsystemen, kam es in den vergangenen Jahren zu einer Vielzahl von Lösungen, Ansatzpunkten und technischen Artefakten. Die daraus resultierende Unübersichtlichkeit hat dazu geführt, dass Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Systemen oft schwer erkennbar und somit auch schwer vergleichbar sind. Aus diesem Grund ist es notwendig technische Unterstützung bzw. Assistenz zu klassifizieren.<sup>102</sup> Tatsächlich stößt man bei der Recherche zu diesem Thema nicht auf die eine Taxonomie von Unterstützungs- und Assistenzsystemen, sondern auf eine breitere Palette von Ansätzen, die teilweise bis in die 1970er Jahre zurückreichen. Zwei Taxonomien werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

Bei der ersten Taxonomie (R. Weidner 2016) von technischen Unterstützungssystemen wird der Versuch unternommen die unterschiedlichen technischen Artefakte in eine Matrix analog einem Periodensystem einzuordnen. Dazu ist es erforderlich die Ordinate und die Abszisse des Periodensystems zu definieren:

- Die Ordinate repräsentiert das kommunikative Verhältnis von Mensch und Technik. Diese wird durch drei Relationen, der zeitlichen Relation, der Kopplungsrelation und der Kontrollrelation, bestimmt (Tabelle 7).<sup>103</sup>

<sup>100</sup> vgl. W. Apt et al.; 2018; S.20f.

<sup>101</sup> vgl. W. Apt et al.; 2018; S.21

<sup>102</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.234f.

<sup>103</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.237



Tabelle 7: Drei Relationen der Ordinate<sup>104</sup>

Zeitliche Relation	Kopplungsrelation	Kontrollrelation
Hierbei können Mensch und Technik entweder <i>synchronisiert</i> oder <i>desynchronisiert</i> operieren. Synchronisierung ist möglich und beobachtbar, wenn die Möglichkeit einer wechselseitigen Wahrnehmung zwischen Mensch und Technik Bedingung der Unterstützung ist.	Mensch und Technik können <i>integriert</i> oder <i>komplementär</i> gekoppelt sein. Eine Integration liegt dann vor, wenn sich die Unterstützung auf menschliche Funktionen und ihre Kompensation, ihre Wiederherstellung, ihren Ersatz oder ihre Verstärkung, bezieht. Von einer komplementären Kopplung spricht man, wenn es sich um eine arbeitsteilige Relation von Mensch und Technik handelt.	Diese Unterstützungsbeziehung unterscheidet, ob sie <i>menschlich</i> oder <i>technisch</i> kontrolliert ist.

Insgesamt ergeben sich auf Basis der Relationen 2<sup>3</sup> grundlegende Muster von Unterstützungssystemen, die in Abbildung 18 dargestellt werden. Jedes mögliche Muster wird durch die drei Anfangsbuchstaben der jeweils kombinierten Relationen beschrieben.<sup>105</sup>

	Zeitverhältnis		Kopplungsform		Kontrollzuschreibung	
	<i>Desynchron</i>	<i>Synchron</i>	<i>Komplementär</i>	<i>Integriert</i>	<i>Artefakt-Kontrolle</i>	<i>Menschliche Kontrolle</i>
<i>DKA</i>	1	0	1	0	1	0
<i>DKM</i>	1	0	1	0	0	1
<i>DIM</i>	1	0	0	1	0	1
<i>DIA</i>	1	0	0	1	1	0
<i>SKM</i>	0	1	1	0	0	1
<i>SKA</i>	0	1	1	0	1	0
<i>SIA</i>	0	1	0	1	1	0
<i>SIM</i>	0	1	0	1	0	1

Abbildung 18: Grundlegende Muster von Unterstützungssystemen<sup>106</sup>

- Die Abszisse beinhaltet eine Gruppierung nach Ähnlichkeit der technischen Systeme, und zwar in Bezug auf ihr Größen- und Distanzverhältnis zum menschlichen Körper. Es werden hierbei fünf Körperrelationen unterschieden (Tabelle 8).<sup>107</sup>

Tabelle 8: Fünf Körperrelationen<sup>108</sup>

Getrennt	Umgebend	Körpernah	Tragbar	Implantiert
Artefakte, die einen eigenen Körper haben und prinzipiell auch unabhängig von	Artefakte deren Verkörperung verteilt und deren Einheit deshalb nicht direkt	Kleine bis körpergroße Geräte/Objekte, mit denen entweder	Artefakte, die direkt am Körper getragen bzw. befestigt werden. Ihre maximale	Artefakte, die über verschiedene Wege in den Körper implantiert bzw. gebracht

<sup>104</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.238f.

<sup>105</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.239

<sup>106</sup> R. Weidner; 2016; S.239

<sup>107</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.240

<sup>108</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.240



der räumlichen Nähe zum menschlichen Körper autonom oder bedienbar operieren können z.B. Roboter, Drohnen, Telemanipulationsobjekte.	wahrnehmbar ist z.B. Smart Homes.	rudimentäre Interaktion möglich ist oder ein Verhältnis der Bedienung besteht z.B. Mobiltelefone, klassische Werkzeuge, Hebehilfen.	Größe kann die eines menschlichen Körpers allenfalls minimal überschreiten z.B. Fitnessarmbänder, Hörgeräte, Brillen, Exoskelette.	werden. Sie werden dort mit körperinternen organischen Strukturen verbunden z.B. Schrittmacher, Elektroden, Datenpillen.
--	-----------------------------------	---	--	--

Ordnet man nun die technischen Artefakte dem jeweiligen Muster der Ordinate und der Gruppierung der Abszisse zu, ergibt sich das „Periodensystem“ zur Klassifikation technischer Unterstützungssysteme, wie Abbildung 19 zeigt.

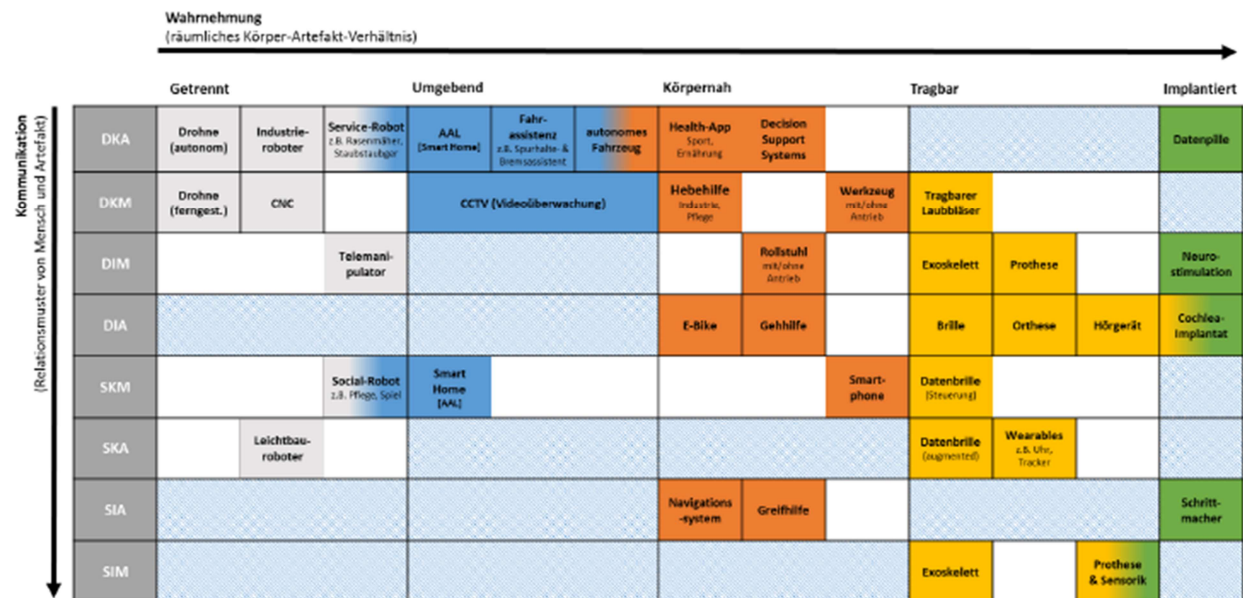


Abbildung 19: Periodensystem zur Klassifikation techn. Unterstützungssysteme<sup>109</sup>

Wie aus obiger Abbildung ersichtlich ist, weist die Matrix mehrere Leerstellen auf. Diese deuten darauf hin, dass noch Potentiale zu finden sind bzw. erhebt das dargestellte Periodensystem keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Möglicherweise gibt es bereits Technologien, die diese freien Plätze einnehmen können.<sup>110</sup>

Einen anderen Ansatz zur Taxonomie von Assistenzsystemen verfolgt (H. Wandke 2005), der sechs Phasen menschlicher Handlungen unterscheidet, welche durch technische Systeme unterstützt/assistiert werden können. Diese sechs Phasen werden im Folgenden vorgestellt:<sup>111</sup>

<sup>109</sup> R. Weidner; 2016; S.242

<sup>110</sup> vgl. R. Weidner; 2016; S.243f.

<sup>111</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.136

## 1. Motivation, Aktivierung und Zielsetzung:

Für jede Mensch-Maschine-Interaktion sollte es den Benutzern ermöglicht werden, die richtigen Ziele festzulegen und ausreichend motiviert und aktiviert zu sein, um Aktionen durchzuführen, damit diese Ziele tatsächlich erreicht werden können. In diesem Zusammenhang werden vier Typen technischer Assistenz unterschieden (Tabelle 9):<sup>112</sup>

**Tabelle 9: Technische Assistenz zur Motivation, Aktivierung und Zielsetzung<sup>113</sup>**

Aktivierungsassistenz	Coachassistenz	Warnungsassistenz	Orientierungsassistenz
Aufgabe dieser Assistenz ist es einen optimalen Level an Aktivierung aufrecht zu halten. Z.B. Systeme, die Fahrer davon abhalten am Steuer einzuschlafen, indem Müdigkeit durch Sensoren erfasst werden kann und der Fahrer durch Vibrationen des Lenkrades aktiviert werden kann.	Bezieht sich darauf das Motiv für eine laufende Aktivität aufrecht zu halten z.B. durch „please hold the line“ Nachrichten bei einer Hotline.	Die Aufgabe besteht darin Anwender von unerwünschten Handlungen abzuhalten z.B. akustische Einparkhilfen.	Diese Assistenz unterstützt das Auffinden und Setzen neuer Ziele z.B. beim Trouble-Shooting.

## 2. Wahrnehmung:

Voraussetzung für die Identifikation des Maschinenzustands ist, dass Benutzer Informationen aus der technischen Umgebung erhalten können. Diese Informationen müssen durch Signale angezeigt werden: solche Signale können zu schwach sein; einige können nur für kurze Zeit verfügbar sein, z.B. Verkehrszeichen während einer schnellen Fahrt. Es werden abermals vier Formen technischer Assistenz unterschieden (Tabelle 10):<sup>114</sup>

**Tabelle 10: Technische Assistenz zur Wahrnehmung<sup>115</sup>**

Displayassistenz	Verstärkungsassistenz	Wiederholungsassistenz	Präsentationsassistenz
Die Anzeigehilfe liefert nicht nur Signale, sondern stellt auch sicher, dass diese Signale als solche erkannt werden z.B. Head-Up Displays.	Hierbei werden Signale verstärkt, die zu klein sind für bestimmte Situationen oder bestimmte Anwender z.B. Systeme, die die Sicht beim Fahren bei Nebel oder Dunkelheit verbessern.	Diese Assistenz fügt dem ursprünglichen Signal neue Features hinzu z.B. das Anzeigen von verdeckten Verkehrsschildern auf der Instrumententafel des Fahrzeuges.	Hierbei kann die Präsentation von Informationen beeinflusst werden z.B. graphische oder numerische Darstellung, Auswahl verschiedener Sprachen.

<sup>112</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.136

<sup>113</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.137

<sup>114</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.138

<sup>115</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.138f.

### 3. Informationsintegration / Situationsbewusstsein:

Das Erkennen einer bestimmten Situation erfordert mehr als nur die Wahrnehmung eines oder mehrerer Signale: Der Benutzer muss auch das interpretieren, was er gesehen, gehört oder gefühlt hat. Interpretation bedeutet die Zuordnung von wahrgenommenen Signalen zu den Inhalten des Langzeitgedächtnisses. Drei Formen von Assistenz lassen sich hierbei unterscheiden (Tabelle 11):<sup>116</sup>

**Tabelle 11: Technische Assistenz für Informationsintegration / Situationsbewusstsein<sup>117</sup>**

Labellingassistenz	Übersetzungsassistenz	Erklärungsassistenz
Alle Arten von Text-, Symbol- oder Symbolbeschriftungen werden hinzugefügt, damit Benutzer verstehen, was angezeigt wird oder den möglichen Zweck einer bestimmten Schaltfläche erkennen.	Diese Systeme übersetzen Benutzereingaben und/oder Systemausgaben in die entsprechende Sprache.	Erklärung ist mehr als Beschriften und Dolmetschen. Es bietet zusätzliche Informationen, die sich auf die Interessen und das Vorwissen des Benutzers beziehen. Erklärungen können als Antworten auf mögliche WIE, WANN, WARUM und WAS FÜR Fragen des Benutzers verstanden werden z.B. Tutorials.

### 4. Entscheidungsfindung, Aktionsauswahl und Aktionsausführung:

Bediener oder Benutzer müssen sich entscheiden, entweder auf weitere Ereignisse zu warten oder zu handeln. Im letzteren Fall müssen sie entscheiden, was zu tun ist. Assistenz bezieht sich hier auf die Auswahl und teilweise auf die Ausführung von Aktionen. Die Unterstützung kann sich auf den Auswahlprozess beschränken oder die Unterstützung für die aktuelle Phase und die nachfolgende Phase der Aktionsausführung kombinieren. Sieben Formen technischer Assistenz werden unterschieden (Tabelle 12):<sup>118</sup>

<sup>116</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.139

<sup>117</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.140

<sup>118</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.140f.

**Tabelle 12: Techn. Assistenz zur Entscheidungsfindung, Aktionsauswahl und -ausführung<sup>119</sup>**

Versorgungsassistenz	Filterassistenz	Beratungsassistenz	Delegationsassistenz	Übernahmeassistenz	Informative Ausführungsassistenz	Stiller Ausführungsassistenz
Diese Assistenz liefert alle möglichen Handlungsoptionen.	Hierbei wird die Anzahl der möglichen Handlungsoptionen eingeschränkt.	Hierbei wird die Anzahl von Alternativen auf genau eine eingeschränkt und dem Anwender empfohlen z.B. bei Navigationssystemen. Der Anwender kann dem Vorschlag folgen oder ihn ignorieren.	Neben der Auswahl wird auch die Ausführung unterstützt. Es wird nur eine Option angeboten, der Anwender kann entscheiden ob er diese selbst ausführt oder das System ausführen lässt.	Hier wird die vorgeschlagene Option automatisch vom System ausgeführt. Der Anwender hat aber innerhalb eines bestimmten Zeitraums die Möglichkeit die ausgewählte Option abzulehnen.	Alle Handlungen werden vom System automatisch ausgeführt. Der Anwender hat in erster Linie überwachende Funktion und kann die Assistenz auch selbst abschalten z.B. Autopilot.	Das System führt Handlungen im Hintergrund aus, ohne den Anwender zu informieren z.B. automatisches Schaltgetriebe.

## 5. Aktionsausführung:

Dies beinhaltet Systeme, die die Ausführung von Handlungen der Anwender unterstützen, weil diese physisch zu schwach, zu stark, zu langsam oder zu spät sind. Alle diese System kompensieren menschliche Schwächen aber überlassen dem Anwender die vollständige Kontrolle. Fünf Formen von technischer Assistenz werden unterschieden (Tabelle 13):<sup>120</sup>

**Tabelle 13: Technische Assistenz zur Aktionsausführung<sup>121</sup>**

Leistungsassistenz	Limitassistenz	Dosierungsassistenz	Abkürzungsassistenz	Eingabeassistenz
Hierbei wird die Kraft des Anwenders verstärkt z.B. Bremsverstärker.	Dieser Assistent unterstützt ein bestimmtes festgelegtes oberes Limit nicht zu überschreiten z.B. Geschwindigkeitsbeschränkung.	Kombination des Leistungs- und Limitassistenten. Kommt meist in Regelungssystemen zum Einsatz z.B. bei Stabilisierungssystemen.	Hierbei werden lange Operationssequenzen soweit abgekürzt, dass nur ein oder wenige Handlungsschritte auszuführen sind z.B. Einstellungen des Sitzes oder Aircondition.	Eingabehilfe bietet dem Benutzer oder Bediener unterschiedliche Modi für die Eingabe von Befehlen und Daten einschließlich Ersatz von Tastendruck durch Spracheingaben oder zeigen statt benennen.

<sup>119</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.141ff.

<sup>120</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.143

<sup>121</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.143f.

## 6. Rückmeldung der Ergebnisse der Handlungen:

Benutzer müssen die Ergebnisse ihrer Aktion verstehen und bewerten, ob dieses Ergebnis mit ihren Erwartungen übereinstimmt oder nicht. In MMS kann das Ergebnis einer Aktion oft nicht direkt wahrgenommen werden. Infolgedessen benötigen Benutzer Hilfe, um (1) die Auswirkungen ihrer Handlungen zu erkennen und (2) diese Effekte als Erfolg oder Misserfolg zu interpretieren. Zwei Typen technischer Assistenz können unterschieden werden (Tabelle 14):<sup>122</sup>

**Tabelle 14: Technische Assistenz für Ergebnismrückmeldung<sup>123</sup>**

Feedbackassistenz	Kritikassistenz
<p>Der Benutzer sollte immer eine Rückmeldung zu jeder Änderung eines Systems oder Prozesses erhalten, die durch seine Aktion verursacht wird z.B. Parkassistent zeigt die Distanz zum dahinter geparkten Fahrzeug in Form einer sich ändernden Linienlänge oder Soundsequenz.</p>	<p>Der Benutzer erhält ein explizites Feedback, wie gut seine vorherige Aktion zur Erreichung des beabsichtigten Ziels beigetragen hat z.B. bei Trainings.</p>

Die Frage, die sich nun stellt, ist: Wie wählt man den passenden Typ von Assistenz aus? (H. Wandke 2005) erweitert zu diesem Zweck seine Taxonomie von Assistenzsystemen um eine weitere Dimension, die Anpassung. Es werden in diesem Zusammenhang vier Lösungsmöglichkeiten vorgestellt, statische Assistenz, angepasste Assistenz, adaptierbare Assistenz und adaptive Assistenz (Tabelle 15):

<sup>122</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.144

<sup>123</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.145

Tabelle 15: Arten von Anpassung der Assistenz<sup>124</sup>

Statische Assistenz	Angepasste Assistenz	Adaptierbare Assistenz	Adaptive Assistenz
Dieser Ansatz könnte als „Einheitsgröße“ bezeichnet werden, mit einem einzigen oder kombinierten Assistenzsystem, das für alle Benutzer in allen Situationen gleich funktioniert. Statische Systeme werden häufig eingesetzt, um grundlegende Prozesse der Verarbeitung und Verarbeitung menschlicher Informationen zu unterstützen, bei denen keine signifikanten individuellen Unterschiede festgestellt werden können und bei denen die Situationen nicht variieren z.B. elektronischer Bremsassistent im Auto.	Angepasste Assistenzsysteme sind auf die Bedürfnisse bestimmter Gruppen zugeschnitten, für bestimmte Aufgaben in bestimmten Kontexten. Die Anpassung des Systems erfolgt während des Entwurfs. Für die Anpassung ist eine sorgfältige Analyse der Anforderungen erforderlich, bevor das System entworfen wird.	Benutzer können das System an ihre spezifischen Bedürfnisse, Aufgaben, Situationen und Vorlieben anpassen. Solche Einstellungen können durch Auswahl und durch Einstellen der Parameter vorgenommen werden. Mehrfachauswahl und Abstimmungsprozesse werden als Konfiguration eines Assistenzsystems bezeichnet. Bei adaptierbarer Assistenz ist die Kontrolle für Änderungen immer in der Hand des Benutzers.	Hier wird die Einstellung vom System selbst vorgenommen. Auf der Grundlage von Echtzeitparametern oder zuvor gespeicherten kontextuellen Merkmalen ändert das System seine Parameter oder wählt verschiedene Arten der Unterstützung für den Benutzer aus. Bei adaptiver Assistenz liegt die Kontrolle über Änderungen immer in den Händen des Systems.

In diesem Zusammenhang wird klar, dass ein weiterer Aspekt beleuchtet werden muss, nämlich ob das System die Assistenz von sich aus (aktiv) zur Verfügung stellt, oder ein passives System vorliegt, das darauf wartet, eine Anfrage auf Assistenz vom Anwender zu empfangen. Daher wird eine dritte Dimension der Taxonomie von Assistenzsystemen eingeführt, die Initiative (Tabelle 16):<sup>125</sup>

Tabelle 16: Initiative von Assistenzsystemen<sup>126</sup>

Passive Assistenz	Aktive Assistenz
Passive Hilfe wird vom Benutzer initiiert. Natürlich muss der Benutzer drei Dinge wissen: (1) dass er Assistenz beim Bedienen oder Verwenden eines interaktiven Geräts benötigt, (2) dass es ein Assistenzsystem gibt, das diese Unterstützung bieten kann, und (3) wie man das System veranlasst, die richtige Assistenz zum richtigen Zeitpunkt bereitzustellen.	Aktive Hilfe wird vom System initiiert. Um aktiv zu sein, braucht es Informationen: Wann und unter welchen Bedingungen sollte es Hilfe anbieten? Im einfachsten Fall stehen diese Informationen bereits bei der Identifizierung des jeweiligen Benutzers zur Verfügung oder das System wird aktiv, wenn ein bestimmtes Merkmal gemessen wird. Die vom System eingeleiteten Vorgänge sind normalerweise viel schneller und die Ausführung präziser.

<sup>124</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.146f.

<sup>125</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.147

<sup>126</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.147f.

Eine letzte Dimension der Taxonomie von Assistenzsystemen besteht darin welche Präsentationsmedien und Eingabemodalitäten eingesetzt werden. Folgende Unterscheidungen werden gemacht (Tabelle 17):<sup>127</sup>

**Tabelle 17: Präsentationsmedien und Eingabemodalitäten von Assistenzsystemen<sup>128</sup>**

Monomediale Präsentation	Multimediale Präsentation	Implizite Präsentation	Monomodale Eingabe	Multimodale Eingabe	Keine explizite Eingabe
Text, Grafiken, Bilder, Töne und Sprache sind Beispiele für einzelne Medien, die für die Mensch-Computer-Interaktion (und für die Präsentation von Assistenz) verwendet werden.	Die Kombination mehrerer Medien bietet eine theoretisch unbegrenzte Anzahl von Präsentationen. Besonders beliebt sind anthropomorphe Charaktere.	Implizite oder nicht-mediale Unterstützung bedeutet, dass der Bediener die Hilfe nur durch seine Auswirkungen erfährt. Das System arbeitet im Hintergrund ohne den Benutzer explizit zu informieren (stille Ausführungshilfe).	Beispiele hierfür sind manuelle Aktionen wie das Bedienen von Steuerelementen, das Tippen, Zeigen, Klicken, Ziehen, Sprechen,...	Normalerweise können zwei oder drei, manchmal mehr Modi für die multimodale Eingabe kombiniert werden, um ein Assistenzsystem um Unterstützung zu bitten.	Aktive Assistenzsysteme arbeiten autonom und brauchen keine spezifische Benutzereingabe.

Leser, die an weiteren in der Literatur beschriebenen Ansätzen zur Taxonomie von Assistenzsystemen interessiert sind, werden auf (H. Wandke 2005) verwiesen. Ein grober Überblick ist auch bei (S. Henkel 2007) zu finden.

### 2.3.3 Einsatz und Nutzen von Assistenzsystemen

Wie bereits gezeigt werden konnte, gibt es eine Vielzahl von Assistenzsystemen. Mindestens genauso vielfältig gestaltet sich aber auch ihr Anwendungsbereich, der sich sowohl auf das Alltags-, als auch das Berufsleben erstreckt. Im Weiteren wird jedoch ausschließlich der Einsatz im Berufsleben, genauer im Bereich der industriellen Produktion adressiert. Diese industriellen Assistenzsysteme verfolgen eines oder mehrere der folgenden Ziele:<sup>129</sup>

- Reduktion der Komplexität und des Aufwands bei der Einarbeitung von Mitarbeiter/-innen unterschiedlicher Leistungsniveaus und fachlichem Hintergrund,
- Erhaltung bzw. Verbesserung der Motivation und Arbeitsfähigkeit von älteren und leistungsgeminderten Mitarbeiter/-innen,

<sup>127</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.148

<sup>128</sup> vgl. H. Wandke; 2005; S.148f.

<sup>129</sup> vgl. S. Wischmann und E.A. Hartmann; 2018; S.36



- Reduktion der Anzahl an Produktionsfehlern,
- Reduktion der kognitiven Beanspruchung und des Stresslevels der Mitarbeiter/-innen,
- Vorbeugung verschleißbedingter Erkrankungen und Unterstützung eines gesunden Arbeitsverhaltens durch Integration ergonomischer Elemente,
- Inklusion bzw. Wiedereingliederung leistungsgeminderter und -gewandelter Personen in die Arbeitsumgebung und
- Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen.

Gerade in der industriellen Produktion stellt das Handhaben hoher Bauteilgewichte eine physische Belastung der Mitarbeiter/-innen dar. Um diese zu entlasten werden vielfach Hilfsmittel, wie Krananlagen oder Handhabungsgeräte, eingesetzt. Auch der anhaltende Trend zur Automatisierung von Produktionssystemen führt zu einer Entlastung bzw. sogar zu einem Ersatz der Mitarbeiter/-innen. Obwohl alle diese technischen Systeme in der einen oder anderen Weise eine Unterstützung darstellen, weisen sie erhebliche Nachteile auf, wie mangelnde Flexibilität, hohe Investitionskosten und zeitintensiver Einsatz.<sup>130</sup>

In der industriellen Produktion, vor allem aber in der Montage, hat sich in den vergangenen Jahren der Trend zur Produktindividualisierung durchgesetzt, hin zur Losgröße „1“. Diese Entwicklung hat zur Folge, dass eine hohe Anzahl an Modellen und Produktvarianten hergestellt werden muss, um die spezifischen Kundenanforderungen zu erfüllen.<sup>131</sup> Es besteht daher die Notwendigkeit Produktionssysteme flexibel zu gestalten. Aufgrund seiner flexiblen Eigenschaften und Fähigkeiten, wird der Mensch in diesem Zusammenhang auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Durch die hohe Variantenzahl werden aber auch die Gewichte und Lasten, die die Mitarbeiter/-innen zu handhaben haben, variabler und vielfältiger werden.<sup>132</sup> Es gilt daher Assistenzsysteme zu finden und einzusetzen, die einerseits die Mitarbeiter/-innen bei physisch hoch belastenden manuellen Tätigkeiten unterstützen und so eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung realisiert werden kann, und andererseits einen hohen Grad an Flexibilität in der Anwendung ermöglichen.

Aktuelle technologische Entwicklungen zur Gestaltung von Montagearbeitsplätzen integrieren vermehrt Lösungen digitaler Vernetzung und physischer Assistenz. Physische Assistenzsysteme bezwecken eine physische Entlastung der Mitarbeiter/-innen durch Verbesserung der Kraftumleitung, Krafteinleitung, Kraftverstärkung, Stabilisierung, Abstützung, Verbesserung der Ergonomie oder der Präzision der Arbeitsausführung.<sup>133</sup> Beispiele dafür sind unter anderen, Handgabelhubwagen,

<sup>130</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.163

<sup>131</sup> vgl. S. Schlund et al.; 2018; S.3f.

<sup>132</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.148

<sup>133</sup> vgl. J. Wulfsberg; 2017.

Balancer, Cobots für die Mensch-Roboter-Zusammenarbeit, Exoskelette und andere Fähigkeitsverstärker.<sup>134</sup> Zwei dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Möglichkeiten werden im Folgenden präsentiert.

- Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) bzw. Cobots:

Der Begriff Kollaboration bezeichnet in der Robotik die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter und leitet sich aus dem Lateinischen „con“ (=mit) und „laborare“ (=arbeiten) ab.<sup>135</sup> Laut DIN EN ISO 10218-1 werden kollaborierender Betrieb und Kollaborationsraum wie folgt definiert:<sup>136</sup>

*„Kollaborierender Betrieb: Zustand, in dem hierfür konstruierte Roboter innerhalb eines festgelegten Arbeitsraums direkt mit dem Menschen zusammenarbeiten.“*

*„Kollaborationsraum: Arbeitsraum innerhalb des geschützten Bereichs, in dem der Roboter und der Mensch während des Produktionsbetriebs gleichzeitig Aufgaben ausführen können.“*

Der Begriff Cobot setzt sich aus den beiden englischen Wörtern „collaboration“ und „robot“ zusammen, zu Deutsch steht Cobot für kollaborativer Roboter.

Diese Form der Zusammenarbeit ermöglicht es, die Stärken beider Welten, nämlich die kognitiven Fähigkeiten und die Entscheidungsfähigkeit des Menschen und die Fähigkeiten der Automatisierungs- und Robotertechnik, wie das Tragen hoher Lasten, Präzision und unermüdlicher Einsatz zu vereinen. Die Mensch-Roboter-Kollaboration führt damit zu einer physischen Entlastung der Mitarbeiter/-innen bei gleichzeitiger Steigerung der Effektivität, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit. MRKs werden häufig auch als hybride Arbeitssysteme bezeichnet und sind daher als Produktionsform zwischen der rein manuellen und vollständig automatisierten Produktion einzuordnen.<sup>137</sup>

Werden diese Assistenzroboter in der Montage eingesetzt, können sie die Mitarbeiter/-innen bei stark monotonen und repetitiven Tätigkeiten unterstützen. Durch eine Gestaltung zum Einsatz an verschiedenen Arbeitsstationen können gezielt leistungsgeminderte Mitarbeiter/-innen unterstützt werden. Außerdem kann das Assistenzsystem gezielt bei Engpässen aufgrund schwankender Auftragsvolumina unterstützen. Vor allem in der Automobilindustrie, in der die Endmontage zum größten Teil manuell erfolgt, steigt der Bedarf an roboterassistierten Assistenzsystemen aus ergonomischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Die zurzeit eingesetzten technischen Hilfsmittel sind für die stetig steigende Variantenvielfalt und die immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen

<sup>134</sup> vgl. S. Schlund et al.; 2018; S.5

<sup>135</sup> R. Weidner et al.; 2015b; S.159

<sup>136</sup> Norm DIN EN ISO 10218-1:2012-01 (EN ISO 10218-1:2011 (D)); S.7

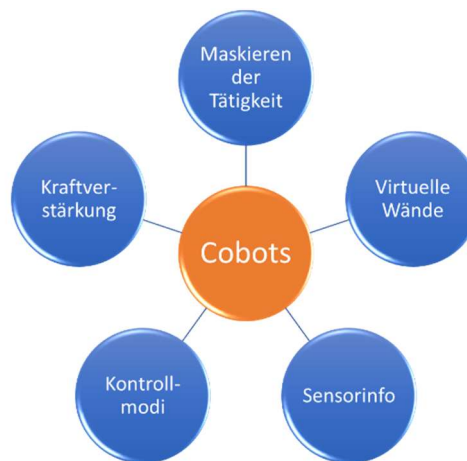
<sup>137</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.159

einerseits zu unflexibel, andererseits führen die gegenwärtig eingesetzten Hebehilfen häufig immer noch zu ergonomisch kritischen Arbeitsbedingungen.<sup>138</sup> Beim Einsatz von Cobots können drei verschiedene Operationsmodi angewandt werden (Tabelle 18):

**Tabelle 18: Operationsmodi eines Cobots<sup>139</sup>**

Hands-on-control mode	Hands-on-payload mode	Hands-off-control mode
Der Anwender übt über das Kontrollinterface (z.B. Griffe) eine physische Interaktion mit dem Cobot aus.	Als Reaktion auf die vom Anwender aufgebraachten Kräfte wird eine Nutzlast mit Hilfe des Cobots bewegt.	Der Cobot folgt ohne Krafteinwirkung des Menschen einem definierten Pfad, ähnlich dem eines herkömmlichen Robotersystems.

Die Funktionen der Cobots werden in Abbildung 20 dargestellt:



**Abbildung 20: Funktionen eines Cobots<sup>140</sup>**

- **Hebehilfen:**  
In der Montage aber auch in der Logistik werden Hebehilfen als Assistenzsysteme eingesetzt. Diese unterstützen die manuelle Lastenhandhabung und erlauben das Heben, Tragen und Umsetzen von Lasten ohne gesundheitliche Risiken, indem sie die auf den Menschen wirkenden Kräfte reduzieren. Grundsätzlich können hierbei stationäre von körpergetragenen Systemen unterschieden werden. Technische Maßnahmen für stationäre Arbeitsplätze sind z.B. Lastenmanipulatoren, Scherenhubtische, Vakuumheber und höhenverstellbare Arbeitstische. Der entscheidende Nachteil bei stationären Systemen ist der, der Ortsgebundenheit und damit eingeschränkter Flexibilität. Dadurch sind Anwender/-innen solcher

<sup>138</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.164f.

<sup>139</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.152

<sup>140</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.152

Systeme in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt und an einen festen Arbeitsplatz gebunden.<sup>141</sup>

Körpergetragene Hebehilfen erweisen sich im Hinblick auf geforderte Flexibilität als vorteilhafter gegenüber den stationären Systemen. Bei der Entwicklung von körpergetragenen Hebehilfen zur Reduktion der auf den menschlichen Körper wirkenden Kräfte ist vor allem eine ergonomisch sinnvolle Krafteinleitung in den Körper von entscheidender Bedeutung. Es muss verhindert werden, dass aufgenommene Kräfte z.B. in den Rücken oder andere Gelenke der Anwender/-innen eingeleitet werden und dort entsprechende unergonomische Belastungen und Schädigungen hervorrufen.<sup>142</sup>

In letzter Zeit haben in diesem Zusammenhang die Entwicklung und der Einsatz von Exoskeletten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Sie verleihen den Anwender/-innen mehr Kraft bzw. Ausdauer und bieten zusätzlich ein hohes Maß an Mobilität. Ihr Ziel ist es, die menschliche Leistungsfähigkeit über einen längeren Zeitraum aufrecht zu erhalten und gleichzeitig Muskel-Skelett-Erkrankungen vorzubeugen bzw. diese zu reduzieren.<sup>143</sup> Da der gesamte Themenkomplex der Exoskelette im nachfolgenden Kapitel (2.4) ausführlich behandelt wird, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen und auf das entsprechende Kapitel verwiesen. Abschließend werden in Abbildung 21 die wesentlichen Funktionen körpergetragener Hebehilfen dargestellt:



**Abbildung 21: Funktionen körpergetragener Hebehilfen<sup>144</sup>**

Der Nutzen der aus dem Einsatz von Assistenzsystemen resultiert, sowohl aus betriebs- als auch volkswirtschaftlicher Perspektive, lässt sich grob in drei Gruppen unterteilen, (1) dem kompensatorischen Nutzen im Sinne der Inklusion körperlich

<sup>141</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.149

<sup>142</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.149f.

<sup>143</sup> vgl. R. Neugebauer; 2017; S.166

<sup>144</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.151

eingeschränkter Personengruppen, (2) dem präventiven Nutzen zur Erhaltung der Gesundheit von Erwerbstätigen und (3) dem fähigkeitserweiternden Nutzen zur Steigerung der Arbeitsqualität aber auch des jeweiligen Potentials.<sup>145</sup> Einen Auszug liefert Tabelle 19:

**Tabelle 19: Nutzen von Assistenzsystemen<sup>146</sup>**

Kompensatorischer Nutzen	Präventiver / erhaltender Nutzen	Fähigkeitserweiternder Nutzen
Durch Kopplung von technischen Elementen und Funktionalitäten mit den biologisch physiologischen Voraussetzungen des Menschen, können Funktionseinbußen abgeschwächt und ausgeglichen werden und Kraftverfügbarkeit, Mobilität, Koordination und Feinmotorik verbessert werden. Somit können körperlich kranke oder behinderte Personen in das berufliche Leben wieder eingegliedert werden.	Durch vorbeugende unterstützende Maßnahmen mittels Integration von Mensch und Maschine kann der Eintritt von Funktionseinbußen verzögert oder sogar verhindert werden.	Durch die Unterstützung von Arbeitsvorgängen kommt es zu einer Erhöhung der Produktivität (auch mit zunehmendem Alter). Es kommt zu einer Steigerung der Wertschöpfung. Durch die sinkenden Invaliditäts- und Pflegequoten sinken die Lohnnebenkosten. Beides, die Zunahme der Produktivität und die Abnahme der indirekten Arbeitskosten wirken positiv auf die Entwicklung des Lohnstückkostenniveaus. Die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft steigt.
Reduktion der Komplexität und das Aufwands bei der Einarbeitung von Mitarbeitenden unterschiedlicher Leistungsniveaus und fachlichem Hintergrund.	Durch die Verringerung körperlich belastender Arbeit ist kurz- bis mittelfristig eine sinkende Invaliditätsquote zu erwarten. Dies reduziert die zukünftigen Ausgaben für Erwerbsminderungsrenten.	Ein Zuwachs der Produktivität kann auch eine Arbeitszeitverkürzung bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Lebensstandards mit sich bringen.
Reduktion der Anzahl an Produktionsfehlern.	Durch die resultierende Erhaltung der Erwerbsfähigkeit auch bei älteren Arbeitnehmern und der damit einhergehenden Erhöhung der Erwerbsquote, gibt es mehr Beitragszahler für die Sozialversicherungen, sodass die Sozialversicherungssysteme entlastet werden können.	Durch Unterstützungssysteme besteht die Möglichkeit der Potentialerweiterung. Auch können sich dadurch berufliche Tätigkeitsfelder verändern, die nun für zusätzliche Personengruppen attraktiv und ausführbar sind.

### 2.3.4 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Kapitel wurde das Themengebiet Unterstützungs- und Assistenzsysteme vorgestellt. Es wurde der Versuch unternommen die Begrifflichkeiten voneinander abzugrenzen und eine Klassifikation, sowie zwei Möglichkeiten einer Taxonomie von Assistenzsystemen präsentiert. Wie gezeigt werden konnte, ist es nicht möglich eine scharfe Grenze zwischen Unterstützungs- und Assistenzsystemen zu ziehen. Die

<sup>145</sup> vgl. W. Apt et al.; 2018; S.29

<sup>146</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015b; S.103ff.

Grenzen gehen vielmehr fließend ineinander über. Vielfach werden die beiden Begriffe auch synonym verwendet. Auch der Versuch eine einheitliche, allgemein gültige Taxonomie vorzustellen scheiterte daran, dass es in der bis heute vorhandenen Literatur eine solche nicht gibt. Vielmehr lässt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze zur Taxonomie finden.

Anschließend wurde der Einsatz und Nutzen von Assistenzsystemen, insbesondere im Hinblick auf die industrielle Produktion, besprochen. Zunächst wurden die Ziele, die mit dem Einsatz solcher Systeme verfolgt werden, vorgestellt und danach die Anforderungen für die Anwendung in der Praxis beschrieben. Basierend darauf konnten zwei, dem Stand der Technik entsprechende, industrielle Assistenzsysteme vorgestellt werden, die Mensch-Maschine-Kollaboration bzw. Cobots und Hebehilfen, insbesondere die körpergetragenen Hebehilfen. Abschließend wurde noch ein Auszug über den Nutzen von Assistenzsystemen präsentiert.

Insgesamt konnte in diesem Kapitel gezeigt werden, dass der Einsatz von Assistenzsystemen einen wesentlichen Beitrag dazu leisten kann, den zuvor beschriebenen Herausforderungen des demografischen Wandels, der arbeitsbedingten Erkrankungen und ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung, sowie den Herausforderungen in der industriellen Produktion, zu begegnen.

Die körpergetragenen Hebehilfen, genauer Exoskelette, werden ab diesen Zeitpunkt den Inhalt und den weiteren Verlauf dieser Arbeit dominieren. Gleich im nächsten Kapitel werden die Grundlagen bezüglich Exoskelette präsentiert, wobei der Fokus vor allem auf jene Exoskelette gerichtet wird, die sich für den Einsatz in der industriellen Produktion eignen.

## 2.4 Exoskelette in der industriellen Produktion

In diesem Kapitel wird der Einsatz von Exoskeletten als Assistenzsystem in der industriellen Produktion besprochen. Zu Beginn wird erklärt, was Exoskelette eigentlich sind und wie diese klassifiziert werden können. Danach wird auf die Effekte bzw. den Nutzen von Exoskeletten eingegangen und sowohl die positiven als auch die negativen Aspekte, die mit deren Anwendung einhergehen, besprochen. Zuletzt werden die vorhandenen Standards, die beim industriellen Einsatz von Exoskeletten beachtet werden müssen, vorgestellt und ein Überblick über den gegenwärtigen Stand der Technik gegeben.



### 2.4.1 Was sind Exoskelette?

Exoskelette können definiert werden, als körpergetragene, externe mechanische Stützstrukturen, zum Zweck der Leistungssteigerung des Anwenders.<sup>147</sup> Die Exoskelett-Technologie konzentrierte sich ursprünglich auf militärische Anwendungen und Anwendungen im Bereich der Medizin, vor allem zu Rehabilitationszwecken. Erst in den letzten Jahren wurde die Aufmerksamkeit auf den Einsatz in der produzierenden Industrie gerichtet. Sämtliche weiteren Betrachtungen innerhalb dieser Arbeit, beziehen sich ausschließlich auf Exoskelette für industrielle Anwendungen.

Der wesentliche Vorteil von Exoskeletten ist die Kombination von Flexibilität und Leistungssteigerung. Sie können außerdem dann eingesetzt werden, wenn herkömmliche technische Lösungen nicht anwendbar sind und tragen dazu bei die Lücke zwischen der rein manuellen Tätigkeit und der vollständig automatisierten Produktion zu schließen.<sup>148</sup> Industrielle Exoskelette zielen nicht nur darauf ab, den bereits mehrfach erwähnten Anforderungen und Herausforderungen der industriellen Produktion zu genügen, sondern vor allem darauf, die körperliche Belastung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen zu reduzieren und somit arbeitsbedingten Erkrankungen, insbesondere des Muskel-Skelettsystems, entgegenzusteuern. Eine Definition für industrielle Exoskelette, könnte daher wie folgt lauten:

*„Das industrielle Exoskelett ist „ein benutzergeführter Roboter, der von seinem Anwender getragen oder eng an dessen Körper anliegt, um Aktionen zu unterstützen oder auszuführen, die direkt zur Verbesserung der Arbeitsqualität des Anwenders beitragen, indem die Funktionen des Bewegungsapparates bei der Ausführung physischer Arbeit verbessert werden.“<sup>149</sup>*

Zusammengefasst, werden mit Exoskeletten folgende Wirkungen angestrebt:<sup>150</sup>

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

Geeignet kann der Einsatz von Exoskeletten für folgende Personen sein (in Abhängigkeit des jeweiligen Verwendungszweckes):<sup>151</sup>

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

<sup>147</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.671

<sup>148</sup> vgl. S. Spada et al.; 2017; S.1256

<sup>149</sup> vgl. J. Van der Vorm et al.; 2015; S.4

<sup>150</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.1

<sup>151</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.1

- Personen mit vorübergehenden gesundheitlichen Einschränkungen des Bewegungsapparates,
- Personen mit permanenten körperlichen Fähigkeitseinschränkungen des Bewegungsapparates.

## 2.4.2 Klassifizierung von Exoskeletten

Es gibt mehrere Gesichtspunkte anhand derer sich Exoskelette einteilen lassen. Eine sehr weit verbreitete Einteilung ist die nach der Art ihrer Betätigung, in aktive und passive Exoskelette:

Eine aktives Exoskelett beinhaltet einen oder mehrere Aktuatoren, die die Kraft des Menschen erhöhen und dabei helfen menschliche Gelenke zu betätigen. Diese Exoskelette bzw. ihre Aktuatoren könne mittels Elektromotoren, hydraulisch oder pneumatisch betrieben werden.<sup>152</sup>

Bei einem streng passiven System wird kein Aktuator verwendet, sondern es werden Materialien, Federn oder Dämpfer verwendet, um die durch menschliche Bewegung gewonnene Energie zu speichern und diese bei Bedarf zur Unterstützung einer Haltung oder Bewegung zu verwenden. Ein passives Exoskelett kann beispielsweise Energie speichern, wenn sich eine Person nach vorne beugt, und während sie sich in dieser Position befindet, kann diese Energie entweder die Person dabei unterstützen die Position zu halten oder den Körper beim Anheben eines Objektes aufzurichten.<sup>153</sup>

Abbildung 22 zeigt exemplarisch ein passives und ein aktives Exoskelett:



**Abbildung 22: links: Mate von Comau (passives Exoskelett), rechts: Atoun Model A (aktives Exoskelett)<sup>154,155</sup>**

<sup>152</sup> vgl. R.A. Gopura und K. Kiguchi; 2009; S.181

<sup>153</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.671f.

<sup>154</sup> <https://www.comau.com/Download/our-competences/robotics/>; zuletzt geprüft am: 27. März 2019

<sup>155</sup> <http://atoun.co.jp/products/atoun-model-a>; zuletzt geprüft am: 27. März 2019

Einen Überblick über passive und aktive Exoskelette liefert Tabelle 20:

**Tabelle 20: Passive und aktive Exoskelette<sup>156</sup>**

	Passive Exoskelette	Aktive Exoskelette	
<b>Eigenschaften</b>	Passive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Bewegungen	Aktive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Lastenhandhabungen	Aktive (Voll-) Unterstützung der Körpersegmente bei Haltung und Bewegung inkl. Lastenhandhabungen
<b>Unterstützte Körperregion</b>	Beine/Rumpf/Arme/ Kombinationen/ Ganzkörper	Beine/Rumpf/Arme/ Kombinationen	Beine/Rumpf/Arme/ Kombinationen/ Ganzkörper
<b>Funktionsweise</b>	Mech. Feder/ Gasdruckfeder/ggfs. max. Beugwinkelbegrenzung (Stützfunktion), ggf. Funktion schaltbar (an/ aus)	Elektrischer/ pneumatischer/ hydraulischer Antrieb mit einfacher Regelungsfunktion, Stärke der Unterstützung einstellbar	Elektrischer/ pneumatischer/ hydraulischer Antrieb mit komplexer Regelungs-/ Steuerungsfunktion (Bewegungsprogramme, neurophysiologische Sensorik)
<b>Energiezufuhr</b>	Keine oder Speicherung von Energie beim Beugen vorzugsweise durch die Schwerkraft und teilweise Rückgewinnung beim Aufrichten entgegen der Schwerkraft	Akku/Druckluft/ Stromnetz	Akku/Druckluft/ Stromnetz

Zur Vollständigkeit muss an dieser Stelle angeführt werden, dass es außer aktiven und passiven Exoskeletten auch noch eine dritte Art, nämlich hybride Exoskelette gibt. Genau genommen handelt es sich hierbei um eine Erweiterung der aktiven Exoskelette. Hybride Exoskelette verwenden elektrisch gesteuerte Aktuatoren (z.B. Elektromotor, Pneumatik, Hydraulik, etc.) in Kombination mit FES (Functional Electrical Stimulation), um dem Anwender bzw. der Anwenderin eine aktive Unterstützung zu bieten. Ein hybrides Exoskelett kann dadurch insgesamt leichter und somit tragbarer sein, als ein nicht-hybrides Exoskelett.<sup>157</sup>

Weitere Möglichkeiten Exoskelette zu klassifizieren sind folgende:

- **Unterstützte Körperregion:**  
Zusätzliche Kraft oder Unterstützung für die unteren Extremitäten (Unterkörper-Exoskelett, lower body exoskeleton), für die oberen Extremitäten (Oberkörper-Exoskelett, upper body exoskeleton), sowie Ganzkörper-Exoskelette (full-body)

<sup>156</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.2

<sup>157</sup> vgl. A.M. Stewart et al.; 2017; S.15170

exoskeleton). Zusätzlich gibt es auch Exoskelette, die nur einzelne Gelenke des Körper unterstützen z.B. Handgelenk oder Gelenke der Wirbelsäule.<sup>158</sup>

- Anthropometrie:

Exoskelette können auch danach klassifiziert werden, wie sehr sie der menschlichen Anthropometrie entsprechen oder ähneln. Anthropomorphe Exoskelette haben Exoskelettgelenke mit Rotationsachsen, die auf die Rotationsbewegungen der menschlichen Gelenke ausgerichtet sind, was bei nicht-anthropomorphen Typen nicht der Fall ist. Ein vollständig anthropomorpher Typ ermöglicht es dem Exoskelett-Roboter, die gleichen Bewegungen wie der Träger auszuführen, wodurch eine große Bewegungsfreiheit geboten wird. Diese Systeme stellen jedoch große Designherausforderungen dar, um einen engen Sitz für Anwender und Anwenderinnen unterschiedlicher Größe sicherzustellen und gleichzeitig natürliche Bewegungen der Anwender/-innen zu berücksichtigen.<sup>159</sup>

### 2.4.3 Anforderungen an Exoskelette

Exoskelette zielen im Allgemeinen darauf ab Unterstützung bereit zu stellen, für: gebeugte Arbeitshaltungen, statisches Halten einer Last, dynamisches Heben und Absenken eines Gewichtes. Manchmal wird auch das Tragen von Lasten als unterstützende Tätigkeit dazu gezählt.<sup>160</sup> Eine erfolgreiche Implementierung von industriellen Exoskeletten bleibt dennoch eine Herausforderung, da das Exoskelett an den Anwender bzw. die Anwenderin angepasst werden muss. Dazu müssen die Eigenschaften des menschlichen Körpers, die Erwartungen der Anwender/-innen und die Anforderungen der Arbeitsumgebung bei der Konzeptionierung eines Exoskelettes berücksichtigt werden.<sup>161</sup>

Bei industriellen Applikationen hat man es häufig damit zu tun, dass Aufgaben mit unterschiedlich schwer zu handhabenden Objekten durchzuführen sind und ein häufiger Wechsel zwischen Haupt- und Nebenaufgaben stattfindet. Weiters können die manuellen Tätigkeiten zu verschiedenen Belastungen führen und zudem unterschiedliche Charakteristika bezüglich Masse, Bewegungsgeschwindigkeit und Zeit aufweisen. Die zentralen Anforderungen an ein Exoskelett können sich daher signifikant voneinander unterscheiden.<sup>162</sup>

Die primäre Aufgabe besteht darin die notwendigen Bewegungen der Anwender/-innen zu ermöglichen. Dies kann entweder durch eine geeignete Kopplung von harten Strukturelementen über diskrete Freiheitsgrade realisiert werden, oder mittels weichen

---

<sup>158</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.672

<sup>159</sup> vgl. H. Lee et al.; 2012; S.1492

<sup>160</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.672

<sup>161</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.679

<sup>162</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015a; S.597f.

(Textil-) Elementen, wie Gurten oder Seilen, die zusätzlich oder alternativ eingesetzt werden können. Je nach vorliegendem Kontext sind daher andere Gestaltungsvarianten zu bevorzugen.<sup>163</sup> Die zentralen Anforderungen an Exoskelette werden in Abbildung 23 dargestellt:



Abbildung 23: Zentrale Anforderungen an Exoskelette<sup>164</sup>

Bei der Integration von Exoskeletten an Arbeitsplätzen ist es unabdingbar eine objektive Beurteilung durchzuführen. Die Einflüsse durch den Einsatz von Exoskeletten auf das Produktionssystem, durch neue Fähigkeiten oder erhöhter Flexibilität bei großer Produktvielfalt durch intuitive Bedienbarkeit, aber vor allem auch die ergonomischen Einflüsse auf die Arbeiter/-innen sind hier von Bedeutung. Eine schnelle und komfortable Planung und Bewertung hinsichtlich Produktion und Ergonomie bei der Integration von Exoskeletten in die Produktion kann z.B. mit Hilfe von Simulationen durchgeführt werden.<sup>165</sup> Wie eine exoskelettbasierte Arbeitsplatzgestaltung mit Hilfe von Simulation stattfinden kann und welche Software dafür geeignet ist, wird in den Arbeiten von (C. Constantinescu und C. Dahmen 2018), (C. Constantinescu et al. 2016) und (W. Bauer et al. 2017) vorgestellt.

## 2.4.4 Effekte beim Einsatz von Exoskeletten

*Passive Exoskelette:*

Tabelle 21: Positive und negative Effekte passiver Exoskelette<sup>166,167</sup>

Positive Effekte	Negative Effekte
Reduktion der Muskelaktivität beim Heben und Senken von Objekten, beim statischem Halten von Lasten auch in gebeugter Körperhaltung und bei Überkopparbeit.	Eine Reduktion der Aktivität einer Muskelgruppe kann dazu führen, dass andere Muskeln als Ausgleich, einen höheren Grad an Aktivität aufweisen müssen.

<sup>163</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015a; S.598

<sup>164</sup> R. Weidner et al.; 2015a; S.598

<sup>165</sup> vgl. C. Constantinescu und C. Dahmen; 2018; S.393

<sup>166</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.677ff.

<sup>167</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015a; S.600

Bei repetitiven Tätigkeiten (mehrfachem anheben und senken von Lasten) wird der Eintritt von Muskelschwäche zu späteren Zeitpunkten verschoben bzw. tritt Muskelschwäche deutlich weniger oft auf.	Anstieg der Muskelaktivitäten anderer Muskelgruppen, um äußere Kräfte ausgleichen zu können, um das Gleichgewicht sowohl bei statischen als auch dynamischen Beanspruchungen aufrecht zu erhalten.
Reduktion der internen Kräfte in der Wirbelsäule, vor allem Reduktion der Kompressionskräfte im Lumbalbereich (bei Exoskeletten die den Rücken entlasten).	Durch permanentes Tragen kann es zum Abbau der unterstützten Muskulatur kommen.
Erhöhung der Ausdauer und Leistungsfähigkeit der Muskulatur.	Erhöhung der Muskelaktivität v.a. der Beinmuskulatur durch Veränderung der Hebetchnik durch Anwendung des Exoskelettes.
Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit.	Die Rotationsbewegung in jedem Gelenk erfordert eine Bewegung zwischen der Haut und der Skelettstruktur. Um dies während der Bewegung zu berücksichtigen, sollte das Exoskelett idealerweise verlängert oder verkürzt werden. Dies ist ein Designmerkmal, das nicht so einfach zu realisieren ist, v.a. wenn das Exoskelett von mehreren Anwendern unterschiedlicher Körperabmessungen getragen werden soll (ist bei passiven Exoskeletten weniger stark ausgeprägt als bei aktiven).
Bei eng am Körper anliegender Gestaltung, nehmen die Exoskelette wenig Raum ein und schränken die körperliche Bewegungsfreiheit nicht ein.	Durch das lange oder auch durchgehende Tragen von Exoskeletten können lokalisierte Druckstellen zu mangelndem Tragekomfort führen oder auch zu Verletzungen der Anwender führen.
Durch die Reduktion körperlicher Belastung kommt es als Sekundäreffekt zu einer gesteigerten Konzentrationsfähigkeit.	Die negativen Aspekte können zu mangelnder Akzeptanz der Anwender führen.
Reduktion der Fehlerquote durch Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit.	Zurzeit gibt es noch keine Standards, die den spezifischen Einsatz von Exoskeletten in der Industrie adressieren (siehe 2.4.5).

### Aktive Exoskelette:

**Tabelle 22: Positive und negative Aspekte aktiver Exoskelette<sup>168,169</sup>**

Positive Effekte	Negative Effekte
Reduktion der Muskelaktivität beim Heben und Senken von Objekten, beim statischem Halten von Lasten auch in gebeugter Körperhaltung und bei Überkopparbeit.	Mit zunehmender Anzahl der unterstützten Gelenke und damit zunehmender Anzahl notwendiger Aktuatoren, können die Exoskelette schnell ein hohes Eigengewicht annehmen.
Bei repetitiven Tätigkeiten (mehrfachem anheben und senken von Lasten) wird der Eintritt von Muskelschwäche zu späteren Zeitpunkten verschoben bzw. tritt Muskelschwäche deutlich weniger oft auf.	Durch die Anzahl an Aktuatoren und der notwendigen Energieversorgung können aktive Exoskelette außerdem große äußere Abmessungen annehmen. Im Einsatz wird daher auch ein entsprechender Manövrierraum benötigt.
Aktive Exoskelette haben ein größeres Potential zur Verringerung körperlicher Belastungen als passive Exoskelette.	Je nach Antrieb kann die örtliche Flexibilität stark eingeschränkt sein v.a. bei pneumatischem und hydraulischem Antrieb.

<sup>168</sup> vgl. T. Bosch et al.; 2016; S.678ff.

<sup>169</sup> vgl. R. Weidner et al.; 2015a; S.600



Erhöhung der Ausdauer und Leistungsfähigkeit der Muskulatur.	Die Bewegungen des Arbeiters werden durch das Exoskelett kopiert, d.h. die Gliedmaßen des Menschen und das Exoskelett werden während der Bewegung ausgerichtet. Dies erfordert die Erkennung der Bewegungsabsicht des Menschen, um die geeigneten Reaktionen der Stellglieder des Exoskeletts einzuleiten. Die Abgrenzung zwischen beabsichtigten von unbeabsichtigten Bewegungen ist oft schwierig und führt zu Systemen mit vielen verschiedenen Arten von Sensoren und komplexer Signalverarbeitung.
Aktive Exoskelette haben die Fähigkeit gleichzeitig mehrere Gelenke zu entlasten. Passive Exoskelette können das in Normalfall nicht und sind in den meisten Fällen auf ein Körpergebiet beschränkt.	Durch permanentes Tragen kann es zum Abbau der unterstützten Muskulatur kommen (diese Gefahr ist bei aktiven Exoskeletten größer als bei passiven).
Bei eng am Körper anliegender Gestaltung, nehmen die Exoskelette wenig Raum ein und schränken die körperliche Bewegungsfreiheit nicht ein (kann besser mit passiven Exoskeletten realisiert werden).	Die Rotationsbewegung in jedem Gelenk erfordert eine Bewegung zwischen der Haut und der Skelettstruktur. Um dies während der Bewegung zu berücksichtigen, sollte das Exoskelett idealerweise verlängert oder verkürzt werden. Dies ist ein Designmerkmal, das nicht so einfach zu realisieren ist, v.a. wenn das Exoskelett von mehreren Anwendern unterschiedlicher Körperabmessungen getragen werden soll.
Durch die Reduktion körperlicher Belastung kommt es als Sekundäreffekt zu einer gesteigerten Konzentrationsfähigkeit.	Durch das lange oder auch durchgehende Tragen von Exoskeletten können lokalisierte Druckstellen zu mangelndem Tragekomfort führen oder auch zu Verletzungen der Anwender führen.
Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit.	Die negativen Aspekte können zu mangelnder Akzeptanz der Anwender führen.
Reduktion der Fehlerquote durch Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit.	Zurzeit gibt es noch keine Standards, die den spezifischen Einsatz von Exoskeletten in der Industrie adressieren (siehe 2.4.5).

### 2.4.5 Standards für industrielle Exoskelette

Tatsächlich existieren zurzeit keine spezifischen, auf Exoskelette ausgerichtete Standards, die den Einsatz und die Handhabung von Exoskeletten in der Industrie adressieren. Obwohl gerade aktive Exoskelette als Assistenzsystem ein hohes Potential aufweisen, die Leistung und Kapazität von Arbeitern und Arbeiterinnen zu erhöhen, dürfte es aufgrund der Anforderungen des industriellen Umfeldes und des derzeitigen Mangels an Standards erst in einigen Jahren zu einem weitverbreiteten Einsatz in der verarbeitenden Industrie kommen.<sup>170</sup>

Einfacher gestaltet sich der Einsatz bei passiven Exoskeletten, die zwar weniger effektiv sind, verglichen mit dem aktiven Typ, aber leichter in die Montagelinie eingeführt werden können. Sie sind leichter, es ist keine Steuerung notwendig und es gibt keinen Engpass bei den Standards. Derzeit werden mehrere passive Exoskelette

<sup>170</sup> vgl. S. Spada et al.; 2017; S.1256

eingesetzt, um Mitarbeiter hauptsächlich bei Montagetätigkeiten zu unterstützen. Viele dieser Exoskelette sind jedoch Prototypen und noch nicht im Handel.<sup>171</sup>

Grundsätzlich ist auch bei der Verwendung von Exoskeletten am Arbeitsplatz, der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin gemäß Arbeitsschutzgesetz zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung verpflichtet. Dabei gilt es Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten zu ermitteln und zu bewerten, sowie wirksame Schutzmaßnahmen inkl. Unterweisungen abzuleiten und umzusetzen.<sup>172</sup>

Es ist zu beachten, dass bei aktiven Exoskeletten, bei denen elektrische, hydraulische oder pneumatische Antriebe die menschliche Kraft unterstützen und verstärken, eine Fehlfunktion zu Verletzungen der Anwender/-innen führen kann. Für mechanische Einwirkungen, die funktionsgemäß oder wegen einer Fehlfunktion auf den menschlichen Körper einwirken, wären die für kollaborierende Roboter biomechanischen Grenzwerte, nach DIN ISO TS 15066<sup>173</sup>, ein Ansatz. Weiters muss berücksichtigt werden, dass es im Zusammenhang mit Exoskeletten auch zu Stolper- oder Sturzunfällen kommen kann. Tritt ein derartiger Unfall ein, ist das Risiko groß, dass Anwender/-innen aufgrund des zusätzlichen Gewichtes oder der ausladenden mechanischen Komponenten schwere Verletzungen davontragen. Es muss außerdem untersucht werden in wie fern es Anwender/-innen bei einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation möglich ist, mit dem angelegten Exoskelett schnell und sicher zu flüchten.<sup>174</sup>

Im Wesentlichen werden die sicherheitstechnischen Anforderungen vom tatsächlichen Einsatzzweck anhängig sein. Die sich daraus ergebende Zuordnung von Exoskeletten zum jeweiligen Geltungsbereich einer EU Richtlinie befindet sich auf europäischer Ebene derzeit noch in Diskussion. Eine Möglichkeit wäre die Zuordnung als technisches Hilfsmittel zur Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Die im Anhang 1 dieser Richtlinie beschriebenen, verbindlichen Schutzziele können bereits jetzt als Anhaltspunkte für die Vermeidung von Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit herangezogen werden. Da Exoskelette als personengebundene Maßnahme, Beschäftigte vor einer Überlastung durch Hebe- und/oder Tragetätigkeiten und/oder Tätigkeiten mit Zwangshaltungen schützen sollen, ist auch eine Zuordnung zur PSA-Richtlinie 89/686/EWG (Persönliche Schutzausrüstung) möglich. Diese Richtlinie wird schrittweise bis 2019 durch die europäische PSA-Verordnung (EU) 2016/425 ersetzt.<sup>175</sup>

<sup>171</sup> vgl. S. Spada et al.; 2017; S.1256

<sup>172</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.3

<sup>173</sup> Norm DIN ISO/TS 15066 (DIN SPEC 5306):2017-04; S.30ff.

<sup>174</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.4

<sup>175</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.3

Was die Entwicklung von Exoskeletten im Industriebereich betrifft, existiert bisher auch noch keine Produktnorm. Es ist jedoch empfehlenswert, sich zumindest an bereits existierenden Normen zu orientieren, z.B. an der DIN EN ISO 13482:2014-11 „Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter“ oder an der DIN EN ISO 10218-1/2 „Industrieroboter“. Bei der Entwicklung von Exoskeletten muss darüber hinaus darauf geachtet werden, dass die Schnittstelle Mensch-Maschine ergonomisch gestaltet wird. Es darf nicht zu zusätzlichen ungünstigen Belastungen kommen. Dabei stellt die komfortable Handhabung, wie geringer Aufwand beim An- und Ablegen, eine zusätzliche Voraussetzung dar.<sup>176</sup> Tabelle 23 beinhaltet eine Übersicht über die derzeit geltenden Normen zur Entwicklung von Exoskeletten:

**Tabelle 23: Standards zur Entwicklung von industriellen Exoskeletten<sup>177</sup>**

Norm	Inhalt
DIN EN ISO 13482:2014: Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter <sup>178</sup>	Legt Anforderungen und Richtlinien für die sichere Auslegung, Schutzmaßnahmen und Informationen für persönliche Assistenzroboter fest. Dies ist der einzige veröffentlichte Standard, in dem der Begriff Exoskelett für einen physischen Assistenzroboter verwendet wird.
DIN EN ISO 10218-1:2011: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter <sup>179</sup>	Legt Anforderungen und Richtlinien für die inhärente sichere Auslegung, Schutzmaßnahmen und Informationen für den Einsatz von Industrierobotern fest.
DIN EN ISO 10218-2:2011: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration <sup>180</sup>	Legt Anforderungen an die Integration von Industrierobotern und Industrierobotersystemen gemäß ISO 10218-1 fest.

Was die Entwicklung von Exoskeletten betrifft, muss zur Vollständigkeit noch erwähnt werden, dass Exoskelette selbstverständlich auch umgebungstauglich sein müssen. Das gilt vor allem für den Einsatz im Freien. So müssen diese unter Anderem unempfindlich sein gegenüber Staub, Nässe sowie witterungsbedingter Hitze- und Kälteeinwirkungen. Auch in diesen Fällen muss das Exoskelett störungsfrei arbeiten können und angenehm zu tragen sein. Außerdem muss eine einfache Reinigung als Folge erwartbarer Verschmutzung möglich sein.<sup>181</sup>

<sup>176</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.6

<sup>177</sup> vgl. J. Van der Vorm et al.; 2015; S.5

<sup>178</sup> Norm DIN EN ISO 13482:2014-11 (EN ISO 13482:2014 (D)).

<sup>179</sup> Norm DIN EN ISO 10218-1:2012-01 (EN ISO 10218-1:2011 (D)).

<sup>180</sup> Norm DIN EN ISO 10218-2:2012-06 (EN ISO 10218-2:2011 (D)).

<sup>181</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.6

## 2.4.6 Stand der Technik

Zusammenfassend und dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechend, lässt sich durch den Einsatz von Exoskeletten am Arbeitsplatz folgender zumindest potenzieller Nutzen ableiten:<sup>182</sup>

- Senkung physischer Belastungen am Arbeitsplatz,
- Verringerung muskuloskelettaler Beschwerden,
- Reduktion arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren,
- Reduktion von Fehlzeiten,
- Reduktion des Unfallgeschehens,
- Erhöhung des Arbeitskomforts,
- Steigerung der Produktivität und Qualität,
- Erhöhung der Wertschöpfung,
- Erhöhung der Einsatzmöglichkeiten leistungsgewandelter Menschen.

Neben dem Nutzen beinhaltet der Einsatz von Exoskeletten auch ein gewisses Gefährdungspotential für die Anwender (Tabelle 24):

**Tabelle 24: Gefährdungspotential durch den Einsatz von Exoskeletten<sup>183</sup>**

Gefährdung der Arbeitssicherheit	Gefährdung der Gesundheit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• durch Fehlfunktionen und Störungen</li> <li>• durch fehlende Sicherheitsstandards</li> <li>• durch Einsatz an ungeeigneten Arbeitsplätzen (Kollisionsgefahr)</li> <li>• durch Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle</li> <li>• durch Notfälle am Arbeitsplatz (z.B. im Brandfall)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• durch Erhöhung der Belastung (z.B. höhere Lastgewichte)</li> <li>• durch Verlagerung der Belastung (Lastumverteilung)</li> <li>• durch Verlagerung der Muskelaktivität</li> <li>• durch Reduzierung der Rückenmuskulatur</li> <li>• durch Druckstellen (Verletzungen der Haut)</li> <li>• durch Durchblutungsstörungen (z.B. bei Überkopfarbeiten)</li> <li>• durch psychische Belastung</li> <li>• Langzeitauswirkungen durch die Nutzung sind bisher noch unbekannt</li> </ul>

Um die positiven Aspekte, die sich durch den Einsatz von Exoskeletten am Arbeitsplatz ergeben, nutzen zu können, ist es unumgänglich die Akzeptanz der Anwender/-innen zu erhöhen. Die Anforderungen zur Erhöhung der Akzeptanz lassen sich wie folgt zusammenfassen:<sup>184</sup>

- Ergonomische und benutzerfreundliche Gestaltung: zur Erreichung eines hohen Tragekomforts ist ein geringes Eigengewicht der Exoskelette notwendig. Darüber

<sup>182</sup> vgl. R. Schick; 2018; S.6

<sup>183</sup> vgl. R. Schick; 2018; S.24f.

<sup>184</sup> vgl. R. Schick; 2018; S.26

hinaus müssen diese auch individuell einstellbar sein. Außerdem ist eine einfache Handhabung, im Hinblick auf das An- und Ablegen der Exoskelette, erforderlich.

- Störungsfreie Funktion,
- Wetter- und Umgebungstauglichkeit,
- Nebentätigkeiten sollen nicht erschwert werden,
- Arbeitsgeschwindigkeit sollte sich nicht verringern,
- Keine Einschränkung der Bewegungsfreiheit und Feinmotorik.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden in der Literatur vielfach die Potentiale, die mit dem Einsatz von Exoskeletten einhergehen, in den Vordergrund der Diskussion gerückt. Tatsächlich zeigt sich allerdings, dass bezüglich der Anwendung in der Praxis, diverse Wissenslücken vorhanden sind, wie z.B.:<sup>185</sup>

- Es existieren zurzeit keine gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zur Wirksamkeit, der möglichen Gefährdung der Sicherheit und Gesundheit, sowie der Langzeitfolgen durch die Nutzung von Exoskeletten.
- Es existieren keine Verfahren zur (einheitlichen) Bewertung von Exoskeletten am Arbeitsplatz.
- Es existieren keine Handlungshilfen für die Nutzung von Exoskeletten in der Praxis.

### 2.4.7 Zusammenfassung und Fazit

Dieses Kapitel wurde dem Thema der Exoskelette, genauer jenen Exoskeletten gewidmet, die als Assistenzsysteme in der industriellen Produktion eingesetzt werden. Es wurde zu Beginn der Versuch einer Definition unternommen und anschließend die Möglichkeiten zur Klassifikation von Exoskeletten vorgestellt. Darauf basierend, wurden die Anforderungen und die Effekte, die mit dem Einsatz von Exoskeletten in der Industrie einhergehen besprochen. Im Weiteren konnte ein Überblick über die gegenwärtig existierenden Standards gegeben werden und abschließend der aktuelle Stand der Technik präsentiert werden.

Die Conclusio dieses Kapitels lautet wie folgt: Der Einsatz von Exoskeletten in der industriellen Produktion verspricht eine Verbesserung der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung im Sinne einer physischen Entlastung der Arbeiter und Arbeiterinnen. Sie eröffnen die Möglichkeit einer Verbesserung des Arbeitsschutzes besonders bei Tätigkeiten, bei denen bisher keine oder nur unzureichende technische Hilfsmittel eingesetzt werden konnten.<sup>186</sup> Exoskelette haben demnach das Potential den Folgen der demografischen Alterung und dem Auftreten arbeitsbedingter Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems entgegenzusteuern.

---

<sup>185</sup> vgl. R. Schick; 2018; S.27

<sup>186</sup> vgl. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik; 2018; S.2

Entscheidend ist, dass hierbei von Potential gesprochen werden muss. Da Exoskelette zwar schon seit einigen Jahrzehnten existieren, aber erst seit wenigen Jahren für industrielle Anwendungen eingesetzt werden, gibt es gegenwärtig keine aussagekräftigen Langzeitstudien, die die positiven und negativen Effekte von Exoskeletten in der Praxis eindeutig belegen würden. Darüber hinaus gibt es keine Richtlinien oder Normen, die spezifisch auf den industriellen Einsatz von Exoskeletten ausgerichtet sind. Es besteht demnach einerseits noch erheblicher Forschungsbedarf und andererseits Entwicklungsbedarf im Hinblick auf einheitliche Standards.

Was die gegenwärtig am Markt erhältlichen Exoskelette für industrielle Anwendungen betrifft, verweise ich an dieser Stelle auf das folgende Kapitel dieser Arbeit, der Marktanalyse.



## 3 Marktanalyse

Ziel dieses Kapitels ist es einen fundierten Überblick, über die gegenwärtig am Markt verfügbaren Exoskelette zum Einsatz in der industriellen Produktion zu geben. Es wird zuerst die Methodologie beschrieben, mit der die Informationen gesammelt wurden, um diese anschließend in einer strukturierten und übersichtlichen Form zu präsentieren.

### 3.1 Methodologie

Um die notwendigen Informationen zu finden und zu sammeln, galt es in einem ersten Schritt zu ermitteln, welche Unternehmen Exoskelette entwickeln und/oder produzieren. Hierbei wurde zunächst noch keine Einschränkung bezüglich des Anwendungsbereichs gemacht. Daher beinhaltet dieses erste Screening sowohl Exoskelette für den industriellen Einsatz als auch für medizinische und militärische Anwendungen. Eine Einschränkung des Anwendungsbereichs wurde an dieser Stelle deswegen unterlassen, da auch jene Exoskelette berücksichtigt werden sollten, die trotz ihres ursprünglichen Einsatzbereiches z.B. in der Rehabilitation, auch sinnvoll im industriellen Umfeld einsetzbar sein könnten. Berücksichtigt wurden außerdem auch jene Exoskelette, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch als Prototypen vorliegen und erst zukünftig die Marktreife erreichen werden.

Die Informationsbeschaffung bestand aus einer weltweiten Internetrecherche, bei der einschlägige Suchbegriffe wie, Exoskelette, Exoskeletons, Ergoskeletons, Upper/Lower/Full body exoskeletons, Industrial/Medical/Military exoskeletons, Passive/Active exoskeletons und ähnliche verwendet wurden. Bereits diese profane Vorgehensweise hat etwa 20 – 25 Unternehmen und Institute geliefert, die Exoskelette in ihrem Produktportfolio aufweisen. Diese noch relativ kurze Liste wurde anschließend erweitert. Zu diesem Zweck wurden jene Unternehmen ermittelt, die an einer der größten internationalen Messen zum Thema Wearable Robotics, der WearRAcon19<sup>187</sup>, die im März 2019 stattfand, teilnahmen. Ergänzend dazu wurde auf die Internetseite, Exoskeleton Report<sup>188</sup>, zurückgegriffen, die einen sehr informativen und vollständigen Überblick über Exoskelette, Exosuits und Wearable Devices liefert. Anhand dieser Vorgehensweise konnten insgesamt 64 relevante Unternehmen ermittelt werden, die es nun galt, einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Eine Liste dieser 64 Unternehmen wird nach der Erläuterung der Methodologie (siehe 3.2) vorgestellt.

Der nächste Schritt bestand nun darin, einen genaueren Blick auf die einzelnen Produkte der ermittelten Unternehmen und Institute zu werfen, um festzustellen

---

<sup>187</sup> WearRA Wearable Robotics Association; 2019.

<sup>188</sup> Exoskeleton Report LLC; 2019.

welche Exoskelette tatsächlich für den industriellen Einsatz entwickelt wurden und welche sich zusätzlich zu ihrem eigentlichen Anwendungsbereich, für die Industrie zweckentfremden lassen. Das Ergebnis dieses Schrittes bestand darin, dass von den ursprünglichen 64 Unternehmen nur noch 31 Unternehmen übrigblieben, deren Exoskelette sich für industrielle Anwendungen eignen. Anhand dieser 31 Unternehmen konnten insgesamt 53 Produkte und Prototypen identifiziert werden, die für diese Arbeit Relevanz haben und später in diesem Kapitel (siehe 3.2) genauer präsentiert werden.

Um die produkt- bzw. prototypenspezifischen Informationen zu erlangen, wurden zunächst die jeweiligen Homepages der betroffenen Unternehmen und Institute durchforstet, wobei die dort zur Verfügung gestellten Informationen in Menge und Detaillierungsgrad sehr stark variiert haben. Zusätzlich dazu wurde Kontakt via Email und Telefon aufgenommen, um weitere, ergänzende Informationen zu erhalten. Abhängig vom Informationsgehalt der Homepages wurde den Unternehmen und Instituten ein Fragenkatalog, der maximal 17 Fragen beinhaltet geschickt und um Beantwortung gebeten. Je mehr dieser Fragen sich durch die zur Verfügung gestellten Informationen auf den Homepages beantworten ließen, desto kürzer wurde der entsprechende Fragenkatalog für das betroffene Unternehmen. Wie sich anhand der im Folgenden dargestellten Fragen erkennen lässt, beziehen sich bereits einige der darin enthaltenen Fragen auf den konkreten Anwendungsfall des Partnerunternehmens XY.

Fragenkatalog:

1. Um welche Funktionsweise handelt es sich bei Ihren Produkten?
2. Welche Körperregionen unterstützen Ihre Exoskelette?
3. Welche Lastenhöhen können Ihre Exoskelette unterstützen?
4. Ergeben sich durch das Tragen etwaige Bewegungseinschränkungen (z.B. beim Bücken, Stufensteigen)?
5. Gibt es Einschränkungen in der Feinmotorik bei der Anwendung Ihrer Exoskelette?
6. Welche Abmessungen haben Ihre Exoskelette? (v.a. interessant für den Einsatz bei eingeschränkten Platzverhältnissen)
7. Über welches Eigengewicht verfügen Ihre Exoskelette?
8. Sind Ihre Produkte auch in öl-, emulsions- und zunderhaltigen Arbeitsumgebungen einsetzbar?
9. Wie können sie bei Verunreinigung gereinigt werden?
10. Sind Ihre Exoskelette unempfindlich gegenüber dem Auftreten von Zinknebel am Arbeitsplatz?
11. Ist mit einer Funktionsbeeinträchtigung zu rechnen, wenn in unmittelbarer Nähe Tätigkeiten wie Hochfrequenzschweißen ausgeführt werden oder die Mitarbeiter über Funk miteinander kommunizieren?

12. Welche Erfahrungen haben Sie mit Ihren Produkten bezüglich langer Tragezeiten, Komfort, Druckstellen gemacht?
13. Wie rasch lassen sich Ihre Produkte an- bzw. ablegen? Bzw. besteht Größenadaptierbarkeit für unterschiedliche Körpermaße der Mitarbeiter?
14. Wie intuitiv können Ihre Produkte von den Mitarbeitern bedient werden?
15. Werden Akkus eingesetzt? Welche Akkulaufzeit haben diese? Wie lange dauert das Wiederaufladen der Akkus nach vollständiger Entladung?
16. Von welchen Beschaffungskosten darf ich ausgehen?
17. Welcher Support in Bezug auf Wartung, Service, Beschaffung von Ersatzteilen, Gewährleistung wird zukünftig angeboten werden?

Alle so gewonnen und gesammelten Informationen wurden anschließend in eine strukturierte Excel Tabelle eingetragen. Die in dieser Tabelle vorhandenen Kategorien lauten wie folgt:

- Region (Kontinent in dem das Unternehmen ansässig ist),
- Standort (Firmensitz),
- Produktbezeichnung,
- Prototyp (ja/nein)
- Typ des Exoskelettes (Aktiv/Passiv),
- Körperbereich (Ober-/Unterkörper/Ganzer Körper),
- Unterstützung (Körperteil/Bewegung),
- Antriebstechnik,
- Maximale Unterstützung,
- Eigengewicht,
- Maximale Akkudauer,
- An- und Ablegen des Exoskelettes,
- Reinigungsmöglichkeit,
- Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen,
- Bewegungseinschränkungen (z.B. knien, sitzen, ...),
- Feinmotorische Tätigkeiten (z.B. Einschränkungen),
- Benutzerfreundlichkeit (z.B. intuitiv),
- Größenadaptierbarkeit,
- Serviceleistungen,
- Kosten,
- Sonstiges (z.B. Standards),
- Vorteile,
- Nachteile

Zuletzt wurde diese Excel Tabelle noch um jene Informationen ergänzt, die das Start-up, Exomys<sup>189</sup>, im Rahmen einer Kooperation dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt hat. Die Ergebnisse der Marktanalyse werden im folgenden Abschnitt präsentiert.

### 3.2 Ergebnisse der Marktanalyse

Wie bereits erwähnt (siehe 3.1) konnten 64 Unternehmen und Institute ermittelt werden, die Exoskelette entwickeln und/oder produzieren. In der hier abgebildeten Tabelle 25 sind diese Unternehmen alphabetisch gelistet, inklusive ihrer Produkte bzw. Prototypen. Außerdem wird unterschieden ob diese Exoskelette für den Einsatz in der industriellen Produktion geeignet sind (gelb hinterlegt) oder ausschließlich medizinischen oder militärischen Anwendungen genügen. Ergänzend dazu werden die Links zu den entsprechenden Homepages zur Verfügung gestellt. Das vollständige Excel Sheet befindet sich im Anhang dieser Arbeit. Es enthält auch die Kontaktdaten jener Unternehmensvertreter, mit denen im Laufe der Recherche Korrespondenz betrieben wurde.

**Tabelle 25: Liste ermittelter Exoskelettanbieter**

Unternehmen	Produkte	Anwendbar in d. Produktion	Homepage
<b>Activelink / ATOUN (Atoun Inc.)</b>	Produkte: Atoun Model Y, As, A; Prototypen: Nio, Himico, Koma 1.5	ja	<a href="http://atoun.co.jp/products">http://atoun.co.jp/products</a> ; <a href="http://atoun.co.jp/prototypes">http://atoun.co.jp/prototypes</a>
<b>AxoSuits (AXOSUITS SRL) (AXOSUITS SRL)</b>	Medizinische Geräte, die Patienten mit eingeschränkter Mobilität unterstützen.	nein	<a href="http://www.axosuits.com/index.php">http://www.axosuits.com/index.php</a>
<b>Bionic Power</b>	Exoskelett zum Aufladen von Batterien für den militärischen Einsatz.	nein	<a href="https://www.bionic-power.com/">https://www.bionic-power.com/</a>
<b>Bionik Laboratories</b>	Medizinische Geräte zum Einsatz nach Schlaganfällen (Unterstützung von Armen und Händen).	nein	<a href="https://www.bioniklabs.com/">https://www.bioniklabs.com/</a>
<b>Bioservo Technologies (Bioservo Technologies AB)</b>	Ironhand	ja	<a href="https://www.bioservo.com/professional">https://www.bioservo.com/professional</a>
<b>B-Temia (B-TEMIA Inc.)</b>	K-SRD; Keeogo	ja	<a href="http://www.b-temia.com">http://www.b-temia.com</a> ; <a href="http://military.b-temia.com">http://military.b-temia.com</a> ; <a href="http://www.b-temia.com/home-medical-equipment">http://www.b-temia.com/home-medical-equipment</a>
<b>Comau (Comau SpA)</b>	Mate Exoskeleton	ja	<a href="https://www.comau.com/DE">https://www.comau.com/DE</a>
<b>Cyberdyne (CYBERDYNE Inc.)</b>	HAL Lumbar Type for Labor Support	ja	<a href="https://www.cyberdyne.jp/english/">https://www.cyberdyne.jp/english/</a>
<b>Daewoo Shipbuilding &amp; Marine Engineering (DSME Co. Ltd.)</b>	RoboShipbuilder	ja	<a href="http://www.dsme.co.kr/epub/main/index.do">http://www.dsme.co.kr/epub/main/index.do</a> ; <a href="https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/robotik/daewoo-werft-arbeiter-exoskelette-zu-muskelprotzen/">https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/robotik/daewoo-werft-arbeiter-exoskelette-zu-muskelprotzen/</a>
<b>Daiya Industry (Daiya Industry Co. Ltd.)</b>	Power Assist Glove	ja	<a href="https://www.daiyak.co.jp/en/index.html">https://www.daiyak.co.jp/en/index.html</a>

<sup>189</sup> J. Bernhardt und V. Pauser; 2019.

<b>Ekso Bionics (Ekso Bionics)</b>	Ekso Vest; (Ekso ZeroG)	ja	<a href="https://eksobionics.com/">https://eksobionics.com/</a> ; <a href="https://eksobionics.com/eksoworks/eksovest/">https://eksobionics.com/eksoworks/eksovest/</a>
<b>Equipois (Equipois LLC.)</b>	X-Ar	ja	<a href="http://www.equipoisllc.com/">http://www.equipoisllc.com/</a>
<b>Exhauss (EXHAUSS)</b>	Exhauss Sxstem; (Exhauss Picker)	ja	<a href="http://www.exhauss.com/">http://www.exhauss.com/</a>
<b>ExoAtlet</b>	Medizinisches Exoskelett für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der unteren Extremitäten.	nein	<a href="https://www.exoatlet.com/en">https://www.exoatlet.com/en</a>
<b>Exomys (Exomys - Augmented Humanity GmbH)</b>	Modul 1; Modul 2	ja	<a href="http://www.exomys.com/">http://www.exomys.com/</a>
<b>Festo</b>	ExoHand, wurde nur für den Messebetrieb entwickelt (reines Messe-Exponat) und hat auch nicht den Anspruch in der Industrie eingesetzt zu werden.	nein	<a href="https://www.festo.com/group/de/cms/10233.htm">https://www.festo.com/group/de/cms/10233.htm</a>
<b>Focal Meditech</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der oberen Extremitäten.	nein	<a href="https://www.focalmeditech.nl/">https://www.focalmeditech.nl/</a>
<b>Fourier Intelligence</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der oberen und unteren Extremitäten vor allem nach Schlaganfällen.	nein	<a href="http://www.fftai.com/index_en.php">http://www.fftai.com/index_en.php</a>
<b>Fraunhofer IAO (Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO)</b>	Robo-Mate	ja	<a href="https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/presse-und-medien/aktuelles/1465- robo-mate-neue-meilensteine.html">https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/presse-und-medien/aktuelles/1465- robo-mate-neue-meilensteine.html</a>
<b>Fraunhofer IPA (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA)</b>	Stuttgart Exo-Jacket SEJ2	ja	<a href="https://futureworklab.de/de/demonstrator-enwelt.html#faqitem_3-answer">https://futureworklab.de/de/demonstrator-enwelt.html#faqitem_3-answer</a> ; <a href="https://www.faz.net/aktuell/beruf-chance/beruf/exoskelette-maschine-zum-anziehen-die-koerperliche-arbeit-erleichtern-15341414-p3.html">https://www.faz.net/aktuell/beruf-chance/beruf/exoskelette-maschine-zum-anziehen-die-koerperliche-arbeit-erleichtern-15341414-p3.html</a>
<b>German Bionic (GBS German Bionic Systems GmbH)</b>	Cray X; Robo-Mate?	ja	<a href="https://www.germanbionic.com/">https://www.germanbionic.com/</a>
<b>Gobio Robot / Gebe2 (GEBE2 – EUROPE TECHNOLOGIES)</b>	Gobio IP12; Gobio IP14 Chairless Chair	ja	<a href="https://gebe2-et.com/en/exoskeletons/">https://gebe2-et.com/en/exoskeletons/</a>
<b>GOGO A</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der oberen und unteren Extremitäten vor allem nach Schlaganfällen.	nein	<a href="http://gogoa.eu/">http://gogoa.eu/</a>
<b>GoXStudio</b>	Kein klassisches Exoskelett, ist ein Sensorsystem, welches Vitalparameter aufzeichnet und auswertet.	nein	<a href="http://goxstudio.com/">http://goxstudio.com/</a>
<b>HDT Global</b>	Kein klassisches Exoskelett, eher Robots und Cobots.	nein	<a href="http://www.hdtglobal.com/">http://www.hdtglobal.com/</a>
<b>Hocoma</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke	nein	<a href="https://www.hocoma.com/">https://www.hocoma.com/</a>
<b>Honda</b>	Medizinisches Exoskelett, das als Gehhilfe bzw. zum Muskelaufbau eingesetzt wird.	nein	<a href="https://global.honda/innovation/robotics/WalkingAssist.html">https://global.honda/innovation/robotics/WalkingAssist.html</a>
<b>Hyundai (Hyundai Motor Europe)</b>	Hyundai Waist Exoskeleton H-WEX; Hyundai Chairless Exoskeleton H-CEX; Full Body Exoskeleton	ja	<a href="https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-leads-personal-mobility-revolution-with-advanced-robots/">https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-leads-personal-mobility-revolution-with-advanced-robots/</a> ; <a href="https://www.extremetech.com/extreme/241613-walking-hyundais-exoskeleton-helps-paraplegics-move">https://www.extremetech.com/extreme/241613-walking-hyundais-exoskeleton-helps-paraplegics-move</a> ; <a href="https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-group-ventures-further-into-new-robotics-industry/">https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-group-ventures-further-into-new-robotics-industry/</a> ; <a href="https://exoskeletonreport.com/2016/05/hyundai-wearable-robot/">https://exoskeletonreport.com/2016/05/hyundai-wearable-robot/</a>

<b>Innophys (INNOPHYS CO. LTD.)</b>	Muscle Power Suit; Muscle Suit; Muscle Suit Edge; Muscle Upper	ja	<a href="https://innophys.jp/">https://innophys.jp/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/power/">https://innophys.jp/product/power/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/standard/">https://innophys.jp/product/standard/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/edge/">https://innophys.jp/product/edge/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/upper/">https://innophys.jp/product/upper/</a>
<b>Japet</b>	Medizinisches Exoskelett, das zu Therapie- und Trainingszwecken eingesetzt wird, um Rückenschmerzen zu lindern und Rückenmuskulatur zu stärken.	nein	<a href="https://www.japet.eu/">https://www.japet.eu/</a>
<b>Kinetek</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="http://www.wearable-robotics.com/kinetek/">http://www.wearable-robotics.com/kinetek/</a>
<b>Kinetic Edge (Kinetic Edge)</b>	Flex Lift	ja	<a href="https://kineticedgeinc.com/">https://kineticedgeinc.com/</a>
<b>Laevo (Laevo B.V.)</b>	Laevo V2.4; V2.45; V2.5	ja	<a href="http://en.laevo.nl/">http://en.laevo.nl/</a>
<b>Levitate Technologies (Levitate Technologies Inc.)</b>	Airframe	ja	<a href="https://www.levitatetech.com/">https://www.levitatetech.com/</a> ; <a href="https://www.levitatetech.com/airframe/">https://www.levitatetech.com/airframe/</a>
<b>Lockheed Martin (Lockheed Martin Corporation)</b>	Fortis; Onyx	ja	<a href="https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html">https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html</a> ; <a href="https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/military.html?cq_ck=1522941066947">https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/military.html?cq_ck=1522941066947</a>
<b>Marsi-Bionics</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der unteren Extremitäten (auch für Kinder).	nein	<a href="http://www.marsibionics.com/?lang=en">http://www.marsibionics.com/?lang=en</a>
<b>MedEXO Robotics</b>	Medizinische Exoskelette hauptsächlich für Patienten, die unter Parkinson leiden, sowohl für untere als auch obere Extremitäten.	nein	<a href="http://medexorobotics.com/">http://medexorobotics.com/</a>
<b>MediTouch</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="https://meditouch.co.il/">https://meditouch.co.il/</a>
<b>Mitsubishi Heavy Industries (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD.)</b>	Power Assist Suit (PAS) for Nuclear Disasters	ja	<a href="https://www.mhi.com/news/story/1512011943.html">https://www.mhi.com/news/story/1512011943.html</a>
<b>Motorika</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="http://motorika.com/">http://motorika.com/</a>
<b>Myomo</b>	Medizinisches Exoskelett in Form einer Armorthese zu Rehabilitationszwecken.	nein	<a href="https://myomo.com/">https://myomo.com/</a>
<b>Noonee (Noonee Germany GmbH)</b>	Chairless Chair	ja	<a href="http://www.noonee.com/">http://www.noonee.com/</a>
<b>Ottobock (Ottobock SE &amp; Co. KGaA)</b>	Paexo; (C-Brace ist ein medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten, um Lähmungserscheinungen entgegenzuwirken)	ja	<a href="https://www.ottobock.com/de/presse/medieninformationen/medieninformation-exoskelett-paexo/">https://www.ottobock.com/de/presse/medieninformationen/medieninformation-exoskelett-paexo/</a>
<b>P&amp;S Mechanics</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="http://walkbot2015.cafe24.com/eng">http://walkbot2015.cafe24.com/eng</a>
<b>Panasonic (Panasonic Corporation)</b>	Ninja; Power Loader	ja	<a href="https://news.panasonic.com/global/stories/2016/44969.html">https://news.panasonic.com/global/stories/2016/44969.html</a>
<b>Parker Hannifin / Indego</b>	Medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten zu Rehabilitationszwecken nach Rückenmarksverletzungen.	nein	<a href="http://www.indego.com/indego/en/home">http://www.indego.com/indego/en/home</a>
<b>PhaseX AB</b>	Exoskelett als Gehhilfe und zur Unterstützung älterer Personen.	nein	<a href="http://www.phasexab.com/">http://www.phasexab.com/</a>
<b>RB3D (RB3D)</b>	Hercule V3; Exopush	ja	<a href="https://www.rb3d.com/en/">https://www.rb3d.com/en/</a>
<b>Reha Technology</b>	Medizinische Exoskelette zu Rehabilitationszwecken für obere und untere Extremitäten.	nein	<a href="https://www.rehatechnology.com/de/">https://www.rehatechnology.com/de/</a>
<b>Rehab Robotics</b>	Medizinische Exoskelette zu Rehabilitationszwecken für obere und untere Extremitäten und Rollstuhlfahrer.	nein	<a href="http://www.rehab-robotics.com/index.html">http://www.rehab-robotics.com/index.html</a>



<b>ReWalk Robotics</b>	Medizinische Exoskelette zu Rehabilitationszwecken der unteren Extremitäten v.a. für Querschnittsgelähmte.	nein	<a href="https://rewalk.com/de/">https://rewalk.com/de/</a>
<b>Rex Bionics</b>	Medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten zu Rehabilitationszwecken.	nein	<a href="https://www.rexbionics.com/">https://www.rexbionics.com/</a>
<b>Robo-Mate (RoboMate)</b>	Passive Arm; Active Arm; Active Trunk; (ist ein EU-Projekt und wurde teilweise oder gesamt an German Bionic übergeben, vermutlich noch in der Phase eines Prototypen)	ja	<a href="http://www.robo-mate.eu/">http://www.robo-mate.eu/</a> ; <a href="http://www.robo-mate.eu/passive-arms.html">http://www.robo-mate.eu/passive-arms.html</a> ; <a href="http://www.robo-mate.eu/active-arms.html">http://www.robo-mate.eu/active-arms.html</a> ; <a href="http://www.robo-mate.eu/active-trunk.html">http://www.robo-mate.eu/active-trunk.html</a>
<b>Roki Robotics</b>	Medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten zu Rehabilitationszwecken bei doppelseitiger Lähmung.	nein	<a href="https://www.rokirobotics.com/">https://www.rokirobotics.com/</a>
<b>Rotbot Systems (Rotbot)</b>	Full exoskeleton suit; (Upper body Exoskeleton, Extra pair of arms for exoskeleton suit, Exoskeleton lower body suit, Cost play suit with sensors for online gaming)	ja	<a href="https://www.rot-bot.com/">https://www.rot-bot.com/</a>
<b>Sarcos (Sarcos Corp.)</b>	Guardian XO	ja	<a href="https://www.sarcos.com/">https://www.sarcos.com/</a>
<b>SRI International - Superflex</b>	Ist ein Exosuit-Anzug, der unter normaler Bekleidung getragen wird zur Unterstützung motorisch eingeschränkter Personen beim Aufstehen oder Gehen.	nein	<a href="https://www.sri.com/newsroom/press-releases/sri-international-spins-superflex-inc-help-people-achieve-their-physical">https://www.sri.com/newsroom/press-releases/sri-international-spins-superflex-inc-help-people-achieve-their-physical</a>
<b>StrongArmTech (StrongArm Technologies Inc.)</b>	FLX; V22	ja	<a href="https://www.strongarmtech.com/strongarm">https://www.strongarmtech.com/strongarm</a> ; <a href="https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#flx">https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#flx</a> ; <a href="https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#v22">https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#v22</a>
<b>Tilta (Tilta Inc.)</b>	Armor Man 2.0	ja	<a href="https://tilta.com/shop/armor-man-arm-t01/">https://tilta.com/shop/armor-man-arm-t01/</a>
<b>Toyota</b>	Medizinisches Exoskelett als Gehhilfe zur Rehabilitation nach Schlaganfall oder Lähmung.	nein	<a href="https://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/robot/#link03">https://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/robot/#link03</a>
<b>Tyromotion</b>	Systeme zu Rehabilitation und Training der unteren und oberen Extremitäten.	nein	<a href="https://tyromotion.com/">https://tyromotion.com/</a>
<b>SuitX (US Bionics Inc.)</b>	BackX; LegX; ShoulderX; MAX	ja	<a href="https://www.suitx.com/">https://www.suitx.com/</a> ; <a href="https://www.suitx.com/backx">https://www.suitx.com/backx</a> ; <a href="https://www.suitx.com/legx">https://www.suitx.com/legx</a> ; <a href="https://www.suitx.com/shoulderx">https://www.suitx.com/shoulderx</a> ; <a href="https://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton">https://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton</a>
<b>Wandercraft</b>	Medizinisches Exoskelett damit Menschen, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind, wieder gehen können.	nein	<a href="http://wandercraft.eu/en/">http://wandercraft.eu/en/</a>
<b>Guangzhou YiKing</b>	Medizinische Exoskelette zur Rehabilitation der oberen und unteren Extremitäten.	nein	<a href="http://www.yikangshiye.com/">http://www.yikangshiye.com/</a>

Wie bereits oben erwähnt, konnten aus der dargestellten Liste an Exoskelettanbietern, 31 Unternehmen und Institute ermittelt werden, deren Exoskelette tatsächlich für den industriellen Einsatz geeignet sind. Aus diesen Unternehmen gingen insgesamt 53 Produkte bzw. Prototypen hervor, die auf den folgenden Seiten vorgestellt werden. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die marktreifen Produkte von den Prototypen getrennt dargestellt. Außerdem werden aktive und passive Exoskelette, sowie Exoskelette für den Oberkörper, Unterkörper und ganzen Körper getrennt präsentiert.

Die Reihung der Exoskelette erfolgt hierbei alphabetisch. Die folgenden Tabellen beinhalten ebenfalls aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit nur die wesentlichsten Informationen. Das vollständige Excel Sheet befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

1. Marktreife, aktive Exoskelette für den Oberkörper:

**Tabelle 26: Marktreife, aktive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Atoun Model Y (Atoun Inc.)</b>	Hüfte; Hebe- und Tragehilfe	Elektromotor und Sensoren, die Hüftbewegungen erkennen. Kann in 3 Modi eingesetzt werden (Assist Mode, Walk Mode, Brake Mode) - Schaltung erfolgt automatisch.	10kg	48,5x28x81cm	4,5kg (inkl. Batterien)	4h	einfach; wie ein Rucksack	mit feuchtem Tuch abwischbar	Temperaturbereich 0-40°C; wasserdicht; unempfindlich gegenüber Staub, IP55	keine Bewegungseinschränkung
<b>Atoun Model As (Atoun Inc.)</b>	Hüfte, Arme; Hebe- und Tragehilfe	Elektromotor und Seilzug; stellt eine Erweiterung des Atoun Model A dar.	15kg	77x48x27cm plus Zusatzmodul für Arme	8,5kg (inkl. Batterien)	8h	personenabhängig	mit feuchtem Tuch abwischbar	wasserdicht; unempfindlich gegenüber Staub, IP55	mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Atoun Model A (Atoun Inc.)</b>	Hüfte; Hebe- und Tragehilfe	Elektromotor; kann Bewegungen automatisch erkennen und schaltet automatisch in 4 Modi (Assist Mode, Hold Mode, Walk Mode, Break Mode).	15kg	77x48x27cm	6,7kg (exkl. Batterien), 7,4kg (inkl. Batterien)	8h	personenabhängig	mit feuchtem Tuch abwischbar	Temperaturbereich 0-40°C; wasserdicht; unempfindlich gegenüber Staub, IP55	keine Bewegungseinschränkung
<b>Ironhand (Bioservo Technologies AB)</b>	Hände, Arme; unterstützt dabei einen besseren Grip in den Händen zu haben	Elektromotor und druckempfindliche Sensoren in den Handschuhen.								keine Bewegungseinschränkung
<b>HAL Lumbar Type for Labor Support (CYBERDYNE Inc.)</b>	Rücken; Unterstützung beim Heben und Tragen von Lasten	Elektromotor und neuromuskuläre Sensoren (Aktoren werden über Gehirnströme angesteuert); 5 Level an Unterstützung.		45x 29,2x52,2cm	3kg (inkl. Batterien)	4,5h (Ladezeit: 2h)			IEC Feuchtigkeitsschutz Level 4 (IPX4); IEC Staubschutz Level 5 (IP5X); Temperaturbereich: 0-40°C	keine Bewegungseinschränkung
<b>Power Assist Glove (Daiya Industry Co. Ltd.)</b>	Hände; unterstützt beim Greifen	Pneumatik (mit kleiner Druckluftflasche) und über einen elektrischen Schalter bedienbar.	unterstützt jedoch nur das Schließen der Hand und nicht das Öffnen; keine Kraftunterstützung	Controller und Gaskanister: 10x20cm	Handschuh: 65g; Controller und Gaskanister: 750g	-	einfach			keine Bewegungseinschränkung
<b>Cray X, (Robo-Mate: soll angeblich von German Bionic übernommen worden sein, unklar ob das alle Module betrifft) (GBS German Bionic Systems GmbH)</b>	unterer Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten; verringert den Kompressionsdruck im unteren Rücken	Elektromotor	20kg	Außenmaß: 65cm; Innenmaß: 45cm; für den Einsatz sollte ausreichend Platz vorhanden sein; schmale Gänge in denen sich mehrere Mitarbeiter bewegen, sollten vermieden werden	7,9kg Nettogewicht; verschiedene Akku- und Gurtgrößen können das Gewicht beeinflussen	8h; schnell austauschbar; Ladezeit: ca. 55min	anlegen: 50sec - 3min; ablegen: weniger als 1min	abnehmbare Gurte waschbar bei 40°C in der Waschmaschine; Beckengurt (aus Goretex) und Beinbindung können desinfiziert werden; restliche Komponenten feucht abwischbar	es liegt keine IP Klassifizierung vor, daher ist der Einsatz bei öl- und emulsionshaltigen Arbeitsbedingungen nicht ratsam; Produkt hat EMV Test bestanden	90% der üblichen Bewegungen sind ausführbar; Treppensteigen, Schuhe zubinden, bücken sind möglich; schädliche Bewegungen, wie z.B. das seitliche Heben aus einer Drehbewegung der Wirbelsäule wird bewusst unterbunden
<b>Hyundai Waist Exoskeleton H-WEX</b>	Oberkörper, unterer Rücken; unterstützt Hebetätigkeiten v.a.	Elektromotor			geringes Eigengewicht					keine Bewegungseinschränkung

(Hyundai Motor Europe)	das Aufrichten (nicht das Bücken)									
Muscle Suit Power (INNOPHYS CO. LTD.)	Taille	Pneumatisch (Kompressor oder Handpumpe) und Batterie für das Ventil und 4 Aktuatoren.	ca. 35,7kg	SM: 45x20x81cm, ML: 50x22x90cm	6,6kg (exkl. Abdeckung)		einfach		nicht wasserdicht; Temperaturbereich: 5-35°C	keine Bewegungseinschränkung
Muscle Suit (INNOPHYS CO. LTD.)	Taille	Pneumatisch und 2 Aktuatoren	ca. 25,5kg	SM: 45x20x78cm, ML: 50x22x90cm	Soft fit: 5,1kg, Tight fit: 5kg (exkl. Abdeckung)		einfach		wasserdicht IPX6; Temperaturbereich: -30-50°C	keine Bewegungseinschränkung
Muscle Suit Edge (INNOPHYS CO. LTD.)	unterer Rücken	Pneumatisch und 2 Aktuatoren	ca. 25,5kg	SM: 45x17,5x78cm, ML: 50x19,5x90cm	4,3kg (exkl. Abdeckung)		einfach		wasserdichte Variante optional; Temperaturbereich: -30-50°C	keine Bewegungseinschränkung
Muscle Upper (INNOPHYS CO. LTD.)	Arme, Taille	Pneumatisch (Kompressor) und 4 Aktuatoren	ca. 35,7kg	83x31x92cm	8,1kg (exkl. Abdeckung)		einfach		nicht wasserdicht; Temperaturbereich: 5-35°C	keine Bewegungseinschränkung
Exopush (RB3D)	Arme, Rücken; unterstützt Bewegungen beim Rechen	Elektromotor	50kg Schubkraft	20x18x220cm	8,4kg	4-6h (Aufladen in 4h)			IP 43, Schutz gegen Sprühwasser aber nicht gegen Staub	mögliche Bewegungseinschränkung

**Tabelle 27: Marktreife, aktive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
Atoun Model Y (Atoun Inc.)	feinmotorische Tätigkeiten möglich	personenabhängig; es werden keine Trainings angeboten	150 - 190cm	keine Serviceleistungen in Österreich	\$ 8.000,-; kein Vertrieb innerhalb der EU geplant		einfacher Austausch des Akkus; leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; unempfindlich gegen Staub und Wasser	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; durch das Ziehen an Schulter und Brust kann es zu Verspannungen kommen; kein Vertrieb in der EU
Atoun Model As (Atoun Inc.)	Ausübung feinmotorischer Tätigkeiten ist aufgabenabhängig	personenabhängig; es werden keine Trainings angeboten	155 -185cm / 50 - 80kg	keine Serviceleistungen in Österreich	\$ 8.000,-; kein Vertrieb innerhalb der EU geplant		lange Akkulaufzeit, einfacher Austausch des Akkus; leichte Bedienbarkeit; unempfindlich gegen Staub und Wasser	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; durch das Ziehen an Schulter und Brust kann es zu Verspannungen kommen; eingeschränkter Bewegungsfreiraum durch den Zusatz des Seilzuges; kein Vertrieb in der EU
Atoun Model A (Atoun Inc.)	feinmotorische Tätigkeiten möglich	personenabhängig; es werden keine Trainings angeboten	155 -185cm / 50 - 80kg	keine Serviceleistungen in Österreich	\$ 8.000,-; kein Vertrieb innerhalb der EU geplant	Kooperation mit Panasonic	Oberkörper relativ frei beweglich; lange Akkulaufzeit; einfacher Austausch des Akkus; leichte Bedienbarkeit; unempfindlich gegen Staub und Wasser	keine Unterstützung für die Arme; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; durch das Ziehen an Schulter und Brust kann es zu Verspannungen kommen; kein Vertrieb in der EU
Ironhand (Bioservo Technologies AB)	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					geringes Eigengewicht; leicht anzulegen - wie ein Rucksack; leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
HAL Lumbar Type for Labor Support (CYBERDYNE Inc.)	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	Körperhöhe: 140 - 180cm; Körpermasse: 40 - 80kg		¥ 10.000,-	entspricht der ISO 13482 Norm	leicht auseinandernehmbar und schnell montiert; keine Bewegungseinschränkung; auch für den Außeneinsatz geeignet; unempfindlich gegen Staub und Feuchtigkeit; verfügt über internationale Safety Standards für Assistenzroboter und der	Muskelaktivität kann bei einer gesunden Person verringert werden; Vertrieb zurzeit nur in Japan

							europäischen Maschinenrichtlinie; leichte Bedienbarkeit	
<b>Power Assist Glove</b> (Daiya Industry Co. Ltd.)	eingeschränkt, da der Handschuh den kleinen Finger, Ring- und Mittelfinger gemeinsam in eine Kammer zwingt	intuitiv					leichte Bedienbarkeit	Druckflasche muss regelmäßig wieder befüllt werden; möglicherweise nicht am europäischen Markt erhältlich; unterstützt lediglich das Schließen der Hand
<b>Cray X, (Robo-Mate: soll angeblich von German Bionic übernommen worden sein, unklar ob das alle Module betrifft)</b> (GBS German Bionic Systems GmbH)	feinmotorische Tätigkeiten möglich	längste bekannte Nutzungszeit ca. 5h; Gewicht liegt ergonomisch gut auf dem Becken; bei häufigem Gebrauch und langer Tragezeit kann es zu Druckstellen an den Auflagerflächen kommen; leichte Bedienbarkeit	adaptierbar im Bereich: 155 - 200cm; es gibt Damen- und Herrengurte; Gurte wurden an die verschiedenen Körperformen und unterschiedliche Anatomie des Menschen angepasst; Bedienung erfolgt über integriertes Bedienmodul (Display und Dreh-Drück-Regler); weitere Feineinstellungen möglich	Vertrieb und Service in Österreich vorhanden; Wartungen durch jährliche Sichtkontrollen auf Dichtungen und Verkabelung; Cray X kann vor Ort gewartet werden oder eingeschickt werden; Dauer der Wartung: ca. 3h; lebenslange kostenlose Softwareupdates; Ersatzteile und Gurte jederzeit nachbestellbar	€ 39.000,- zzgl. Ust.	verfügt über IoT-Technologie	leichte Bedienbarkeit; ergonomische Gestaltung; geringes Eigengewicht; verhindert schädliche Bewegungen; gute Service- und Wartungsmöglichkeiten; einfach zu reinigen; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; möglicher Weise nicht für den ganztägigen Einsatz geeignet; empfindlich gegenüber Verunreinigungen in der Atmosphäre; nicht für zu enge Platzverhältnisse geeignet
<b>Hyundai Waist Exoskeleton H-WEX</b> (Hyundai Motor Europe)	feinmotorische Tätigkeiten möglich						einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; Bücken wird nicht unterstützt und als mühsam beschrieben
<b>Muscle Suit Power</b> (INNOPHYS CO. LTD.)	feinmotorische Tätigkeiten möglich	Geräusentwicklung beim Betrieb durch Kompressor: max. 70dB	SM: Körperhöhe 150 - 165cm, ML: Körperhöhe 160 - 185cm	2 Jahre Gewährleistung	¥ 900.000 (exkl. Steuern, inkl. Kompressor)		leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; relativ enganliegend	bei Kompressorbetrieb eingeschränkte Flexibilität und Geräusentwicklung; nicht wasserdicht; nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
<b>Muscle Suit</b> (INNOPHYS CO. LTD.)	feinmotorische Tätigkeiten möglich		SM: Körperhöhe 150 - 165cm, ML: Körperhöhe 160 - 185cm	2 Jahre Gewährleistung	Tight fit: ¥ 700.000 (exkl. Steuern); Soft fit: ¥ 800.000 (exkl. Steuern)		leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; relativ enganliegend; wasserdicht	nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
<b>Muscle Suit Edge</b> (INNOPHYS CO. LTD.)	feinmotorische Tätigkeiten möglich		SM: Körperhöhe 150 - 165cm, ML: Körperhöhe 160 - 185cm	1 Jahr Gewährleistung	¥ 498.000 (exkl. Steuern)		leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; relativ enganliegend; wasserdichte Version optional	nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
<b>Muscle Upper</b> (INNOPHYS CO. LTD.)	Hände sind fixiert; mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten	Geräusentwicklung beim Betrieb durch Kompressor: max. 70dB	Körperhöhe: 160 - 185cm	1 Jahr Gewährleistung	¥ 1.980.000 (exkl. Steuern)		leicht Bedienbarkeit	durch Armmodul nicht eng am Körper anliegend; relativ klobig; nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; nicht wasserdicht; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
<b>Exopush</b> (RB3D)		intuitiv				maximale Schubgeschwindigkeit: 2m/s; EXOPUSH	leichte Bedienbarkeit	ausreichend großer Manövierraum erforderlich; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; empfindlich gegenüber

						entspricht der Richtlinie 2006/42/EG.		Staub und Wasser; mögliche Bewegungseinschränkung
--	--	--	--	--	--	---------------------------------------	--	---

## 2. Marktreife, aktive Exoskelette für den Unterkörper:

**Tabelle 28: Marktreife, aktive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>K-SRD Knee Stress Release Device (B-TEMIA Inc.)</b>	unterer Rücken, Beine; Unterstützung beim Heben und Halten von Lasten, beim Knien und Hocken, Kriechen und Gehen	Elektromotor und Sensoren, die die Kinetik und Kinematik der unteren Extremitäten registrieren		Apparatur an den Beinen 3x5cm (Breite x Tiefe); Länge 68 - 82cm	7,7kg (inkl. Batterien)	abhängig von ausgeführter Aktivität und Intensität; für gewöhnliche Anwendungen hält der Akku einen gesamten Arbeitstag	max. 2min zum Anlegen; max. 1min zum Ablegen	mit feuchtem Tuch abwischbar	IP22; nicht wasserdicht; IEC 60601-1-2 Standard bezgl. elektromagnetischer Immunität	keine Bewegungseinschränkung; keine Komfortbeschwerden bei Tragedauern von 8h; Tragekomfort ist abhängig von der ausgeführten Aktivität
<b>Keeogo Walking Assistance Device (B-TEMIA Inc.)</b>	Beine; Unterstützung bei langem Stehen, Gehen und Stiegen steigen (auch bei eingeschränkter Mobilität)	Elektromotor								keine Bewegungseinschränkung
<b>Hercule V3 (RB3D)</b>	Beine; Unterstützt das Tragen von Lasten	elektrische und reversierbare Seilantriebe	40kg	65x40x110cm	30kg (inkl. Batterien)	4h	weniger als 1min		empfindlich gegenüber dem Eindringen von Wasser und korrosiven Substanzen; soll in trockener Umgebung eingesetzt werden; ist nicht empfindlich gegenüber Staub; für den Indoor-Einsatz ausgelegt	Treppensteigen, hocken und sitzen sind möglich; Steigungen bis 10° möglich

**Tabelle 29: Marktreife, aktive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>K-SRD Knee Stress Release Device (B-TEMIA Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	sehr intuitiv; nach etwa 15min kann der Benutzer die Basisfunktionen ausüben; innerhalb eines Tages hat sich Anwender an die Handhabung gewöhnt	längenadaptierbar: 68 - 82cm	bisher noch keine Vermarktung in Europa, ist aber in Diskussion	\$ 50.000,-		Keine Bewegungseinschränkung; Kann in die Kleidung integriert werden; Flexibles Design; leicht größenadaptierbar; leichte Bedienbarkeit	gegenwärtig nicht am europäischen Markt erhältlich; nicht wasserdicht
<b>Keeogo Walking Assistance Device (B-TEMIA Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					eng am Körper anliegend; einfache Anwendung; geringes Eigengewicht	laut B-Temia eignet sich das Produkt Keeogo nicht für Anwendungen in der industriellen Produktion, sondern nur für medizinische Anwendungen
<b>Hercule V3 (RB3D)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	M: 166 - 173cm, L: 173 - 178cm, XL: 178 - 188cm (Körpergewicht: 60 - 100kg)			maximale Gehgeschwindigkeit: 5km/h	leichte Bedienbarkeit; kaum Bewegungseinschränkung	hohes Eigengewicht; nur für Indoor-Anwendung geeignet; empfindlich gegenüber Staub und Wasser; klobig; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte



### 3. Marktreife, aktive Exoskelette für den ganzen Körper:

**Tabelle 30: Marktreife, aktive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Ninja (Panasonic Corporation)</b>	untere Einheit für die Beine, Unterstützung beim Gehen; obere Einheit für den Oberkörper zur Unterstützung beim Heben von Lasten	Elektromotor und Zahnrad			15kg					mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Power Loader (Panasonic Corporation)</b>	ganzer Körper; Unterstützung beim Heben und Tragen	20 Elektromotoren und Sensoren in Händen und Füßen	max. 140kg (lite Variante: 60kg)							Bewegungseinschränkung vorhanden

**Tabelle 31: Marktreife, aktive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Ninja (Panasonic Corporation)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv			\$ 8.000,-		leichte Bedienbarkeit	mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>Power Loader (Panasonic Corporation)</b>	Greifer vorhanden; mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten				\$ 5.000,-		kann sehr hohe Gewichte bewegen; keine Belastung für den Bediener	langsam; benötigt Stromquelle; sehr klobig; Bewegungseinschränkung

### 4. Marktreife, passive Exoskelette für den Oberkörper:

**Tabelle 32: Marktreife, passive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Mate Exoskeleton (Comau SpA)</b>	Schultergürtel, Arme; Entlastung des Herz-Kreislaufsystems	Federmechanismus und Drehmomentgenerator; 7 Level an Unterstützung			4kg	-				keine Bewegungseinschränkung
<b>Ekso Vest (Ekso Bionics)</b>	Arme, Schultern	Federmechanismus	2,2 - 6,8kg pro Arm	Anpassung des Arbeitsraums auf Reichweite von 50cm	4,3kg	-	weniger als 1min	Textilteile sind waschmaschinentauglich		leichte Bewegungseinschränkung im Bereich der Schultern
<b>X-Ar (Equipos LLC.)</b>	Arme, Schultern	Drehfedermechanismus	5,9kg pro Arm		2,5kg pro Arm	-				Bewegungseinschränkung vorhanden; wird außer am Unterarm noch am Arbeitstisch montiert
<b>Exhauss System: bestehend aus den Modellen Worker, Hanger, Orbiter, Lifter, Transporter (Exhauss Picker: leider zurzeit keine ausreichenden Informationen, es ist nicht klar ob der Picker bereits</b>	Arme, Schultern	Federmechanismus und Pneumatik (Stickstoffzylinder)	15kg		ca. 10kg	-	einfach			Oberkörper und Arme sind in Bewegungsfreiheit eingeschränkt

erhältlich ist oder nur als Prototyp vorliegt) (EXHAUSS)										
<b>Gobio IP12</b> (GEBEZ – EUROPE TECHNOLOGIES)	Arme, Schultern		8kg	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	2,2kg	-	anlegen: ca. 30sec; ablegen: ca. 15sec	Textilteile können in Waschmaschine gereinigt werden; die restlichen Teile mit Pressluft bzw. sind feucht abwischbar	empfindlich gegenüber ätzenden Substanzen	keine Bewegungseinschränkung
<b>Laevo V2.4; V2.45; V2.5</b> (Laevo B.V.)	Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten und Aufrichten den Körpers	Gasfeder	max. 31kg		2,5 - 2,8kg (je nach Version)	-	einfach, wie ein Mantel	mit feuchtem Tuch abwischbar; lauwarms / heißes Wasser und ein mildes Reinigungsmittel verwenden (keine Lösungsmittel enthaltenden Reinigungsmittel)	darauf achten, dass kein Wasser in die sich bewegenden Teile gelangt; Laevo nicht in Wasser eintauchen; keine Lösungs-, Bleich-, Poliermittel oder Tenside verwenden; Temperaturbereich: 0-40°C; nicht für den Outdoor-Einsatz und staubige Umgebungen geeignet	gehen, bücken, drehen, hocken, knien möglich; sitzen nicht möglich
<b>Airframe</b> (Levitare Technologies Inc.)	Arme	Federmechanismus; Unterstützung beim Anheben der Arme				-	einfach			keine Bewegungseinschränkung
<b>Fortis</b> (Lockheed Martin Corporation)	Arme, Schultern	Federmechanismus	ca. 16kg		ca. 12,3kg (ohne den Tool Arm)	-	weniger als 2min			mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Paexo</b> (OttoBock SE & Co. KGaA)	Oberarme, Schultern; unterstützt Überkopf- und Überschulterarbeiten	Seilzug	dem Anwender werden ca. 6 - 11kg Last abgenommen		1,9kg	-	an- und ablegen jeweils in unter 30sec	körpernahe Teile können gewaschen werden		keine Bewegungseinschränkung
<b>FLX</b> (StrongArm Technologies Inc.)	Rücken; unterstützt richtiges Bücken; korrigiert die Haltung	Feedbacksystem am Rücken erzeugt Druck bei rundem Rücken	keine Unterstützung	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	-	sehr einfach und schnell			keine Bewegungseinschränkung
<b>V22</b> (StrongArm Technologies Inc.)	Arme, unterer Rücken	Seilzug verläuft von Schulter bis zu den Fingern		eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	-	sehr einfach, wie ein Rucksack			keine Bewegungseinschränkung
<b>Armor Man 2.0</b> (Tilta Inc.)	Arme, Rücken; entwickelt, um das Tragen von Kameras zu unterstützen	Federmechanismus; benötigt Batterie lediglich zum Betreiben der Kamera aber nicht für das Exoskelett	ca. 18kg	Breite ca. 90cm	9,1kg (exkl. Batterien)	-	ca. 5min	es wird das Schmier- und Korrosionsschutzmittel WD 40 empfohlen	bei zu hoher Feuchtigkeit können Schäden an den Federn auftreten	Stiegen steigen ist möglich, mögliche Bewegungseinschränkung
<b>BackX</b> (US Bionics Inc.)	unterer Rücken; Unterstützung beim Bücken und Heben von Lasten und beim Vorbeugen	Federmechanismus	13,6kg	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	Model S: 3,4kg; Model AC: 4,5kg	-	Model AC: anlegen 48sec, ablegen: 15sec; Model S: anlegen 35sec, ablegen: 20sec	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Bewegungseinschränkung des Oberkörpers möglich; gehen, Treppensteigen, Autofahren, Fahrradfahren ohne Einschränkung möglich
<b>ShoulderX</b> (US Bionics Inc.)	Schultern, Arme	Federmechanismus	1,4 - 5,4kg	relativ eng am Körper anliegend	5,4kg	-	anlegen: 80sec, ablegen: 40sec	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	keine Bewegungseinschränkung

**Tabelle 33: Marktreife, passive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Mate Exoskeleton (Comau SpA)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	zwei Größen: S/M, L/XL; jede Größe anpassbar				komfortable, atmungsaktive und kompakte Struktur; leicht anwendbar	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
<b>Ekso Vest (Ekso Bionics)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	einfach; Operation Manuals und Videos Online verfügbar.	152 - 193cm		\$ 6.000,-		leichte Bedienbarkeit; nur geringfügige Bewegungseinschränkung	klobig; komplexer Aufbau der Stangen, welche weit herausragen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; bei engen Platzverhältnissen muss Bewegungsmuster beachtet werden
<b>X-Ar (Equipois LLC.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	Armгурte: S/M (Unterarmumfang: 20,3 - 29,2cm), M/L (Unterarmumfang: 25,4 - 36,8cm)				leichte Bedienbarkeit	Anwendung ist ortsgebunden, da ein Ende des X-Ar am Arbeitsplatz montiert werden muss; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>Exhauss Sxstem: bestehend aus den Modellen Worker, Hanger, Orbiter, Lifter, Transporter (Exhauss Picker: leider zurzeit keine ausreichenden Informationen, es ist nicht klar ob der Picker bereits erhältlich ist oder nur als Prototyp vorliegt) (EXHAUSS)</b>	Arme müssen in die Konstruktion eingehängt werden; Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten	einfache Bedienung		kann innerhalb von 3 - 5 Wochen geliefert werden	€ 5.000 - 7.000,-		einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; einfach anlegbar	sehr großer Aufbau und hohes Eigengewicht; Einschränkung in der Beweglichkeit; bei einigen Modellen kann aufgrund der Griffe das Greifen erschwert sein; Informationen auf Homepage fast ausschließlich nur auf Französisch
<b>Gobio IP12 (GEBE2 – EUROPE TECHNOLOGIES)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	nach ca. 4h Training kann das Exoskelett bedient werden; kann 8h dauerhaft getragen werden	adaptierbar im Bereich: 160 - 195cm	über lokale Partner	ca. € 5.000,-		eng am Körper anliegend; keine Bewegungseinschränkung; geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; unterstützt nur geringe Lasten
<b>Laevo V2.4; V2.45; V2.5 (Laevo B.V.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	Herrengrößen: XS, S, M, L, XL (156 - 196cm)			CE - Zertifizierung; erfüllt die Anforderungen der Europäischen Richtlinie 93/42/EEC für medizinische Geräte; wurde als Klasse-I-Gerät gemäß den Klassifizierungskriterien in der Anlage IX der Richtlinie klassifiziert	geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit; enganliegend	Brust-Pad kann an bei Anwendung zu verrutschen; sitzen nicht möglich; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; nicht für den Outdoor-Einsatz geeignet; empfindlich gegenüber Staub und Wasser
<b>Airframe (Levitare Technologies Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich		individuell anpassbar	On-Site Training wird angeboten	\$ 4.000 - 8.000,-		leichte Bedienbarkeit; einfacher Aufbau; schmal genug, um unter einer Jacke getragen zu werden; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; nur geringe Unterstützung des Anwenders
<b>Fortis (Lockheed Martin Corporation)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich		adaptierbar im Bereich: 162 - 193cm		Fortis Tool Arm: ab \$ 7.149,-, Fortis Industrial Exoskeleton: ab \$ 24.750,-		leichte Bedienbarkeit	klobig, mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>Paexo (Ottobock SE &amp; Co. KGaA)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv; Dokumentation in 11 Sprachen verfügbar	anpassbar auf Körpergrößen von 160 - 190cm			Paexo ist CE zertifiziert; Lösungen zur Rückenentlastung, Daumen- und Handgelenkentlastung werden entwickelt.	leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; eng am Körper anliegend; sehr leicht und bequem	
<b>FLX (StrongArm Technologies Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung				geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit; korrigiert Haltung	keine Unterstützung beim Heben; negative Konditionierung kann in mangelnde Akzeptanz umschlagen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte

<b>V22 (StrongArm Technologies Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung				entlastet die Arme; geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit	Seilzug kann bei Dauergebrauch nerven; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
<b>Armor Man 2.0 (Tilta Inc.)</b>	Exoskelett wird mit Händen geführt; Arme können deaktiviert werden, sodass feinmotorische Tätigkeiten möglich sind	wirkt nach 40min Tragezeit sehr ermüdend	vorhanden	2 Jahre Gewährleistung bei Herstellungsfehlern; für weiteren Support muss mit der chinesischen Niederlassung Kontakt aufgenommen werden, da Tilta selbst nur Nord- und Südamerika abdeckt	ab \$ 2.250,-	Video bzgl. Funktionsweise: <a href="https://youtu.be/JL7oLPr9B_w">https://youtu.be/JL7oLPr9B_w</a>	leichte Bedienbarkeit; wartungsfrei	nur für Kameraanwendungen gedacht und geeignet; mögliche Bewegungseinschränkung; relativ klobig; rasches Ermüden; empfindlich gegenüber Feuchtigkeit; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>BackX (US Bionics Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 4.000,-	Reduziert Kompression zwischen L5/S1 um durchschnittlich 60%; Modul S ist kombinierbar mit LegX; Modul AC ist kombinierbar mit LegX und ShoulderX	leichte Bedienbarkeit; kann unter der Kleidung getragen werden; sehr eng am Körper anliegend; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Kraft wird nur von der Hüfte aufgebracht werden; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; empfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen
<b>ShoulderX (US Bionics Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 4.000,-	kann mit BackX und LegX kombiniert werden	leichte Bedienbarkeit; Unterstützungsgrad kann eingestellt werden; eng am Körper anliegend; keine Bewegungseinschränkung; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	um den Arm zu senken muss Kraft aufgebracht werden; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; empfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen

5. Marktreife, passive Exoskelette für den Unterkörper:

**Tabelle 34: Marktreife, passive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Gobio IP14 Chairless Chair (GEBE2 – EUROPE TECHNOLOGIES)</b>	Beine; Unterstützung bei langem Stehen		unterstützt Körpergewicht von max. 130kg	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	3,4kg	-	anlegen: ca. 30sec; ablegen: ca. 15sec	Textilteile können in Waschmaschine gereinigt werden; die restlichen Teile mit Pressluft bzw. sind feucht abwischbar	empfindlich gegenüber ätzenden Substanzen	Stiegen steigen nicht möglich
<b>Hyundai Chairless Exoskeleton H-CEX (Hyundai Motor Europe)</b>	Knie, Sitzmöglichkeit	Slider	150kg		1,6kg	-				mögliche Bewegungseinschränkung beim Treppensteigen; nur drei Winkeleinstellungen: 85/70/55°
<b>Chairless Chair (Noonee Germany GmbH)</b>	Beine, unterer Rücken; Sitzhilfe	Dämpfer	unterstützt Körpergewicht von max. 130kg		3,3kg (ohne Textilteile)	-	anlegen: max. 30sec; ablegen: max. 10sec	Textilteile sind mit herkömmlichen Waschmittel waschbar; restlichen Teile mit Druckluft oder einem feuchten Tuch abwischbar	Temperatureinschränkung: 0-45°C; im Schweißbereich muss je nach Stärke des Funkenschlags die Eignung überprüft werden	Treppensteigen ist nicht möglich; Knieen ist nicht möglich; das Aufheben von zu Boden gefallenen Gegenständen wird trainiert
<b>LegX (US Bionics Inc.)</b>	Knie, Oberschenkel; Unterstützung beim Hocken, Gehen, Stiegen Steigen, Sitzmöglichkeit	Dämpfer und Feder; mittels einfacher Elektronik erkennt das System ob Unterstützung notwendig ist		eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	2,3kg pro Bein	sehr lange	anlegen: 90sec; ablegen: 30sec	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	keine Bewegungseinschränkung

**Tabelle 35: Marktreife, passive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Gobio IP14 Chairless Chair (GEBE2 – EUROPE TECHNOLOGIES)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	nach ca. 4h Training kann das Exoskelett bedient werden; kann 8h dauerhaft getragen werden	adaptierbar im Bereich: 160cm - 195cm	über lokale Partner	ca. € 5.000,-		eng am Körper anliegend; geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit	Stiegen steigen nicht möglich; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>Hyundai Chairless Exoskeleton H-CEX (Hyundai Motor Europe)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; robust; geringes Eigengewicht	mögliche Bewegungseinschränkung beim Treppensteigen; nur in drei Stellungen einstellbar
<b>Chairless Chair (Noonee Germany GmbH)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv; vor Ort Training wird angeboten	adaptierbar im Bereich: 160 - 195cm; wenn sich mehrere Mitarbeiter den Chairless Chair teilen: Zubehörprodukt „Zusatzverwender (Art.-Nr. 701.10.10)“ notwendig	Training wird angeboten; am Ende der Garantiezeit kann der Chairless Chair eingeschickt werden und die Verschleißteile werden gegen eine Gebühr ausgetauscht; Garantie beträgt 24 Monate	ab € 3.750,-		jederzeit Sitzmöglichkeit vorhanden; schnelles An- und Ablegen; leichte Bedienbarkeit	Mechanik stört beim Gehen; Ruckartige Bewegungen sind nicht möglich; Bewegungseinschränkung (kein Knien und Treppensteigen); mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>LegX (US Bionics Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 6.000,-	kann mit BackX kombiniert werden und ist Teil von MAX	sehr flexibel einsetzbar; eng am Körper anliegend; keine Bewegungseinschränkung; leichte Bedienbarkeit; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	hohes Eigengewicht; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; empfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen

6. Marktreife, passive Exoskelette für den ganzen Körper:

**Tabelle 36: Marktreife, passive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Flex Lift (Kinetic Edge)</b>	unterer Rücken, Knie; Unterstützung beim Bücken und Heben von Lasten und längerem Stehen	Elastische Begurtung	reduziert körperliche Anstrengung um 10-15%	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	-	anlegen: ca. 20sec.; ablegen: ca. 5sec.	mit Wasser waschbar	keine bisher evaluierten Empfindlichkeiten; muss von Fall zu Fall untersucht werden; direkte Sonneneinstrahlung vermeiden	keine Bewegungseinschränkung; hocken, bücken, Treppensteigen, sitzen sind möglich.
<b>MAX (Modular Agile eXoskeleton) (US Bionics Inc.)</b>	unterer Rücken, Knie, Oberschenkel, Schulter, Arme; kombiniert jede Form der Unterstützung der Einzelmodule	Dämpfer und Feder; mittels einfacher Elektronik erkennt das System ob Unterstützung notwendig ist		relativ eng am Körper anliegend	ca. 15kg	sehr lange	alle Einzelmodule müssen angelegt werden	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Bewegungseinschränkung des Oberkörpers

**Tabelle 37: Marktreife, passive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadapterbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Flex Lift (Kinetic Edge)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	"one fits all", anpassbar an die meisten Körperabmessungen; wenn Einschränkung dann bei außergewöhnlicher Körpergröße	von Fall zu Fall wird Training angeboten; abgesehen vom Waschen bei Verunreinigung ist keine zusätzliche Wartung erforderlich	ab \$ 389,-; bei mehr als 100 Stück: \$ 319,-		leichte Bedienbarkeit; einfacher Aufbau; sehr eng am Körper anliegend	keine eigentliche Entlastung, sondern zwingt den Anwender in eine bessere Körperhaltung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>MAX (Modular Agile eXoskeleton) (US Bionics Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 14.000,-	ist eine Kombination aus BackX, LegX und ShoulderX.	leichte Bedienbarkeit; relativ eng am Körper anliegend; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Summe aller Einzelmodule ergibt ein hohes Eigengewicht des MAX; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; Bewegungseinschränkung des Oberkörpers; um den Arm zu senken muss Kraft aufgebracht werden; empfindlich gegenüber Staub und Wasser

7. Aktive Prototypen für den Oberkörper:

**Tabelle 38: Aktive Prototypen für den Oberkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Stuttgart Exo-Jacket SEJ2 (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA)</b>	Oberkörper; Unterstützung bei Hebetätigkeiten und Überkopfarbeiten	Elektromotor; Kraftunterstützung kann über Druckschalter aktiviert werden	20kg		aktuell 14kg					mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Active Arms (RoboMate)</b>	Arme; unterstützt Greifen und Heben von Lasten	Elektromotor und Metallseil inkl. Kraftsensoren	7,5kg pro Arm		2,3kg pro Arm	kein Akku, benötigt 110V oder 230V (feste Stromversorgung)				mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Active Trunk (RoboMate)</b>	unterer Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten	Elektromotoren	15kg		11kg	kein Akku, benötigt 110V oder 230V (feste Stromversorgung)				mögliche Bewegungseinschränkung

**Tabelle 39: Aktive Prototypen für den Oberkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadapterbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Stuttgart Exo-Jacket SEJ2 (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich				voraussichtlich: € 20.000 - 40.000,-			klobig; SEJ2 befindet sich zurzeit noch in der Entwicklungsphase und hat noch nicht den Reifegrad eines Produktes erreicht
<b>Active Arms (RoboMate)</b>	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten	intuitiv	160 - 180cm				leichte Bedienbarkeit	klobig; benötigt feste Stromquelle; mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
<b>Active Trunk (RoboMate)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	160 - 180cm				leichte Bedienbarkeit	klobig; benötigt feste Stromquelle; bei einem Eigengewicht von 11kg werden nur bis zu max. 15kg unterstützt; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte



8. Aktive Prototypen für den Unterkörper:

**Tabelle 40: Aktive Prototypen für den Unterkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Himico (Atoun Inc.)</b>	Beine, Hüfte; Unterstützung beim Gehen									keine Bewegungseinschränkung
<b>Koma 1.5 (Atoun Inc.)</b>	Hüfte, Beine; unterstützt hohe Gewicht und kann Hindernisse überwinden	Elektromotoren; es kann in 2 Modi betrieben werden (Buggy Mode, Two-Legged Mode)								mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Onyx (Lockheed Martin Corporation)</b>	unterer Rücken, Beine; Unterstützung beim Knien, Hocken und bei schwierigem Terrain	Elektromotor und Sensoren, die die Kinetik und Kinematik der unteren Extremitäten registrieren							unempfindlich; ist für den Outdoor-Einsatz entwickelt (ursprünglich für das Militär)	keine Bewegungseinschränkung

**Tabelle 41: Aktive Prototypen für den Unterkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Himico (Atoun Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich						leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; geringes Eigengewicht; am Körper enganliegend	unterstützt keine zusätzlichen Lasten; befindet sich in der Entwicklungsphase
<b>Koma 1.5 (Atoun Inc.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich						soll sehr hohe Lasten bewegen können und kann auch Hindernisse überwinden	sehr klobig; mögliche Bewegungseinschränkung; befindet sich in der Entwicklungsphase
<b>Onyx (Lockheed Martin Corporation)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; für den Outdoor-Einsatz geeignet; strapazierbar	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; bisher noch in der Entwicklung

9. Aktive Prototypen für den ganzen Körper:

**Tabelle 42: Aktive Prototypen für den ganzen Körper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Nio (Atoun Inc.)</b>	ganzer Körper; unterstützt sehr hohe Gewichte									mögliche Bewegungseinschränkung
<b>RoboShipbuilder (DSME Co. Ltd.)</b>	ganzer Körper	Elektromotor und Hydraulik	100kg		28kg	3h				Einschränkung bei Drehbewegungen; Probleme bei Anwendungen auf glattem bzw. rutschigem Boden
<b>Full Body Exoskeleton (Hyundai Motor Europe)</b>	ganzer Körper	Hydraulisch	80kg		70kg					mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Power Assist Suit (PAS) (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD.)</b>	ganzer Körper	Elektromotor und Sensoren, die die Kinetik und Kinematik der unteren Extremitäten registrieren	ca. 40kg	61,8x39,9x149,85cm	39kg	2h	einfach		beständig gegenüber radioaktiver Strahlung	mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Full exoskeleton suit, (Upper body Exoskeleton, Extra pair of arms for exoskeleton suit, Exoskeleton lower body suit, Cost play suit with sensors for online gaming) (Rotbot)</b>	ganzer Körper	vermutlich Elektromotoren								mögliche Bewegungseinschränkung

Guardian XO (Sarcos Corp.)	ganzer Körper	Elektromotor und Sensoren	90kg			8h			mögliche Bewegungseinschränkung
----------------------------	---------------	---------------------------	------	--	--	----	--	--	---------------------------------

**Tabelle 43: Aktive Prototypen für den ganzen Körper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Nio (Atoun Inc.)</b>	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten					Kooperation mit Panasonic	soll sehr hohe Lasten bewegen können	sehr klobig; befindet sich in der Entwicklungsphase
<b>RoboShipbuilder (DSME Co. Ltd.)</b>	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten		160 - 185cm				Transport von hohen Gewichten	klobig; langsame Bewegungen; keine Unterstützung für die Hüfte; belastet den Rücken; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; befindet sich noch in der Entwicklungsphase
<b>Full Body Exoskeleton (Hyundai Motor Europe)</b>	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten						komplette Entlastung des Bedieners; verfügt über zusätzliche Greifer	langsam; Stromversorgung notwendig; sehr klobig; mögliche Bewegungseinschränkung
<b>Power Assist Suit (PAS) (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD.)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich					Gehgeschwindigkeit 4,5km/h ohne Beladung, 3,0km/h mit maximaler Beladung	für den Outdoor-Einsatz geeignet; strapazierbar; leichte Bedienbarkeit	mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; möglicherweise noch in der Entwicklungsphase
<b>Full exoskeleton suit, (Upper body Exoskeleton, Extra pair of arms for exoskeleton suit, Exoskeleton lower body suit, Cost play suit with sensors for online gaming) (Rotbot)</b>	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten							sehr klobig; vermutlich hohes Eigengewicht; mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
<b>Guardian XO (Sarcos Corp.)</b>	Anstelle der Hände sind Haken vorhanden, um Gegenstände zu heben; mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten				soll im Frühjahr 2020 auf den Markt kommen; ist dann aber nicht verkäuflich, sondern soll nur verliehen werden; die Kosten für die Instandhaltung übernimmt Sarcos	maximale Gehgeschwindigkeit: 5km/h	kann sehr hohe Gewichte bewegen; keine Belastung für den Bediener; lange Akkulaufzeit von 8h	langsam; sehr klobig; keine Greifer sondern Haken; mögliche Bewegungseinschränkung; nur für den Verleih gedacht; mögliche Druckstellen

10. Passive Prototypen für den Oberkörper:

**Tabelle 44: Passive Prototypen für den Oberkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Modul 2 (Exomys - Augmented Humanity GmbH)</b>	Arme, Rücken; Unterstützung beim Tragen von Lasten	Seilzug	20kg	körpernaher Aufbau; ähnlich eines Rückenprotektors	ca. 0,8kg	-	schnell an- und ablegbar; wie Rucksack	Stoffüberzug ist abnehmbar und kann in der Waschmaschine gereinigt werden		keine Bewegungseinschränkung
<b>Passive Arms (RoboMate)</b>	Arme	Federmechanismus	7,5kg pro Arm		3,7kg pro Arm	-				keine Bewegungseinschränkung

**Tabelle 45: Passive Prototypen für den Oberkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Modul 2 (Exomys - Augmented Humanity GmbH)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitive, geräuschlose Bedienung	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung		voraussichtlich: € 2.500 - 4.000,-		einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; einfach anlegbar	
<b>Passive Arms (RoboMate)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	160 - 180cm					klobig, begrenzte Unterstützung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte

11. Passive Prototypen für den Unterkörper:

**Tabelle 46: Passive Prototypen für den Unterkörper, Teil 1**

Produkt	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen
<b>Modul 1 (Exomys - Augmented Humanity GmbH)</b>	Beine; Sitzmöglichkeit	Seilzug, mechanische Verriegelung	unterstützt Körpergewicht bis 150kg (geplant bis 200kg)	minimalisierter und ergonomischer Aufbau; wird unter der Kleidung getragen	ca. 2kg	-	einfach, da Exoskelett in Arbeitshose eingearbeitet ist	Stoffüberzug ist abnehmbar und kann in der Waschmaschine gereinigt werden		keine Bewegungseinschränkung

**Tabelle 47: Passive Prototypen für den Unterkörper, Teil 2**

Produkt	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
<b>Modul 1 (Exomys - Augmented Humanity GmbH)</b>	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitive, geräuschlose Bedienung	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung		voraussichtlich: € 2.500 - 4.000,-		einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; unsichtbar; Fit-For-All	

12. Passive Prototypen für den ganzen Körper konnten im Rahmen dieser Recherche nicht ermittelt werden.

### 3.3 Zusammenfassung und Fazit

Im Zuge dieser Marktanalyse konnten weltweit 31 Unternehmen bzw. Institute ermittelt werden, die insgesamt 53 Exoskelette für industrielle Anwendungen, entweder in Form eines marktreifen Produktes oder eines Prototypen, bewerben bzw. präsentieren. Abbildung 24 liefert einen Überblick über die zahlenmäßige Verteilung von marktreifen Produkten bzw. Prototypen, aktiven und passiven Exoskeletten, sowie Exoskeletten für Ober-, Unterkörper und den ganzen Körper.

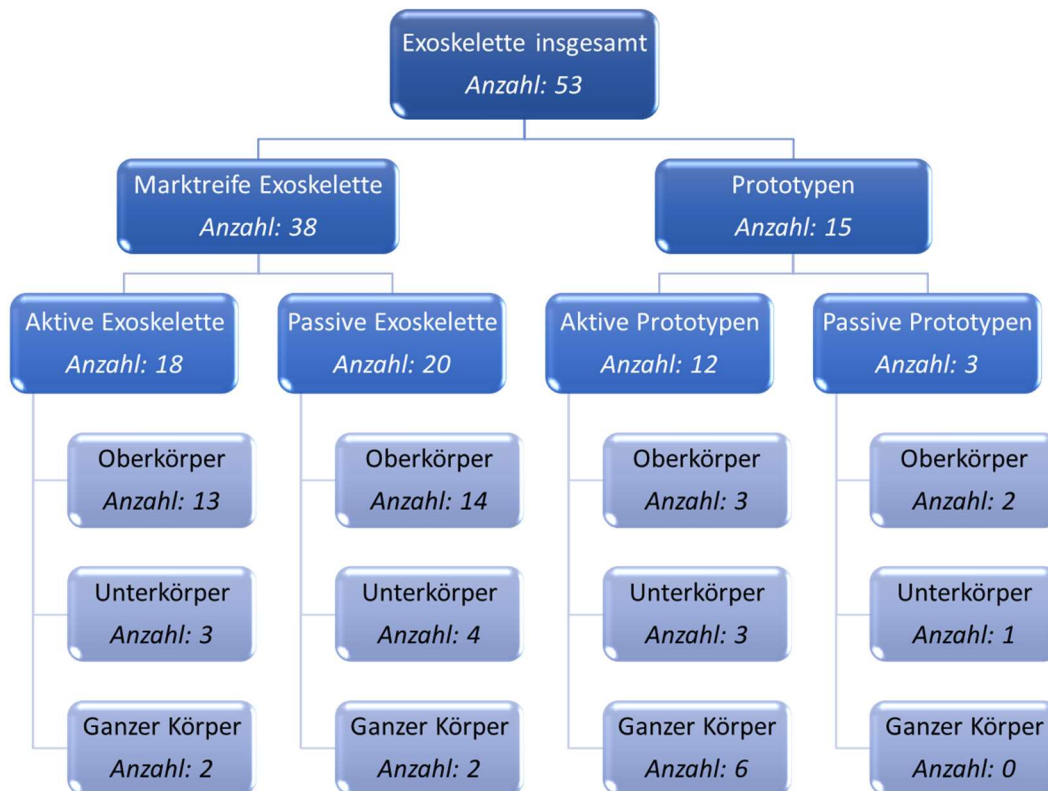


Abbildung 24: Überblick über die ermittelten industriellen Exoskelette

Einen Überblick über die geographische Verteilung dieser 31 Unternehmen bzw. Institute und deren Produkte bzw. Prototypen liefert Abbildung 25.

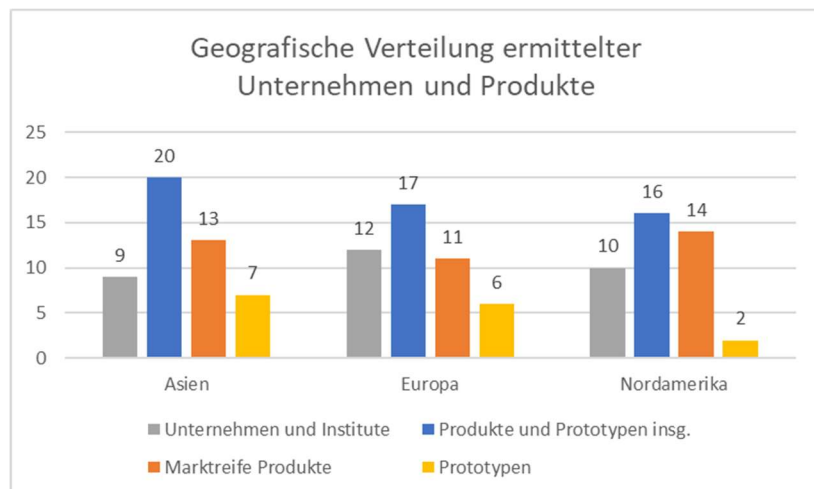


Abbildung 25: Geografische Verteilung ermittelter Unternehmen und Produkte

Die in der obigen Abbildung enthaltenen Daten sind ebenso, in dem sich im Anhang dieser Arbeit befindenden Excel Sheet enthalten. Neben der kontinentalen Zuordnung wurden die ermittelten Unternehmen und Institute ihren jeweiligen Ländern zugeordnet. Diese auf den drei Kontinenten, Asien, Europa und Nordamerika, ansässigen Unternehmen bzw. Institute sind insgesamt auf 12 Länder verteilt. Zusätzlich konnte noch ein länderübergreifendes EU-Projekt ermittelt werden. Eine Zusammenfassung dessen wird in Abbildung 26 dargestellt.

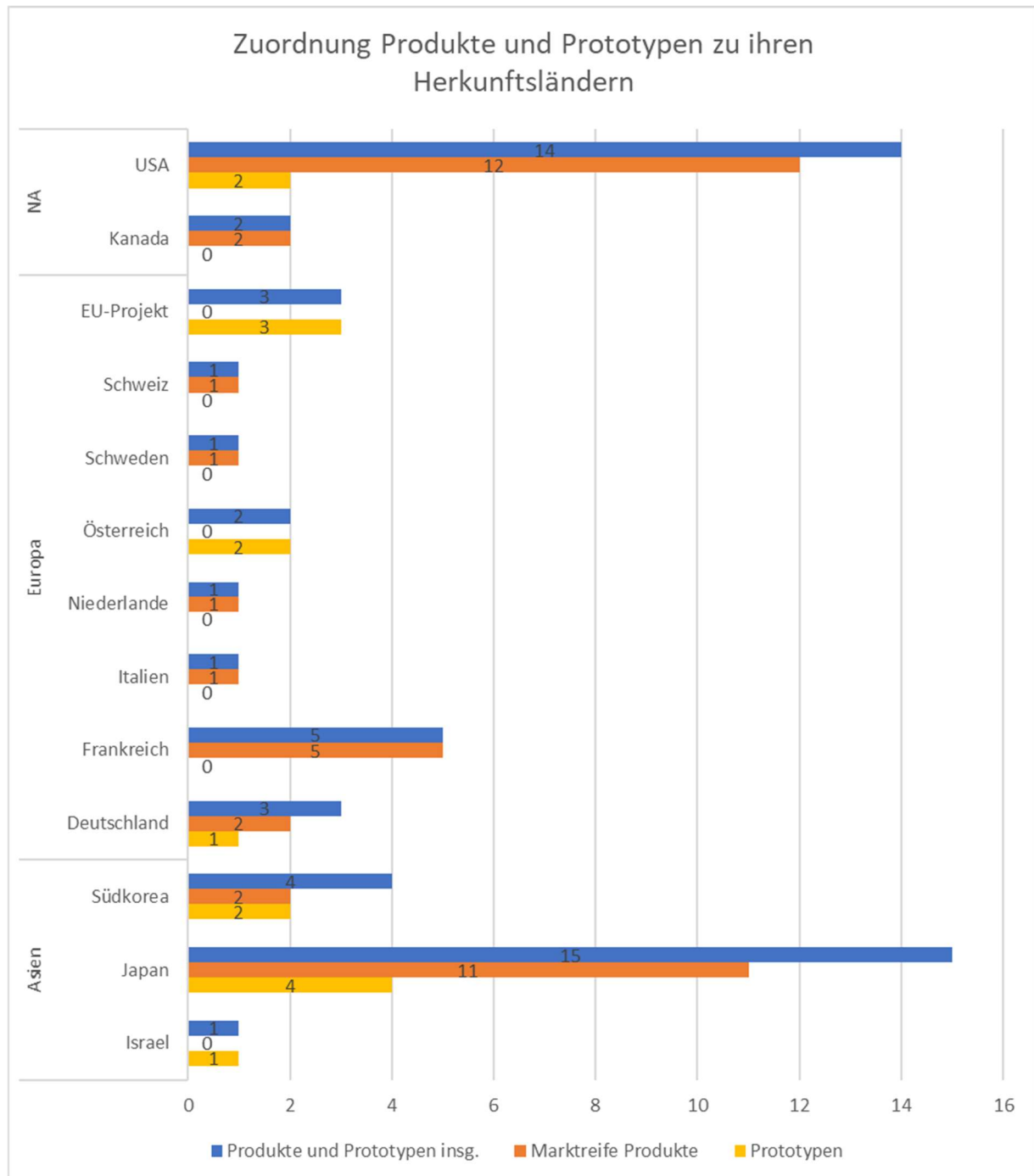


Abbildung 26: Zuordnung Produkte und Prototypen zu ihren Herkunftsländern

Beide Abbildungen zeigen, dass sich die ermittelten Unternehmen und Institute, die sich mit industriellen Exoskeletten beschäftigen auf jene drei Kontinente verteilen, die sich auf der nördlichen Hemisphäre befinden. Es konnten keine Hersteller oder Institute gefunden werden, die sich in Südamerika, Afrika oder Australien befinden.

Was die zahlenmäßige Verteilung der Unternehmen bzw. Institute und der Produkte bzw. Prototypen betrifft, konnten keine allzu großen Unterschiede zwischen Asien, Europa und Nordamerika identifiziert werden. Wie Abbildung 25 zeigt, weichen die Zahlen nur geringfügig voneinander ab. Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Länder, lässt sich eine zahlenmäßige Dominanz von Japan und den USA, mit 15 respektive 14 Produkten und Prototypen, erkennen (Abbildung 26).

- Erkenntnisse der Marktanalyse in Asien:

Bei der Marktanalyse in Asien konnten drei Länder identifiziert werden, die sich mit der Produktion und Entwicklung industrieller Exoskelette beschäftigen, nämlich Israel, Japan und Südkorea. Es ist nicht überraschend, dass sich ausgerechnet diese Länder mit dem Thema Exoskelette beschäftigen, denn vor allem Japan und Südkorea sind sich schon seit vielen Jahren der Problematik der demographischen Alterung bewusst. Bei der Recherche in diesen Märkten begegnet man nicht nur Exoskeletten für den industriellen Einsatz, sondern auch in reger Zahl Exoskeletten für den Einsatz in Pflegeeinrichtungen und zu Rehabilitationszwecken. Neben vielen kleineren Unternehmen sind an der Entwicklung und Produktion von Exoskeletten auch große namhafte Unternehmen, wie Hyundai, Mitsubishi und Panasonic, beteiligt. Viele der ermittelten und betrachteten Produkte haben bereits die Marktreife erreicht und werden ihrem Zweck entsprechend am asiatischen Markt auch eingesetzt. Leider hat sich im Zuge der Recherche gezeigt, dass die meisten japanischen und südkoreanischen Unternehmen ihre Produkte nicht am europäischen Markt vertreiben.

Da in Israel nur ein Start-up ausfindig gemacht werden konnte, das sich mit Exoskeletten beschäftigt, lässt sich was den israelischen Markt betrifft keine eindeutige Aussage machen. Dadurch, dass Israel allerdings für seine lebendige Start-up Szene bekannt ist, ist es auch hier nicht verwunderlich, auf das Thema Exoskelette zu stoßen.

- Erkenntnisse der Marktanalyse in Europa:

Analysiert man den europäischen Markt im Hinblick auf industrielle Exoskelette, zeigt sich, dass keine Land als besonders dominierend heraussticht. Auffällig ist allerdings schon, dass sich ausschließlich westeuropäische Länder mit dem Thema industrieller Exoskelette beschäftigen. Es konnten keine osteuropäischen Länder ermittelt werden, die sich Exoskeletten widmen. Auffallend hierbei ist, dass sich in Europa nicht nur Unternehmen, sondern auch Institute, wie z.B. das Fraunhofer Institut, mit der Entwicklung von Exoskeletten beschäftigen. Außerdem existiert



auch das von der EU geförderte Projekt, Robo-Mate, in dem die Entwicklung und der Einsatz von Exoskeletten für industrielle Applikationen untersucht wurde. Projekte und Institute wie diese konnten auf den anderen Kontinenten nicht gefunden werden. Natürlich stößt man auch hier im Rahmen der Recherche auf Exoskelette, die für medizinische Anwendungen, meist zur Rehabilitation, eingesetzt werden, aber auch auf Exoskelette für die Freizeitindustrie, die beim Laufen oder Skifahren verwendet werden können.

- **Erkenntnisse der Marktanalyse in Nordamerika:**  
Analysiert man den nordamerikanischen Markt auf die Verfügbarkeit von Exoskeletten, stößt man vielfach auf Exoskelette für den militärischen Einsatz. So ist es nicht überraschend, dass unter den ermittelten Anbietern auch Unternehmen wie z.B. Lockheed Martin zu finden sind. Vielfach ergibt sich der Eindruck, dass manche der Unternehmen, die ihre Produkte ursprünglich für den militärischen Einsatz entwickelt haben, diese nun in einer „abgespeckten“ Variante für industrielle Anwendungen anbieten. Neben den industriellen Exoskeletten stößt man auch in Nordamerika häufig auf Exoskelette, die im Bereich der medizinischen Rehabilitation eingesetzt werden, aber auch auf jene die ausschließlich dazu entwickelt wurden, um das Führen und Tragen von Filmkameras zu erleichtern. Dominiert wird der nordamerikanische Markt vor allem von den USA, während kanadische Unternehmen, die sich mit Exoskeletten beschäftigen, deutlich unterrepräsentiert sind.
- **Allgemeine Erkenntnisse der Marktanalyse:**  
Eine wesentliche Erkenntnis dieser Marktanalyse ist, dass die Informationen und Daten, die einzelne Unternehmen und Institute bezüglich ihrer Produkte und Prototypen zur Verfügung stellen, in der Menge und Aussagekraft deutlich variieren. Während manche Anbieter bereits ganze Manuals und Datenblätter auf ihren Internetseiten zur freien Einsicht zur Verfügung stellen, beschränken sich andere auf nahezu rein qualitative Aussagen über die Einsatzfähigkeit ihrer Produkte. Leider war es dann auch gerade bei diesen Anbietern, trotz mehrmaliger Kontaktaufnahme via Email oder auch per Telefon nicht immer möglich weitere Informationen zu erhalten.

Eine weitere Frage, die sich in diesem Zusammenhang stellt, ist wie valide die angegebenen Daten sind bzw. unter welchen Bedingungen diese erhoben wurden. Während Angaben zum Eigengewicht oder den Abmessungen der Produkte eindeutig sind, sind Aussagen zum Tragekomfort oder zur Steigerung der Ausdauer als eher subjektiv einzustufen. Außerdem ist hierbei zu unterscheiden, ob diese Informationen aus dem realen Einsatz in einem Produktionsumfeld stammen oder bei Untersuchungen unter Laborbedingungen ermittelt wurden.

Aussagen diesbezüglich sind bei den untersuchten Anbietern in den meisten Fällen nicht zu finden. (T. Bosch et al. 2016) haben sich in ihrer Arbeit mit diesem Thema beschäftigt und einen Überblick über Auswirkungen auf die Muskelaktivität und auf biomechanische Parameter wie z.B. die Kompression in den Lendenwirbeln, durch den Einsatz verschiedener Exoskelettprodukte gegeben. Allerdings wurden auch hier die gesammelten Daten anhand von Laboruntersuchungen erhoben. Auch (S. Spada et al. 2017) und (W. Van de Venn 2016) haben sich mit den physischen und kognitiven Auswirkungen von Exoskeletten im industriellen Einsatz beschäftigt. Insbesondere bei (W. Van de Venn 2016) wurden im Rahmen des EU-Projektes Robo-Mate auch Untersuchungen unter realen Bedingungen im Produktionsumfeld durchgeführt. In wie fern die dabei untersuchten Prototypen in marktreife Produkte eingegangen sind und ob die erhobenen Daten auf diese übertragen werden können, konnte nicht ermittelt werden.

Eine weitere Erkenntnis aus der Marktanalyse, die im anschließenden, praktischen Teil nochmal aufgegriffen werden wird ist, dass die Einsatzmöglichkeiten der präsentierten Exoskelette im Allgemeinen als sehr spezifisch betrachtet werden können. Soll heißen, dass ein bestimmtes Exoskelett z.B. nur Unterstützung bei Überkopfarbeiten bietet, oder ein anderes ausschließlich als Sitzgelegenheit eingesetzt werden kann. Sogenannten „Allroundern“, die in der Lage sind unterschiedliche Bewegungsmuster unterstützen zu können, begegnet man in der Regel nicht.

Nachdem der Einsatz von Exoskeletten in der industriellen Produktion erst in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Langzeitstudien, die die Folgen des täglichen Tragens von Exoskeletten über ein gesamtes Arbeitsleben abbilden könnten. Tatsächlich wäre es sinnvoll und von großem Interesse zu wissen, welche Konsequenzen sich im Hinblick einer Kraftumverteilung, eventueller Muskeldegeneration oder auch Druckstellen durch permanentes Tragen, ergeben. Auch quantitative Aussagen im Hinblick, um wie viele Jahre Mitarbeiter/-innen physisch anspruchsvolle Tätigkeiten länger ausüben können, wenn sie Exoskelette zur Verfügung gestellt bekommen oder in welchem Umfang ältere und/oder bewegungseingeschränkte Mitarbeiter/-innen im Arbeitsleben gehalten werden können, sind heute noch nicht verfügbar. In diesen Bereichen besteht daher weiterer Forschungsbedarf.

Abschließend muss an dieser Stelle noch ergänzend angeführt werden, dass diese hier vorgestellte Marktanalyse keinen Anspruch auf absolute Vollständigkeit erhebt. Es kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass einzelne Produkte oder Unternehmen bei der Recherche unbeabsichtigt übersehen wurden oder auch während des Erstellens dieser Arbeit einzelne Produkte neu auf den Markt

gekommen sind oder auch wieder verschwunden sind. Außerdem befürwortet oder bevorzugt diese Marktanalyse kein vorgestelltes Produkt oder vorgestellten Prototypen gegenüber einem anderen. Sie bietet lediglich einen Überblick über die gegenwärtig verfügbaren oder sich in der Entwicklung befindenden Exoskelette zum Einsatz in der industriellen Produktion, inklusive ihrer spezifischen Features und Anwendungsmöglichkeiten.

## 4 Praktischer Teil - Partnerunternehmen XY

Dieses Kapitel befasst sich mit dem praktischen Teil dieser Arbeit, in dem es darum geht für das Partnerunternehmen XY eine Lösung zur ergonomischen Gestaltung eines konkreten Arbeitsplatzes zu finden. Ziel ist es, die dort eingesetzten Mitarbeiter bei ihrer täglichen Arbeit zu unterstützen und zu entlasten. Dies soll durch den Einsatz eines geeigneten Exoskelettes erreicht werden.

Im ersten Teil dieses Kapitels wird daher der gegenwärtige Status Quo des eben angesprochenen Arbeitsplatzes und die vorherrschenden Arbeitsbedingungen vorgestellt. Darauf basierend werden die Anforderungen abgeleitet, die das Exoskelett erfüllen soll, um die angestrebten Ziele hinsichtlich Ergonomie, Unterstützung und Entlastung zu erreichen. Anhand der ermittelten Anforderungen, die wiederum in MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen unterschieden werden, werden jene Exoskelette, die im Rahmen der bereits präsentierten Marktanalyse vorgestellt wurden, bewertet. Anschließend erfolgt die Auswertung der Ergebnisse, wobei die vielversprechendsten Exoskelette für den konkreten Anwendungsfall genannt werden. Zusätzlich ergab sich für die betroffenen Mitarbeiter, während der Entstehung dieser Arbeit, auch die Möglichkeit einige der genannten Produkte auszuprobieren. Die Erkenntnisse daraus werden ebenfalls in diesem Kapitel präsentiert.

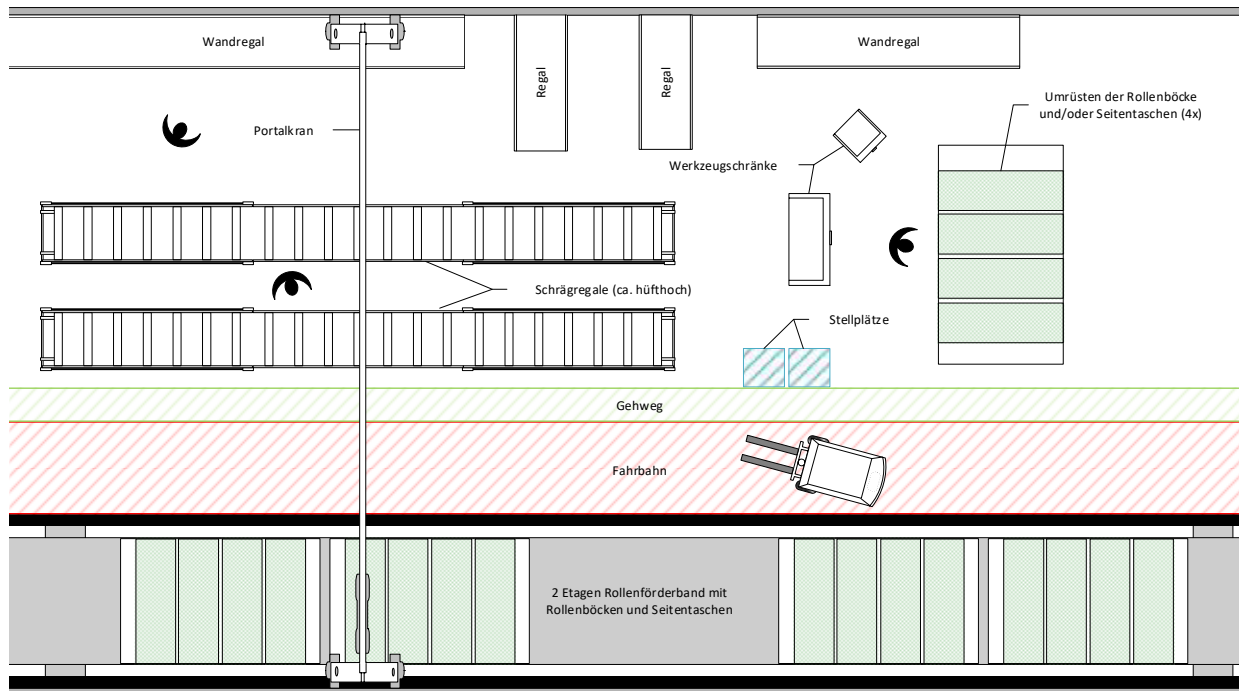
### 4.1 Status Quo im Partnerunternehmen XY

Bei dem betreffenden Partnerunternehmen XY handelt es sich um ein in Niederösterreich angesiedeltes Unternehmen, in dem Rohre und Profile hergestellt werden. Im Fokus dieses Unternehmens steht in erster Linie ein konkreter Rüstprozess der mit Unterstützung der Technischen Universität Wien im Rahmen dieser Diplomarbeit optimiert werden soll. Die gegenwärtigen Arbeitsbedingungen und Tätigkeiten, die während dieses Rüstprozesses vorliegen und ausgeführt werden, werden im Folgenden besprochen.

Um die unterschiedlichen Rohre und Profile fertigen zu können, benötigt es entsprechende Werkzeuge, in Form von sogenannten Rollenböcken und Seitentaschen. Diese wiederum bestehen abhängig von dem zu fertigenden Produkt aus Rollen bzw. Wechselplatten unterschiedlicher Größen und Massen. Es ist daher erforderlich, je nachdem welches Profil hergestellt werden soll, die eingesetzten Rollenböcke und Seitentaschen mit den entsprechenden Rollen und Wechselplatten zu bestücken. Die Montage bzw. Demontage dieser Rollen und Wechselplatten findet im Rahmen jenes Rüstprozesses statt, den es nun zu optimieren gilt.

Um sich von den vorherrschenden Gegebenheiten einen besseren Eindruck machen zu können, wird in Abbildung 27 jene Halle dargestellt, in der der Rüstprozess

durchgeführt wird. Es handelt sich hierbei um eine reine Gedächtnisskizze, um einen Rückschluss auf das tatsächliche Unternehmen auszuschließen.



**Abbildung 27: Halle inkl. Rüstearbeitsplatz**

Kernstück der obigen Abbildung ist der Rüstearbeitsplatz, an dem das Umrüsten der bereits erwähnten Rollenböcke und Seitentaschen erfolgt. Zu diesem Zweck werden Einheiten bestehend aus jeweils vier Rollenböcken und/oder Seitentaschen mittels Portalkran vom Rollenförderband auf den Rüstearbeitsplatz gehoben bzw. danach wieder auf dieses zurück platziert.

Die Aufgabe des dort eingesetzten Mitarbeiters besteht nun darin entweder die vorhandenen Rollen und Wechselplatten zu demontieren oder neue Rollen und Wechselplatten zu montieren, sodass ein anderes Profil gefertigt werden kann. Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang, dass diese Rollen unterschiedliche Größen und daher auch Massen besitzen. Diese können bis zu 80kg pro Rolle betragen. Zum besseren Verständnis zeigt Abbildung 28 ein Beispiel einer zu montierenden bzw. demontierenden Rolle.



**Abbildung 28: Rolle<sup>190</sup>**

Die Montage bzw. Demontage dieser Rollen wird manuell mit entsprechendem Werkzeug durchgeführt, wobei von den ausführenden Mitarbeitern häufig Positionen in vorgebeugter Haltung eingenommen werden müssen, um die Rollenböcke mit den jeweiligen Rollen zu bestücken oder diese zu entfernen.

Bei den angesprochenen Rollen werden zwei Typen unterschieden, nämlich die Satzrollen und die Kombinationsrollen. Während die Satzrollen mit Hilfe eines Hubwagens zum Rüstearbeitsplatz gebracht werden und an den vorgesehenen Stellplätzen bereit gestellt werden, befinden sich die Kombinationsrollen in den vor Ort vorhandenen, nicht höhenverstellbaren Regalen, den Wandregalen bzw. den ca. hüfthohen Schrägregalen. Wie aus Abbildung 27 ersichtlich, kann die Entnahme aus bzw. das wieder Einlagern in die entsprechenden zugeordneten Positionen in den Regalen mit mehr oder weniger langen Transportwegen verbunden sein. Diese Wege legen die Mitarbeiter zu Fuß zurück, wobei ihnen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung gestellt werden, um die einzelnen Rollen aufzunehmen. Am Rüstearbeitsplatz werden sowohl Haken, Zangen und Magnetgreifer verwendet, um die Rollen anzuheben. Der Transport von den Regallagerplätzen zum Rüstearbeitsplatz und umgekehrt gestaltet sich in der Praxis unterschiedlich. Während Rollen, die über hohe Massen verfügen, über die vorhandenen Aufnahmemöglichkeiten z.B. Zange mit Hilfe des Portalkrans transportiert werden, werden Rollen mit Massen bis zu ca. 20kg von den Mitarbeitern ohne die Verwendung des Portalkrans und Aufnehmers, rein manuell transportiert. Der Einsatz des Portalkrans erfolgt hierbei nach persönlichem Ermessen des jeweiligen Mitarbeiters und wird nicht zwingend für jede einzelne Rolle vorgeschrieben. Dadurch, dass das Manövrieren der Rollen mittels Portalkran mehr Zeit in Anspruch nimmt, als der manuelle Transport durch den Mitarbeiter, hat sich in

<sup>190</sup> zur Verfügung gestellt von Partnerunternehmen XY; Stand: Dezember 2018



der Praxis der manuelle Transport bei noch tragbaren Massen durchgesetzt. Erwähnenswert ist außerdem, dass der Manövrierraum zwischen den einzelnen Regalreihen eingeschränkt ist.

Neben den Montage- und Demontagetätigkeiten müssen im Zuge des Rüstprozesses auch Reinigungstätigkeiten durchgeführt werden. So werden die Rollen und Rollenböcke nach ihrem Einsatz mit einem Lappen gereinigt und von Öl- und Emulsionsrückständen befreit. Zusätzlich werden auch diverse Schraubtätigkeiten von den Mitarbeitern ausgeführt, um notwendige Feineinstellungen vorzunehmen. Beim Ausführen all dieser Tätigkeiten müssen die Mitarbeiter auf die etwa kniehohe Erhöhung auf der sich die Rollenböcke befinden, steigen. Nur so ist es ihnen möglich auch die hinteren am weitest entfernten Bereiche der Rollenböcke zu erreichen. Der Raum zwischen den Rollenböcken ist außerdem äußerst beschränkt.

Aufgrund des breiten Produktspektrums kann man von den Mitarbeitern nicht erwarten jedes Einstellungsmaß und/oder jeden einzelnen Bestückungsplan der Rollenböcke auswendig zu wissen. Dafür gibt es entsprechende Rüstpläne, die auf den Werkzeugbänken zur Einsicht zur Verfügung gestellt werden. In manchen Fällen müssen die Mitarbeiter daher nachblättern, um den aktuellen Rüstplan einsehen zu können. Die Mitarbeiter müssen also im Rahmen ihrer Tätigkeitsausübung eine Vielzahl feinmotorischer Bewegungen durchführen.

Erschwerend kommt hinzu, dass nicht nur die Rollen mit Öl und Emulsion verunreinigt sind, sondern ebenfalls die Umgebungsatmosphäre dieses Arbeitsplatzes davon betroffen ist. Dies schließt auch den Boden mit ein, weshalb es stellenweise auch rutschig sein kann. Es ist weiters davon auszugehen, dass sich außerdem noch Zunder in der Atmosphäre befindet. Dadurch, dass viele der eingesetzten Materialien verzinkt sind, tritt zusätzlich in der Atmosphäre ein relativ intensiver Zinknebel auf.

Gegenwärtig sind zwei bis maximal fünf Mitarbeiter, alle ausschließlich männlich, an diesem vorgestellten Rüst Arbeitsplatz tätig, wobei pro Acht-Stunden-Schicht nur jeweils ein Mitarbeiter die vollständige Montage und Demontage durchführt. Je nach Komplexität des zu fertigenden Profils, beträgt die Dauer eines Rüstprozesses zwischen 1,5h bis 2h. Während einer Schicht werden von dem betroffenen Mitarbeiter keine anderen Arbeiten an anderen Arbeitsplätzen ausgeführt.

Aufgrund der vorherrschenden Arbeitssituation kommt es bei den betroffenen Mitarbeitern immer wieder zu Rückenproblemen, insbesondere zu Bandscheibenproblemen des unteren Rückens. Hervorgerufen wird das durch das Manipulieren großer Lasten und/oder durch das Einnehmen und Ausführen unergonomischer Haltungen bzw. Bewegungsmuster. In einigen Fällen kam es auch zum Auftreten von Handgelenksbeschwerden. Gespräche mit den Mitarbeitern vor Ort, ergaben ein ähnliches Bild. So wurde der manuelle Transport der Rollen von den

Regalen zum Rüst Arbeitsplatz und retour, als weniger belastend empfunden, als das Einnehmen einer nach vorne gebeugten Haltung, die im Rahmen des Montage- und Demontageprozesses häufig notwendig ist. Der oftmals rutschige Untergrund wurde ebenfalls als zusätzliche Erschwernis genannt.

Ziel des Partnerunternehmens XY ist es daher seine Mitarbeiter bei dieser Rüsttätigkeit dahingehend zu unterstützen, den Arbeitsplatz und die Arbeitsausführung zukünftig ergonomischer zu gestalten. Gleichzeitig sollen vor allem der untere Rücken entlastet und die Mitarbeiter bei der Manipulation großer Massen besser unterstützt werden. Realisiert soll dies nicht durch eine Neugestaltung des Rüst Arbeitsplatzes durch herkömmliche Assistenzsysteme werden, sondern durch Exoskelette, die den vorliegenden Anforderungen genügen und darüber hinaus einen örtlich flexiblen Einsatz ermöglichen. Das Partnerunternehmen XY verspricht sich dadurch, arbeitsbedingten Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates entgegenzusteuern und vorbeugen zu können, sodass Mitarbeiter zukünftig länger und gesünder im Arbeitsleben verbleiben und die beschriebene Tätigkeit ausführen können.

Im folgenden Abschnitt werden anhand der vorgestellten Beschreibung des Arbeitsplatzes, der Tätigkeiten und der Arbeitsbedingungen die notwendigen Anforderungen abgeleitet, die ein solches Exoskelett aufweisen muss und in einem Anforderungskatalog zusammengefasst.

## 4.2 Anforderungskatalog

Die folgende Tabelle 48 beinhaltet sämtliche Anforderungen, die an jenes Exoskelett gerichtet sind, welches für den beschriebenen Anwendungsfall im Partnerunternehmen XY eingesetzt werden soll. Diese hier vorgestellten Anforderungen wurden anhand von Gesprächen mit den betroffenen Mitarbeitern, sowie den dafür Verantwortlichen des Unternehmens, dem Abteilungsleiter der Vorproduktion und der zuständigen Sicherheitsfachkraft, abgeleitet und zusammengetragen. Die Zuordnung der in der Tabelle enthaltenen Anforderungen erfolgt nach den in der Markanalyse vorhandenen Kriterien.

Gleichzeit erfolgt in dem vorgestellten Anforderungskatalog eine Unterscheidung in MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen, die im darauffolgenden Abschnitt dieser Arbeit die Grundlage für die Bewertung der Exoskelette aus der Marktanalyse darstellen.

Bei den MUSS-Anforderungen handelt es sich um solche Anforderungen, die unbedingt erfüllt sein müssen, da sonst ein Einsatz an dem betreffenden Arbeitsplatz absolut unmöglich wäre und/oder die Akzeptanz von Seiten des Unternehmens bzw. der Mitarbeiter nicht gegeben wäre. Beispielsweise wäre ein Exoskelett, das zu

massiven Bewegungseinschränkungen führt, sodass der Mitarbeiter die eigentliche Tätigkeit gar nicht ausführen kann, grundsätzlich ungeeignet.

Als SOLL-Anforderungen sind jene Anforderungen einzustufen, die nicht notwendiger Weise vollständig erfüllt sein müssen, um das Exoskelett einsetzen zu können. Beispielsweise wäre ein Exoskelett, das nur mit speziellem Reinigungsmittel gesäubert werden kann, zwar in der Praxis einigermaßen aufwendiger zu handhaben, würde aber die Tätigkeitsausübung nicht unmöglich machen.

KANN-Anforderungen hingegen sind Anforderungen, die keiner besonderen Priorität oder einer gewissen Gleichgültigkeit unterliegen. So ist es z.B. nicht von Bedeutung ob ein Exoskelett passiv oder aktiv betrieben wird, solange es die MUSS-Anforderungen erfüllt.

**Tabelle 48: Anforderungskatalog inkl. MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen**

Kriterium	Anforderung	MUSS	SOLL	KANN
<b>Standort des Unternehmens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevorzugt werden Unternehmen deren Standorte sich am europäischen Kontinent befinden, um im Falle von z.B. Störungen, Bedarf an Ersatzteilen, ... rasch reagieren zu können.</li> <li>• Sollte ein Unternehmen in Übersee ansässig sein, sollte es zumindest über eine europäische Niederlassung im Hinblick auf Vertrieb und Support verfügen.</li> </ul>	✓		
<b>Unterstützter Körperbereich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In erster Linie soll der untere Rücken, vor allem die Bandscheiben, entlastet werden.</li> <li>• Zusätzliche Entlastung der Arme und Schultern beim Tragen von Lasten.</li> <li>• Eventuelle Entlastung der Handgelenke.</li> </ul>	✓		
<b>Antrieb</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es gibt keine Präferenz bezüglich des Antriebs bzw. ob es sich um ein passives oder aktives Exoskelett handeln soll, solange es die restlichen Anforderungen erfüllt.</li> </ul>			✓
<b>Max. Unterstützung in kg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tatsächlich werden Massen bis zu 80kg bewegt.</li> <li>• Das Exoskelett soll nicht zwingend diese hohen Massen unterstützen oder bewegen können, da diese ohnehin von den Mitarbeitern mit Hilfe des Portalkrans manövriert werden.</li> <li>• Eingesetzt soll das Exoskelett vor allem beim Tragen und Manövrieren von Massen bis zu ca. 20 kg werden, da bei dieser Größenordnung die Mitarbeiter aus Zeitgründen gerne auf den Portalkran verzichten.</li> </ul>		✓	
<b>Abmessungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse sollen die äußeren Abmessungen des Exoskelettes so gering als möglich sein.</li> </ul>	✓		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Platzverhältnisse am Rüst Arbeitsplatz und zwischen den Regalen sind sehr eingeschränkt.</li> </ul>			
<b>Eigengewicht</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Da die Rüsttätigkeiten von den Mitarbeitern während der gesamten Schicht, also 8h pro Tag, ausgeführt werden, wird das Exoskelett auch während der gesamten Zeit getragen werden.</li> <li>Das Eigengewicht des Exoskelettes sollte daher so gering als möglich sein, um eine zusätzliche Belastung der Mitarbeiter zu verhindern.</li> </ul>	✓		
<b>Max. Akkulaufzeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für den Fall, dass es sich um ein aktives Exoskelett handelt, soll die Akkulaufzeit eine gesamte 8h-Schicht betragen.</li> <li>Falls die Akkus eine geringere Laufzeit besitzen, muss es möglich sein die Akkus schnell und einfach zu tauschen.</li> <li>Die Akkuladezeit sollte darüber hinaus praktikabel sein.</li> </ul>			✓
<b>An- und Ablegen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das An- und Ablegen des Exoskelettes sollte rasch und einfach möglich sein.</li> <li>Dies ist einerseits aus sicherheitstechnischen Aspekten relevant, z.B. bei Feueralarm.</li> <li>Andererseits machen Mitarbeiter auch Pausen oder müssen Toiletten aufsuchen, wodurch ein mehrmaliges An- und Ablegen pro Schicht erforderlich ist.</li> </ul>	✓		
<b>Reinigungsmöglichkeiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufgrund der beschriebenen Verunreinigungen in der Arbeitsumgebung, wie öl- und emulsionshaltiger Atmosphäre, sowie Zunder werden die Exoskelette häufig gereinigt werden müssen.</li> <li>Dies soll einfach und mit herkömmlichen Reinigungsmitteln möglich sein.</li> </ul>		✓	
<b>Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>In der Umgebung des Arbeitsplatzes ist die Atmosphäre öl-, emulsions- und zunderhaltig. Dem gegenüber soll das Exoskelett unempfindlich sein.</li> <li>Auch der Boden des Arbeitsplatzes ist teilweise durch die entsprechenden Substanzen verunreinigt und rutschig. Daher sollte beim Tragen des Exoskelettes auf Rutschsicherheit geachtet werden.</li> <li>Da die verwendeten Materialien vielfach versinkt sind, hat man es auftretendem Zinknebel am Arbeitsplatz zu tun. Auch dagegen soll das Exoskelette unempfindlich sein.</li> <li>In der Werkshalle finden außerdem Tätigkeiten wie z.B. Hochfrequenzschweißen und auch Kommunikation via Kranfunk statt. Die Funktion des Exoskelettes soll dadurch unbeeinflusst bleiben.</li> </ul>		✓	
<b>Bewegungseinschränkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die auszuführenden Tätigkeiten erfordern Bewegungen, wie gehen, auf eine Erhöhung steigen, Rotation des Oberkörpers und</li> </ul>	✓		

	bücken. Diese dürfen durch das Exoskelett nicht eingeschränkt werden.			
<b>Feinmotorische Tätigkeiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feinmotorische Tätigkeiten, wie Grob- und Feineinstellungen beim Umrüsten, Schraubtätigkeiten, Umblättern der Rüstpläne und Reinigungstätigkeiten sollen ausführbar bleiben.</li> </ul>	✓		
<b>Benutzerfreundlichkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Exoskelett soll von den Mitarbeitern intuitiv bedienbar sein. Lange Einschulungen und das Lesen komplexer Manuals sollen vermieden werden.</li> </ul>		✓	
<b>Größenadaptierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Da das Exoskelett von mehreren Mitarbeitern getragen werden wird, ist eine Adaptierbarkeit auf unterschiedliche Körpermaße erforderlich.</li> </ul>		✓	
<b>Serviceleistungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Support wie Beschaffung, Einschulung, Wartung, Beschaffung von Ersatzteilen, Hilfestellung bei Störungen soll einfach und zeitnah erfolgen.</li> </ul>		✓	
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das vorgegebene Budget soll nicht überschritten werden.</li> <li>• Es wird der Kauf von zwei Exoskeletten angestrebt.</li> </ul>			✓

Wie ersichtlich, werden insgesamt 16 Anforderungskriterien an das Exoskelett gestellt, wovon sieben MUSS-, sechs SOLL- und drei KANN-Anforderungen voneinander unterschieden werden können. Dies wird in Tabelle 49 zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 49: Zusammenfassung der Anforderungen**

MUSS-Anforderungen	SOLL-Anforderungen	KANN-Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standort des Unternehmens</li> <li>• Unterstützter Körperbereich</li> <li>• Abmessungen</li> <li>• Eigengewicht</li> <li>• An- und Ablegen</li> <li>• Bewegungseinschränkungen</li> <li>• Feinmotorische Tätigkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Max. Unterstützung in kg</li> <li>• Reinigungsmöglichkeit</li> <li>• Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen</li> <li>• Benutzerfreundlichkeit</li> <li>• Größenadaptierbarkeit</li> <li>• Serviceleistungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antrieb</li> <li>• Max. Akkulaufzeit</li> <li>• Kosten</li> </ul>

Im Folgenden werden die in der Marktanalyse präsentierten Exoskelette anhand der festgelegten Anforderungen bewertet.

### 4.3 Bewertung der Exoskelette aus der Marktanalyse

Die Bewertung der Exoskelette aus der Marktanalyse erfolgt nun folgendermaßen: Bewertet werden ausschließlich marktreife Produkte und keine Prototypen. Zunächst werden dabei die festgelegten MUSS-Anforderungen betrachtet. Erfüllt das Exoskelett zumindest eine dieser MUSS-Anforderungen nicht, wird es verworfen, da es für den

gewünschten Anwendungsfall nicht einsetzbar ist. Die MUSS-Anforderungen können daher auch als Knock-Out Kriterien betrachtet werden.

Die verbliebenen Exoskelette werden anschließend anhand der SOLL- und KANN-Anforderungen mittels Punktevergabe bewertet. Erfüllt das Exoskelett eine SOLL- bzw. KANN-Anforderung vollständig, wird 1 Punkt vergeben. Bei teilweiser Erfüllung erhält das Exoskelett 0,5 Punkte und bei Nichterfüllung 0 Punkte. Produkte bei denen im Rahmen der Marktanalyse keine Informationen bezüglich bestimmter Kriterien ermittelt werden konnten, werden ebenfalls mit 0 Punkten bewertet. Die vergebenen Punkte werden anschließend pro Exoskelett aufsummiert. Jenes Exoskelett mit der höchsten Bewertung gilt daher als das geeignetste Exoskelett für den Einsatz an dem genannten Rüst Arbeitsplatz. Bei Punktegleichstand eignen sich mehrere Exoskelette für den konkreten Anwendungsfall.

- Abgleich mit den MUSS-Anforderungen:  
Der Abgleich mit den MUSS-Anforderungen reduziert die ermittelte Liste an Exoskeletten aus der Marktanalyse von 53 Produkten und Prototypen zu nur noch 13 marktreifen Produkten. Diese werden inklusive der festgelegten MUSS-Anforderungen in folgender Tabelle 50 präsentiert.

Bei den verbliebenen Exoskeletten handelt es sich somit um jene, die den unteren Rücken und/oder die Arme bzw. Schultern unterstützen. Exoskelette deren Abmessungen nicht bekannt sind oder gerade noch grenzwertig sind, wurden nicht aus der Liste eliminiert. Exoskelette deren Eigengewicht über 10kg liegt, wurden ausgeschlossen. Produkte mit möglichen aber nicht gesicherten Bewegungseinschränkungen werden ebenfalls nicht verworfen.



Tabelle 50: Marktreife Exoskelette, die die MUSS-Anforderungen erfüllen

Unternehmen	Standort	Produkt	Körperbereich	Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	An- und Ablegen	Bewegungseinschränkungen	Feinmotorische Tätigkeiten
<b>Bioservo Technologies</b>	Schweden	<b>Ironhand</b>	Oberkörper	Hände, Arme; unterstützt dabei einen besseren Grip in den Händen zu haben				keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Comau</b>	Italien	<b>Mate Exoskeleton</b>	Oberkörper	Schultergürtel, Arme; Entlastung des Herz-Kreislaufsystems		4kg		keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Ekso Bionics</b>	USA	<b>Ekso Vest</b>	Oberkörper	Arme, Schultern	Anpassung des Arbeitsraums auf Reichweite von 50cm	4,3kg	weniger als 1min	leichte Bewegungseinschränkung im Bereich der Schultern	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>German Bionic</b>	Deutschland	<b>Cray X</b>	Oberkörper	unterer Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten; verringert den Kompressionsdruck im unteren Rücken	Außenmaß: 65cm; Innenmaß: 45cm; für den Einsatz sollte ausreichend Platz vorhanden sein; schmale Gänge in denen sich mehrere Mitarbeiter bewegen, sollten vermieden werden	7,9kg Nettogewicht; verschiedene Akku- und Gurtgrößen können das Gewicht beeinflussen	anlegen: 50sec - 3min; ablegen: weniger als 1min	90% der üblichen Bewegungen sind ausführbar; Treppensteigen, Schuhe zubinden, bücken sind möglich; schädliche Bewegungen, wie z.B. das seitliche Heben aus einer Drehbewegung der Wirbelsäule wird bewusst unterbunden	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Gobio Robot / Gebe2</b>	Frankreich	<b>Gobio IP12</b>	Oberkörper	Arme, Schultern	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	2,2kg	anlegen: ca. 30sec; ablegen: ca. 15sec	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Kinetic Edge</b>	USA	<b>Flex Lift</b>	Ganzer Körper	unterer Rücken, Knie; Unterstützung beim Bücken und Heben von Lasten und längerem Stehen	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	anlegen: ca. 20sec.; ablegen: ca. 5sec.	keine Bewegungseinschränkung; hocken, bücken, Treppensteigen, sitzen sind möglich.	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Laevo</b>	Niederlande	<b>Laevo V2.4; V2.45; V2.5</b>	Oberkörper	Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten und Aufrichten den Körpers		2,5 - 2,8kg (je nach Version)	einfach, wie ein Mantel	gehen, bücken, drehen, hocken, knien möglich; sitzen nicht möglich	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Levitare Technologies</b>	USA	<b>Airframe</b>	Oberkörper	Arme			einfach	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>Ottobock</b>	Deutschland	<b>Paexo</b>	Oberkörper	Oberarme, Schultern; unterstützt Überkopf- und Überschulterarbeiten		1,9kg	an- und ablegen jeweils in unter 30sec	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>StrongArm Tech</b>	USA	<b>FLX</b>	Oberkörper	Rücken; unterstützt richtiges Bücken; korrigiert die Haltung	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da	sehr einfach und schnell	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich

						es nur aus Gurten besteht			
<b>StrongArm Tech</b>	USA	V22	Oberkörper	Arme, unterer Rücken	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	sehr einfach, wie ein Rucksack	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>SuitX</b>	USA	BackX	Oberkörper	unterer Rücken; Unterstützung beim Bücken und Heben von Lasten und beim Vorbeugen	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	Model S: 3,4kg; Model AC: 4,5kg	Model AC: anlegen 48sec, ablegen: 15sec; Model S: anlegen 35sec, ablegen: 20sec	Bewegungseinschränkung des Oberkörpers möglich; gehen, Treppensteigen, Autofahren, Fahrradfahren ohne Einschränkung möglich	feinmotorische Tätigkeiten möglich
<b>SuitX</b>	USA	ShoulderX	Oberkörper	Schultern, Arme	relativ eng am Körper anliegend	5,4kg	anlegen: 80sec, ablegen: 40sec	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich

- Bewertung der SOLL- und KANN-Anforderungen:

In Tabelle 51 wird das Bewertungsschema der SOLL- und KANN-Anforderungen präsentiert.

**Tabelle 51: Bewertungsschema der SOLL- und KANN-Anforderungen**

Anf.	Kriterium	Punktevergabe
<b>SOLL-Anforderungen</b>	<b>Max. Unterstützung in kg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: &gt; 10kg</li> <li>• 0,5 Punkte: &lt; 10kg</li> <li>• 0 Punkte: keine Unterstützung in kg oder keine Angaben</li> </ul>
	<b>Reinigungsmöglichkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: Angaben zu allen Teilen des Exoskelettes</li> <li>• 0,5 Punkte: Angaben nur zu einzelnen Teilen des Exoskelettes</li> <li>• 0 Punkte: keine Reinigungsmöglichkeit oder keine Angaben</li> </ul>
	<b>Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: keine Einschränkungen</li> <li>• 0,5 Punkte: Einschränkungen gegenüber bestimmten Umwelteinflüssen</li> <li>• 0 Punkte: Ungeeignet für den Anwendungsfall oder keine Angaben</li> </ul>
	<b>Benutzerfreundlichkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: keine Einschränkungen und intuitive Handhabung</li> <li>• 0,5 Punkte: Einschränkungen in Tragedauer oder längere Einschulung notwendig</li> <li>• 0 Punkte: Nicht benutzerfreundlich oder keine Angaben</li> </ul>
	<b>Größenadaptierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: auf mindestens 95% der west- bzw. mitteleuropäischen Population ausgelegt</li> <li>• 0,5 Punkte: Größenadaptierbarkeit eingeschränkt</li> </ul>

<b>KANN-Anforderungen</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 Punkte: keine Angaben</li> </ul>
	<b>Serviceleistungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: vollständiger Support gewährleistet</li> <li>• 0,5 Punkte: Einschränkungen vorhanden</li> <li>• 0 Punkte: kein Support oder keine Angaben</li> </ul>
	<b>Antrieb</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: eine Form von passiven oder aktiven Antrieb ist vorhanden (keine Bevorzugung)</li> <li>• 0,5 Punkte: kein eigentlicher Antrieb, aber Zwang zu bestimmter Körperhaltung</li> <li>• 0 Punkte: keine Angaben</li> </ul>
	<b>Max. Akkulaufzeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: Akkulaufzeit entspricht Arbeitszeit von 8h oder kein Akku da passives Exoskelett</li> <li>• 0,5 Punkte: Akkulaufzeit ist kürzer als Arbeitszeit (&lt; 8h)</li> <li>• 0 Punkte: keine Angaben</li> </ul>
	<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Punkt: Stückpreis &lt; € 10.000,-</li> <li>• 0,5 Punkte: Stückpreis &gt; € 10.000,-</li> <li>• 0 Punkte: keine Angaben</li> </ul>

Die Tabellen 52 und 53 enthalten die den jeweiligen Anforderungen zugewordnenen Punkte, entsprechend dem präsentierten Bewertungsschema, inklusive der summierten Punkte für die SOLL- und KANN-Anforderungen und der Gesamtsumme aller vergebenen Punkte.

**Tabelle 52: Beurteilung der SOLL- und KANN-Anforderungen, Teil 1**

Unternehmen	Produkt	Antrieb	KANN	Max. Unterstützung	SOLL	Max. Akkudauer	KANN	An- und Ablegen	Reinigungsmöglichkeit	SOLL	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	SOLL
Bioservo Technologies	Ironhand	Elektromotor und druckempfindliche Sensoren in den Handschuhen.	1		0		0			0		0
Comau	Mate Exoskeletton	Federmechanismus und Drehmomentgenerator; 7 Level an Unterstützung	1		0	-	1			0		0
Ekso Bionics	Ekso Vest	Federmechanismus	1	2,2 - 6,8kg pro Arm	0,5	-	1	weniger als 1min	Textilteile sind waschmaschinentauglich	0,5		0
German Bionic	Cray X	Elektromotor	1	20kg	1	8h; schnell austauschbar; Ladezeit: ca. 55min	1	anlegen: 50sec - 3min; ablegen: weniger als 1min	abnehmbare Gurte waschbar bei 40°C in der Waschmaschine; Beckengurt (aus Goretex) und Beinanbindung können desinfiziert werden; restliche Komponenten feucht abwischbar	1	es liegt keine IP Klassifizierung vor, daher ist der Einsatz bei öl- und emulsionshaltigen Arbeitsbedingungen nicht	0,5

											ratsam; Produkt hat EMV Test bestanden	
<b>Gobio Robot / Gebe2</b>	<b>Gobio IP12</b>		0	8kg	0,5	-	1	anlegen: ca. 30sec; ablegen: ca. 15sec	Textilteile können in Waschmaschine gereinigt werden; die restlichen Teile mit Pressluft bzw. sind feucht abwischbar	1	empfindlich gegenüber ätzenden Substanzen	0,5
<b>Kinetic Edge</b>	<b>Flex Lift</b>	Elastische Begurtung	0	reduziert körperliche Anstrengung um 10-15%	0,5	-	1	anlegen: ca. 20sec.; ablegen: ca. 5sec.	mit Wasser waschbar	1	keine bisher evaluierten Empfindlichkeiten; muss von Fall zu Fall untersucht werden; direkte Sonneneinstrahlung vermeiden	0,5
<b>Laevo</b>	<b>Laevo V2.4; V2.45; V2.5</b>	Gasfeder	1	max. 31kg	1	-	1	einfach, wie ein Mantel	mit feuchtem Tuch abwischbar; lauwarmes / heißes Wasser und ein mildes Reinigungsmittel verwenden (keine Lösungsmittel enthaltenden Reinigungsmittel)	1	darauf achten, dass kein Wasser in die sich bewegenden Teile gelangt; Laevo nicht in Wasser eintauchen; keine Lösungs-, Bleich-, Poliermittel oder Tenside verwenden; Temperaturbereich: 0-40°C; nicht für den Outdoor-Einsatz und staubige Umgebungen geeignet	0
<b>Levitate Technologies</b>	<b>Airframe</b>	Federmechanismus; Unterstützung beim Anheben der Arme	1		0	-	1	einfach		0		0
<b>Ottobock</b>	<b>Paexo</b>	Seilzug	1	dem Anwender werden ca. 6 - 11kg Last abgenommen	0,5	-	1	an- und ablegen jeweils in unter 30sec	körpernahe Teile können gewaschen werden	0,5		0
<b>StrongArm Tech</b>	<b>FLX</b>	Feedbacksystem am Rücken erzeugt Druck bei rundem Rücken	0	keine Unterstützung	0	-	1	sehr einfach und schnell		0		0
<b>StrongArm Tech</b>	<b>V22</b>	Seilzug verläuft von Schulter bis zu den Fingern	1		0	-	1	sehr einfach, wie ein Rucksack		0		0
<b>SuitX</b>	<b>BackX</b>	Federmechanismus	1	13,6kg	1	-	1	Model AC: anlegen 48sec, ablegen: 15sec; Model S:	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	0,5	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen	0,5

								anlegen 35sec, ablegen: 20sec			Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	
SuitX	ShoulderX	Federmechanismus	1	1,4 - 5,4kg	0,5	-	1	anlegen: 80sec, ablegen: 40sec	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	0,5	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	0,5

Tabelle 53: Beurteilung der SOLL- und KANN-Anforderungen, Teil 2

Unternehmen	Produkt	Benutzerfreundlichkeit	SOLL	Größenadaptierbarkeit	SOLL	Serviceleistungen	SOLL	Kosten	KANN	Σ SOLL	Σ KANN	Σ Gesamt
Bioservo Technologies	Ironhand	intuitiv	1		0		0		0	1	1	2
Comau	Mate Exoskeleton	intuitiv	1	zwei Größen: S/M, L/XL; jede Größe anpassbar	1		0		0	2	2	4
Ekso Bionics	Ekso Vest	einfach; Operation Manuals und Videos Online verfügbar.	1	152 - 193cm	1		0	\$ 6.000,-	1	3	3	6
German Bionic	Cray X	längste bekannte Nutzungszeit ca. 5h; Gewicht liegt ergonomisch gut auf dem Becken; bei häufigem Gebrauch und langer Tragezeit kann es zu Druckstellen an den Auflagerflächen kommen	0,5	adaptierbar im Bereich: 155 - 200cm; es gibt Damen- und Herrengurte; Gurte wurden an die verschiedenen Körperformen und unterschiedliche Anatomie des Menschen angepasst; Bedienung erfolgt über integriertes Bedienmodul (Display und Dreh-Drück-Regler); weitere Feineinstellungen möglich	1	Vertrieb und Service in Österreich vorhanden; Wartungen durch jährliche Sichtkontrollen auf Dichtungen und Verkabelung; Cray X kann vor Ort gewartet werden oder eingeschickt werden; Dauer der Wartung: ca. 3h; lebenslange kostenlose Softwareupdates; Ersatzteile und Gurte jederzeit nachbestellbar	1	€ 39.000,- zzgl. Ust.	0,5	5	2,5	7,5
Gobio Robot / Gebe2	Gobio IP12	nach ca. 4h Training kann das Exoskelett bedient werden; kann 8h dauerhaft getragen werden	0,5	adaptierbar im Bereich: 160 - 195cm	1	über lokale Partner	0,5	ca. € 5.000,-	1	4	2	6

<b>Kinetic Edge</b>	<b>Flex Lift</b>	intuitiv	1	"one fits all", anpassbar an die meisten Körperabmessungen; wenn Einschränkung dann bei außergewöhnlicher Körpergröße	1	von Fall zu Fall wird Training angeboten; abgesehen vom Waschen bei Verunreinigung ist keine zusätzliche Wartung erforderlich	0,5	ab \$ 389,-; bei mehr als 100 Stück: \$ 319,-	1	4,5	2	6,5
<b>Laevo</b>	<b>Laevo V2.4; V2.45; V2.5</b>	intuitiv	1	Herrengrößen: XS, S, M, L, XL (156 - 196cm)	1		0		0	4	2	6
<b>Levitate Technologies</b>	<b>Airframe</b>		0	individuell anpassbar	1	On-Site Training wird angeboten	0,5	\$ 4.000 - 8.000,-	0,5	1,5	2,5	4
<b>Ottobock</b>	<b>Paexo</b>	intuitiv; Dokumentation in 11 Sprachen verfügbar	1	anpassbar auf Körpergrößen von 160 - 190cm	0,5		0		0	2,5	2	4,5
<b>StrongArm Tech</b>	<b>FLX</b>	intuitiv	1	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung	1		0		0	2	1	3
<b>StrongArm Tech</b>	<b>V22</b>	intuitiv	1	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung	1		0		0	2	2	4
<b>SuitX</b>	<b>BackX</b>	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	1	für 95% der Population ausgelegt	1	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	1	ab \$ 4.000,-	1	5	3	8
<b>SuitX</b>	<b>ShoulderX</b>	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	1	für 95% der Population ausgelegt	1	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	1	ab \$ 4.000,-	1	4,5	3	7,5

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt im anschließenden Abschnitt dieser Arbeit. Zusätzlich ergab sich auch die Möglichkeit einige der hier vorgestellten und bewerteten Exoskelette einem Praxistest zu unterziehen. Die Erkenntnisse daraus und ob sich diese mit den Ergebnissen aus obiger Beurteilung decken, sind ebenfalls Inhalt des folgenden Abschnittes.



## 4.4 Auswertung der Ergebnisse und Praxistests

Anhand der zuvor erfolgten Beurteilung ergibt sich das in Tabelle 54 enthaltene Ranking der 13 verbliebenen Exoskelette.

**Tabelle 54: Ranking der beurteilten Exoskelette**

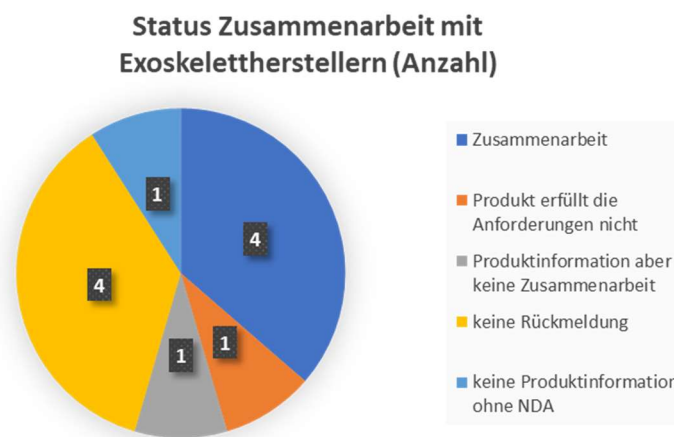
Rang	$\Sigma$ Gesamt	Unternehmen	Produkt
1	8	SuitX	BackX
2	7,5	German Bionic	Cray X
		SuitX	ShoulderX
3	6,5	Kinetic Edge	Flex Lift
4	6	Ekso Bionics	Ekso Vest
		Gobio Robot / Gebe 2	Gobio IP 12
		Laevo	Laevo V2.4; V2.45; V2.5
5	4,5	Ottobock	Paexo
6	4	Comau	Mate Exoskeleton
		Levitate Technologies	Airframe
		StrongArm Tech	V22
7	3	StrongArm Tech	FLX
8	2	Bioservo Technologies	Ironhand

An dieser Stelle muss allerdings eine notwendige Ergänzung gemacht werden. Das in der Tabelle präsentierte Ranking basiert auf der Gesamtsumme der vergebenen Punkte für die SOLL- und KANN-Anforderungen an die Exoskelette. Tatsächlich wurden hierbei Bewertungskriterien zu denen keine Angaben von Seiten der Exoskeletthersteller gemacht wurden, mit null Punkten versehen. Der Grund warum ein Exoskelett einen niedrigen Rang aufgrund seiner geringen Gesamtpunkteanzahl einnimmt, muss daher nicht zwingend an der mangelnden Qualität des Produktes liegen.

Um diesem Effekt entgegenzusteuern wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit mehrfach der Versuch unternommen mit den entsprechenden Unternehmen Kontakt aufzunehmen, sodass die bestehenden Informationslücken geschlossen werden können. Leider waren nicht alle Unternehmen zu einer Kooperation bereit, wodurch relevante Fragen für den praktischen Einsatz nicht beantwortet und somit auch nicht beurteilt werden konnten. Es wird nochmals explizit betont, dass dies noch keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Qualität des Produktes ermöglicht, weder im positiven noch im negativen Sinn.

Von diesen 13 Produkten, die insgesamt elf Unternehmen zugeordnet werden können, gelang es vier Unternehmen für eine weitere Zusammenarbeit zu begeistern, nämlich

Ekso Bionics, German Bionic, SuitX und Ottobock. Bei Kinetic Edge hat sich bei genauerer Betrachtung des Produktes Flex Lift herausgestellt, dass eine alleinige Steigerung der Ausdauer ohne entsprechende Lastunterstützung, nicht wirklich die Anforderungen des Partnerunternehmens XY erfüllt. Gobio Robot hat zwar auf Produktanfragen reagiert und entsprechende Informationen bereitgestellt, eine weitere Zusammenarbeit konnte jedoch nicht realisiert werden. Mit Bioservo Technologies konnte ebenfalls ein Kontakt hergestellt werden, allerdings war man dort nicht bereit Produktinformationen ohne entsprechendem Non-Disclosure Agreement zur Verfügung zu stellen. Anfragen an die verbliebenen vier Exoskeletthersteller blieben bisher unbeantwortet. Der gegenwärtige Status bezüglich der Zusammenarbeit mit den Exoskelettherstellern wird in Abbildung 29 dargestellt.



**Abbildung 29: Status Zusammenarbeit mit den Exoskelettherstellern**

- Ergebnisse des Praxistests der Produkte von SuitX:  
Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Unternehmen SuitX ergab sich für das Partnerunternehmen XY, die Gelegenheit die Produkte ShoulderX und BackX einem Praxistest zu unterziehen. Auch das dritte Produkt LegX konnte getestet werden, findet aber aufgrund des nicht vorhandenen Nutzens für den konkreten Anwendungsfall, keine weitere Erwähnung in dieser Arbeit. Abbildung 30 zeigt das ShoulderX und das BackX.



Abbildung 30: links - ShoulderX<sup>191</sup>, rechts - BackX<sup>192</sup>

Insgesamt wurde das ShoulderX von vier Mitarbeitern und das System ShoulderX & BackX von einem Mitarbeiter an zwei verschiedenen Standorten getestet. Die daraus ermittelten Eindrücke sind in Tabelle 55 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 55: Vor- und Nachteile von ShoulderX und BackX

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das ShoulderX konnte rasch an die unterschiedlichen Maße der Mitarbeiter angepasst werden.</li> <li>• Die Stärke der Unterstützung, die das ShoulderX bietet, konnte während des Tragens des Exoskelettes leicht eingestellt werden.</li> <li>• Das ShoulderX verblieb während des Tragens und Ausübens der Tätigkeit, aufgrund seines Metallrahmens in seiner Position am Körper (kein Verrutschen).</li> <li>• Im Vergleich zur Ekso Vest von Ekso Bionics, ist das ShoulderX wesentlich kompakter.</li> <li>• Das Tragen des Systems aus ShoulderX &amp; BackX wurde von dem betroffenen Mitarbeiter nicht als unangenehm empfunden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei einem Mitarbeiter begann der Metallrahmen des ShoulderX im Lauf der Anwendung auf die Brust zu drücken.</li> <li>• In einem Fall war die Halterung an den Oberarmen für den betroffenen Mitarbeiter zu eng. Der Mitarbeiter verfügt über überdurchschnittlich kräftige Oberarme.</li> <li>• Ein Mitarbeiter hatte während des Testens des ShoulderX bereits nach einer Stunde Schmerzen im oberen Rücken. Bei zwei Mitarbeitern traten nach zwei Stunden Schmerzen in der rechten Schulter auf.</li> <li>• Das Anlegen des Systems bestehend aus ShoulderX &amp; BackX wurde als mühsam empfunden, da das System zusammengelegt in einer Schachtel zur Verfügung gestellt wurde und sich die Bänder verknotet hatten.</li> <li>• Um den Rüstvorgang zu simulieren wurden mit Hilfe des Systems ShoulderX &amp; BackX verschiedene Tätigkeiten ausgeübt. Hierbei konnten die Schwachstellen dieses Systems erkannt werden nämlich, dass vor allem das ShoulderX erst Unterstützung bietet, wenn sich der Arm auf ungefähr Schulterhöhe befindet.</li> </ul>

<sup>191</sup> zur Verfügung gestellt von Partnerunternehmen XY; Stand: November 2018

<sup>192</sup> US Bionics Inc.; zuletzt geprüft am: 03. Mai 2019

Fazit des Partnerunternehmens XY: Gegenwärtig befindet sich keines der Produkte von SuitX im Einsatz, da laut den Angaben jener Mitarbeiter, die diese Exoskelette getestet haben, keine ausreichende Unterstützung bei den auszuführenden Bewegungsabläufen gegeben ist. Da im Partnerunternehmen XY keine Überkopfarbeiten durchgeführt werden, werden aus Sicht des Unternehmens diese Produkte auch zukünftig nicht eingesetzt werden. Es konnte bisher keine Anwendung gefunden werden, die einen Einsatz rechtfertigen würde.

Es ist ersichtlich, dass obwohl die beiden Produkte von SuitX anhand der vorgenommenen Bewertung mit acht Punkten für das BackX und 7,5 Punkten für das ShoulderX am besten abschnitten, in der Praxis den Anforderungen des Partnerunternehmens XY trotzdem nicht genügt haben.

- Ergebnisse des Praxistests des Produktes von Ekso Bionics:  
Die gleichen vier Mitarbeiter, denen es möglich war, das ShoulderX zu testen, konnten außerdem die Ekso Vest von Ekso Bionics einem Praxistest unterziehen. Abbildung 31 zeigt diese Ekso Vest.



**Abbildung 31: Ekso Vest von Ekso Bionics<sup>193,194</sup>**

Die Eindrücke, die die vier Mitarbeiter bei der Handhabung der Ekso Vest gewonnen haben, werden in Tabelle 56 präsentiert.

<sup>193</sup> Ekso Bionics; zuletzt geprüft am: 03. Mai 2019

<sup>194</sup> zur Verfügung gestellt von Partnerunternehmen XY; Stand: November 2018

Tabelle 56: Vor- und Nachteile der Ekso Vest

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Mitarbeiter haben die Ekso Vest als angenehmer empfunden als das ShoulderX von SuitX.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei einem Mitarbeiter sackte die Ekso Vest beim Ausführen der Tätigkeiten regelmäßig ab (rutschte immer wieder nach unten).</li> <li>Die Ekso Vest konnte nicht einfach an verschiedene Körpermaße angepasst werden, da dafür die Armaturen des Exoskeletts neu montiert werden mussten.</li> <li>Die durch die Ekso Vest zu unterstützende Last wird durch die Verwendung unterschiedlicher Federn gesteuert. Der Zusammenbau für den jeweiligen Anwendungsfall gestaltete sich aufwändiger, da die Federn unterschiedliche Vorspannungen benötigten.</li> <li>Die Ekso Vest verfügte über größere äußere Abmessungen als das ShoulderX.</li> <li>Bei den Oberarmstützen gab es nur die Größen groß, mittel und klein. In einem Fall war die große Oberarmstütze zu groß und die Mittlere zu klein.</li> <li>Auch der lange Riemen um den Oberarm war zu klein.</li> <li>Die Nackenstütze sollte den Zweck erfüllen, dass bei Überkopfarbeiten der Mitarbeiter seinen Kopf bequem darauf ablegen kann. In jenem Fall, bei dem das Exoskelett beim Tragen abgesackt ist, wäre die Nackenstütze zu weit nach unten gerutscht, um den Kopf darauf ablegen zu können.</li> </ul>

Fazit des Partnerunternehmens XY: Da die auszuführenden Hebearbeiten nicht immer auf gleicher Höhe stattfinden, würden die Mitarbeiter nur teilweise und nicht über die ganze Arbeitszeit hindurch, von der Unterstützung der Ekso Vest profitieren. Im Vergleich mit dem ShoulderX hat sich außerdem gezeigt, dass ein Exoskelett für eine bestimmte Haltung besser geeignet ist, als das andere. Von den vier Mitarbeitern, die die Gelegenheit hatten, sowohl das ShoulderX als auch die Ekso Vest zu testen, würden alle vier die Ekso Vest bevorzugen, da diese trotz der größeren Abmessungen beim Tragen als komfortabler empfunden wurde. Auf die Frage, ob die Mitarbeiter eine der beiden Exoskelette verwenden würden, wenn diese am Arbeitsplatz zur Verfügung stünden, gab nur ein Mitarbeiter an sich tatsächlich für die Verwendung zu entscheiden, die anderen drei Mitarbeiter waren sich diesbezüglich nicht sicher.



- Zusammenarbeit mit Ottobock:  
Das Exoskelett Paexo von Ottobock wird in Abbildung 32 dargestellt.



**Abbildung 32: Paexo<sup>195</sup>**

Bisher, Mai 2019, gelang es den Kontakt zwischen Ottobock und dem Partnerunternehmen XY herzustellen. Laut meinem Kollegen beim Partnerunternehmen XY wurde ein Termin für ein Telefonat mit Ottobock vereinbart. Von Seiten des Unternehmens Ottobock besteht die Bereitschaft das Paexo für einen Praxistest zur Verfügung zu stellen. Wie diesbezüglich verblieben wurde bzw. was den aktuellen Stand dieser Zusammenarbeit betrifft, wird eine baldige Rückmeldung vom Partnerunternehmen XY erwartet.

- Zusammenarbeit mit German Bionic:  
Abbildung 33 zeigt das Exoskelett Cray X von German Bionic.



**Abbildung 33: Cray X<sup>196</sup>**

<sup>195</sup> Ottobock SE & Co. KGaA; Stand: Januar 2019

<sup>196</sup> GBS German Bionic Systems GmbH; zuletzt geprüft am: 03.Mai 2019

Auch das Unternehmen German Bionic würde sein Produkt Cray X zum Ausprobieren zur Verfügung stellen. Der Kontakt zwischen German Bionic und dem Partnerunternehmen XY konnte erst kürzlich ermöglicht werden. Ob sich daraus eine zukünftige Zusammenarbeit entwickeln wird bzw. wie diese sich gestalten wird, muss beobachtet werden und ist Inhalt zukünftiger Untersuchungen.

Um den praktischen Teil dieser Diplomarbeit zusammenzufassen, ist zunächst anzuführen, dass von den 31 ermittelten Unternehmen und Instituten, die sich mit der Herstellung und Entwicklung industrieller Exoskelette beschäftigen, nur elf Unternehmen verblieben, deren Produkte den Anwendungsfall des Partnerunternehmens XY adressieren. Von diesen elf Unternehmen wiederum, waren lediglich vier Unternehmen an einer weiteren Zusammenarbeit interessiert. Bei zwei davon, nämlich SuitX und Ekso Bionics, ergab sich bereits die Möglichkeit die Produkte von Mitarbeitern des Partnerunternehmens XY auf Eignung zu testen. Eine Eignung konnte allerdings hierbei nicht bestätigt werden. Die beiden verbliebenen Unternehmen, Ottobock und German Bionic, sind bereit ihre Produkte für zukünftige Praxistests zur Verfügung zu stellen. Ob bzw. inwiefern diese Exoskelette einsatztauglich sind, wird sich herausstellen. Gegenwärtig wird kein Exoskelett an dem beschriebenen Rüstearbeitsplatz des Partnerunternehmens XY eingesetzt.

Eine fundierte Auswertung und Diskussion der Ergebnisse und Erkenntnisse, sowie ein Ausblick bzw. zukünftiger Forschungsbedarf, erfolgt im anschließenden Kapitel dieser Arbeit.



## 5 Auswertung, Diskussion und Ausblick

### 5.1 Resultate der angewendeten Methoden

- Resultate in Bezug auf die theoretischen Grundlagen:

In dem Kapitel der theoretischen Grundlagen wurden mehrere Themenbereiche adressiert. Zuerst wurden die bestehenden und zukünftigen Herausforderungen für Unternehmen im Hinblick auf den demografischen Wandel und arbeitsplatzbedingten Erkrankungen besprochen. Anschließend wurde auf das Thema Ergonomie am Arbeitsplatz eingegangen, wobei wichtige Aspekte bezüglich Arbeitsplatzgestaltung, Schutz der Gesundheit von Mitarbeiter/-innen und unterschiedliche Formen von Arbeit beleuchtet wurden. Danach wurden gegenwärtig existierende Unterstützungs- und Assistenzsysteme vorgestellt und der Versuch einer Taxonomie dieser Systeme unternommen. Zuletzt wurde das Schlüsselthema dieser Diplomarbeit, nämlich Exoskelette vorgestellt. Dabei wurden diese klassifiziert und die Effekte, die durch ihren Einsatz resultieren, sowie die derzeit verfügbaren Standards und der gegenwärtige Stand der Technik präsentiert.

Um all die genannten Informationen zu beschaffen und zu aggregieren wurde eine umfassende Literaturrecherche zu den genannten Themen durchgeführt. Dabei wurden sowohl statistische Datenbanken als auch einschlägige Fachjournale, wissenschaftliche Artikel und Fachbücher verwendet. Während die präsentierten Fakten der statistischen Datenbanken eindeutig waren, waren andere Informationen z.B. in Bezug auf Assistenzsysteme und Exoskelette, insbesondere was Taxonomie bzw. Klassifizierung betrifft, oft uneindeutig und inkonsistent. Gleichzeitig waren die wissenschaftlichen Artikel, die Exoskelette zum Inhalt hatten auch durch eine deutlich wahrnehmbare Redundanz gekennzeichnet. Häufig wurde in erster Linie der theoretische Nutzen der Exoskelette mit sich bringen können in wesentlich größerem Umfang beleuchtet, als deren technische Realisierung oder repräsentative Erkenntnisse aus dem Praxiseinsatz. Dass diese Informationslücken existieren, ist am wahrscheinlichsten der Neuartigkeit von Exoskeletten geschuldet und der damit einhergehenden fehlenden Langzeitstudien.

- Resultate in Bezug auf die Marktanalyse:

Auch für die Marktanalyse war eine umfangreiche Recherche zur Identifizierung einschlägiger Unternehmen, Institute, Produkte und Prototypen erforderlich. Diese Recherche fand überwiegend im Internet statt und war offensichtlich international ausgerichtet. Unterstützt wurde die Informationsbeschaffung von dem Start-up Exomys, welches freundlicher Weise bereits vorhandene Informationen

und Erkenntnisse bezüglich des bestehenden Exoskelettmarktes zur Verfügung gestellt hat.

Insgesamt gelang es im Rahmen dieser Marktanalyse 64 Unternehmen und Institute zu identifizieren, die Exoskelette entwickeln und/oder produzieren. Nach einer ersten Filterung, bei der jene Unternehmen ausselektiert wurden, deren Exoskelette nicht für den Einsatz in der industriellen Produktion geeignet sind, verblieben noch 31 Unternehmen und Institute, die insgesamt 53 Produkte und Prototypen hervorbrachten. Daher waren gerade diese Unternehmen für die Marktanalyse von besonderem Interesse.

Die Resultate in Bezug auf diese Marktanalyse lassen sich folgenderweise zusammenfassen. Der überwiegende Anteil an Informationen wurde den jeweiligen Internetseiten der einzelnen Unternehmen und Institute entnommen, wobei die Menge der dort präsentierten Informationen von Fall zu Fall sehr stark variierten. Auch nach direkter Kontaktaufnahme und Nachfrage via Email, gestaltete sich die Bereitschaft zur Informationsbereitstellung in den meisten Fällen als äußerst mühsam und mangelhaft. Dabei konnte beobachtet werden, dass die Bereitschaft Informationen zur Verfügung zu stellen, indirekt proportional zur Größe und Bekanntheit des kontaktierten Unternehmens war. Interessant war auch, dass einige Unternehmen Informationen zu ihren Produkten ausschließlich in der eigenen Landessprache, z.B. ausschließlich auf Französisch oder Japanisch, präsentieren. Über die Motive dieser Unternehmen soll an dieser Stelle nicht weiter spekuliert werden. Trotz allem gelang es zu den meisten identifizierten Produkten und Prototypen aussagekräftige Informationen zu sammeln. Es ist nicht davon auszugehen, dass durch einen weiteren Versuch zur Kontaktaufnahme der bereits mehrfach angeschriebenen Unternehmen und Institute zusätzliche Informationen zu generieren sind.

- Resultate in Bezug auf den praktischen Teil:  
Im praktischen Teil dieser Arbeit wurde der gegenwärtige Status des Partnerunternehmens XY im Hinblick auf den zu optimierenden Rüstearbeitsplatz vorgestellt. Anhand der vorherrschenden Arbeits- und Umgebungsbedingungen konnte ein Anforderungskatalog abgeleitet werden, den das dort einzusetzende Exoskelett zu erfüllen hat. Dieser Anforderungskatalog wurde anschließend mit den ermittelten Produktinformationen der Marktanalyse abgeglichen und bewertet. Diese Bewertung wurde in zwei Schritten vorgenommen. Zunächst wurde untersucht, ob die ermittelten 31 Unternehmen mit ihren 53 Exoskelettprodukten, den im Anforderungskatalog festgelegten MUSS-Anforderungen genügen. Das Ergebnis dieses ersten Schrittes war, dass lediglich elf Unternehmen und insgesamt 13 Produkte die MUSS-Anforderungen erfüllen. Im zweiten Schritt wurde eine Bewertung der ebenfalls im Anforderungskatalog festgelegten SOLL-

und KANN-Anforderungen durchgeführt. Im Rahmen dieser Bewertung wurden Punkte für jedes einzelne Kriterium vergeben. Die genaue Vorgehensweise ist im Kapitel 4.3 dieser Arbeit nachzulesen. Jenes Exoskelett mit der höchsten erreichten Punkteanzahl sollte das, für den Anwendungsfall, am besten geeignete sein.

Diese Bewertungsmethode enthält jedoch eine wesentliche Schwachstelle nämlich, dass jene Kriterien, zu denen keine Informationen ermittelt werden konnten, automatisch mit null Punkten bewertet wurden. Dies hatte zur Folge, dass Produkte zu denen weniger Informationen vorhanden waren, als bei anderen, sofort vermeintlich schlechter bei der Bewertung abschnitten. Tatsächlich bedeutet dies aber noch nicht, dass diese Produkte qualitativ schlechter waren oder gar die geforderten Anforderungen nicht erfüllt haben. Es lagen lediglich nicht ausreichend Informationen vor. Um daher eine eindeutige Aussage zu diesen 13 Produkten machen zu können, müssten diese anhand gleicher Voraussetzungen, nämlich vollständiger Informationslage, verglichen werden können.

Um diese sogenannte Schwachstelle auszugleichen, wurde der Versuch unternommen, mit allen dieser elf relevanten Unternehmen eine Kooperation einzugehen, sodass deren Produkte auch einem Praxistest unterzogen werden können, um damit die tatsächliche Qualität der Produkte zu beurteilen. Möglich war dies aus verschiedenen Gründen mit lediglich vier Unternehmen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt konnten die Produkte von zwei dieser vier Unternehmen bereits ausgeschlossen werden, da diese den Praxistest und die Erwartungshaltung des Partnerunternehmens XY nicht erfüllt haben. Beachtenswert ist, dass hierbei jene Produkte ausgeschlossen wurden, die in der zuvor durchgeführten Bewertung die höchste Punkteanzahl erreicht haben. Insofern bestätigt dies einerseits die bereits erwähnte mangelnde Vergleichbarkeit der Produkte aufgrund unvollständiger Informationen. Andererseits könnte dies auch darauf hindeuten, dass offenbar eine gewisse Divergenz besteht, zwischen den von den Herstellern angegebenen Produktfähigkeiten und den in der Praxis tatsächlich beobachteten. Bei den letztlich verbliebenen zwei Unternehmen besteht ebenfalls die Bereitschaft ihre Produkte für Praxistests zur Verfügung zu stellen. Diese wurden jedoch bis zum heutigen Zeitpunkt noch nicht durchgeführt, sodass hier keine eindeutige Aussage bezüglich Eignung gemacht werden kann.

## 5.2 Resultate in Bezug auf die Forschungsfragen

In der Einleitung dieser Diplomarbeit wurden vier Forschungsfragen definiert, welche im Folgenden beantwortet werden:

- **Gibt es ein Exoskelett, das für den konkreten Anwendungsfall einsatzfähig bzw. am geeignetsten ist?**

Im Kapitel 4 wurden die im Zuge der Markanalyse ermittelten Exoskelette, anhand festgelegter MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen mittels Punktevergabe bewertet. Diese Bewertung lieferte insgesamt 13 Exoskelettprodukte, die für den vorgestellten Anwendungsfall prinzipiell geeignet sind und eine Rangliste entsprechend der gebildeten Gesamtpunkteanzahl.

Wie bereits erwähnt beinhaltet diese Form der Bewertung eine gewisse Schwachstelle, die die Aussagekraft eindeutig beeinflusst. Nicht vorhandene Informationen bezüglich eines Bewertungskriteriums können nicht bewertet werden und damit auch keine Bewertungspunkte beziehen. Somit wurden Exoskelette, zu denen weniger Informationen bereit lagen, im Allgemeinen mit weniger Punkten bewertet als ihre Konkurrenten. Dabei muss fehlende Information nicht automatisch mit mangelnder Qualität bezüglich der Erfüllung einzelner Anforderungen einhergehen. Gleichzeitig bedeutet das allerdings auch, dass Produkte mit hoher Punktezahl nicht zwangsläufig die Besten sein müssen.

Aus diesem Grund wurden diese niedrig bewerteten Produkte nicht unmittelbar ausgeschlossen, sondern eine Zusammenarbeit mit allen elf Unternehmen dieser 13 verbliebenen Exoskelette angestrebt. Es ist allerdings nicht überraschend, dass eben bei genau jenen Produkten, zu denen bereits die Informationslage vergleichsweise dünn war, auch die Bereitschaft bezüglich einer Kooperation mangelhaft war. In einigen dieser Fälle wurde trotz mehrmaliger Versuche zur Kontaktaufnahme nicht reagiert. Als Folge dessen musste die Rangliste der Exoskelettprodukte in dem Zustand belassen werden, wie sie im Abschnitt 4.4 dieser Arbeit enthalten ist.

Gleichzeitig gelang es drei der höchst bzw. hoch gerankten Produkte nämlich, das BackX, das ShoulderX und die Ekso Vest, einem Praxistest zu unterziehen. In diesem Praxistest konnte festgestellt werden, dass sich tatsächlich keines dieser Exoskelette für den konkreten Anwendungsfall eignet, was wiederum die zuvor getätigte Aussage bestätigt, dass eine hohe Gesamtpunktezahl nicht mit bester Eignung einhergehen muss.

Um diese erste Forschungsfrage nun zusammenfassend zu beantworten: bisher gelang es nicht das für den konkreten Anwendungsfall am besten geeignete Exoskelett zu finden. Allerdings besteht gegenwärtig die Möglichkeit zwei weitere Produkte einem Praxistest zu unterziehen und deren Eignung für den Anwendungsfall zu überprüfen.

- **In welcher Form bzw. in wie weit führt der Einsatz dieses Exoskelettes, unter den oben genannten erschwerten Bedingungen, zu einer ergonomischen Entlastung der Mitarbeiter/-innen?**

Nachdem bisher kein geeignetes Produkt für den Einsatz an dem Rüst Arbeitsplatz identifiziert werden konnte, kann diese Frage nicht wirklich beantwortet werden. Es kann lediglich angeführt werden, zu welchen ergonomischen Entlastungen die getesteten Exoskelette beigetragen hätten.

Das am höchsten bewertete BackX ist darauf ausgelegt den unteren Rücken der Anwender/-innen zu entlasten, vor allem die Kompression zwischen den Lendenwirbeln zu reduzieren. (H. Kazrooni et al. 2018) haben in ihrer Arbeit eingehend untersucht inwiefern und in welchem Ausmaß das BackX die Rückenmuskulatur und die Kompression zwischen den Wirbeln L5/S1 entlastet bzw. reduziert. Das am zweithöchsten bewertete ShoulderX und die noch hoch bewertete Ekso Vest sollen sowohl die Schultern als auch Arme beim Hantieren mit schweren Lasten, vor allem beim Tragen, unterstützen und entlasten. Was das ShoulderX betrifft, existiert ebenfalls eine Arbeit von (L. Van Engelhoven et al. 2018), die die qualitative und quantitative Entlastung der Schultermuskulatur adressiert.

Tatsächlich hat sich bei allen drei Produkten im Praxistest herausgestellt, dass entweder die gewünschte Funktion nicht in der erwarteten Form erfüllt wurde oder die testenden Mitarbeiter die Produkte nicht als anwenderfreundlich empfanden. Die detaillierten Ergebnisse dieser Praxistests können im Abschnitt 4.4 dieser Arbeit nachgelesen werden.

- **Kann mit dem Einsatz dieses Exoskelettes auch eine Produktivitätserhöhung, in Form einer Reduzierung der Rüstzeiten erreicht werden?**

Die drei genannten Produkte, die für einen Praxistest zur Verfügung gestellt wurden, wurden in erster Linie auf Eignung für den Einsatz an dem Rüst Arbeitsplatz überprüft. Gleichzeitig konnten sich die testenden Mitarbeiter auch einen Eindruck bezüglich der Handhabung und Anwendungsfreundlichkeit dieser Exoskelette verschaffen. Bei beiden Aspekten, der Eignung und der Handhabung, konnten die getesteten Produkte allerdings nicht überzeugen, sodass auf eine weiterführende Untersuchung hinsichtlich Produktivitätserhöhung verzichtet wurde.

Zumindest theoretisch kann aber davon ausgegangen werden, dass eine Reduzierung der Rüstzeiten erzielt werden kann, wenn es gelingen sollte ein tatsächlich geeignetes Exoskelett zu finden. Denn durch die Verwendung eines Exoskelettes an dem Rüst Arbeitsplatz könnte zum einen in vielen Fällen auf den zeitkonsumierenden Einsatz des Portalkranes verzichtet werden und zum anderen würde sich das Eintreten von muskulären Ermüdungserscheinungen zu späteren

Zeitpunkten verschieben. Insgesamt könnte das eine Produktivitätserhöhung zur Folge haben. Untersuchungen diesbezüglich wären somit Gegenstand weiterführender Arbeiten und nur dann durchführbar und somit aussagekräftig, wenn es gelingt ein geeignetes Exoskelett für diesen Anwendungsfall zu finden.

- **Kann auf Basis der durchgeführten Marktanalyse ermittelt werden, bei welchen manuellen Tätigkeiten, welche Exoskelette welchen Beitrag zur ergonomischen Entlastung von Arbeitskräften leisten?**

Auf Basis der durchgeführten Marktanalyse konnte ermittelt werden, welche Körperregion durch das jeweilige Exoskelett entlastet werden soll. Die von den ermittelten Unternehmen und Instituten angegebenen Entlastungen beziehen sich hierbei auf einzelne Muskelgruppen und/oder Gelenke und beschränkten sich im Allgemeinen auf rein qualitative Aussagen.

In nur wenigen Fällen wurden von den Unternehmen bzw. Instituten quantitative Aussagen im Hinblick auf eine Entlastung veröffentlicht. Allerdings fanden in nahezu allen Fällen Untersuchungen diesbezüglich unter reinen Laborbedingungen statt, wobei nur sehr spezifische Bewegungen durchgeführt und beobachtet wurden, z.B. Handhabung eines Akkuschaubers bei Überkopfarbeiten wobei eine bestimmte Anzahl von Schrauben zu versenken war.

Da diese spezifischen Bewegungsabläufe bei den auszuführenden Tätigkeiten an dem Rüstearbeitsplatz allerdings niemals auftreten und dort auch keine Laborbedingungen herrschen, können die Ergebnisse dieser quantitativen Untersuchungen nicht eins zu eins auf den hier konkreten Anwendungsfall übertragen werden.

### 5.3 Diskussion der Ergebnisse

Ziel dieser Arbeit war es den Einsatz von Exoskeletten als Assistenzsysteme in der industriellen Produktion zu diskutieren. Dabei wurde zunächst die Notwendigkeit von Exoskeletten bezüglich bestehender und zukünftiger Herausforderungen, im Hinblick auf den demografischen Wandel und arbeitsplatzbedingten Erkrankungen, hervorgehoben. Die bis heute in der industriellen Produktion eingesetzten Ansätze, um diesen Herausforderungen zu begegnen, beschränken sich zum einen auf traditionelle Assistenzsysteme in Form von z.B. stationären Hebehilfen oder zum anderen auf hochtechnologisierte Lösungen im Sinn von z.B. Cobots bis hin zu vollständig automatisierten Systemen.

Exoskelette unterscheiden sich von den oben genannten existierenden Ansätzen in erster Linie durch ihre Flexibilität. Einerseits bieten sie in den meisten Fällen eine deutlich höhere örtliche Flexibilität gegenüber stationären Assistenzsystemen und andererseits bleibt die menschliche Flexibilität erhalten, sodass dadurch auch



hochdiverse Aufgaben erfüllt werden können, welche automatisierte Systeme heute noch nicht erledigen können.

Sie zeichnen sich außerdem dadurch aus, dass durch einen Einsatz von Exoskeletten als Assistenzsysteme, auf kostenintensive und aufwendige Umbaumaßnahmen bei bereits bestehenden Produktionslinien verzichtet werden kann. Des Weiteren lassen sich Exoskelette im Allgemeinen äußerst intuitiv von ihren Anwendern bedienen, sodass für lange Einschulungen keine Notwendigkeit besteht. Auch die Kostenfrage ist entscheidend. Während aufwendige Umbaumaßnahmen und automatisierte Produktionsanlagen mit hohen Investitionssummen verbunden sind, sind Exoskelette bereits für wenige tausend Euro erhältlich, insbesondere wenn es sich um passive Exoskelette handelt.

Doch trotz der genannten Vorteile, welche Exoskelette für Industrieunternehmen durchaus attraktiv machen, dürfen die Schwächen dieser Produkte, die gegenwärtig auch noch nicht vollständig geklärt sind, nicht außer Acht gelassen werden. Die wohl wesentlichste Schwachstelle, die wahrscheinlich auch dafür ausschlaggebend ist, dass Unternehmen vor einem Einsatz von Exoskeletten zurückschrecken, sind die nicht vorhandenen Langzeitstudien. Dies ist natürlich der relativen Neuartigkeit dieser Produkte geschuldet. Dennoch kann aus heutiger Sicht keine gesicherte Angabe dazu gemacht werden, wie sich die Anwendung von Exoskeletten über ein gesamtes Arbeitsleben auf den menschlichen Körper auswirkt. Denkbar wären mögliche Fehlbelastungen aufgrund umgeleiteter Kräfte oder gar Muskeldegeneration, da diese nicht mehr ausreichend beansprucht würden.

Nicht nur, dass keine gesicherten Kenntnisse zu den negativen Auswirkungen existieren, mangelt es gegenwärtig auch an aussagekräftigen quantitativen Informationen bezüglich des Nutzens von Exoskeletten. Auch wenn einige Untersuchungen dazu durchgeführt wurden, sind die daraus abgeleiteten Erkenntnisse für Anwender in der Praxis im Allgemeinen nicht ausreichend. Der Zweck dieser Untersuchungen bestand vor allem darin, Effekte wie Leistungssteigerung, Verlängerung von Ausdauer oder Reduktion der muskulären Belastung nachzuweisen. Allerdings herrschten hierbei zum einen nahezu ausschließlich Laborbedingungen, zum anderen wurden nur sehr spezifische Bewegungen bzw. Aufgaben beobachtet. Es ist daher nicht überraschend, dass jene Unternehmen, die bereits auf Exoskelette in ihren Produktionsstätten zurückgreifen, diese nur für einzelne bzw. eingeschränkte Tätigkeiten einsetzen. Dies wiederum untergräbt das Argument der flexiblen Einsatzmöglichkeit von Exoskeletten.

Hinzu kommt die noch immer unzureichend geklärte Situation bezüglich geltender Standards für den Einsatz von Exoskeletten in der Industrie. Auch wenn dies bei passiven Exoskeletten eine geringere Rolle spielt, wird diese Normenlücke bei den



leistungsfähigen, aktiven Exoskeletten ebenfalls dazu beitragen, dass insbesondere europäische Unternehmen bisher auf ihre Anwendung verzichten.

Mit Blick auf die Marktanalyse lassen sich die hier getätigten Einschätzungen und Erkenntnisse bestätigen. Unternehmen und Institute gibt es zahlreiche, die sich mit diesem Themengebiet auseinandersetzen, neue Produkte auf den Markt bringen und/oder an neuen Konzepten und Lösungsmöglichkeiten arbeiten. Die Zugänge zu diesem Thema sind allerdings je nach geografischer Lage unterschiedlich. US-amerikanische und asiatische Unternehmen konzentrieren sich nicht nur, aber doch auffällig stark auf massive, großvolumige und leistungsstarke Exoskelette, die in der Lage sein sollen, große Massen zu transportieren und die ausführenden Arbeiter/-innen vollständig zu entlasten. Hierbei übernehmen Anwender/-innen nur noch die Aufgabe das Exoskelett zu steuern. Dieser Ansatz ist bei den europäischen Unternehmen und Instituten gar nicht zu entdecken. Ihnen geht es vor allem darum Arbeiter/-innen nachhaltig zu unterstützen und eine physische Teilentlastung herbeizuführen. Anwender/-innen sind hier noch aktiv in die Ausführung ihrer Tätigkeiten eingebunden.

International ergibt sich wiederum ein eher einheitliches Bild was den Reifegrad der Produkte betrifft, auch wenn die asiatischen Unternehmen hier etwas besser positioniert sind. Auf den entsprechenden Firmenwebseiten wird vielfach sehr intensiv berichtet, welche besonderen Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten die jeweiligen Produkte besitzen. Bei genauerer Betrachtung oder auch auf Nachfrage zeigt sich dann wieder die eingeschränkte Anwendungsmöglichkeit auf wenige Bewegungsmuster oder Tätigkeiten. Sobald das Exoskelett für ein breiteres Anwendungsfeld, das durch eine gewisse Diversität in den Aufgaben gekennzeichnet ist, eingesetzt werden soll, ist es nicht mehr in der Lage seine Aufgabe zu erfüllen. Zumindest konnte bis heute kein solches identifiziert werden.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle angeführt werden, dass der Einsatz von Exoskeletten als Assistenzsysteme in der industriellen Produktion, ein durchaus berechtigter Gedanke ist, der auch großes Potential in sich trägt. Auch wenn Exoskelette in ausgewählten Bereichen in der Industrie bereits sinnvoll eingesetzt werden können und dabei ihre Aufgabe zweckmäßig erfüllen, bestehen nach wie vor die genannten Anwendungseinschränkungen, Forschungslücken und fehlende Standards, um für einen breiten Einsatz in der Industrie geeignet zu sein. Aufgrund der regen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten von Exoskelettherstellern, aber auch aufgrund des steigenden Interesses von Seiten der Industrie ist davon auszugehen, dass die zukünftigen Exoskelette immer mehr den Anforderungen der Industrie entsprechen und daher vermehrt zur Anwendung kommen werden.

## 5.4 Mögliche Schritte zur Weiterentwicklung

- Weiterentwicklung in Bezug auf industrielle Exoskelette:  
Zwei wesentliche Punkte wurden auf den letzten Seiten dieser Arbeit genannt, nämlich der Mangel an notwendigen Standards und die derzeit inexistenten Langzeitstudien. In beiden Fällen liegt erheblicher Nachhol- bzw. Weiterentwicklungsbedarf vor, da diese vor allem für Industrieunternehmen eine wesentliche Basis darstellen, auf der Entscheidungen für oder gegen einen Einsatz von Exoskeletten getroffen werden.

Auch gilt es Untersuchungen an Exoskeletten bezüglich ihres tatsächlichen Nutzens unter realen Arbeitsbedingungen und bei Ausführung realer, diverser Arbeitsabläufe durchzuführen und die resultierenden Ergebnisse zugänglich zu machen. Für Industrieunternehmen und ihre Entscheidungsträger wären die daraus gewonnenen Erkenntnisse von nicht minder wichtiger Bedeutung, um einen Einsatz von Exoskeletten auf Basis aussagekräftiger Erkenntnisse zu rechtfertigen.

- Weiterentwicklung in Bezug auf die Arbeit:  
Wie im Kapitel der Marktanalyse ersichtlich, gelang es nicht bei allen identifizierten Produkten einzelner Exoskeletthersteller und Institute, die gewünschten und gesuchten Informationen zu ermitteln. Ein Schritt zu Weiterentwicklung dieser Marktanalyse bestünde daher darin diese fehlenden Informationen zu finden und die Tabellen zu vervollständigen. Gleichzeitig wäre es sinnvoll den derzeit bestehenden Markt zu überwachen, um neue Institute, Unternehmen, Prototypen und Produkte zu identifizieren und in die Marktanalyse aufzunehmen. Andererseits ist auch nicht auszuschließen, dass einige der heute existierenden Unternehmen und Institute in der Zukunft nicht mehr existieren werden oder in einem anderen Unternehmen aufgegangen sind. Auch dies gilt es zu überwachen und in einer dynamischen Marktanalyse laufend zu korrigieren.

Darüber hinaus würde eine vollständige Informationslage bezüglich aller im Praxisteil angeführten Bewertungskategorien, eine bessere Grundlage bieten, um die relevanten Produkte einer aussagekräftigen Bewertung zu unterziehen. Dies war aufgrund lückenhafter Information nur eingeschränkt möglich.

Zusätzlich wäre es von großem Interesse alle der als relevant eingestuften Produkte einem Praxistest, durchgeführt von den betroffenen Mitarbeitern, zu unterziehen. Um allerdings wirklich aussagekräftige Erkenntnisse aus diesen Praxistests abzuleiten, wäre es notwendig die einzelnen Produkte für einen längeren Zeitraum, von mehreren Wochen, zur Verfügung gestellt zu bekommen. Fundierte Aussagen bezüglich Gewohnheitseffekte oder veränderten Belastungsmuster lassen sich nach nur einem Testtag oder gar nur wenigen Stunden nämlich nicht machen.

## 6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Struktur der Diplomarbeit.....	7
Abbildung 2: Bevölkerung nach Altersgruppen 2013, 2030, 2060 .....	10
Abbildung 3: Bevölkerung nach Altersgruppen in Deutschland 2013, 2060 .....	11
Abbildung 4: Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland bis 2060.....	11
Abbildung 5: Bevölkerung nach breiten Altersgruppen in Österreich 1950-2080.....	12
Abbildung 6: Arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme in % in Deutschland 2013 .....	15
Abbildung 7: Art der körperlichen Belastung in % in Deutschland 2013 .....	16
Abbildung 8: Erwerbstätige nach dem schwerwiegendsten Belastungsfaktor in Österreich .....	17
Abbildung 9: Produktionsausfallkosten und ausgefallene Bruttowertschöpfung 2017 .....	18
Abbildung 10: Kosten der Arbeitsunfähigkeit nach Diagnosegruppen .....	19
Abbildung 11: Krankheitsquoten nach Branchen in Österreich 2017 in %.....	20
Abbildung 12: Körperhöhe nach DIN 33402-2 .....	25
Abbildung 13: Wirbelsäule von links .....	32
Abbildung 14: Medianschnitt durch die Lendenwirbelsäule .....	32
Abbildung 15: MRT der lumbosakralen Wirbelsäule mit Protrusion.....	33
Abbildung 16: Druckkraft am Lenden-Kreuzbein-Übergang beim Halten von Lasten mit vorgeneigtem Oberkörper für verschiedene Lastmassen: .....	34
Abbildung 17: Unterstützungssysteme für das Berufsleben .....	36
Abbildung 18: Grundlegende Muster von Unterstützungssystemen .....	40
Abbildung 19: Periodensystem zur Klassifikation techn. Unterstützungssysteme .....	41
Abbildung 20: Funktionen eines Cobots .....	50
Abbildung 21: Funktionen körpergetragener Hebehilfen .....	51
Abbildung 22: links: Mate von Comau (passives Exoskelett), rechts: Atoun Model A (aktives Exoskelett):.....	55
Abbildung 23: Zentrale Anforderungen an Exoskelette .....	58
Abbildung 24: Überblick über die ermittelten industriellen Exoskelette.....	87
Abbildung 25: Geografische Verteilung ermittelter Unternehmen und Produkte.....	87
Abbildung 26: Zuordnung Produkte und Prototypen zu ihren Herkunftsländern .....	88
Abbildung 27: Halle inkl. Rüstearbeitsplatz .....	94
Abbildung 28: Rolle .....	95
Abbildung 29: Status Zusammenarbeit mit den Exoskelettherstellern.....	109
Abbildung 30: links - ShoulderX, rechts - BackX .....	110
Abbildung 31: Ekso Vest von Ekso Bionics:.....	111
Abbildung 32: Paexo .....	113
Abbildung 33: Cray X.....	113

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erwerbstätige nach arbeitsbed. Gesundheitsproblemen in Deutschland 2013 .....	14
Tabelle 2: Kosten der Arbeitsunfähigkeit nach Wirtschaftszweigen.....	19
Tabelle 3: Formen der Muskelarbeit.....	29
Tabelle 4: Aussagen und Rückschlüsse der biomechanischen Analyse .....	31
Tabelle 5: Charakterisierung unterstützender Systeme.....	37
Tabelle 6: Sensorische Assistenzsysteme.....	38
Tabelle 7: Drei Relationen der Ordinate .....	40
Tabelle 8: Fünf Körperrelationen .....	40
Tabelle 9: Technische Assistenz zur Motivation, Aktivierung und Zielsetzung .....	42
Tabelle 10: Technische Assistenz zur Wahrnehmung.....	42
Tabelle 11: Technische Assistenz für Informationsintegration / Situationsbewusstsein .....	43
Tabelle 12: Techn. Assistenz zur Entscheidungsfindung, Aktionsauswahl und -ausführung.....	44
Tabelle 13: Technische Assistenz zur Aktionsausführung.....	44
Tabelle 14: Technische Assistenz für Ergebnismeldung.....	45
Tabelle 15: Arten von Anpassung der Assistenz .....	46
Tabelle 16: Initiative von Assistenzsystemen .....	46
Tabelle 17: Präsentationsmedien und Eingabemodalitäten von Assistenzsystemen	47
Tabelle 18: Operationsmodi eines Cobots.....	50
Tabelle 19: Nutzen von Assistenzsystemen .....	52
Tabelle 20: Passive und aktive Exoskelette.....	56
Tabelle 21: Positive und negative Effekte passiver Exoskelette .....	58
Tabelle 22: Positive und negative Aspekte aktiver Exoskelette .....	59
Tabelle 23: Standards zur Entwicklung von industriellen Exoskeletten .....	62
Tabelle 24: Gefährdungspotential durch den Einsatz von Exoskeletten.....	63
Tabelle 25: Liste ermittelter Exoskelettanbieter .....	69
Tabelle 26: Marktreife, aktive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 1 .....	74
Tabelle 27: Marktreife, aktive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 2 .....	75
Tabelle 28: Marktreife, aktive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 1 .....	77
Tabelle 29: Marktreife, aktive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 2 .....	77
Tabelle 30: Marktreife, aktive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 1 .....	78
Tabelle 31: Marktreife, aktive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 2.....	78
Tabelle 32: Marktreife, passive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 1 .....	78
Tabelle 33: Marktreife, passive Exoskelette für den Oberkörper, Teil 2 .....	80
Tabelle 34: Marktreife, passive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 1.....	81
Tabelle 35: Marktreife, passive Exoskelette für den Unterkörper, Teil 2.....	82
Tabelle 36: Marktreife, passive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 1 .....	82

Tabelle 37: Marktreife, passive Exoskelette für den ganzen Körper, Teil 2 .....	83
Tabelle 38: Aktive Prototypen für den Oberkörper, Teil 1 .....	83
Tabelle 39: Aktive Prototypen für den Oberkörper, Teil 2 .....	83
Tabelle 40: Aktive Prototypen für den Unterkörper, Teil 1 .....	84
Tabelle 41: Aktive Prototypen für den Unterkörper, Teil 2 .....	84
Tabelle 42: Aktive Prototypen für den ganzen Körper, Teil 1 .....	84
Tabelle 43: Aktive Prototypen für den ganzen Körper, Teil 2 .....	85
Tabelle 44: Passive Prototypen für den Oberkörper, Teil 1 .....	85
Tabelle 45: Passive Prototypen für den Oberkörper, Teil 2 .....	86
Tabelle 46: Passive Prototypen für den Unterkörper, Teil 1 .....	86
Tabelle 47: Passive Prototypen für den Unterkörper, Teil 2 .....	86
Tabelle 48: Anforderungskatalog inkl. MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen ....	98
Tabelle 49: Zusammenfassung der Anforderungen .....	100
Tabelle 50: Marktreife Exoskelette, die die MUSS-Anforderungen erfüllen .....	102
Tabelle 51: Bewertungsschema der SOLL- und KANN-Anforderungen .....	103
Tabelle 52: Beurteilung der SOLL- und KANN-Anforderungen, Teil 1 .....	104
Tabelle 53: Beurteilung der SOLL- und KANN-Anforderungen, Teil 2 .....	106
Tabelle 54: Ranking der beurteilten Exoskelette .....	108
Tabelle 55: Vor- und Nachteile von ShoulderX und BackX .....	110
Tabelle 56: Vor- und Nachteile der Ekso Vest .....	112

## 8 Abkürzungsverzeichnis

AAL	Ambient Assisted Living
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CCTV	Closed Circuit Television
CNC	Computerized Numerical Control
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FES	Functional Electrical Stimulation
ISO	International Organization for Standardization
IVSS	Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit
Mill.	Million
Mio.	Million
MMS	Mensch-Maschine-Systeme
Mrd.	Milliarden
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
MSE	Muskel-Skelett-Erkrankungen
NA	Nordamerika
NDA	Non-Disclosure Agreement
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
Tsd.	Tausend



## 9 Literaturverzeichnis

A. Schäffler, N. Menche (Hg.) (2000): *Biologie, Anatomie, Physiologie. Kompaktes Lehrbuch für Pflegeberufe*. 4. überarbeitete Auflage. München: Urban & Fischer.

A.M. Stewart; C.G. Pretty; M. Adams; X.Q. Chen (2017): Review of Upper Limb Hybrid Exoskeletons. In: *IFAC International Federation of Automatic Control (50-1)*, S. 15169–15178.

Atoun Inc. (Hg.): ATOUN. Online verfügbar unter <http://atoun.co.jp>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

AXOSUITS SRL (Hg.): AXOSUITS® Affordable Medical Exoskeletons. Online verfügbar unter <http://www.axosuits.com/>, zuletzt geprüft am 07.12.2018.

Bioservo Technologies AB (Hg.): Ironhand® – World's first soft robotic muscle strengthening system. Online verfügbar unter <https://www.bioservo.com/professional>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

B-TEMIA Inc. (Hg.): Deroskeletal Technology for Powered Freedom. Online verfügbar unter <http://www.b-temia.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2018): *Arbeitswelt im Wandel. Zahlen – Daten – Fakten*. Online verfügbar unter [https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A99.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A99.pdf?__blob=publicationFile).

Bundeskanzleramt Österreich: *Gesamte Rechtsvorschrift für ArbeitnehmerInnenschutzgesetz*, vom 13.03.2019. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/>, zuletzt geprüft am 13.03.2019.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2017): *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit Berichtsjahr 2017*. Online verfügbar unter [https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Meldungen/2018/sicherheit-und-gesundheit-bei-der-arbeit-berichtsjaehr-2017.pdf;jsessionid=A45CF04C67483411A3CE2BEF375232E1?\\_\\_blob=publicationFile&v=1&src=asp-cu&typ=pdf&cid=7030](https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Meldungen/2018/sicherheit-und-gesundheit-bei-der-arbeit-berichtsjaehr-2017.pdf;jsessionid=A45CF04C67483411A3CE2BEF375232E1?__blob=publicationFile&v=1&src=asp-cu&typ=pdf&cid=7030).

C. Constantinescu; C. Dahmen (2018): Exoskelette in der Produktion. Charakterisierung passiver Exoskelette zur digitalen Produktionsplanung und ergonomischen Bewertung. In: *wt Werkstattstechnik online* 108 (6), S. 393–396.

C. Constantinescu; P.C. Muresan; D. Popescu; S.I. Stana (2016): Exoskeleton-centered process optimization in advanced factory environments. In: *Procedia CIRP* 41, S. 740–745.

C. Schlick; R. Bruder; H. Luczak (Hg.) (2018): *Arbeitswissenschaft*. Deutschland: Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Comau SpA (Hg.): EXOSKELETON MATE. Online verfügbar unter <https://www.comau.com/DE>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

CYBERDYNE Inc. (Hg.): HAL Lumbar Type for Labor Support. Online verfügbar unter <https://www.cyberdyne.jp/english/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

D. Schmitter; U. Steinberg; M. Wichtl; D. Trippler (2010): *Manuelle Lastenhandhabung - Heben, Halten, Tragen, Ziehen, Schieben - Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen; Festlegen von Maßnahmen. Leitfaden für die Gefährdungsbeurteilung in Klein- und Mittelbetrieben*. Bochum, Deutschland: Verlag Technik & Information e.K.

Daiya Industry Co. Ltd. (Hg.): DAIYA A manufacturer and developer of orthotic support systems. Online verfügbar unter <https://www.daiyak.co.jp/en/index.html>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (Hg.) (2018): *Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen*. Online verfügbar unter <https://www.dguv.de/medien/fb-handelundlogistik/pdf-dokumente/exoskelette.pdf>, zuletzt geprüft am 21.10.2018.

DSME Co. Ltd. (Hg.): Global DSME. Online verfügbar unter <http://www.dsme.co.kr/epub/main/index.do>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Ekso Bionics (Hg.): Ekso Works - Exoskeleton technology for construction, manufacturing, and industrial applications. Online verfügbar unter <https://eksobionics.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2018.

Equipois LLC. (Hg.): Equipois Defy Gravity. Online verfügbar unter <https://eksobionics.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.



Norm DIN EN ISO 26800:2011-11 (EN ISO 26800:2011 (D)), August 2011: Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte.

Norm DIN 33402-2:2005-12, Dezember 2005: Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte.

Norm DIN EN ISO 9241-210:2011-01 (EN ISO 9241-210:2010 (D)), Oktober 2010: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme.

EXHAUSS (Hg.): ExhauSS Sxstem. Online verfügbar unter <http://www.exhauSS.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Exomys - Augmented Humanity GmbH (Hg.): Exomys - Augmented Humanity Exoskeleton. Online verfügbar unter <http://www.exomys.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Exoskeleton Report LLC (2019): Exoskeleton Report. Online verfügbar unter <https://exoskeletonreport.com/>, zuletzt geprüft am 11.03.2019.

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hg.): Robo-Mate: Neue Meilensteine. Online verfügbar unter <https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/presse-und-medien/aktuelles/1465-roboter-mate-neue-meilensteine.html>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Hg.): Stuttgart Exo-Jacket. Online verfügbar unter [https://futureworklab.de/de/demonstratorenwelt.html#faqitem\\_3-answer](https://futureworklab.de/de/demonstratorenwelt.html#faqitem_3-answer), zuletzt geprüft am 11.04.2019.

G. Reinhart; Y. Shen; R. Spiller (2013): Hybride Systeme - Arbeitsplätze der Zukunft. Nachhaltige und flexible Produktivitätssteigerung in hybriden Arbeitssystemen. In: *wt Werkstattstechnik online* 103 (6), S. 543–547.

GBS German Bionic Systems GmbH (Hg.): Smart exoskeletons for an industry in motion. Online verfügbar unter <https://www.germanbionic.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

GEBE2 – EUROPE TECHNOLOGIES (Hg.): GOBIO Exoskeletons. Online verfügbar unter <https://gebe2-et.com/en/exoskeletons/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Norm DIN EN ISO 6385:2016-12 (EN ISO 6385:2016 (D)), Oktober 2016: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.

H. Kazrooni; W. Tung; D. Rempel (2018): Trunk Support Exoskeleton. Hg. v. US Bionics Inc. Online verfügbar unter <https://www.suitx.com/backx>.

H. Lee; W. Kim; J. Han; C. Han (2012): The Technical Trend of the Exoskeleton Robot System for Human Power Assistance. In: *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13 (8), S. 1491–1497.

H. Wandke (2005): Assistance in human-machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6 (2), S. 129–155.

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/demografische-alterung-51464/version-274631> (2018): Demografische Alterung. Unter Mitarbeit von J. Schmid und S. Schmid. Hg. v. Gabler Wirtschaftslexikon, zuletzt geprüft am 28.01.2019.

Hyundai Motor Europe (Hg.): Hyundai showcases Advanced Wearable Robots at 2017 Geneva Motor Show. Online verfügbar unter <https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-leads-personal-mobility-revolution-with-advanced-robots/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Norm DIN EN ISO 10218-1:2012-01 (EN ISO 10218-1:2011 (D)), Juli 2011: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter.

Norm DIN EN ISO 10218-2:2012-06 (EN ISO 10218-2:2011 (D)), Juni 2012: Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration.

INNOPHYS CO. LTD. (Hg.): INNOPHYS. Online verfügbar unter <https://innophys.jp/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (Hg.) (2015): Leistungsfähigkeit im Betrieb. Demografischer Wandel und Auswirkungen auf Unternehmen. Unter Mitarbeit von S. Adenauer. Düsseldorf, Deutschland: Springer Berlin Heidelberg.

- J. Bernhardt; V. Pauser (2019): State of the Art Bericht Exoskelette. Stand der Technik von aktiven und passiven Exoskeletten.
- J. Van der Vorm; L. O'Sullivan; R. Nugent; M. de Looze (2015): Considerations for developing safety standards for industrial exoskeletons. Hg. v. Robo-Mate. Online verfügbar unter [www.robo-mate.eu](http://www.robo-mate.eu).
- J. Wulfsberg (2017): Technische Autonomie und Autonomie des Menschen...gemeinsam stark. 28. Deutscher Montagekongress. München, 2017.
- J.Fanghänel; F.Pera; F.Anderhuber; R.Nitsch (Hg.) (2003): Waldeyer - Anatomie des Menschen. 17. völlig überarbeitete Auflage. Berlin: Walter de Gruyter GmbH&Co.KG.
- Kinetic Edge (Hg.): KINETIC EDGE. Online verfügbar unter <https://kineticedgeinc.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- L. Van Engelhoven; N. Poon; H. Kazerooni; A. Barr; D. Rempel (2018): Evaluation of an adjustable support shoulder exoskeleton on static and dynamic overhead tasks. Hg. v. US Bionics Inc. Human Factors and Ergonomics Society International Annual Meeting. Online verfügbar unter <https://www.suitx.com/shoulderx>.
- Laevo B.V. (Hg.): Laevo Exoskelet - Physically demanding work. made easy. Laevo. Supports you. Online verfügbar unter <http://en.laevo.nl/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- Levitate Technologies Inc. (Hg.): The Future of Workplace Health and Safety. Online verfügbar unter <https://www.levitate.tech.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- Lockheed Martin Corporation (Hg.): Fortis Exoskeletton. Online verfügbar unter <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- M. Jäger; A. Luttmann (Hg.) (1995): Heben und Tragen von Lasten – Verbesserter Arbeitnehmerschutz durch Umsetzung der Europa-Richtlinie 90/269/EWG. Möglichkeiten der biomechanischen Modellrechnung und Beurteilung von Wirbelsäulenbelastungen bei Lastenmanipulationen. Unter Mitarbeit von R. Pangert. Landesamt für Soziales und Familie, Suhl, und Thüringer Ministerium für Soziales und Gesundheit. Erfurt.
- M. Jäger; A. Luttmann; W. Laurig (1992): Ein computergestütztes Werkzeug zur biomechanischen Analyse der Belastung der Wirbelsäule bei Lastenmanipulationen: „Der Dortmund““. In: *Medizinisch-orthopädische Technik* (112), S. 305–313.
- MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD. (Hg.): MHI Develops Power Assist Suit (PAS) for Nuclear Disaster Response. Online verfügbar unter <https://www.mhi.com/news/story/1512011943.html>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- Noonee Germany GmbH (Hg.): Der Chairless Chair. Online verfügbar unter <https://www.noonee.com/>, zuletzt geprüft am 23.10.2018.
- Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO (2018): Fehlzeitenreport 2018. Krankheits- und unfallbedingte Fehlzeiten in Österreich – Präsentismus und Absentismus. Unter Mitarbeit von T. Leoni; R. Böheim. Online verfügbar unter <http://www.hauptverband.at/cdscontent/load?contentid=10008.665179&version=1543824555>.
- Ottobock SE & Co. KGaA (Hg.): Medieninformationen Exoskelett Paexo. Online verfügbar unter <https://www.ottobock.com/de/presse/medieninformationen/medieninformation-exoskelett-paexo/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- Panasonic Corporation (Hg.): No more power barriers with Panasonic Assist Robots. Online verfügbar unter <https://news.panasonic.com/global/stories/2016/44969.html>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- R. Müller; M. Vette; O. Mailahn (2014): Innovative Produktionsassistenz für die Montage. Intelligente Werkerunterstützung bei der Montage von Großbauteilen in der Luftfahrt. In: *wt Werkstattstechnik online* 104 (9), S. 552–560.
- R. Neugebauer (Hg.) (2017): Ressourceneffizienz. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft. 1. Auflage. München: Springer Vieweg.
- R. Schick (2018): Einsatz von Exoskeletten in Arbeitssystemen: Stand der Technik – Entwicklungen – Erfahrungen. 135. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium. ASER Institut. DGUV Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik. Wuppertal-Vohwinkel, 08.05.2018.

- R. Weidner (Hg.) (2016): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Zweite Transdisziplinäre Konferenz. Hamburg. Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik: Helmut-Schmidt-Universität.
- R. Weidner; B. Otten; F. Schroeter; P. Dehmel; J.P. Wulfsberg; T. Jacobsen (2015a): Effekte bei der Anwendung von Exoskeletten. Physische und kognitive Effekte beim Einsatz am Beispiel von Tätigkeiten in und über Kopfhöhe. In: *wt Werkstattstechnik online* (108), S. 597–601.
- R. Weidner; T. Redlich; J.P. Wulfsberg (Hg.) (2015b): Technische Unterstützungssysteme: Springer Verlag Berlin Heidelberg, zuletzt geprüft am 21.10.2018.
- R.A. Gopura; K. Kiguchi (2009): Mechanical Designs of Active Upper-Limb Exoskeleton Robots. State-of-the-Art and Design Difficulties. In: *IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics*, S. 178–187.
- RB3D (Hg.): RB3D - we multiply your capacity. Online verfügbar unter <https://www.rb3d.com/en/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- RoboMate (Hg.): Modular exoskeleton for industry - Designed for lifting activities and static postures. Online verfügbar unter <http://www.robomate.eu/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- Norm DIN ISO/TS 15066 (DIN SPEC 5306):2017-04, April 2017: Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter.
- Norm DIN EN ISO 13482:2014-11 (EN ISO 13482:2014 (D)), November 2014: Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter.
- Rodeck, R.; Schüppstuhl, T.; Weidner, R.; Wulfsberg, J. P. (2016): Unterstützung manueller Tätigkeiten. Am Beispiel des qualitätskritischen Prozesses des Schäftens von CFK-Strukturen. In: *wt Werkstattstechnik online* 106 (9), S. 624–630.
- Rotbot (Hg.): ROTBOT SYSTEMS. Online verfügbar unter <https://www.rot-bot.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- S. Henkel (2007): Entwicklung von Assistenzkonzepten unter verschiedenen ressourcenreichen Bedingungen. Diplomarbeit. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin. Psychologie.
- S. Schlund; W. Mayrhofer; P. Rupprecht (2018): Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologiischer Entwicklungen. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, S. 1–11, zuletzt geprüft am 21.10.2018.
- S. Spada; L. Ghibaud; S. Gilotta; L. Gastaldi; M.P. Cavatorta (2017): Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry. In: *Procedia Manufacturing* (11), S. 1255–1262.
- S. Wischmann; E.A. Hartmann (Hg.) (2018): Zukunft der Arbeit - Eine praxisnahe Betrachtung. Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefendatenerkennung. Unter Mitarbeit von A. Bächler, L. Bächler und S. Autenrieth. Institut für Innovation und Technik. Berlin: Springer Vieweg.
- Sarcos Corp.: SARCOS - Expanding the limits of the human experience. Online verfügbar unter <https://www.sarcos.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.
- Norm DIN EN ISO 14738:2009-07 (EN ISO 14738:2008 (D)), Juli 2009: Sicherheit von Maschinen - Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen.
- Statistik Austria (Hg.) (2014): Arbeitsunfälle und Arbeitsbezogene Gesundheitsprobleme. Modul der Arbeitskräfteerhebung 2013. Online verfügbar unter [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/arbeitsbezogene\\_erkrankungen\\_und\\_risiken/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/arbeitsbezogene_erkrankungen_und_risiken/index.html), zuletzt geprüft am 21.10.2018.
- Statistik Austria (2018): Bevölkerung nach breiten Altersgruppen 1950-2080. Online verfügbar unter [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/demographische\\_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html), zuletzt geprüft am 29.01.2019.
- Statistisches Bundesamt (2014): Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme. Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme. Unter Mitarbeit von A. Liersch.
- Statistisches Bundesamt (2015): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Unter Mitarbeit von O. Pötzsch und F. Rößger. Wiesbaden, Deutschland.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015a): Bevölkerung nach Altersgruppen. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Bevoelkerungsvorausberechnung.html;jsessionid=EE859E5A01E07549E284FCF749815479.InternetLive1>, zuletzt geprüft am 29.01.2019.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015b): Bevölkerungspyramide. Online verfügbar unter <https://service.destatis.de/bevoelkerungspyramide/>, zuletzt geprüft am 29.01.2019.

StrongArm Technologies Inc. (Hg.): STRONGARM. Online verfügbar unter <https://www.strongarmtech.com/strongarm>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

T. Bosch; M.P. de Looze; F. Krause; L.W. O'Sullivan; K.S. Stadler (2016): Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. In: *Ergonomics* 59 (5), S. 671–681.

Tilta Inc. (Hg.): TILTA Armor Man 2.0. Online verfügbar unter <https://tilta.com/shop/armor-man-arm-t01/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

US Bionics Inc. (Hg.): SUITX. Online verfügbar unter <https://www.suitx.com/>, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

W. Apt; M. Bovenschulte; K. Priesack (2018): Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Hg. v. Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Institut für Innovation und Technik.

W. Bauer; C. Constantinescu; O. Todorovic (2017): Exoskelettbasierte Arbeitsplatzgestaltung. Arbeitsplatzsimulation und Optimierung mit integriertem intelligenten Exoskelett. In: *wt Werkstattstechnik online* 107 (6), S. 387–391.

W. Van de Venn (2016): Robo-Mate Final Report: Intelligent exoskeleton based on human-robot interaction for manipulation of heavy goods in Europe's factories of the future. Online verfügbar unter [www.robomate.eu](http://www.robomate.eu).

WearRA Wearable Robotics Association (2019): WearRAcon 19. Scottsdale, Arizona, USA. Online verfügbar unter <http://www.wearablerobotics.com/wearracon-19/>, zuletzt geprüft am 11.03.2019.

Wirtschaftskammer Österreich (Hg.) (2009): Demografische Fitness. Wie sich Unternehmen auf den Wandel vorbereiten. Unter Mitarbeit von Dirk Matthias Kauffmann (Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstituts, 342). Online verfügbar unter [https://news.wko.at/news/oesterreich/Broschuere\\_Demografische\\_Fitness.pdf](https://news.wko.at/news/oesterreich/Broschuere_Demografische_Fitness.pdf), zuletzt geprüft am 21.10.2018.

## 10 Anhang

- A1 Liste aller ermittelten Exoskelettanbieter
- A2 Marktreife industrielle Exoskelette und Prototypen

## A1 Liste aller ermittelten Exoskelettanbieter:

Unternehmen	Produkte	Anwendbar in d. Produktion	Homepage	Kontaktperson
<b>Activelink / ATOUN</b>	Produkte: Atoun Model Y, As, A; Prototypen: Nio, Himico, Koma 1.5	ja	<a href="http://atoun.co.jp/product%20S%20;http://atoun.co.jp/prototy%20pes">http://atoun.co.jp/product S; http://atoun.co.jp/prototy pes</a>	Mr. Takashi Tsurumaru, t.tsurumaru@atoun.co.jp, Business Development Div. Overseas Sales
<b>AxoSuits</b>	Medizinische Geräte, die Patienten mit eingeschränkter Mobilität unterstützen.	nein	<a href="http://www.axosuits.com/index.php">http://www.axosuits.com/index.php</a>	
<b>Bionic Power</b>	Exoskelett zum Aufladen von Batterien für den militärischen Einsatz.	nein	<a href="https://www.bionic-power.com/">https://www.bionic-power.com/</a>	
<b>Bionik Laboratories</b>	Medizinische Geräte zum Einsatz nach Schlaganfällen (Unterstützung von Armen und Händen).	nein	<a href="https://www.bioniklabs.com/">https://www.bioniklabs.com/</a>	
<b>Bioservo Technologies</b>	Ironhand	ja	<a href="https://www.bioservo.com/professional">https://www.bioservo.com/professional</a>	Sofia Sandberg, sofia.sandberg@bioservo.com, International Sales Representative
<b>B-Temia</b>	K-SRD; Keeogo	ja	<a href="http://www.b-temia.com;">http://www.b-temia.com;</a> <a href="http://military.b-temia.com;">http://military.b-temia.com;</a> <a href="http://www.b-temia.com/home-medical-equipment">http://www.b-temia.com/home-medical-equipment</a>	Jean-Philippe Clark, jean-philippe.clark@b-temia.com, Jr. System Engineer
<b>Comau</b>	Mate Exoskeleton	ja	<a href="https://www.comau.com/DE">https://www.comau.com/DE</a>	
<b>Cyberdyne</b>	HAL Lumbar Type for Labor Support	ja	<a href="https://www.cyberdyne.jp/english/">https://www.cyberdyne.jp/english/</a>	
<b>Daewoo Shipbuilding &amp; Marine Engineering</b>	RoboShipbuilder	ja	<a href="http://www.dsme.co.kr/e%20pub/main/index.do;">http://www.dsme.co.kr/e%20pub/main/index.do;</a> <a href="https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/robotik/daewoo-werft-arbeiter-exoskelette-zu-muskelprotzen/">https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/robotik/daewoo-werft-arbeiter-exoskelette-zu-muskelprotzen/</a>	
<b>Daiya Industry</b>	Power Assist Glove	ja	<a href="https://www.daiyak.co.jp/en/index.html">https://www.daiyak.co.jp/en/index.html</a>	
<b>Ekso Bionics</b>	Ekso Vest; (Ekso ZeroG)	ja	<a href="https://eksobionics.com/">https://eksobionics.com/;</a> <a href="https://eksobionics.com/eksoworks/eksovest/">https://eksobionics.com/eksoworks/eksovest/</a>	
<b>Equipois</b>	X-Ar	ja	<a href="http://www.equipoisllc.com/">http://www.equipoisllc.com/</a>	
<b>Exhauss</b>	Exhauss Sxstem; (Exhauss Picker)	ja	<a href="http://www.exhauss.com/">http://www.exhauss.com/</a>	
<b>ExoAtlet</b>	Medizinisches Exoskelett für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der unteren Extremitäten.	nein	<a href="https://www.exoatlet.com/en">https://www.exoatlet.com/en</a>	
<b>Exomys</b>	Modul 1; Modul 2	ja	<a href="http://www.exomys.com/">http://www.exomys.com/</a>	John Bernhardt, jp@exomys.com, CTO; Veronika Pauser, vp@exomys.com, CEO



<b>Festo</b>	ExoHand, wurde nur für den Messebetrieb entwickelt (reines Messe-Exponat) und hat auch nicht den Anspruch in der Industrie eingesetzt zu werden.	nein	<a href="https://www.festo.com/group/de/cms/10233.htm">https://www.festo.com/group/de/cms/10233.htm</a>	Katharina Sigl, katharina.sigl@festo.com, Leitung Company and Market Communication
<b>Focal Meditech</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der oberen Extremitäten.	nein	<a href="https://www.focalmeditech.nl/">https://www.focalmeditech.nl/</a>	
<b>Fourier Intelligence</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der oberen und unteren Extremitäten vor allem nach Schlaganfällen.	nein	<a href="http://www.fftai.com/index_en.php">http://www.fftai.com/index_en.php</a>	
<b>Fraunhofer IAO</b>	Robo-Mate	ja	<a href="https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/presse-und-medien/aktuelles/1465-robo-mate-neue-meilensteine.html">https://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/presse-und-medien/aktuelles/1465-robo-mate-neue-meilensteine.html</a>	Prof. Carmen Constantinescu, Carmen.Constantinescu@iao.fraunhofer.de
<b>Fraunhofer IPA</b>	Stuttgart Exo-Jacket SEJ2	ja	<a href="https://futureworklab.de/de/demonstratorenwelt.html#faqitem_3-answer">https://futureworklab.de/de/demonstratorenwelt.html#faqitem_3-answer</a> ; <a href="https://www.faz.net/aktuell/beruf-chance/beruf/exoskelette-maschine-zum-anziehen-die-koerperliche-arbeit-erleichtern-15341414-p3.html">https://www.faz.net/aktuell/beruf-chance/beruf/exoskelette-maschine-zum-anziehen-die-koerperliche-arbeit-erleichtern-15341414-p3.html</a>	Raphael Singer, raphael.singer@ipa.fraunhofer.de; Christophe Maufroy, christophe.maufroy@ipa.fraunhofer.de
<b>German Bionic</b>	Cray X; Robo-Mate	ja	<a href="https://www.germanbionic.com/">https://www.germanbionic.com/</a>	Eric Eitel, ee@germanbionic.com, Head of Communications; Karolina Zalewski, sales@germanbionic.com, Junior Sales Manager; Janina Tellini, j.tellini@germanbionic.com, Sales Manager Austria
<b>Gobio Robot / Gebe2</b>	Gobio IP12; Gobio IP14 Chairless Chair	ja	<a href="https://gebe2.com/en/exoskeletons/">https://gebe2.com/en/exoskeletons/</a>	Benoît Sagot-Duvaurox, b.sagot-duvaurox@europetechnologies.com
<b>GOGOA</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der oberen und unteren Extremitäten vor allem nach Schlaganfällen.	nein	<a href="http://gogoa.eu/">http://gogoa.eu/</a>	
<b>GoXStudio</b>	Kein klassisches Exoskelett, ist ein Sensorsystem, welches Vitalparameter aufzeichnet und auswertet.	nein	<a href="http://goxstudio.com/">http://goxstudio.com/</a>	
<b>HDT Global</b>	Kein klassisches Exoskelett, eher Robots und Cobots.	nein	<a href="http://www.hdtglobal.com/">http://www.hdtglobal.com/</a>	



<b>Hocoma</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke	nein	<a href="https://www.hocoma.com/">https://www.hocoma.com/</a>	
<b>Honda</b>	Medizinisches Exoskelett, das als Gehhilfe bzw. zum Muskelaufbau eingesetzt wird.	nein	<a href="https://global.honda/innovation/robotics/WalkingAssist.html">https://global.honda/innovation/robotics/WalkingAssist.html</a>	
<b>Hyundai</b>	Hyundai Waist Exoskeleton H-WEX; Hyundai Chairless Exoskeleton H-CEX; Full Body Exoskeleton	ja	<a href="https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-leads-personal-mobility-revolution-with-advanced-robots/">https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-leads-personal-mobility-revolution-with-advanced-robots/</a> ; <a href="https://www.extremetech.com/extreme/241613-walking-hyundais-exoskeleton-helps-paraplegics-move">https://www.extremetech.com/extreme/241613-walking-hyundais-exoskeleton-helps-paraplegics-move</a> ; <a href="https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-group-ventures-further-into-new-robotics-industry/">https://www.hyundai.news/eu/technology/hyundai-motor-group-ventures-further-into-new-robotics-industry/</a> ; <a href="https://exoskeletonreport.com/2016/05/hyundai-wearable-robot/">https://exoskeletonreport.com/2016/05/hyundai-wearable-robot/</a>	
<b>Innophys</b>	Muscle Power Suit; Muscle Suit; Muscle Suit Edge; Muscle Upper	ja	<a href="https://innophys.jp/">https://innophys.jp/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/power/">https://innophys.jp/product/power/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/standard/">https://innophys.jp/product/standard/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/edge/">https://innophys.jp/product/edge/</a> ; <a href="https://innophys.jp/product/upper/">https://innophys.jp/product/upper/</a>	
<b>Japet</b>	Medizinisches Exoskelett, das zu Therapie- und Trainingszwecken eingesetzt wird, um Rückenschmerzen zu lindern und Rückenmuskulatur zu stärken.	nein	<a href="https://www.iapet.eu/">https://www.iapet.eu/</a>	
<b>Kinetek</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="http://www.wearable-robotics.com/kinetek/">http://www.wearable-robotics.com/kinetek/</a>	
<b>Kinetic Edge</b>	Flex Lift	ja	<a href="https://kineticedgeinc.com/">https://kineticedgeinc.com/</a>	Matt Holgate, matt.holgate@kineticedgeinc.com; Jeff Ward, Jeff.ward@kineticedgeinc.com
<b>Laevo</b>	Laevo V2.4; V2.45; V2.5	ja	<a href="http://en.laevo.nl/">http://en.laevo.nl/</a>	
<b>Levitate Technologies</b>	Airframe	ja	<a href="https://www.levitatetech.com/">https://www.levitatetech.com/</a> ; <a href="https://www.levitatetech.com/airframe/">https://www.levitatetech.com/airframe/</a>	

<b>Lockheed Martin</b>	Fortis; Onyx	ja	<a href="https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html">https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/industrial.html</a> ; <a href="https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/military.html?cq_ck=1522941066947">https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/exoskeleton-technologies/military.html?cq_ck=1522941066947</a>	
<b>Marsi-Bionics</b>	Medizinische Exoskelette für Patienten mit eingeschränkter Mobilität der unteren Extremitäten (auch für Kinder).	nein	<a href="http://www.marsibionics.com/?lang=en">http://www.marsibionics.com/?lang=en</a>	
<b>MedEXO Robotics</b>	Medizinische Exoskelette hauptsächlich für Patienten, die unter Parkinson leiden, sowohl für untere als auch obere Extremitäten.	nein	<a href="http://medexorobotics.com/">http://medexorobotics.com/</a>	
<b>MediTouch</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="https://meditouch.co.il/">https://meditouch.co.il/</a>	
<b>Mitsubishi Heavy Industries</b>	Power Assist Suit (PAS) for Nuclear Disasters	ja	<a href="https://www.mhi.com/news/story/1512011943.html">https://www.mhi.com/news/story/1512011943.html</a>	
<b>Motorika</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="http://motorika.com/">http://motorika.com/</a>	
<b>Myomo</b>	Medizinisches Exoskelett in Form einer Armorthese zu Rehabilitationszwecken.	nein	<a href="https://myomo.com/">https://myomo.com/</a>	
<b>Noonee</b>	Chairless Chair	ja	<a href="http://www.noonee.com/">http://www.noonee.com/</a>	
<b>OttoBock</b>	Paexo; (C-Brace ist ein medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten, um Lähmungserscheinungen entgegenzuwirken)	ja	<a href="https://www.ottobock.com/de/presse/medieninformationen/medieninformation-exoskelett-paexo/">https://www.ottobock.com/de/presse/medieninformationen/medieninformation-exoskelett-paexo/</a>	Frau Awid Aghajamali, Awid.Aghajamali@ottobock.de, Technical Service
<b>P&amp;S Mechanics</b>	Medizinische Exoskelette für Rehabilitationszwecke.	nein	<a href="http://walkbot2015.cafe24.com/eng">http://walkbot2015.cafe24.com/eng</a>	
<b>Panasonic</b>	Ninja; Power Loader	ja	<a href="https://news.panasonic.com/global/stories/2016/44969.html">https://news.panasonic.com/global/stories/2016/44969.html</a>	-
<b>Parker Hannifin / Indego</b>	Medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten zu Rehabilitationszwecken nach Rückenmarksverletzungen.	nein	<a href="http://www.indego.com/indego/en/home">http://www.indego.com/indego/en/home</a>	
<b>PhaseX AB</b>	Exoskelett als Gehhilfe und zur Unterstützung älterer Personen.	nein	<a href="http://www.phasexab.com/">http://www.phasexab.com/</a>	
<b>RB3D</b>	Hercule V3; Exopush	ja	<a href="https://www.rb3d.com/en/">https://www.rb3d.com/en/</a>	
<b>Reha Technology</b>	Medizinische Exoskelette zu Rehabilitationszwecken für obere und untere Extremitäten.	nein	<a href="https://www.rehatechnology.com/de/">https://www.rehatechnology.com/de/</a>	

<b>Rehab Robotics</b>	Medizinische Exoskelette zu Rehabilitationszwecken für obere und untere Extremitäten und Rollstuhlfahrer.	nein	<a href="http://www.rehab-robotics.com/index.html">http://www.rehab-robotics.com/index.html</a>	
<b>ReWalk Robotics</b>	Medizinische Exoskelette zu Rehabilitationszwecken der unteren Extremitäten v.a. für Querschnittsgelähmte.	nein	<a href="https://rewalk.com/de/">https://rewalk.com/de/</a>	
<b>Rex Bionics</b>	Medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten zu Rehabilitationszwecken.	nein	<a href="https://www.rexbionics.com/">https://www.rexbionics.com/</a>	
<b>Robo-Mate</b>	Passive Arm; Active Arm; Active Trunk; (ist ein EU-Projekt und wurde teilweise oder gesamt an German Bionic übergeben, vermutlich noch in der Phase eines Prototypen)	ja	<a href="http://www.robomate.eu/">http://www.robomate.eu/</a> ; <a href="http://www.robomate.eu/passive-arms.html">http://www.robomate.eu/passive-arms.html</a> ; <a href="http://www.robomate.eu/active-arms.html">http://www.robomate.eu/active-arms.html</a> ; <a href="http://www.robomate.eu/active-trunk.html">http://www.robomate.eu/active-trunk.html</a>	Dr. Peter Heiligensetzer, Peter.Heiligensetzer@mrk-systeme.de, Industry expert MRK Systeme GmbH & German Bionic Systems
<b>Roki Robotics</b>	Medizinisches Exoskelett für untere Extremitäten zu Rehabilitationszwecken bei doppelseitiger Lähmung.	nein	<a href="https://www.rokirobotics.com/">https://www.rokirobotics.com/</a>	
<b>Rotbot Systems</b>	Full exoskeleton suit; (Upper body Exoskeleton, Extra pair of arms for exoskeleton suit, Exoskeleton lower body suit, Cost play suit with sensors for online gaming)	ja	<a href="https://www.rot-bot.com/">https://www.rot-bot.com/</a>	
<b>Sarcos</b>	Guardian XO	ja	<a href="https://www.sarcos.com/">https://www.sarcos.com/</a>	
<b>SRI International - Superflex</b>	Ist ein Exosuit-Anzug, der unter normaler Bekleidung getragen wird zur Unterstützung motorisch eingeschränkter Personen beim Aufstehen oder Gehen.	nein	<a href="https://www.sri.com/newroom/press-releases/sri-international-spins-superflex-inc-help-people-achieve-their-physical">https://www.sri.com/newroom/press-releases/sri-international-spins-superflex-inc-help-people-achieve-their-physical</a>	
<b>StrongArmTech</b>	FLX; V22	ja	<a href="https://www.strongarmtech.com/strongarm">https://www.strongarmtech.com/strongarm</a> ; <a href="https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#flx">https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#flx</a> ; <a href="https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#v22">https://www.strongarmtech.com/ergoskeleton#v22</a>	
<b>Tilta</b>	Armor Man 2.0	ja	<a href="https://tilta.com/shop/armor-man-arm-t01/">https://tilta.com/shop/armor-man-arm-t01/</a>	technical support (Product Info), productinfo@tiltahelp.zen desk.com
<b>Toyota</b>	Medizinisches Exoskelett als Gehhilfe zur Rehabilitation nach Schlaganfall oder Lähmung.	nein	<a href="https://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/robot/#link03">https://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/robot/#link03</a>	

<b>Tyromotion</b>	Systeme zu Rehabilitation und Training der unteren und oberen Extremitäten.	nein	<a href="https://tyromotion.com/">https://tyromotion.com/</a>	
<b>SuitX (vormals US Bionics)</b>	BackX; LegX; ShoulderX; MAX	ja	<a href="https://www.suitx.com/">https://www.suitx.com/</a> ; <a href="https://www.suitx.com/backx">https://www.suitx.com/backx</a> ; <a href="https://www.suitx.com/legx">https://www.suitx.com/legx</a> ; <a href="https://www.suitx.com/shoulderx">https://www.suitx.com/shoulderx</a> ; <a href="https://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton">https://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton</a>	Andy Hayes, andy@suitx.com, European Sales Director
<b>Wandercraft</b>	Medizinisches Exoskelett damit Menschen, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind, wieder gehen können.	nein	<a href="http://wandercraft.eu/en/">http://wandercraft.eu/en/</a>	
<b>Guangzhou YiKing</b>	Medizinische Exoskelette zur Rehabilitation der oberen und unteren Extremitäten.	nein	<a href="http://www.yikangshiye.com/">http://www.yikangshiye.com/</a>	

## A2 Marktreife industrielle Exoskelette und Prototypen – Teil 1:

Unternehmen	Region	Standort	Produkt	Prototyp	Typ	Körperbereich	Unterstützung	Antrieb	Max. Unterstützung	Abmessungen	Eigengewicht	Max. Akkudauer	An- und Ablegen
Activelink / Atoun	Asien	Japan	Atoun Model Y	Nein	Aktiv	Oberkörper	Hüfte; Hebe- und Tragehilfe	Elektromotor und Sensoren, die Hüftbewegungen erkennen. Kann in 3 Modi eingesetzt werden (Assist Mode, Walk Mode, Brake Mode) - Schaltung erfolgt automatisch.	10kg	48,5x28x81cm	4,5kg (inkl. Batterien)	4h	einfach; wie ein Rucksack
Activelink / Atoun	Asien	Japan	Atoun Model As	Nein	Aktiv	Oberkörper	Hüfte, Arme; Hebe- und Tragehilfe	Elektromotor und Seilzug; stellt eine Erweiterung des Atoun Model A dar.	15kg	77x48x27cm plus Zusatzmodul für Arme	8,5kg (inkl. Batterien)	8h	personen-abhängig
Activelink / Atoun	Asien	Japan	Atoun Model A	Nein	Aktiv	Oberkörper	Hüfte; Hebe- und Tragehilfe	Elektromotor; kann Bewegungen automatisch erkennen und schaltet automatisch in 4 Modi (Assist Mode, Hold Mode, Walk Mode, Brake Mode).	15kg	77x48x27cm	6,7kg (exkl. Batterien), 7,4kg (inkl. Batterien)	8h	personen-abhängig
Activelink / Atoun	Asien	Japan	Nio	Ja	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper; unterstützt sehr hohe Gewichte						
Activelink / Atoun	Asien	Japan	Himico	Ja	Aktiv	Unterkörper	Beine, Hüfte; Unterstützung beim Gehen						
Activelink / Atoun	Asien	Japan	Koma 1.5	Ja	Aktiv	Unterkörper	Hüfte, Beine; unterstützt hohe Gewicht und kann Hindernisse überwinden	Elektromotoren; es kann in 2 Modi betrieben werden (Buggy Mode, Two-Legged Mode)					
Bioservo Technologies	Europa	Schweden	Ironhand	Nein	Aktiv	Oberkörper	Hände, Arme; unterstützt dabei einen besseren Grip in den Händen zu haben	Elektromotor und druckempfindliche Sensoren in den Handschuhen.					
B-Temia	Nordamerika	Kanada	K-SRD Knee Stress Release Device	Nein	Aktiv	Unterkörper	unterer Rücken, Beine; Unterstützung beim Heben und Halten von Lasten, beim Knien und Hocken, Kriechen und Gehen	Elektromotor und Sensoren, die die Kinetik und Kinematik der unteren Extremitäten registrieren		Apparatur an den Beinen 3x5cm (Breite x Tiefe); Länge 68 - 82cm	7,7kg (inkl. Batterien)	abhängig von ausgeführter Aktivität und Intensität; für gewöhnliche Anwendungen hält der Akku einen gesamten Arbeitstag	max. 2min zum Anlegen; max. 1min zum Ablegen
B-Temia	Nordamerika	Kanada	Keeogo Walking Assistance Device	Nein	Aktiv	Unterkörper	Beine; Unterstützung bei langem Stehen, Gehen und Stiegen steigen (auch bei eingeschränkter Mobilität)	Elektromotor					
Comau	Europa	Italien	Mate Exoskeleton	Nein	Passiv	Oberkörper	Schultergürtel, Arme; Entlastung des Herz-Kreislaufsystems	Federmechanismus und Drehmomentgenerator; 7 Level an Unterstützung			4kg	-	
Cyberdyne	Asien	Japan	HAL Lumbar Type for Labor Support	Nein	Aktiv	Oberkörper	Rücken; Unterstützung beim Heben und Tragen von Lasten	Elektromotor und neuromuskuläre Sensoren (Aktoren werden über Gehirnströme angesteuert); 5 Level an Unterstützung.		45x 29,2x52,2cm	3kg (inkl. Batterien)	4,5h (Ladezeit: 2h)	
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering	Asien	Südkorea	RoboShipbuilder	Ja	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper	Elektromotor und Hydraulik	100kg		28kg	3h	
Daiya Industry	Asien	Japan	Power Assist Glove	Nein	Aktiv	Oberkörper	Hände; unterstützt beim Greifen	Pneumatik (mit kleiner Druckluftflasche) und über einen elektrischen Schalter bedienbar.	unterstützt jedoch nur das Schließen der Hand und nicht das Öffnen; keine Kraftunterstützung	Controller und Gaskanister: 10x20cm	Handschuh: 65g; Controller und Gaskanister: 750g	-	einfach
Ekso Bionics	Nordamerika	USA	Ekso Vest	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, Schultern	Federmechanismus	2,2 - 6,8kg pro Arm	Anpassung des Arbeitsraums auf Reichweite von 50cm	4,3kg	-	weniger als 1min
Equipois	Nordamerika	USA	X-Ar	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, Schultern	Drehfedermechanismus	5,9kg pro Arm		2,5kg pro Arm	-	
Exhauss	Europa	Frankreich	Exhauss Sxstem: bestehend aus den Modellen Worker, Hanger, Orbiter, Lifter, Transporter (Exhauss Picker: leider zurzeit keine ausreichenden Informationen, es ist nicht klar ob der Picker bereits erhältlich ist oder nur als Prototyp vorliegt)	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, Schultern	Federmechanismus und Pneumatik (Stickstoffzylinder)	15kg		ca. 10kg	-	einfach
Exomys	Europa	Österreich	Modul 1	Ja	Passiv	Unterkörper	Beine; Sitzmöglichkeit	Seilzug, mechanische Verriegelung	unterstützt Körpergewicht bis	minimalisierter und ergonomischer Aufbau;	ca. 2kg	-	einfach, da Exoskelett in

									150kg (geplant bis 200kg)	wird unter der Kleidung getragen			Arbeitschse eingearbeitet ist
Exomys	Europa	Österreich	Modul 2	Ja	Passiv	Oberkörper	Arme, Rücken; Unterstützung beim Tragen von Lasten	Seilzug	20kg	körpernaher Aufbau; ähnlich eines Rückenprotektors	ca. 0,8kg	-	schnell an- und ablegbar; wie Rucksack
Fraunhofer IPA	Europa	Deutschland	Stuttgart Exo-Jacket SEJ2	Ja	Aktiv	Oberkörper	Oberkörper; Unterstützung bei Hebetätigkeiten und Überkopfarbeiten	Elektromotor; Kraftunterstützung kann über Druckschalter aktiviert werden	20kg		aktuell 14kg		
German Bionic	Europa	Deutschland	Cray X, (Robo-Mate: soll angeblich von German Bionic übernommen worden sein, unklar ob das alle Module betrifft)	Nein	Aktiv	Oberkörper	unterer Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten; verringert den Kompressionsdruck im unteren Rücken	Elektromotor	20kg	Außenmaß: 65cm; Innenmaß: 45cm; für den Einsatz sollte ausreichend Platz vorhanden sein; schmale Gänge in denen sich mehrere Mitarbeiter bewegen, sollten vermieden werden	7,9kg Nettogewicht; verschiedene Akku- und Gurtgrößen können das Gewicht beeinflussen	8h; schnell austauschbar; Ladezeit: ca. 55min	anlegen: 50sec - 3min; ablegen: weniger als 1min
Gobio Robot / Gebe2	Europa	Frankreich	Gobio IP12	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, Schultern		8kg	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	2,2kg	-	anlegen: ca. 30sec; ablegen: ca. 15sec
Gobio Robot / Gebe2	Europa	Frankreich	Gobio IP14 Chairless Chair	Nein	Passiv	Unterkörper	Beine; Unterstützung bei langem Stehen		unterstützt Körpergewicht von max. 130kg	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	3,4kg	-	anlegen: ca. 30sec; ablegen: ca. 15sec
Hyundai	Asien	Südkorea	Hyundai Waist Exoskeleton H-WEX	Nein	Aktiv	Oberkörper	Oberkörper, unterer Rücken; unterstützt Hebetätigkeiten v.a. das Aufrichten (nicht das Bücken)	Elektromotor			geringes Eigengewicht		
Hyundai	Asien	Südkorea	Hyundai Chairless Exoskeleton H-CEX	Nein	Passiv	Unterkörper	Knie, Sitzmöglichkeit	Slider	150kg		1,6kg	-	
Hyundai	Asien	Südkorea	Full Body Exoskeleton	Ja	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper	Hydraulisch	80kg		70kg		
Innophys	Asien	Japan	Muscle Suit Power	Nein	Aktiv	Oberkörper	Taille	Pneumatisch (Kompressor oder Handpumpe) und Batterie für das Ventil und 4 Aktuatoren.	ca. 35,7kg	SM: 45x20x81cm, ML: 50x22x90cm	6,6kg (exkl. Abdeckung)		einfach
Innophys	Asien	Japan	Muscle Suit	Nein	Aktiv	Oberkörper	Taille	Pneumatisch und 2 Aktuatoren	ca. 25,5kg	SM: 45x20x78cm, ML: 50x22x90cm	Soft fit: 5,1kg, Tight fit: 5kg (exkl. Abdeckung)		einfach
Innophys	Asien	Japan	Muscle Suit Edge	Nein	Aktiv	Oberkörper	unterer Rücken	Pneumatisch und 2 Aktuatoren	ca. 25,5kg	SM: 45x17,5x78cm, ML: 50x19,5x90cm	4,3kg (exkl. Abdeckung)		einfach
Innophys	Asien	Japan	Muscle Upper	Nein	Aktiv	Oberkörper	Arme, Taille	Pneumatisch (Kompressor) und 4 Aktuatoren	ca. 35,7kg	83x31x92cm	8,1kg (exkl. Abdeckung)		einfach
Kinetic Edge	Nordamerika	USA	Flex Lift	Nein	Passiv	Ganzer Körper	unterer Rücken, Knie; Unterstützung beim Bücken und Heben von Lasten und längerem Stehen	Elastische Begurtung	reduziert körperliche Anstrengung um 10-15%	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	-	anlegen: ca. 20sec.; ablegen: ca. 5sec.
Laevo	Europa	Niederlande	Laevo V2.4; V2.45; V2.5	Nein	Passiv	Oberkörper	Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten und Aufrichten den Körpers	Gasfeder	max. 31kg		2,5 - 2,8kg (je nach Version)	-	einfach, wie ein Mantel
Levitate Technologies	Nordamerika	USA	Airframe	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme	Federmechanismus; Unterstützung beim Anheben der Arme				-	einfach
Lockheed Martin	Nordamerika	USA	Fortis	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, Schultern	Federmechanismus	ca. 16kg		ca. 12,3kg (ohne den Tool Arm)	-	weniger als 2min
Lockheed Martin	Nordamerika	USA	Onyx	Ja	Aktiv	Unterkörper	unterer Rücken, Beine; Unterstützung beim Knien, Hocken und bei schwierigem Terrain	Elektromotor und Sensoren, die die Kinetik und Kinematik der unteren Extremitäten registrieren					
Mitsubishi Heavy Industries	Asien	Japan	Power Assist Suit (PAS)	Ja	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper	Elektromotor und Sensoren, die die Kinetik und Kinematik der unteren Extremitäten registrieren	ca. 40kg	61,8x39,9x149,85cm	39kg	2h	einfach
Noonee	Europa	Schweiz	Chairless Chair	Nein	Passiv	Unterkörper	Beine, unterer Rücken; Sitzhilfe	Dämpfer	unterstützt Körpergewicht von max. 130kg		3,3kg (ohne Textilteile)	-	anlegen: max. 30sec; ablegen: max. 10sec
OttoBock	Europa	Deutschland	Paexo	Nein	Passiv	Oberkörper	Oberarme, Schultern; unterstützt Überkopf- und Überschulterarbeiten	Seilzug	dem Anwender werden ca. 6 - 11kg Last abgenommen		1,9kg	-	an- und ablegen jeweils in unter 30sec
Panasonic	Asien	Japan	Ninja	Nein	Aktiv	Ganzer Körper	untere Einheit für die Beine, Unterstützung beim Gehen; obere Einheit für den Oberkörper zur	Elektromotor und Zahnrad			15kg		

							Unterstützung beim Heben von Lasten						
Panasonic	Asien	Japan	Power Loader	Nein	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper; Unterstützung beim Heben und Tragen	20 Elektromotoren und Sensoren in Händen und Füßen	max. 140kg (lite Variante: 60kg)				
RB3D	Europa	Frankreich	Hercule V3	Nein	Aktiv	Unterkörper	Beine; Unterstützt das Tragen von Lasten	elektrische und reversierbare Seilantriebe	40kg	65x40x110cm	30kg (inkl. Batterien)	4h	weniger als 1min
RB3D	Europa	Frankreich	Exopush	Nein	Aktiv	Oberkörper	Arme, Rücken; unterstützt Bewegungen beim Rechnen	Elektromotor	50kg Schubkraft	20x18x220cm	8,4kg	4-6h (Aufladen in 4h)	
Robo-Mate	Europa	EU-Projekt	Passive Arms	Ja	Passiv	Oberkörper	Arme	Federmechanismus	7,5kg pro Arm		3,7kg pro Arm	-	
Robo-Mate	Europa	EU-Projekt	Active Arms	Ja	Aktiv	Oberkörper	Arme; unterstützt Greifen und Heben von Lasten	Elektromotor und Metallseil inkl. Kraftsensoren	7,5kg pro Arm		2,3kg pro Arm	kein Akku, benötigt 110V oder 230V (feste Stromversorgung)	
Robo-Mate	Europa	EU-Projekt	Active Trunk	Ja	Aktiv	Oberkörper	unterer Rücken; Unterstützung beim Heben von Lasten	Elektromotoren	15kg		11kg	kein Akku, benötigt 110V oder 230V (feste Stromversorgung)	
Rotbot Systems	Asien	Israel	Full exoskeleton suit, (Upper body Exoskeleton, Extra pair of arms for exoskeleton suit, Exoskeleton lower body suit, Cost play suit with sensors for online gaming)	Ja	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper	vermutlich Elektromotoren					
Sarcos	Nordamerika	USA	Guardian XO	Ja	Aktiv	Ganzer Körper	ganzer Körper	Elektromotor und Sensoren	90kg			8h	
StrongArm Tech	Nordamerika	USA	FLX	Nein	Passiv	Oberkörper	Rücken; unterstützt richtiges Bücken; korrigiert die Haltung	Feedbacksystem am Rücken erzeugt Druck bei rundem Rücken	keine Unterstützung	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	-	sehr einfach und schnell
StrongArm Tech	Nordamerika	USA	V22	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, unterer Rücken	Seilzug verläuft von Schulter bis zu den Fingern		eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	sehr geringes Eigengewicht, da es nur aus Gurten besteht	-	sehr einfach, wie ein Rucksack
Tilta	Nordamerika	USA	Armor Man 2.0	Nein	Passiv	Oberkörper	Arme, Rücken; entwickelt, um das Tragen von Kameras zu unterstützen	Federmechanismus; benötigt Batterie lediglich zum Betreiben der Kamera aber nicht für das Exoskelett	ca. 18kg	Breite ca. 90cm	9,1kg (exkl. Batterien)	-	ca. 5min
SuitX	Nordamerika	USA	BackX	Nein	Passiv	Oberkörper	unterer Rücken; Unterstützung beim Bücken und Heben von Lasten und beim Vorbeugen	Federmechanismus	13,6kg	eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	Model S: 3,4kg; Model AC: 4,5kg	-	Model AC: anlegen 48sec, ablegen: 15sec; Model S: anlegen 35sec, ablegen: 20sec
SuitX	Nordamerika	USA	LegX	Nein	Passiv	Unterkörper	Knie, Oberschenkel; Unterstützung beim Hocken, Gehen, Stiegen steigen, Sitzmöglichkeit	Dämpfer und Feder; mittels einfacher Elektronik erkennt das System ob Unterstützung notwendig ist		eng am Körper anliegend, sonst keine weiteren Angaben	2,3kg pro Bein	sehr lange	anlegen: 90sec; ablegen: 30sec
SuitX	Nordamerika	USA	ShoulderX	Nein	Passiv	Oberkörper	Schultern, Arme	Federmechanismus	1,4 - 5,4kg	relativ eng am Körper anliegend	5,4kg	-	anlegen: 80sec; ablegen: 40sec
SuitX	Nordamerika	USA	MAX (Modular Agile eXoskeleton)	Nein	Passiv	Ganzer Körper	unterer Rücken, Knie, Oberschenkel, Schulter, Arme; kombiniert jede Form der Unterstützung der Einzelmodule	Dämpfer und Feder; mittels einfacher Elektronik erkennt das System ob Unterstützung notwendig ist		relativ eng am Körper anliegend	ca. 15kg	sehr lange	alle Einzelmodule müssen angelegt werden



## A2 Marktreife industrielle Exoskelette und Prototypen – Teil 2:

Unternehmen	Produkt	Reinigungsmöglichkeit	Empfindlichkeit Umwelteinflüsse	Bewegungseinschränkungen	Feinmotorische Tätigkeiten	Benutzerfreundlichkeit	Größenadaptierbarkeit	Serviceleistungen	Kosten	Sonstiges	Vorteile	Nachteile
Activelink / Atoun	Atoun Model Y	mit feuchtem Tuch abwischbar	Temperaturbereich 0-40°C; wasserdicht; unempfindlich gegenüber Staub, IP55	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	personenabhängig; es werden keine Trainings angeboten	150 - 190cm	keine Serviceleistungen in Österreich	\$ 8.000,-; kein Vertrieb innerhalb der EU geplant		einfacher Austausch des Akkus; leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; unempfindlich gegen Staub und Wasser	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; durch das Ziehen an Schulter und Brust kann es zu Verspannungen kommen; kein Vertrieb in der EU
Activelink / Atoun	Atoun Model As	mit feuchtem Tuch abwischbar	wasserdicht; unempfindlich gegenüber Staub, IP55	mögliche Bewegungseinschränkung	Ausübung feinmotorischer Tätigkeiten ist aufgabenabhängig	personenabhängig; es werden keine Trainings angeboten	155 -185cm / 50 - 80kg	keine Serviceleistungen in Österreich	\$ 8.000,-; kein Vertrieb innerhalb der EU geplant		lange Akkulaufzeit; einfacher Austausch des Akkus; leichte Bedienbarkeit; unempfindlich gegen Staub und Wasser	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; durch das Ziehen an Schulter und Brust kann es zu Verspannungen kommen; eingeschränkter Bewegungsfreiraum durch den Zusatz des Seilzuges; kein Vertrieb in der EU
Activelink / Atoun	Atoun Model A	mit feuchtem Tuch abwischbar	Temperaturbereich 0-40°C; wasserdicht; unempfindlich gegenüber Staub, IP55	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	personenabhängig; es werden keine Trainings angeboten	155 -185cm / 50 - 80kg	keine Serviceleistungen in Österreich	\$ 8.000,-; kein Vertrieb innerhalb der EU geplant	Kooperation mit Panasonic	Oberkörper relativ frei beweglich; lange Akkulaufzeit; einfacher Austausch des Akkus; leichte Bedienbarkeit; unempfindlich gegen Staub und Wasser	keine Unterstützung für die Arme; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; durch das Ziehen an Schulter und Brust kann es zu Verspannungen kommen; kein Vertrieb in der EU
Activelink / Atoun	Nio			mögliche Bewegungseinschränkung	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten					Kooperation mit Panasonic	soll sehr hohe Lasten bewegen können	sehr klobig; befindet sich in der Entwicklungsphase
Activelink / Atoun	Himico			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich						leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; geringes Eigengewicht; am Körper eng anliegend	unterstützt keine zusätzlichen Lasten; befindet sich in der Entwicklungsphase
Activelink / Atoun	Koma 1.5			mögliche Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich						soll sehr hohe Lasten bewegen können und kann auch Hindernisse überwinden	sehr klobig; mögliche Bewegungseinschränkung; befindet sich in der Entwicklungsphase
Bioservo Technologies	Ironhand			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					geringes Eigengewicht; leicht anzulegen - wie ein Rucksack; leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
B-Temia	K-SRD Knee Stress Release Device	mit feuchtem Tuch abwischbar	IP22; nicht wasserdicht; IEC 60601-1-2 Standard bezgl. elektromagnetischer Immunität	keine Bewegungseinschränkung; keine Komfortbeschwerden bei Tragedauern von 8h; Tragekomfort ist abhängig von der ausgeführten Aktivität	feinmotorische Tätigkeiten möglich	sehr intuitiv; nach etwa 15min kann der Benutzer die Basisfunktionen ausüben; innerhalb eines Tages hat sich Anwender an die Handhabung gewöhnt	längenadaptierbar: 68 - 82cm	bisher noch keine Vermarktung in Europa, ist aber in Diskussion	\$ 50.000,-		Keine Bewegungseinschränkung; Kann in die Kleidung integriert werden; Flexibles Design; leicht größenadaptierbar; leichte Bedienbarkeit	gegenwärtig nicht am europäischen Markt erhältlich; nicht wasserdicht
B-Temia	Keeogo Walking Assistance Device			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					eng am Körper anliegend; einfache Anwendung; geringes Eigengewicht	laut B-Temia eignet sich das Produkt Keeogo nicht für Anwendungen in der industriellen Produktion, sondern nur für medizinische Anwendungen
Comau	Mate Exoskeleton			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	zwei Größen: S/M, L/XL; jede Größe anpassbar				komfortable, atmungsaktive und kompakte Struktur; leicht anwendbar	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
Cyberdyne	HAL Lumbar Type for Labor Support		IEC Feuchtigkeitsschutz Level 4 (IPX4); IEC Staubschutz Level 5 (IP5X); Temperaturbereich: 0-40°C	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	Körperhöhe: 140 - 180cm; Körpermasse: 40 - 80kg		¥ 10.000,-	entspricht der ISO 13482 Norm	leicht auseinandernehmbar und schnell montiert; keine Bewegungseinschränkung; auch für den Außeneinsatz geeignet; unempfindlich gegen Staub und Feuchtigkeit; verfügt über internationale Safety Standards für Assistenzroboter und der europäischen Maschinenrichtlinie; leichte Bedienbarkeit	Muskelaktivität kann bei einer gesunden Person verringert werden; Vertrieb zurzeit nur in Japan
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering	RoboShipbuilder			Einschränkung bei Drehbewegungen; Probleme bei Anwendungen auf glattem bzw.	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten		160 - 185cm				Transport von hohen Gewichten	klobig; langsame Bewegungen; keine Unterstützung für die Hüfte; belastet den Rücken; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; befindet sich noch in der Entwicklungsphase

				rutschigem Boden									
Daiya Industry	Power Assist Glove			keine Bewegungseinschränkung	eingeschränkt, da der Handschuh den kleinen Finger, Ring- und Mittelfinger gemeinsam in eine Kammer zwingt	intuitiv						leichte Bedienbarkeit	Druckflasche muss regelmäßig wieder befüllt werden; möglicherweise nicht am europäischen Markt erhältlich; unterstützt lediglich das Schließen der Hand
Ekso Bionics	Ekso Vest	Textilteile sind waschmaschinetauglich		leichte Bewegungseinschränkung im Bereich der Schultern	feinmotorische Tätigkeiten möglich	einfach; Operation Manuals und Videos Online verfügbar.	152 - 193cm		\$ 6.000,-			leichte Bedienbarkeit; nur geringfügige Bewegungseinschränkung	klobig; komplexer Aufbau der Stangen, welche weit herausragen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; bei engen Platzverhältnissen muss Bewegungsmuster beachtet werden
Equipois	X-Ar			Bewegungseinschränkung vorhanden; wird außer am Unterarm noch am Arbeitstisch montiert	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	Armгурte: S/M (Unterarmumfang: 20,3 - 29,2cm), M/L (Unterarmumfang: 25,4 - 36,8cm)					leichte Bedienbarkeit	Anwendung ist ortsgebunden, da ein Ende des X-Ar am Arbeitsplatz montiert werden muss; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Exhauss	Exhauss System: bestehend aus den Modellen Worker, Hanger, Orbiter, Lifter, Transporter			Oberkörper und Arme sind in Bewegungsfreiheit eingeschränkt	Arme müssen in die Konstruktion eingehängt werden; Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten	einfache Bedienung		kann innerhalb von 3 - 5 Wochen geliefert werden	€ 5.000 - 7.000,-			einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; einfach anlegbar	sehr großer Aufbau und hohes Eigengewicht; Einschränkung in der Beweglichkeit; bei einigen Modellen kann aufgrund der Griffe das Greifen erschwert sein; Informationen auf Homepage fast ausschließlich nur auf Französisch
Exomys	Modul 1	Stoffüberzug ist abnehmbar und kann in der Waschmaschine gereinigt werden		keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitive, geräuschlose Bedienung	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung		voraussichtlich: € 2.500 - 4.000,-			einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; unsichtbar; Fit-For-All	
Exomys	Modul 2	Stoffüberzug ist abnehmbar und kann in der Waschmaschine gereinigt werden		keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitive, geräuschlose Bedienung	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung		voraussichtlich: € 2.500 - 4.000,-			einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; einfach anlegbar	
Fraunhofer IPA	Stuttgart Exo-Jacket SEJ2			mögliche Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich				voraussichtlich: € 20.000 - 40.000,-				klobig; SEJ2 befindet sich zurzeit noch in der Entwicklungsphase und hat noch nicht den Reifegrad eines Produktes erreicht
German Bionic	Cray X, (Robo-Mate: soll angeblich von German Bionic übernommen worden sein, unklar ob das alle Module betrifft)	abnehmbare Gurte waschbar bei 40°C in der Waschmaschine; Beckengurt (aus Goretex) und Beinbindung können desinfiziert werden; restliche Komponenten feucht abwischbar	es liegt keine IP Klassifizierung vor, daher ist der Einsatz bei öl- und emulsionshaltigen Arbeitsbedingungen nicht ratsam; Produkt hat EMV Test bestanden	90% der üblichen Bewegungen sind ausführbar; Treppensteigen, Schuhe zubinden, bücken sind möglich; schädliche Bewegungen, wie z.B. das seitliche Heben aus einer Drehbewegung der Wirbelsäule wird bewusst unterbunden	feinmotorische Tätigkeiten möglich	längste bekannte Nutzungszeit ca. 5h; Gewicht liegt ergonomisch gut auf dem Becken; bei häufigem Gebrauch und langer Tragezeit kann es zu Druckstellen an den Auflagerflächen kommen	adaptierbar im Bereich: 155 - 200cm; es gibt Damen- und Herrengurte; Gurte wurden an die verschiedenen Körperformen und unterschiedliche Anatomie des Menschen angepasst; Bedienung erfolgt über integriertes Bedienmodul (Display und Dreh-Drück-Regler); weitere Feineinstellungen möglich	Vertrieb und Service in Österreich vorhanden; Wartungen durch jährliche Sichtkontrollen auf Dichtungen und Verkabelung; Cray X kann vor Ort gewartet werden oder eingeschickt werden; Dauer der Wartung: ca. 3h; lebenslange kostenlose Softwareupdates; Ersatzteile und Gurte jederzeit nachbestellbar	€ 39.000,- zzgl. Ust.	verfügt über IoT-Technologie	leichte Bedienbarkeit; ergonomische Gestaltung; geringes Eigengewicht; verhindert schädliche Bewegungen; gute Service- und Wartungsmöglichkeiten; einfach zu reinigen; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; möglicher Weise nicht für den ganztägigen Einsatz geeignet; empfindlich gegenüber Verunreinigungen in der Atmosphäre; nicht für zu enge Platzverhältnisse geeignet	
Gobio Robot / Gebe2	Gobio IP12	Textilteile können in Waschmaschine gereinigt werden; die restlichen Teile mit Pressluft bzw. sind feucht abwischbar	empfindlich gegenüber ätzenden Substanzen	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	nach ca. 4h Training kann das Exoskelett bedient werden; kann 8h dauerhaft getragen werden	adaptierbar im Bereich: 160 - 195cm	über lokale Partner	ca. € 5.000,-			eng am Körper anliegend; keine Bewegungseinschränkung; geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; unterstützt nur geringe Lasten

Gobio Robot / Gebe2	Gobio IP14 Chairless Chair	Textilteile können in Waschmaschine gereinigt werden; die restlichen Teile mit Pressluft bzw. sind feucht abwischbar	empfindlich gegenüber ätzenden Substanzen	stiegen steigen nicht möglich	feinmotorische Tätigkeiten möglich	nach ca. 4h Training kann das Exoskelett bedient werden; kann 8h dauerhaft getragen werden	adaptierbar im Bereich: 160cm - 195cm	über lokale Partner	ca. € 5.000,-		eng am Körper anliegend; geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit	stiegen steigen nicht möglich; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Hyundai	Hyundai Waist Exoskeleton H-WEX			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich						einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; Bücken wird nicht unterstützt und als mühsam beschrieben
Hyundai	Hyundai Chairless Exoskeleton H-CEX			mögliche Bewegungseinschränkung beim Treppensteigen; nur drei Winkeleinstellungen: 85/70/55°	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					einfacher Aufbau; leichte Bedienbarkeit; robust; geringes Eigengewicht	mögliche Bewegungseinschränkung beim Treppensteigen; nur in drei Stellungen einstellbar
Hyundai	Full Body Exoskeleton			mögliche Bewegungseinschränkung	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten						komplette Entlastung des Bedieners; verfügt über zusätzliche Greifer	langsam; Stromversorgung notwendig; sehr klobig; mögliche Bewegungseinschränkung
Innophys	Muscle Suit Power		nicht wasserdicht; Temperaturbereich: 5-35°C	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	Geräusentwicklung beim Betrieb durch Kompressor: max. 70dB	SM: Körperhöhe 150 - 165cm, ML: Körperhöhe 160 - 185cm	2 Jahre Gewährleistung	¥ 900.000 (exkl. Steuern, inkl. Kompressor)		leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; relativ eng anliegend	bei Kompressor betrieb eingeschränkte Flexibilität und Geräusentwicklung; nicht wasserdicht; nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
Innophys	Muscle Suit		wasserdicht IPX6; Temperaturbereich: -30-50°C	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich		SM: Körperhöhe 150 - 165cm, ML: Körperhöhe 160 - 185cm	2 Jahre Gewährleistung	Tight fit: ¥ 700.000 (exkl. Steuern); Soft fit: ¥ 800.000 (exkl. Steuern)		leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; relativ eng anliegend; wasserdicht	nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
Innophys	Muscle Suit Edge		wasserdichte Variante optional; Temperaturbereich: -30-50°C	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich		SM: Körperhöhe 150 - 165cm, ML: Körperhöhe 160 - 185cm	1 Jahr Gewährleistung	¥ 498.000 (exkl. Steuern)		leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; relativ eng anliegend; wasserdichte Version optional	nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
Innophys	Muscle Upper		nicht wasserdicht; Temperaturbereich: 5-35°C	keine Bewegungseinschränkung	Hände sind fixiert; mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten	Geräusentwicklung beim Betrieb durch Kompressor: max. 70dB	Körperhöhe: 160 - 185cm	1 Jahr Gewährleistung	¥ 1.980.000 (exkl. Steuern)		leicht Bedienbarkeit	durch Armmodul nicht eng am Körper anliegend; relativ klobig; nur für kleine Körpergrößen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; nicht wasserdicht; kein Vertrieb in EU; Homepage nur auf Japanisch
Kinetic Edge	Flex Lift	mit Wasser waschbar	keine bisher evaluierten Empfindlichkeiten; muss von Fall zu Fall untersucht werden; direkte Sonneneinstrahlung vermeiden	keine Bewegungseinschränkung; hocken, bücken, Treppensteigen, sitzen sind möglich.	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	"one fits all", anpassbar an die meisten Körperabmessungen; wenn Einschränkung dann bei außergewöhnlicher Körpergröße	von Fall zu Fall wird Training angeboten; abgesehen vom Waschen bei Verunreinigung ist keine zusätzliche Wartung erforderlich	ab \$ 389,-; bei mehr als 100 Stück: \$ 319,-		leichte Bedienbarkeit; einfacher Aufbau; sehr eng am Körper anliegend	keine eigentliche Entlastung, sondern zwingt den Anwender in eine bessere Körperhaltung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Laevo	Laevo V2.4; V2.45; V2.5	mit feuchtem Tuch abwischbar; lauwarms / heißes Wasser und ein mildes Reinigungsmittel verwenden (keine Lösungsmittel enthaltenden Reinigungsmittel)	darauf achten, dass kein Wasser in die sich bewegenden Teile gelangt; Laevo nicht in Wasser eintauchen; keine Lösungs-, Bleich-, Poliermittel oder Tenside verwenden; Temperaturbereich: 0-40°C; nicht für den Outdoor-Einsatz und staubige Umgebungen geeignet	gehen, bücken, drehen, hocken, knien möglich; sitzen nicht möglich	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	Herrengrößen: XS, S, M, L, XL (156 - 196cm)			CE - Zertifizierung; erfüllt die Anforderungen der Europäischen Richtlinie 93/42/EEC für medizinische Geräte	geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit; eng anliegend	Brust-Pad kann an bei Anwendung zu verrutschen; sitzen nicht möglich; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; nicht für den Outdoor-Einsatz geeignet; empfindlich gegenüber Staub und Wasser
Levitare Technologies	Airframe			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich		individuell anpassbar	On-Site Training wird angeboten	\$ 4.000 - 8.000,-		leichte Bedienbarkeit; einfacher Aufbau; schmal genug, um unter einer Jacke getragen zu werden; keine Bewegungseinschränkung	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; nur geringe Unterstützung des Anwenders

Lockheed Martin	Fortis			mögliche Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich		adaptierbar im Bereich: 162 -193cm		Fortis Tool Arm: ab \$ 7.149,- , Fortis Industrial Exoskeleton: ab \$ 24.750,-		leichte Bedienbarkeit	klobig, mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Lockheed Martin	Onyx		unempfindlich; ist für den Outdoor-Einsatz entwickelt (ursprünglich für das Militär)	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv					leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; für den Outdoor-Einsatz geeignet; strapazierbar	mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; bisher noch in der Entwicklung
Mitsubishi Heavy Industries	Power Assist Suit (PAS)		beständig gegenüber radioaktiver Strahlung	mögliche Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich					Gehgeschwindigkeit 4,5km/h ohne Beladung, 3,0km/h mit maximaler Beladung	für den Outdoor-Einsatz geeignet; strapazierbar; leichte Bedienbarkeit	mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; möglicherweise noch in der Entwicklungsphase
Noonee	Chairless Chair	Textilteile sind mit herkömmlichen Waschmittel waschbar; restlichen Teile mit Druckluft oder einem feuchten Tuch abwischbar	Temperatureinschränkung: 0-45°C; im Schweißbereich muss je nach Stärke des Funkenschlags die Eignung überprüft werden	Treppensteigen ist nicht möglich; Knien ist nicht möglich; das Aufheben von zu Boden gefallen Gegenständen wird trainiert	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv; vor Ort Training wird angeboten	adaptierbar im Bereich: 160 - 195cm; wenn sich mehrere Mitarbeiter den Chairless Chair teilen: Zubehörprodukt „Zusatzverwender (Art.-Nr. 701.10.10)“ notwendig	Training wird angeboten; am Ende der Garantiezeit kann der Chairless Chair eingeschickt werden und die Verschleißteile werden gegen eine Gebühr ausgetauscht; Garantie beträgt 24 Monate	ab € 3.750,-		jederzeit Sitzmöglichkeit vorhanden; schnelles An- und Ablegen; leichte Bedienbarkeit	Mechanik stört beim Gehen; Ruckartige Bewegungen sind nicht möglich; Bewegungseinschränkung (kein Knien und Treppensteigen); mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
OttoBock	Paexo	körpernahe Teile können gewaschen werden		keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv; Dokumentation in 11 Sprachen verfügbar	anpassbar auf Körpergrößen von 160 - 190cm			Paexo ist CE zertifiziert; Lösungen zur Rückenentlastung, Daumen- und Handgelenkentlastung werden entwickelt	leichte Bedienbarkeit; keine Bewegungseinschränkung; eng am Körper anliegend; sehr leicht und bequem	
Panasonic	Ninja			mögliche Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv			\$ 8.000,-		leichte Bedienbarkeit	mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Panasonic	Power Loader			Bewegungseinschränkung vorhanden	Greifer vorhanden; mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten				\$ 5.000,-		kann sehr hohe Gewichte bewegen; keine Belastung für den Bediener	langsam; benötigt Stromquelle; sehr klobig; Bewegungseinschränkung
RB3D	Hercule V3		empfindlich gegenüber dem Eindringen von Wasser und korrosiven Substanzen; soll in trockener Umgebung eingesetzt werden; ist nicht empfindlich gegenüber Staub; für den Indoor-Einsatz ausgelegt	Treppensteigen, hocken und sitzen sind möglich; Steigungen bis 10° möglich	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	M: 166 -173cm, L: 173 - 178cm, XL: 178 - 188cm (Körpergewicht: 60 - 100kg)			maximale Gehgeschwindigkeit: 5km/h	leichte Bedienbarkeit; kaum Bewegungseinschränkung	hohes Eigengewicht; nur für Indoor-Anwendung geeignet; empfindlich gegenüber Staub und Wasser; klobig; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
RB3D	Exopush		IP 43, Schutz gegen Sprühwasser aber nicht gegen Staub	mögliche Bewegungseinschränkung		intuitiv				maximale Schubgeschwindigkeit: 2m/s; EXOPUSH entspricht der Richtlinie 2006/42/EG.	leichte Bedienbarkeit	ausreichend großer Manövrierraum erforderlich; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte; empfindlich gegenüber Staub und Wasser; mögliche Bewegungseinschränkung
Robo-Mate	Passive Arms			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	160 - 180cm					klobig, begrenzte Unterstützung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Robo-Mate	Active Arms			mögliche Bewegungseinschränkung	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten	intuitiv	160 - 180cm				leichte Bedienbarkeit	klobig; benötigt feste Stromquelle; mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte
Robo-Mate	Active Trunk			mögliche Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	160 - 180cm				leichte Bedienbarkeit	klobig; benötigt feste Stromquelle; bei einem Eigengewicht von 11kg werden nur bis zu max. 15kg unterstützt; mögliche

												Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Rotbot Systems	Full exoskeleton suit, (Upper body Exoskeleton, Extra pair of arms for exoskeleton suit, Exoskeleton lower body suit, Cost play suit with sensors for online gaming)			mögliche Bewegungseinschränkung	mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten							sehr klobig; vermutlich hohes Eigengewicht; mögliche Bewegungseinschränkung; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
Sarcos	Guardian XO			mögliche Bewegungseinschränkung	Anstelle der Hände sind Haken vorhanden, um Gegenstände zu heben; mögliche Einschränkung feinmotorischer Tätigkeiten			soll im Frühjahr 2020 auf den Markt kommen; ist dann aber nicht verkäuflich, sondern soll nur verliehen werden; die Kosten für die Instandhaltung übernimmt Sarcos	maximale Gehgeschwindigkeit: 5km/h	kann sehr hohe Gewichte bewegen; keine Belastung für den Bediener; lange Akkulaufzeit von 8h	langsam; sehr klobig; keine Greifer sondern Haken; mögliche Bewegungseinschränkung; nur für den Verleih gedacht; mögliche Druckstellen	
StrongArm Tech	FLX			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung			geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit; korrigiert Haltung	keine Unterstützung beim Heben; negative Konditionierung kann in mangelnde Akzeptanz umschlagen; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte	
StrongArm Tech	V22			keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv	anpassbar an jede Körpergröße durch variable Größeneinstellung			entlastet die Arme; geringes Eigengewicht; leichte Bedienbarkeit	Seilzug kann bei Dauergebrauch nerven; mögliche Einschnürung und Druckstellen der Gurte	
Tilta	Armor Man 2.0	es wird das Schmier- und Korrosionsschutzmittel WD 40 empfohlen	bei zu hoher Feuchtigkeit können Schäden an den Federn auftreten	Stiegen steigen ist möglich, mögliche Bewegungseinschränkung	Exoskelett wird mit Händen geführt; Arme können deaktiviert werden, sodass feinmotorische Tätigkeiten möglich sind	wirkt nach 40min Tragezeit sehr ermüdend	vorhanden	2 Jahre Gewährleistung bei Herstellungsfehlern; für weiteren Support muss mit der chinesischen Niederlassung Kontakt aufgenommen werden, da Tilta selbst nur Nord- und Südamerika abdeckt	ab \$ 2.250,-	Video bzgl. Funktionsweise: <a href="https://youtu.be/_JL7oLPr9B_w">https://youtu.be/_JL7oLPr9B_w</a>	leichte Bedienbarkeit; wartungsfrei	nur für Kameraanwendungen gedacht und geeignet; mögliche Bewegungseinschränkung; relativ klobig; rasches Ermüden; empfindlich gegenüber Feuchtigkeit; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte
SuitX	BackX	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Bewegungseinschränkung des Oberkörpers möglich; gehen, Treppensteigen, Autofahren, Fahrradfahren ohne Einschränkung möglich	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 4.000,-	Reduziert Kompression zwischen L5/S1 um durchschnittlich 60%; Modul S ist kombinierbar mit LegX; Modul AC ist kombinierbar mit LegX und ShoulderX	leichte Bedienbarkeit; kann unter der Kleidung getragen werden; sehr eng am Körper anliegend; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Kraft wird nur von der Hüfte aufgenommen; Oberkörper wird in der Bewegung eingeschränkt, mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; empfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen



SuitX	LegX	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 6.000,-	kann mit BackX kombiniert werden und ist Teil von MAX	sehr flexibel einsetzbar; eng am Körper anliegend; keine Bewegungseinschränkung; leichte Bedienbarkeit; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	hohes Eigengewicht; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; empfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen
SuitX	ShoulderX	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	keine Bewegungseinschränkung	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 4.000,-	kann mit BackX und LegX kombiniert werden	leichte Bedienbarkeit; Unterstützungsgrad kann eingestellt werden; eng am Körper anliegend; keine Bewegungseinschränkung; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	um den Arm zu senken muss Kraft aufgebracht werden; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; empfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen
SuitX	MAX (Modular Agile eXoskeleton)	Textilteile können in der Waschmaschine gereinigt werden	nicht geeignet für magnetische Umwelteinflüsse; wurde entwickelt, um typischen Umwelteinflüssen im Produktionsumfeld standzuhalten; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Bewegungseinschränkung des Oberkörpers	feinmotorische Tätigkeiten möglich	intuitiv und einfach handhabbar; sind gemacht, um den ganzen Tag getragen zu werden	für 95% der Population ausgelegt	1 Jahr Gewährleistung auf harte Komponenten und 6 Monate auf Textilteile; Support und Verkauf erfolgt aus den Niederlanden; es wird Support via Videokonferenz angeboten und vor Ort Training für \$ 2.000,-	ab \$ 14.000,-	ist eine Kombination aus BackX, LegX und ShoulderX.	leichte Bedienbarkeit; relativ eng am Körper anliegend; unempfindlich gegenüber Staub und Wasser	Summe aller Einzelmodule ergibt ein hohes Eigengewicht des MAX; mögliche Einschnürung und Druckstellen durch Gurte; Bewegungseinschränkung des Oberkörpers; um den Arm zu senken muss Kraft aufgebracht werden; empfindlich gegenüber Staub und Wasser