

Mechanische Assistenzsysteme

Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen

An vielen Arbeitsplätzen müssen Beschäftigte schwere Lasten heben und tragen oder Tätigkeiten in ungünstigen Körperhaltungen ausführen. Exoskelette sollen diese Arbeiten erleichtern. Wie funktionieren sie? Welche Chancen und Risiken bergen sie?

Der Bericht zum Stand von „Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2016“ (SuGA 2016, siehe S. 54) 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.¹ 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.² 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.³

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den

Körper einwirken. Entwickler und Hersteller versprechen sich von ihnen eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Mit Exoskeletten, die speziell für den Einsatz an gewerblichen Arbeitsplätzen entwickelt wurden, können unter anderem die Belastungen der Beschäftigten beim Bewegen von Lasten reduziert und ungünstige Körperhaltungen vermieden werden. Für den militärischen Einsatz werden solche Systeme bereits weltweit intensiv entwickelt und getestet. Ziel war, die Belastungsgrenze der Soldaten zu erhöhen und somit ihre Leistung zu steigern.

Auch in der medizinischen Rehabilitation unterstützen Exoskelette heute schon bewegungseingeschränkte Menschen (vgl. auch Artikel in diesem Heft). Der Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen ist dagegen noch nicht sehr verbreitet. Wie praxistauglich Prototypen in Produktions- und Logistikbereichen sind, wird jedoch von verschiedenen Unternehmen bereits untersucht.

Aktive und passive Exoskelette

Exoskelette, die gerade in Laboren entwickelt werden oder schon auf dem Markt

erhältlich sind, lassen sich in „Aktive Exoskelette“ und „Passive Exoskelette“ unterscheiden. Gehören sie zu den „aktiven“, besitzen sie 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 mehrere Körperregionen unterstützt werden. Ein typisches Beispiel für ein aktives Exoskelett ist das „Stuttgart Exo-Jacket“, welches durch das Fraunhofer IPA entwickelt wurde.⁴ Das „Stuttgart Exo-Jacket“ ist ein Oberkörper-Exoskelett mit einer Schulterkinematik, die dreidimensionale Bewegungen ermöglicht. Ein weiteres aktives Exoskelett ist das Hybrid Assistive Limb (HAL) der japanischen Firma Cyberdyn.⁵ Dieses weit entwickelte Exoskelett wird über bioelektrische Nervensignale der Muskeln angesteuert, die über Sensoren auf der Haut empfangen werden. Für den wirtschaftlichen Einsatz als körpergetragene Hebehilfe weniger geeignet, wird dieses System jedoch erfolgreich in der Therapie von querschnittsgelähmten Patienten und Patientinnen in Deutschland eingesetzt.⁶ Aufgrund ihrer hohen Komplexität und oft geringen Benutzerfreundlichkeit ist die Akzeptanz von aktiven Exoskeletten in der Industrie aktuell noch gering.

Bei passiven Exoskeletten erfolgt die Unterstützung rein mechanisch, zum Beispiel über Federsysteme, die Energie bei bestimmten Körperbewegungen aufnehmen und als Hilfe wieder abgeben. Sie benötigen dafür keine Energieversorgung und unterstützen in der Regel nur einzelne Körperregionen. Die amerikanische

Autor



Ralf Schick

Sachgebiet Physische Belastungen
Fachbereich Handel und Logistik
(FBHL) der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (DGUV)
E-Mail: r.schick@bghw.de

Firma Strongarm bietet das passive Exoskelett V22 ErgoSkeleton an.⁷ Durch eine passive Halteunterstützung soll insbesondere der Rücken beim Heben von Lasten entlastet werden. Das Unternehmen suitX bietet drei passive Exoskelette für verschiedene Körperregionen an. Bei Überkopfarbeiten soll die Variante shoulderX unterstützen und die Belastung reduzieren. 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) zusammengefügt werden, mit dem es möglich sein soll, gleichzeitig mehrere Körperregionen zu unterstützen.⁸

Das passive Exoskelett Laevo V2.5 der niederländischen Firma Laevo ist eine körpergetragene (Rücken-)Stütze mit Federsystem, die bei Arbeiten in einer vorgebeugten Stellung und beim Heben von Lasten unterstützen soll.⁹ Durch die tragbare Stützstruktur soll das relative Gewicht des Oberkörpers und somit die Belastung des unteren Rückens verringert werden. Demnach wurde in einer Untersuchung eine Reduzierung der Aktivität der Rückenmuskulatur während der statischen Rumpfbeugung von etwa 10 bis 14 Prozent im Bereich der Lendenwirbelsäule festgestellt.¹⁰ 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.

Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten

Unabhängig von einer aktiven oder passiven Bauweise eröffnen Exoskelette für die Beschäftigten eine Möglichkeit, die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit zu verbessern. Das gilt zum Beispiel für Hebe- und Tragetätigkeiten in Verbindung mit schweren Lasten. Entlasten können Exoskelette auch bei Arbeiten in Zwangshaltungen, bei denen auf Grund der Besonderheit der Arbeitssituation

(zum Beispiel Zugänglichkeit des Arbeitsbereichs oder Arbeitsortes, Art des Arbeitsmittels oder Arbeitsgegenstands) bisher keine oder nur unzureichende technische Hilfsmittel eingesetzt werden können. Der demografische Wandel und der zunehmende Fachkräftemangel verstärken für die Wirtschaft die Herausforderung, Beschäftigte möglichst lange und gesund im Arbeitsprozess zu halten. Um diese Herausforderung zu bewältigen, könnten Exoskelette ebenfalls ein Lösungsansatz sein.

Es ist auch denkbar, körpergetragene Assistenzsysteme im Rahmen des betrieblichen Eingliederungsmanagements (BEM) einzusetzen, wenn vorerkrankte Beschäftigte wiederingegliedert werden bis sie ihre volle Leistungsfähigkeit erlangen. In diesem Zusammenhang werden solche Systeme für therapeutische Zwecke bereits seit längerem erfolgreich genutzt.

„Der Einsatz von Exoskeletten an Arbeitsplätzen ist grundsätzlich überall sinnvoll, wo Lasten manuell bewegt oder Tätigkeiten in Zwangshaltungen durchgeführt werden.“

Ein möglicher Einsatz sollte jedoch mit der Betriebsärztin oder dem Betriebsarzt sowie mit dem Ergotherapeuten oder der Ergotherapeutin eng abgestimmt werden. Des Weiteren lassen sich Exoskelette im Rahmen der Inklusion nutzen. Ähnlich wie kollaborierende Roboter könnten sie einen Beitrag zur Integration von Menschen mit Behinderungen in Arbeits- und Produktionsprozesse leisten. Wie die neuen Chancen der barrierefreien Mensch-Roboter-Kooperation speziell für schwerbehinderte Personen genutzt werden können, ist ein Schwerpunkt des Projekts AQUIAS.¹²

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 ar-

beitsmedizinischer, biomechanischer oder sicherheitstechnischer Sicht stehen erst am Anfang.

Unklare 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 etwa, sie als technisches Hilfsmittel zur RL 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) zuzuordnen. 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 das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) umgesetzt. Bei der Verwendung von Exoskeletten als medizinisches Hilfsmittel, zum Beispiel im Rahmen der beruflichen Wiedereingliederung oder Inklusion, könnte die europäische Richtlinie 93/42/EWG für Medizinprodukte und 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 und personengebundene Maßnahme nahe. Da sie vor einer ►

Überlastung 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 sogenannten TOP-Prinzip, stehen sie damit an letzter Stelle. Das bedeutet, vor dem Einsatz von Exoskeletten sind zunächst alle technischen und organisatorischen Maßnahmen auszuschöpfen, um zu vermeiden, dass mit oder Arbeiten in Zwangshaltung umgegangen werden muss. Sollte dies nicht möglich sein, ist der Einsatz eines Exoskelettes als personengebundene Maßnahme sinnvoll. Dies sollte jedoch immer mit entsprechenden verhaltensbezogenen Maßnahmen wie Unterweisungen und Übungen verbunden werden. Aufgrund des Einsatzzweckes und der bestimmungsgemäßen Verwendung und der daraus resultierenden Zuordnung zu einer der oben genannten Richtlinien wäre es dann möglich, technisch detaillierte sicherheitstechnische Anforderungen für Exoskelette zu beschreiben.

Der Einsatz von Exoskeletten an Arbeitsplätzen ist grundsätzlich überall sinnvoll, wo Lasten manuell bewegt oder Tätigkeiten in Zwangshaltungen durchgeführt werden und andere technische Hilfsmittel wie Gabelstapler, Kran oder Vakuumheber nicht verwendet werden können. Besonders bei nicht stationären Arbeitsplätzen ist dies oft der Fall, zum Beispiel bei der Möbelauslieferung. 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 genutzt werden, um die kör-

perliche 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 Arbeitgeber muss gemäß Arbeitsschutzgesetz eine Gefährdungsbeurteilung durchführen, dies gilt auch für den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind 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.

„Die Unternehmen sollten immer danach streben, Arbeitsplätze ergonomisch zu gestalten.“



Das Hybrid Assistive Limb (HAL) der japanischen Firma Cyberdyne zählt zu den aktiven Exoskeletten, die über elektrische oder pneumatische Antriebe verfügen.

Mögliche Gefährdungen für Beschäftigte

Grundsätzlich sollten Beschäftigte aufgrund der Kraftunterstützung durch Exoskelette nicht weiterhin an der Belastungsgrenze arbeiten, indem die Lastgewichte erhöht werden. Bei der Gefährdungsbeurteilung müssen auch mögliche Risiken für Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten ermittelt und bewertet werden, die erst durch Einsatz eines Exoskelettes entstehen können. Dies ist aber aktuell noch nicht möglich, da diese Gefährdungen noch nicht ausreichend untersucht wurden. Führt beispielsweise das arbeitstägliche Tragen eines Exoskelettes über einen längeren Zeitraum zu Muskelabbau und wie wäre dieser zu bewerten? Nach welcher Zeit sind bei länger andauernden Überkopf-arbeiten, die mit Hilfe eines Exoskelettes ausgeführt werden, Durchblutungsstörungen in den Armen zu erwarten? Dies sind nur zwei Beispiele für mögliche physische Auswirkungen auf die Gesundheit der Beschäftigten.

Aus sicherheitstechnischer Sicht könnte bei aktiven Exoskeletten, bei denen elek-

trische und pneumatische Antriebe die menschliche Kraft aktiv unterstützen, verstärken und auf den Körper einwirken, eine Fehlfunktion der Antriebstechnik oder ihrer Steuerung zu Verletzungen führen. Eine solche Gefährdung muss grundsätzlich durch den Inverkehrbringenden mit Hilfe von geeigneten sicherheitstechnischen Maßnahmen ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für Fehlfunktionen aufgrund von Fehlbedienungen. Für mechanische Einwirkungen auf Beschäftigte, die bei der bestimmungsgemäßen Verwendung oder aufgrund einer Fehlfunktion eines Exoskelettes auftreten können, könnte man gegebenenfalls die biomechanischen Grenzwerte für kollaborierende Roboter nach DIN ISO TS 15066 nutzen.

Bei der Nutzung 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, schwere Verletzungen davontragen als ohne Exoskelett. Nach der Statistik zum Arbeitsunfallgeschehen 2015 der Deutschen

Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) sind etwa 21 Prozente aller meldepflichtigen Unfälle Stolper- und Rutschunfälle¹². Diese verursachen etwa 26 Prozente aller neuen Unfallrenten. Ebenfalls muss ermittelt und bewertet werden, wie sicher und schnell eine Person mit angelegtem Exoskelett in einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation, zum Beispiel im Brandfall, den Gefahrenbereich verlassen kann.

Eine 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. Erst auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse können die Präventionsaufgaben für Exoskelette in der Arbeitswelt definiert werden.

Anforderungen

Um frühzeitig potenzielle Gefährdungen auszuschließen, müssen Entwickelnde und Hersteller von Exoskeletten darauf achten, dass ihre Nutzung 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 ist ebenfalls Voraussetzung, beispielsweise bei Pausen oder einem Toilettengang. Für den Einsatz im Freien müssen Exoskelette wetter- und umgebungstauglich sein. Das heißt, sie sollten auch bei Nässe sowie witterungsbedingten Hitze- und Kälteeinwirkungen oder in staubiger Umgebung störungsfrei arbeiten und angenehm zu tragen sein. Hierdurch steigt auch die Akzeptanz bei Beschäftigten, die die Exoskelette benutzen sollen.

Die Expertinnen und Experten der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und des zuständigen Unfallversicherungsträgers unterstützen und beraten gerne, wenn nach Lösungen zu den oben genannten Anforderungen gesucht wird. ●



Fußnoten

- [1] 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
- [2] Ebd.
- [3] Gesundheit in Deutschland aktuell 2009, S. 107, Robert Koch-Institut 2011 – erwachsene Wohnbevölkerung ab 18 Jahre
- [4] Amir, E. et al.: Mehr Bewegungsfreiheit bei weniger Gewicht – Neues Exoskelett für Überkopfmontage entwickelt, S. 48, Technische Sicherheit Bd. 6 (2016), Ausgabe 7/8
- [5] Nabeshima, C. et al.: Strength testing machines for wearable walking assistant robots based on risk assessment of Robot Suit, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 14.-18.06.2012, S. 2743-2748
- [6] 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.
- [7] <http://multimedia.3m.com/mws/media/11821580/strongarm-flx-sell-sheet.pdf>
- [8] www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton
- [9] www.laevo.nl/laevo-v2-productinformatie/
- [10] Bosch, T. et al.: The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work
- [11] www.aquias.de/
- [12] Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2015 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)