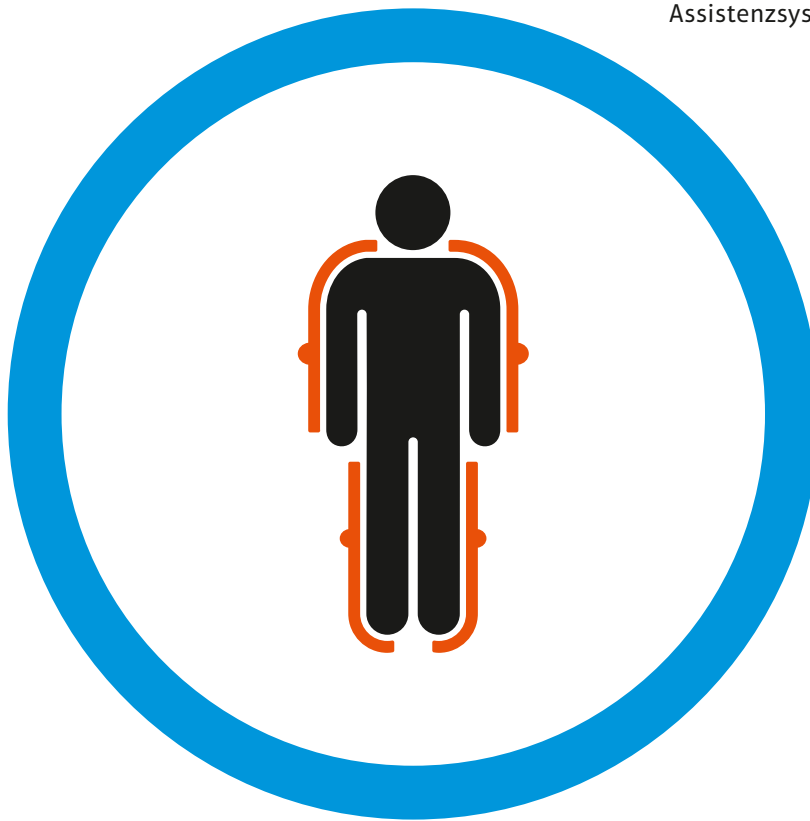




RALF SCHICK

Einsatz von Exoskeletten in Arbeitssystemen: Stand der Technik – Entwicklungen – Erfahrungen

Der Einsatz von Exoskeletten in Arbeitssystemen hat gerade erst begonnen. In den verschiedenen gewerblichen Branchen zeichnen sich aber jetzt schon zahlreiche Lösungen für die Unterstützung der Beschäftigten ab. Diese können auch teilweise käuflich erworben werden. Wie praxistauglich Prototypen in Produktions- und Logistikbereichen sind, wird von verschiedenen Unternehmen bereits untersucht. In den nächsten Jahren könnten die ersten Unternehmen Exoskelette im regulären Arbeitsprozess zur Unterstützung der Beschäftigten einsetzen.

1. Einleitung

Exoskelette wurden ursprünglich für den militärischen Einsatz entwickelt, um die Belastungsgrenze der Soldaten zu erhöhen und somit deren Leistung zu steigern. Das Unternehmen General Electric entwickelte beispielsweise 1965 das Exoskelett „Hardiman“ [1] im Auftrag der US Army und US Navy. Bewaffnung und Ladung mit einem Gewicht bis zu 680 kg sollten mit dem Hardiman mühelos gehoben und getragen werden. Die Entwicklung wurde jedoch aufgegeben, da die kontrollierte Benutzung der Antriebstechnik des Exoskeletts damals nicht gelang. 2009 lizenzierte das Unternehmen Lockheed Martin das Exo-

skelett „Human Universal Load Carrier“ (HULC) für militärische Anwendungen [2]. Der HULC ist ein Exoskelett für die unteren Extremitäten mit dem beispielsweise das Gewicht eines Rucksacks in den Boden ableitet wird. Mit Hilfe des HULC soll es möglich sein, Ausrüstung und Lasten mit einem Gewicht bis zu 90 kg über längere Strecken zu tragen.

Auch in der medizinischen Rehabilitation unterstützen Exoskelette heute schon bewegungseingeschränkte Menschen. So beispielsweise das Exoskelett Hybrid Assistive Limb (HAL) der japanischen Firma Cyberdyne [3]. Dieses weit entwickelte Exoskelett wird über bioelektrische

DER AUTOR

**Ralf Schick**

Sachgebiet Physische Belastungen, Fachbereich Handel und Logistik (FBHL) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), Direktion Mannheim, M5,7, 68161 Mannheim

Nervensignale der Muskeln, die über Sensoren auf der Haut empfangen werden, angesteuert. Für den wirtschaftlichen Einsatz als körpergetragene Hebehilfe weniger geeignet, wird dieses System jedoch erfolgreich in der Therapie von querschnittgelähmten Patienten in Deutschland eingesetzt [4].

2. Definition

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken, um den menschlichen Bewegungsapparat zu unterstützen [5].

Mit Exoskeletten werden folgende Wirkungen angestrebt:

- ▶ Ausführbarkeit von Körperbewegungen und -haltungen
- ▶ Schädigungslosigkeit bei Körperbewegungen und -haltungen
- ▶ Beeinträchtigungsfreiheit bei Körperbewegungen und -haltungen

Der Einsatz von Exoskeletten kann (in Abhängigkeit der bestimmungsgemäßen Verwendung) geeignet sein für:

- ▶ Personen ohne gesundheitliche Risiken, Einschränkungen oder körperliche Fähigkeitseinschränkungen des Bewegungsapparates
- ▶ Personen mit gesundheitlichen Risiken für den Bewegungsapparat
- ▶ Personen mit (vorübergehenden) gesundheitlichen Einschränkungen des Bewegungsapparates
- ▶ Personen mit (permanenten) körperlichen Fähigkeitseinschränkungen des Bewegungsapparates

Durch den Einsatz von Exoskeletten können die menschliche Leistungsfähigkeit und Einsetzbarkeit erhöht werden. Durch speziell für den Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen entwickelte Exoskelette, könnte somit bei gleich bleibender äußerer Belastung, die physische Beanspruchung der Beschäftigten bei der manuellen Handhabung von Lasten und bei Arbeiten in ungünstigen Körperhaltungen reduziert werden.

3. Potenzieller Nutzen

An vielen gewerblichen Arbeitsplätzen müssen Beschäftigte schwere Lasten heben und tragen oder Arbeiten in ungünstigen Körperhaltungen ausführen. Der Bericht zum Stand von „Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2016“ (SuGA 2016) hat ergeben, dass im Jahr 2016 etwa 23,5 Prozent der Erwerbstätigen schwere Lasten bewegen und 19,5 Prozent häufig in Zwangshaltungen arbeiten (gebückt, kniend, über Kopf etc.) mussten [6]. Diese Tätigkeiten können zu einer erhöhten körperlichen Belastung und bei entsprechender Dauer oder Stärke auch zu einer Gefährdung der Gesundheit führen. Dabei gelten

Rückenbeschwerden als Volkskrankheit Nummer eins in Deutschland. So ergab der SuGA-Bericht weiterhin, dass 2016 etwa 23,3 Prozent aller Arbeitsunfähigkeitstage (AU-Tage) auf Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) entfallen [7]. Die Hälfte davon ist auf Rückenbeschwerden und -erkrankungen zurückzuführen. Im Vergleich zu anderen Diagnosegruppen verursachen MSE-bedingte Arbeitsunfähigkeiten jährlich die höchsten indirekten Kosten. Der Produktivitätsausfall beträgt etwa neun Milliarden Euro und der Ausfall an der Bruttowertschöpfung rund 16 Milliarden Euro [8].

Mit einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen und der Reduzierung der physischen Beanspruchung der Beschäftigten werden Entwickler und Hersteller von Exoskeletten. Durch den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen sollen Rückenbeschwerden und Muskel-Skelett-Erkrankungen sowie die darauf zurückzuführenden Fehlzeiten verringert werden. Gleichzeitig soll durch deren Einsatz die Produktivität und die Qualität gesteigert werden. Diese Argumente stoßen in vielen Unternehmen auf ein großes Interesse. Mit Exoskeletten könnten auch die immer älter werdenden Beschäftigten entlastet werden. Ebenso könnten die Einsatzmöglichkeiten von leistungsgewandelten Personen erweitert werden. Nicht zuletzt besteht die Aussicht, dass durch den Einsatz von Exoskeletten ein Beitrag zur alterns- und altersgerechten Gestaltung der Arbeit geleistet werden kann.

4. Bauarten und Eigenschaften

Exoskelette, die gerade in Laboren entwickelt werden, oder schon auf dem Markt erhältlich sind, lassen sich in „Passive Exoskelette“ und „Aktive Exoskelette“ unterscheiden. Sie unterstützen vorrangig den unteren Rücken oder die oberen bzw. die unteren Extremitäten. Nach heutigem Kenntnisstand können Exoskelette, die für den Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen entwickelt wurden, wie in Tabelle 1 abgebildet eingeteilt werden.

Bei passiven Exoskeletten erfolgt die Unterstützung rein mechanisch, z.B. über Federsysteme, die Energie bei bestimmten Körperbewegungen aufnehmen und für die Unterstützung wieder abgeben. Sie benötigen dafür keine Energieversorgung und unterstützen in der Regel nur einzelne Körperregionen.

Das deutsche Unternehmen Otto Bock hat das passive Exoskelett Paexo (Abbildung 1) entwickelt [9]. Dieses Exoskelett soll die Schultergelenke und Oberarme der Beschäftigten bei Tätigkeiten über Schulterniveau, zum Beispiel bei Überkopfarbeit in der Montage, entlasten. Die Benutzer tragen dabei das Paexo wie einen Rucksack eng am Körper. Über die Armschalen des Exoskeletts und mithilfe einer mechanischen

Bauart	A) Passive Exoskelette	B) Aktive Exoskelette	
Eigenschaften	passive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Bewegungen	aktive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Lastenhandhabungen	aktive (Voll-) Unterstützung der Körpersegmente bei Haltung und Bewegung inkl. Lastenhandhabungen
Unterstützte Körperregion	Beine/Rumpf/Arme/Kombinationen/Ganzkörper	Beine/Rumpf/Arme/Kombinationen	Beine/Rumpf/Arme/Kombinationen/Ganzkörper
Funktionsweise	mech. Feder/Gasdruckfeder/ggfs. max. Beugewinkelbegrenzung (Stützfunktion), ggfs. Funktion schaltbar (An/Aus)	elektrischer/pneumatischer Antrieb mit einfacher Regelungsfunktion, Stärke der Unterstützung einstellbar	elektrischer/pneumatischer Antrieb mit komplexer Regelungs-/Steuerungsfunktion (Bewegungsprogramme, neurophysiologische Sensorik)
Energiezufuhr	keine – Speicherung von Energie beim Beugen vorzugsweise durch die Schwerkraft und teilweise Rückgewinnung beim Aufrichten entgegen der Schwerkraft	Akku/Druckluft/Stromnetz	Akku/Druckluft/Stromnetz

Tab. 1: Einteilung von Exoskeletten [5]

Seilzugtechnik wird das Gewicht der erhobenen Arme auf die Hüfte abgeleitet.

Das Unternehmen suitX bietet gleich drei passive Exoskelette für verschiedene Körperregionen an. Bei Überkopfarbeiten soll die Variante shoulderX unterstützen und eine Reduzierung der Beanspruchung der Nutzer bewirken. Das passive Exoskelett backX soll die Kompressionskräfte der Lendenwirbelsäule im Bereich L5/S1 beim Heben von Lasten verringern. Zuletzt soll die Variante legX für eine Entlastung bei knien den Tätigkeiten sorgen. Durch ihre modulartige Bauweise können die drei Systeme zum passiven Exoskelett MAX (Modular Agile eXoskeleton) zusammen gefügt werden. Mit ihm soll es möglich sein, gleichzeitig mehrere Körperregionen zu unterstützen [10].

Ein weiteres passives Exoskelett, das Laevo V2.5 der niederländischen Firma Laevo (Abbildung 2), ist eine körpergetragene (Rücken)-Stütze mit Federsystem, die bei Arbeiten in einer vorgebeugten Oberkörperhaltung und beim Heben von Lasten unterstützen soll [11]. Durch die tragbare Stützstruktur soll das relative Gewicht des Oberkörpers und somit die Beanspruchung des unteren Rückens reduziert werden. Demnach wurde in einer Untersuchung eine Reduzierung der Aktivität der Rückenmuskulatur während der statischen Rumpfbeugung von etwa 10% bis 14% im Bereich der Lendenwirbelsäule festgestellt [12]. Insgesamt sind passive Exoskelette auf Grund der fehlenden elektrischen oder pneumatischen Antriebstechnik leichter und preiswerter als aktive Exoskelette. Dadurch ist die Akzeptanz der Unternehmen deutlich größer diese Systeme hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit und Benutzerfreundlichkeit an Arbeitsplätzen zu testen.

Aktive Exoskelette besitzen eine aktive mechanische Unterstützung mittels Sensoren und elektrischen oder pneumatischen Antrieben. Sie benötigen hierfür eine Energieversorgung und können modular aufgebaut und erweitert werden. Durch eine modulare Bauweise können



Abb. 1: Passives Exoskelett Paexo der Fa. Otto Bock,

Foto: © Volkswagen

mehrere Körperregionen unterstützt werden. Ein typischer Vertreter für ein aktives Exoskelett ist das „Stuttgart Exo-Jacket“ (Abbildung 3), welches durch das Fraunhofer IPA entwickelt wurde [13]. Das „Stuttgart Exo-Jacket“ ist ein Oberkörper-



Abb. 2: Passives Exoskelett Laevo 2.5,

Foto: © AUDI AG



Abb. 3: Stuttgart Exo-Jacket, Foto: © Ludmilla Parsyak, Fraunhofer IPA

Exoskelett mit einer Schulterkinematik die dreidimensionale Bewegungen ermöglicht.

Ein weiteres aktives Exoskelett ist das CRAY X des Unternehmens German Bionic (Abbildung 4). Es wurde speziell für die manuelle Handhabung von Waren und Werkzeugen konzipiert [14]. Es soll beim Heben schwerer Lasten die Druckkräfte im Lendenwirbelbereich des Rückens verringern. Die elektrischen Antriebe des CRAY X werden mit Hilfe der Sensoren eines Armbandes angesteuert, das bioelektrische Signale der Muskeln über die Haut empfangen kann. Aktive Exoskelette besitzen meist ein hohes Eigengewicht, welche durch die vorhandene Antriebstechnik und Energieversorgung (Akku) bedingt ist. Dies und die zum Teil noch recht hohen Anschaffungskosten für aktive Exoskelette sind der Grund für die aktuell geringe Akzeptanz der Industrie für diese Systeme.



Abb. 4: Aktives Exoskelett Cray X, Foto: © German Bionic

5. Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten

Ob aktive oder passive Bauweise, Exoskelette eröffnen eine Option zur Verbesserung der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten. Das gilt zum Beispiel für Hebe- und Tragetätigkeiten in Verbindung mit schweren Lasten. Entlasten können Exoskelette auch bei Arbeiten in Zwangshaltung, bei denen auf Grund der Besonderheit der Arbeitssituation, (z. B. Zugänglichkeit des Arbeitsbereichs oder Arbeitsortes, Art des Arbeitsmittels bzw. Arbeitsgegenstands) bisher keine oder nur unzureichende technische Hilfsmittel eingesetzt werden können. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Exoskeletten an Arbeitsplätzen dort sinnvoll, wo Lasten manuell bewegt werden oder Tätigkeiten in Zwangshaltungen durchgeführt werden und technische Hilfsmittel, wie Gabelstapler, Kran und Vakuumheber etc., nicht zum Einsatz kommen können. Besonders bei nicht stationären Arbeitsplätzen ist dies oft der Fall, zum Beispiel bei der Möbelauslieferung oder im Rettungsdienst. An diesen Arbeitsplätzen könnte die körperliche Entlastung der Beschäftigten zu einer Reduzierung der arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und der Ausfallzeiten beitragen. Die Unternehmen sollten aber immer danach streben, Arbeitsplätze ergonomisch zu gestalten. In den allermeisten Fällen ist dies bei stationären Arbeitsplätzen möglich und es kann auf den Einsatz von Exoskeletten verzichtet werden, da die Auswahl an technischen Maßnahmen für stationäre Arbeitsplätze sehr vielfältig ist. Hier können beispielsweise Lastenmanipulatoren, Gabelhubwagen, Scherenhubtische, Vakuumheber und Gabelstapler eingesetzt werden, um die körperliche Belastung zu reduzieren. Solange das Potenzial an technischen und organisatorischen Maßnahmen an stationären Arbeitsplätzen nicht ausgeschöpft ist, ist der Einsatz von Exoskeletten nicht zu empfehlen.

Der demografische Wandel und der zunehmende Fachkräftemangel verstärkt für die Wirtschaft die Herausforderung, Beschäftigte möglichst lange und gesund im Arbeitsprozess zu halten. Für die Bewältigung dieser Herausforderung könnten Exoskelette ebenfalls ein Lösungsansatz sein.

Es ist auch denkbar, körpergetragene Assistenzsysteme im Rahmen des betrieblichen Eingliederungsmanagement (BEM) bei der Wiedereingliederung von vorerkrankten Beschäftigten einzusetzen, bis diese ihre volle Leistungsfähigkeit wieder erlangen. In diesem Zusammenhang werden solche Systeme für therapeutische Zwecke bereits seit längerem erfolgreich genutzt. Ein möglicher Einsatz sollte jedoch mit der Betriebsärztin/dem Betriebsarzt und mit dem Ergotherapeuten/der Ergotherapeutin eng abgestimmt werden. Ein weiterer Ansatz könnte sein, Exoskelette

im Rahmen der Inklusion zu nutzen. Ähnlich wie auch kollaborierende Roboter könnten sie einen Beitrag zur Integration von Menschen mit Behinderungen in Arbeits- bzw. Produktionsprozesse zu leisten. Wie die neuen Chancen der barrierefreien Mensch-Roboter-Kooperation speziell für schwerbehinderte Personen genutzt werden können, ist ein Schwerpunkt des Projekts AQUIAS [15].

Zwar sind für die Unternehmen die Wirksamkeit, die Präventionspotenziale, aber auch die Vermeidung von möglichen Gefährdungen beim Einsatz von Exoskeletten von großem Interesse. Aber wissenschaftliche Untersuchungen aus arbeitsmedizinischer, biomechanischer oder sicherheitstechnischer Sicht stehen erst am Anfang.

6. Sicherheitstechnische Anforderungen

Eine aktuell unbeantwortete Frage ist die nach den sicherheitstechnischen Anforderungen, die Exoskelette beim Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen erfüllen müssen. Im Wesentlichen könnten diese vom Einsatzzweck, also der bestimmungsgemäßen Verwendung, abhängig sein. Auf europäischer Ebene wird die hieraus resultierende Zuordnung von Exoskeletten zum Geltungsbereich einer bereits vorhandenen EU Richtlinie derzeit noch diskutiert. Denkbar wäre eine Zuordnung als technisches Hilfsmittel zur RL 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie). So werden beispielsweise im Anhang 1 der Maschinenrichtlinie verbindliche Schutzziele beschrieben. Diese können bereits jetzt Anhaltspunkte für die Vermeidung von Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit beim Einsatz von Exoskeletten geben. In Deutschland wird diese EG-Richtlinie durch die Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung – 9. ProdSV) in nationales Recht umgesetzt. Bei der Verwendung von Exoskeletten als medizinisches Hilfsmittel, z. B. im Rahmen der beruflichen Wiedereingliederung oder Inklusion, könnte die europäische Richtlinie 93/42/EWG für Medizinprodukte bzw. das Medizinproduktegesetz (MPG) in Deutschland zur Anwendung kommen.

Die von den Entwicklern und Herstellern beschriebenen Präventionspotenziale und Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten legen eine Einordnung als personenbezogene bzw. personen-gebundene Maßnahme nahe. Da sie vor einer zu hohen Beanspruchung bei Hebe- oder Tragetätigkeiten oder bei Arbeiten mit Zwangshaltungen schützen sollen, ist eine Zuordnung zur Richtlinie 89/686/EWG (Persönliche Schutzausrüstung) möglich und sinnvoll. Die europäische Richtlinie 89/686/EWG wird aktuell schrittweise bis 2019 durch die europäische PSA-Verordnung 2016/425 ersetzt. In der Hierarchie der Schutzmaßnahmen, dem so genannten TOP-Prinzip, stehen sie damit an letzter Stelle. Das bedeutet, vor dem Einsatz

von Exoskeletten sind zunächst alle technischen und organisatorischen Maßnahmen auszuschöpfen, um die Handhabung schwerer Lasten oder Arbeiten in Zwangshaltung zu vermeiden. Sollte dies nicht möglich sein, ist der Einsatz eines Exoskelettes als personengebundene Maßnahme sinnvoll. Der Einsatz von Exoskeletten sollte jedoch immer mit entsprechenden verhaltensbezogenen Maßnahmen, wie Unterweisungen und Übungen, verbunden werden. Auf Grund des Einsatzzweckes bzw. der bestimmungsgemäßen Verwendung und der daraus resultierenden Zuordnung zu einer der o.g. Richtlinien wäre es dann möglich, technisch detaillierte sicherheitstechnische Anforderungen für Exoskelette zu beschreiben.

„Vor dem Einsatz von Exoskeletten sind zunächst alle technischen und organisatorischen Maßnahmen auszuschöpfen.“

7. Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte

Grundsätzlich sollten Beschäftigte auf Grund der Kraftunterstützung durch Exoskelette nicht weiterhin an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit arbeiten, indem die Lastgewichte erhöht werden. Bei der Beurteilung der Gefährdungen müssen auch mögliche Risiken für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, die erst durch Einsatz eines Exoskelettes entstehen können, beachtet werden. Gemäß Arbeitsschutzgesetz muss der Unternehmer diese Gefährdungsbeurteilung durchführen. Dies gilt auch für den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. Im Rahmen dieser Gefährdungsbeurteilung sind alle Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten zu ermitteln und zu bewerten sowie wirksame Schutzmaßnahmen inklusive Unterweisungen abzuleiten und umzusetzen. Hierbei sind die Schutzziele und Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung zu berücksichtigen. Wird das Exoskelett als persönliche Schutzausrüstung eingesetzt, sind auch die Schutzziele und Anforderungen der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit zu beachten.

Aus sicherheitstechnischer Sicht könnten bei aktiven Exoskeletten, bei denen elektrische und pneumatische Antriebe die menschliche Kraft aktiv unterstützen, verstärken und auf den Körper einwirken, eine Fehlfunktion der Antriebstechnik oder ihrer Steuerung zu Verletzungen füh-

ren. Eine solche Gefährdung muss grundsätzlich durch den Inverkehrbringer mit Hilfe von geeigneten sicherheitstechnischen Maßnahmen ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für Fehlfunktionen auf Grund von Fehlbedienungen. Ebenso müssen elektrische Gefährdungen, die beim Ladevorgang oder bei Kombinationen von aktiven Exoskeletten mit Wasser z.B. mit Löschwasser im Brandfall entstehen können, ausgeschlossen werden. Es dürfen keine Kurzschlüsse ausgelöst werden, die die Beschäftigten verletzen können.

Für mechanische Einwirkungen auf Beschäftigte, die bei der bestimmungsgemäßen Verwendung oder aufgrund einer Fehlfunktion eines Exoskelettes auftreten können, könnte man ggf. die biomechanischen Grenzwerte für kollaborierende Roboter nach DIN ISO TS 15066 nutzen.

„Eine wissenschaftliche Untersuchung der möglichen Risiken, die durch die Benutzung von Exoskeletten entstehen können, ist dringend notwendig.“

In diesem Zusammenhang ist auch zu beachten, dass bei den meisten Exoskeletten eine Verlagerung der Belastung (Lastumverteilung) stattfindet. D. h. die Kräfte durch die äußere Last werden nicht in den Boden abgeleitet, um beispielsweise den unteren Rücken zu entlasten, sondern an einer anderen Stelle des Körpers, z.B. Oberschenkel, wieder eingeleitet. Hierdurch sind Druckstellen oder auch durch Reibung entstehende Verletzungen der Haut nach längerem Tragen möglich.

Die Bewertung dieser und anderer Gefährdungen ist aber aktuell noch nicht möglich, da diese im Zusammenhang mit Exoskeletten noch nicht ausreichend untersucht wurden. Führt beispielsweise das arbeitstägliche Tragen eines Exoskelettes über einen längeren Zeitraum zu einer Verlagerung der Muskelaktivität, bzw. zu einer Reduzierung der Muskulatur und wie ist dies ggf. zu bewerten? Nach welcher Zeit sind bei länger andauernden Überkopfarbeiten mit Unterstützung eines Exoskelettes Durchblutungsstörungen der Arme zu erwarten? Dies sind nur zwei Beispiele für mögliche physische Auswirkungen auf die Gesundheit der Beschäftigten.

Bei der Benutzung eines Exoskelettes können zusätzliche Gefährdungen im Zusammenhang mit Stolper- oder Sturzunfällen entstehen. Dabei ist das Risiko groß, dass die Beschäftigten, unter anderem aufgrund des zusätzlichen Gewichts, schwerere Verletzungen davontragen als ohne Exoskelett. Nach der Statistik zum Arbeitsun-

fallgeschehen 2015 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) sind etwa 21 % aller meldepflichtigen Unfälle Stolper- und Rutschunfälle [16]. Diese verursachen etwa 26 % aller neuen Unfallrenten. Ebenfalls muss ermittelt und bewertet werden, wie sicher und schnell eine Person mit angelegtem Exoskelett in einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation, z. B. im Brandfall, den Gefahrenbereich verlassen kann.

8. Ausblick

Die gesetzlichen Regelwerke und die damit verbundenen sicherheitstechnischen Anforderungen an Exoskelette haben mit der schnellen technischen Entwicklung nicht in allen Belangen Schritt gehalten. Die vorhandenen Defizite in diesem Bereich sowie auch in der Normung von Exoskeletten müssen in den nächsten Jahren aufgearbeitet werden.

Um frühzeitig potenzielle Gefährdungen auszuschließen, müssen Entwickler und Hersteller von Exoskeletten darauf achten, dass ihre Benutzung keine zusätzlichen Belastungen oder Fehlbedienungen verursacht. Außerdem müssen Exoskelette ergonomisch und benutzerfreundlich gestaltet sein. Sie müssen sich daher individuell auf die Körperproportionen der tragenden Personen einstellen lassen und sollten ein geringes Eigengewicht aufweisen. Ein geringer Aufwand beim An- und Ablegen, beispielsweise bei Pausen oder Toilettengang, ist ebenfalls Voraussetzung. Für den Einsatz im Freien müssen Exoskelette wetter- und umgebungstauglich sein. Das heißt, sie sollten auch bei Nässe sowie witterungsbedingter Hitze- und Kälteeinwirkung oder in staubiger Umgebung störungsfrei arbeiten und angenehm zu tragen sein. Hierdurch wird auch die Akzeptanz der Beschäftigten erhöht, die Exoskelette benutzen sollen.

Eine wissenschaftliche Untersuchung der möglichen Risiken, die durch die Benutzung von Exoskeletten entstehen können, ist dringend notwendig. Die Auswirkungen auf die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit müssen ermittelt und bewertet werden. Hierzu sind auch Informationen zur Wirksamkeit sowie des Grades der Minderung biomechanischer und arbeitsphysiologischer Belastungen der verschiedenen Exoskelette erforderlich. Erst auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse können die Präventionsaufgaben für Exoskelette in der Arbeitswelt definiert werden.

Aus diesem Grund wurde von der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik das Projekt „Exo@work – Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt“ initiiert. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Leitfadens zur Evaluation von Exoskeletten für die Arbeitswelt. Aufbauend auf einer grundlegenden Analyse soll eine Vor-

gehensweise zur Evaluierung entsprechender Systeme erarbeitet werden. Die Validierung des methodischen Vorgehens zur Evaluation erfolgt im Rahmen von Labor- und Feldstudien mit exemplarischen Exoskeletten. Durch dieses Vorhaben soll die Grundlage geschaffen werden, um zukünftig exoskelettale Systeme hinsichtlich ihrer biomechanischen und physiologischen Effekte zielgerichtet zu evaluieren.

Inzwischen zeichnen sich zahlreiche Lösungen für die Unterstützung der Beschäftigten z. B. in der Logistik, dem Handel und der industriellen Produktion ab und sind bereits teilweise am Markt verfügbar. Eine Systematik zur Evaluation von Systemen zur Nachweisbarkeit und des Grades der Minderung biomechanischer und arbeitsphysiologischer Belastungen inklusive begleitender Aspekte, welche beispielsweise die Akzeptanz und Usability betreffen, sind für die Überführung in die Praxis bisher nicht standardisiert, jedoch erforderlich.

Der zu entwickelnde Leitfaden setzt an dieser Lücke an. In einem ersten Schritt werden relevante Grundlagen zum Stand der Forschung und charakteristischen Tätigkeitsprofilen sowie zur Präventionswirkung, Gefährdung und Gesundheit aufgenommen und systematisiert. Darauf aufbauend wird ein Methodenkatalog entwickelt und anhand von Labor- und Feldstudien, bei der exemplarische Exoskelette zur Anwendung kommen, systematisch evaluiert sowie an die Bedürfnisse angepasst. Begleitend dazu werden übergeordnete Fragestellungen zur Akzeptanz und Usability bearbeitet sowie über eine multikriterielle Bewertung Kerneigenschaften für die Beurteilung von Exoskeletten abgeleitet. Abschließend werden die Ergebnisse in einem Leitfaden inklusive Handlungsempfehlungen zur Beurteilung zusammengefasst.

Das Projekt Exo@work hat eine geplante Laufzeit von 36 Monaten und wurde im Oktober 2018 inhaltlich begonnen. In Abstimmung mit der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) wird das Projekt von Wissenschaftlern der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

(LFUI) und der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (HSU) in Kooperation mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) durchgeführt. ■

LITERATUR

- [1] <http://files.gereports.com/wp-content/uploads/2010/11/GE-Hardiman-paper.pdf>; Online Verfügbar am 09.01.2019
- [2] <https://www.army-technology.com/projects/human-universal-load-carrier-hulc/>; Online Verfügbar am 09.01.2019
- [3] Nabeshima, C. et al.: Strength testing machines for wearable walking assistent robots based on risk assesment of Robot Suit, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 14.–18.06.2012, S. 2743–2748
- [4] Grasmücke, D. et al.: Against the odds: what to expect in rehabilitation of chronic spinal cord injury with a neurologically controlled Hybrid Assistive Limb exoskeleton. A subgroup analysis of 55 patients according to age and lesion level. Neurosurg Focus. 2017 May;42(5):E15. doi: 10.3171/2017.2.FOCUS171.
- [5] Fachbereich Handel und Logistik (FBHL): „Fachbereichs-Information: Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen“. FBHL 006. Ausgabe 02/2018
- [6] Bericht zum Stand von „Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2016“ (SuGA 2016), erstellt von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales
- [7] Ebd.
- [8] Gesundheit in Deutschland aktuell 2009, S. 107, Robert Koch-Institut 2011 – erwachsene Wohnbevölkerung ab 18 Jahre
- [9] <https://www.ottobock.com/de/presse/pressemitteilungen/neues-gesch%C3%A4ftsfeld-ottobock-industrials.html>; Online Verfügbar am 09.01.2019
- [10] www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton; Online Verfügbar am 09.01.2019
- [11] www.laevo.nl/laevo-v2-productinformatie/; Online Verfügbar am 09.01.2019
- [12] Bosch, T. et al.: The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work
- [13] Amir, E. et al.: Mehr Bewegungsfreiheit bei weniger Gewicht – Neues Exoskelett für Überkopfmontage entwickelt, S. 48, Technische Sicherheit Bd. 6 (2016), Ausgabe 7/8
- [14] www.germanbionic.de/produkt. Online Verfügbar am 09.01.2019
- [15] www.aquias.de/ Online Verfügbar am 01.09.2019
- [16] Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2015 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)