

Nr. 0059

Stand 11/2017

Fach-Information

FI

BGHM FAQ-Liste¹ (in Anlehnung an FAQ Liste aus dem FB HL) zum Thema:
**Einsatz von Exoskeletten an
(gewerblichen) Arbeitsplätzen**

**1. Was sind Exoskelette und welche Bauarten werden unterschieden?
Welche Perspektiven und Herausforderungen stellen Exoskelette für den Arbeitsschutz dar?**

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme (mit unterschiedlicher technischer Komplexität), die verschiedene Belastungsfaktoren bei körperlicher Arbeit optimieren und bei Bewegungseinschränkungen unterstützen können.

Während der medizinischen Rehabilitation unterstützen Exoskelette bewegungseingeschränkte Menschen. Auch in militärischen Bereichen werden solche Systeme intensiv erprobt, um die Wirkung körpereigener Kräfte zu erhöhen.

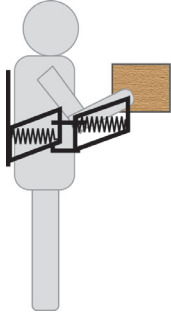
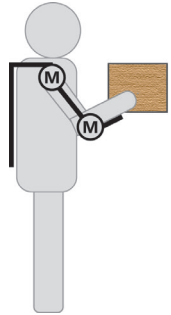
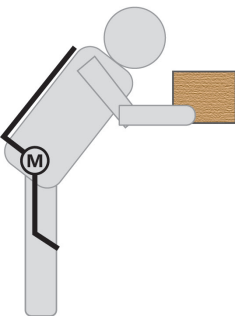
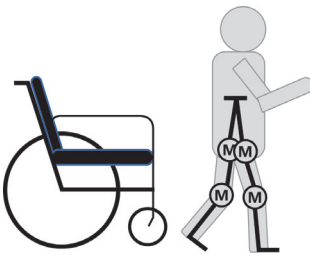
Der Einsatz von Exoskeletten an Arbeitsplätzen ist noch nicht sehr verbreitet. Tests von Prototypen im industriellen Kontext werden jedoch vereinzelt durchgeführt.

Nach dem aktuellen Kenntnisstand können Exoskelette aus unserer Sicht wie folgt eingeteilt werden:

A) Aktive Exoskelette		B) Passive Exoskelette
komplexe Exoskelette	mittelkomplexe Exoskelette	geringkomplexe Exoskelette
<ul style="list-style-type: none"> • aktive mechatronische Unterstützung der Nutzenden bei kombinierten physischen Belastungsfaktoren, z. B. bei Körperbewegung/-haltung und Körperkräften • Stromversorgung notwendig • meist modular aufgebaut und erweiterbar • Unterstützung mehrerer Körperregionen 	<ul style="list-style-type: none"> • aktive mechatronische Unterstützung der Nutzenden bei einzelnen physischen Belastungsfaktoren, z. B. nur bei Körperbewegung/-haltung oder Körperkräften • Stromversorgung notwendig • Unterstützung einzelner Körperregionen 	<ul style="list-style-type: none"> • passive mechanische Unterstützung der Nutzenden bei Körperbewegung/-haltung • keine Stromversorgung notwendig • Unterstützung einzelner Körperregionen

¹ Der DGUV Fachbereich Handel und Logistik hat Ende 2016 eine FAQ-Liste zu Exoskeletten veröffentlicht: „Fragen und Antworten zum Thema Exoskelette“ (Webcode: www.dguv.de/d1061765). Sie stellt die derzeitigen fachlichen Positionen der DGUV dar. Darauf aufbauend und ergänzend für den Einsatz von Exoskeletten in Unternehmen der Holz- und Metallbranchen stellt die Berufsgenossenschaft Holz und Metall eine erweiterte FAQ-Liste zur Verfügung.

**Vorschlag zur Einordnung von Exoskeletten hinsichtlich EG-Richtlinien:
u. a. EG-Maschinenrichtlinie und in Bezug auf Normen**

Bestimmungsgemäße Verwendung	Beispiel	EG-Richtlinien	Bemerkung/Norm
muskelkraftbetrieben, federunterstützt zur Bewegungserleichterung (Komfort)		2006/42/EG (Maschinen)	RL 2006/42/EG Art. 2 Nr. a) 5. Spiegelstrich
Motorbetrieben zur Bewegungserleichterung (Komfort)		2006/42/EG (Maschinen)	Verbesserung der Lebensqualität: EN ISO 13482 Gewerblicher Einsatz: EN ISO 10218-1
motorbetrieben zur Vermeidung von Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz (z. B. bei Rückenerkrankungen)		2006/42/EG (Maschinen) 89/686/EWG (PSA)	Verbesserung der Lebensqualität: EN ISO 13482 Gewerblicher Einsatz: EN ISO 10218-1
motorbetrieben zur medizinischen Behandlung (z. B. Reha-Maßnahmen nach Querschnittslähmung)		2006/42/EG (Maschinen) 93/42/EWG (Medizinprodukte)	EN ISO 13482

Quelle: Dr. Umbreit, BGHM sowie DGUV Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet MAF, Themenfeld Robotik, 01/2017

Exoskelette eröffnen die Möglichkeit einer Verbesserung des Arbeitsschutzes besonders bei Tätigkeiten, bei denen, aufgrund der Spezifik der Arbeitssituation, (z. B. Zugänglichkeit des Arbeitsbereichs, Art des Arbeitsmittels bzw. Arbeitsgegenstands) bisher keine, oder nur unzureichende technische Hilfen, zum Beispiel zum Heben schwerer Lasten oder bei Arbeiten in Zwangshaltung, eingesetzt werden.

Außerdem könnten Exoskelette in Zukunft eine starke Entlastung des Muskel-Skelett-Systems bei spezifischen Tätigkeiten ermöglichen. Ihre arbeitsbedingte Nutzung, ihre Wirksamkeit, ihre Präventionspotentiale und die Vermeidung von Risiken beim Einsatz von Exoskeletten sind für Unternehmen und Versicherte von großem Interesse. Einschlägige wissenschaftliche Begleitstudien, zum Beispiel in den Bereichen Arbeitsmedizin, Biomechanik/Arbeitsphysiologie, Sicherheitstechnik, stehen jedoch erst am Anfang.

2. An welchen Arbeitsplätzen oder bei welchen Tätigkeiten könnten Exoskelette sinnvoll eingesetzt werden?

Grundsätzlich überall an Arbeitsplätzen, an denen kurzfristig schwere körperliche Arbeit oder Tätigkeiten in Zwangshaltungen zu leisten sind. Dabei kommen Exoskelette besonders dort infrage, wo andere technische Hilfsmittel, wie Gabelstapler, Kran und Vakuümheber etc., nicht zum Einsatz kommen können. Dies ist in der Regel bei nicht stationären Arbeitsplätzen der Fall, zum Beispiel bei Arbeiten auf der Baustelle. Hier könnte die körperliche Entlastung der Beschäftigten auch zu einer Reduzierung des Unfallgeschehens, arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren und von Ausfallzeiten beitragen.

3. In welchen Bereichen kann auf den Einsatz von Exoskeletten verzichtet werden?

In Bereichen mit stationären Arbeitsplätzen lassen sich diese in den meisten Fällen ergonomisch gestalten, sodass auf Exoskelette verzichtet werden kann. Dies sollte auch immer das erste Bestreben der Arbeitsplanung sein. Die Auswahl an technischen Maßnahmen für stationäre Arbeitsplätze ist sehr vielfältig. Hier können beispielsweise Lastenmanipulatoren, Gabelhubwagen, Scherenhubtische, Vakuümheber, höhenverstellbare Arbeitstische eingesetzt werden, um körperliche Belastung zu reduzieren.

4. Welchen Anforderungen muss ein Exoskelett derzeit genügen, wenn es als Arbeitsmittel/Hilfsmittel von den Beschäftigten genutzt werden soll?

Auch bei der Verwendung von Exoskeletten am Arbeitsplatz ist die Arbeitsgeberin/der Arbeitgeber gemäß Arbeitsschutzgesetz zur Vermeidung von Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, durch die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung zur Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie Ableitung und Umsetzung von wirksamen Schutzmaßnahmen inkl. Unterweisung, verpflichtet. Insbesondere die Schutzziele und Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung sowie ggf. die Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit sind hierbei zu berücksichtigen.

5. Welchen sicherheitstechnischen Anforderungen (für den Träger/die Trägerin und die Arbeitsplatzumgebung) müssen beim Inverkehrbringen von Exoskeletten für den Einsatz am Arbeitsplatz beachtet werden?

Grundsätzlich steht der Einsatz von Exoskeletten als Arbeitsmittel/Hilfsmittel oder PSA erst am Anfang der Entwicklung. Die Vielfalt verschiedenster Arten von Exoskeletten wird weiter zunehmen. Die Zuordnung von Exoskeletten hinsichtlich Sicherheitsanforderungen zum Geltungsbereich einer EU Richtlinie ist derzeit noch auf europäischer Ebene in der Diskussion. Sie wird vorwiegend vom zukünftigen Einsatz (bestimmungsgemäße Verwendung) abhängig sein. Die konkreten sicherheitstechnischen Anforderungen werden, nach der geplanten Zuordnung voraussichtlich zu einer der oben genannten EU Richtlinien, erarbeitet. So werden beispielsweise im Anhang 1 der RL 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) verbindliche Schutzziele beschrieben, die anhand geeigneter „Produktnormen“ konkretisiert werden. Diese können bereits jetzt Anhaltspunkte für die Vermeidung von Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit beim Einsatz von Exoskeletten geben. Sollten Exoskelette der EG Maschinenrichtlinie zugeordnet werden, würden diese Schutzziele für die Erarbeitung von Produktnormen maßgeblich sein. Dann wäre es möglich, über die oben genannten allgemeinen Schutzziele hinaus technisch detaillierte Sicherheitsanforderungen für Exoskelette in Europa verbindlich einzuführen.

Da Exoskelette vordergründig als „Hebehilfe“ und somit auch zur Entlastung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dienen sollen, wären zum Beispiel die RL 89/686/EWG (Persönliche Schutzausrüstung), die RL 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) oder die RL 93/42/EWG (Medizinprodukte) denkbar. Eine Entscheidung in diesem Zusammenhang steht noch aus.

6. Welche Gefahren könnten im Umgang mit Exoskeletten entstehen?

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass bei aktiven Exoskeletten, bei denen Motoren die menschliche Kraft aktiv unterstützen und verstärken, eine Fehlfunktion bzw. eine Fehlbedienung des Exoskeletts zu Verletzungen führen. Diese Gefährdung muss durch sicherheitstechnische Maßnahmen des Inverkehrbringers ausgeschlossen sein. Für mechanische Einwirkungen, die bestimmungsgemäß oder aufgrund einer Fehlfunktion vom Exoskelett auf den Körper einwirken können, wären die, für kollaborierende Roboter nach DIN ISO TS 15066 hinterlegten, biomechanischen Grenzwerte ein sinnvoller Ansatz.

Die Kraftunterstützung durch Exoskelette muss in Bezug auf die Gewichte der zu handhabenden Lasten im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung bewertet werden und es muss sichergestellt sein, dass Beschäftigte (zum Beispiel gemäß BAuA-Leitmerkalmethode „Heben und Tragen“) möglichst im „grünen Bereich“ belastet werden.

Bei der Benutzung eines Exoskeletts, können Gefährdungen im Zusammenhang mit Stolper- oder Sturzunfällen entstehen. Dabei ist das Risiko groß, dass die Beschäftigten, unter anderem aufgrund des zusätzlichen Gewichts, bei einem unfallartigen Ereignis schwerere Verletzungen davontragen als ohne Exoskelett. Auch deshalb muss vorab eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden. Außerdem muss hinterfragt werden, in welcher Weise es möglich ist, aus einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation mit einem angelegten Exoskelett schnell und sicher zu flüchten.

7. Ist ein Exoskelett als technische oder als personenbezogene Maßnahme einzustufen?

Die aktuellen Einsatzmöglichkeiten von Exoskeletten legen eine Einordnung eher als personenbezogene bzw. personenbezogene Maßnahme nahe. 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 Zwangshaltungen zu vermeiden. Sollte dies nicht möglich sein, ist der Einsatz eines Exoskeletts sinnvoll als personengebundene Maßnahme, gekoppelt mit entsprechenden verhaltensbezogenen Maßnahmen, wie Unterweisungen und Übungen.

8. Kann ein Exoskelett zur Stärkung der Muskulatur oder für das Einüben belastungsreduzierender Bewegungsabläufe genutzt werden (zum Beispiel im Rahmen des Betrieblichen Eingliederungsmanagements)?

Exoskelette wurden zivil primär für therapeutische Zwecke entwickelt und werden in diesem Zusammenhang bereits seit längerem genutzt (REHA, Therapie, etc.). Werden Exoskelette jedoch bei der Wiedereingliederung von vorerkrankten Beschäftigten eingesetzt, sollte dies mit der Betriebsärztin/dem Betriebsarzt und mit dem Ergotherapeuten/der Ergotherapeutin eng abgestimmt werden, weil sich der zu berücksichtigende Erkenntnis- und Erfahrungsstand dynamisch entwickelt.

9. Lassen sich die Geräte entsprechend auf die individuellen Leistungsvoraussetzungen des Trägers/der Trägerin, wie Körperbau, Kraftpotential, Trainingszustand und Alter, anpassen?

Exoskelette sollten sich immer individuell auf die Körperproportionen der Trägerin/des Trägers einstellen lassen. Bei manchen Geräten lässt sich auch der Grad der technischen Unterstützung wählen. Dafür wird es wahrscheinlich schon in naher Zukunft weitere Entwicklungen geben.

10. Ist eventuell mit negativen physischen Beanspruchungsfolgen (zum Beispiel Abbau der Muskulatur durch dauerhafte Minderbelastung) bei einer täglichen Dauernutzung der Exoskelette über Monate oder Jahre zu rechnen?

Dafür gibt es Anhaltspunkte und fachliche Abschätzungen, für konkrete Aussagen müssen erst noch ausreichende Erkenntnisse und Praxiserfahrungen gewonnen oder Forschungsvorhaben vorgeschlagen werden.

11. Könnte man durch den Einsatz von Exoskeletten, die Arbeitsfähigkeit, insbesondere älterer gewerblich Beschäftigter dauerhaft stärken und damit auch die Kosten für arbeitsbedingte Erkrankungen senken?

Angesichts des demografischen Wandels und des zunehmenden Fachkräftemangels ist es eine wesentliche Herausforderung für die Wirtschaft, Beschäftigte möglichst lange und gesund im Arbeitsprozess zu halten. Exoskelette einzusetzen, ist dabei einer von mehreren möglichen Ansätzen. In diesem Zusammenhang müssen jedoch auch noch einige sicherheitstechnische, ergonomische und ethische Fragen geklärt werden. Es ist jedoch denkbar, dass Exoskelette in einigen Jahren eine Serienreife erlangen, kostengünstig produziert und in einem breiten Anwendungs-

spektrum genutzt werden können. Beschäftigte in verschiedenen Altersklassen und Einsatzfeldern könnten davon profitieren.

12. Wäre die Nutzung eines Exoskelettes im Rahmen der Inklusion sinnvoll?

Dazu liegen noch keine ausreichenden Erkenntnisse/Praxiserfahrungen vor. Es wäre aber denkbar, wie auch bei kollaborierenden Robotern, damit einen Beitrag zur Integration von Menschen mit Behinderungen in Arbeits- bzw. Produktionsprozesse zu leisten (s. a. [Projekt AQUIAS](#)).

13. Leistungssteigerung nur bei gleichzeitiger Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheit!

In unterschiedlichen Veröffentlichungen werden Exoskelette als leistungssteigernd beschrieben (mit vermuteten Steigerungen bis zu 27 %). Dadurch werde die Wertschöpfung ebenfalls erhöht, besonders dann, wenn die Arbeitsunfähigkeitszeiten reduziert werden. Mit einem Exoskelett sollen zum Beispiel Lasten von 80kg bis 90kg von einer Person manuell transportiert werden können. Technisch unterstützte Steigerungen der körperlichen Leistungsfähigkeit von Beschäftigten sind nur dann akzeptabel und hilfreich, wenn alle Fragen zu Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit geklärt sind und in der Praxis entsprechende Schutzmaßnahmen wirksam umgesetzt werden können.

14. Was kann Entwicklerinnen und Entwicklern empfohlen werden?

Sie sollten frühzeitig mit den Expertinnen und Experten der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) oder des

zuständigen Unfallversicherungsträgers kooperieren, damit ein Produkt entstehen kann, das die Anforderungen an Sicherheit und Gesundheit erfüllt.

Eine Produktnorm für Exoskelette im Industriebereich existiert bisher noch nicht. Es ist jedoch empfehlenswert, sich zumindest an bereits existierenden Normanforderungen zu orientieren, zum Beispiel an der DIN EN ISO 13482:2014-11 „Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter“ oder an der DIN EN ISO 10218-1 „Industrieroboter“.

Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die Schnittstelle Mensch-Maschine ergonomisch gestaltet ist und nicht zusätzlich ungünstige Belastungen oder gar Fehlbedienungen zur Folge hat oder möglicherweise zu Unfällen führt. Eine komfortable Handhabung der Exoskelette, zum Beispiel geringer Aufwand beim An- und Ausziehen ist Voraussetzung.

Exoskelette, die an einem nicht stationären Arbeitsplatz im Freien eingesetzt werden, müssen wetter- und umgebungstauglich sein, zum Beispiel unempfindlich gegenüber Staub. Auch bei Kälte, Nässe oder sommerlichen Temperaturen um die 30 Grad sollte ein Exoskelett noch störungsfrei arbeiten und angenehm zu tragen sein. Für einen Dauereinsatz ist auf ein geringes Eigengewicht der Geräte zu achten. Das An- und Ablegen (zum Beispiel bei Pausen oder Toilettengang) sollte schnell und problemlos erfolgen können. Dadurch erhöht sich die Akzeptanz bei den Beschäftigten und die Hygiene wird ebenfalls gewahrt.

Weil der oder die Beschäftigte durch den Einsatz eines Exoskeletts in der individuellen Arbeitsweise beeinflusst werden kann, sollten potentiell Betroffene früh in die Entwicklung und Planung möglicher Einsatzbereiche einbezogen werden.

Anhang

Liste genannter EG-Richtlinien und Normen

- Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
- 89/686/EWG (PSA)
- 93/42/EWG (Medizinprodukte)
- DIN EN ISO 10218-1:2012-01 Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter
- DIN EN ISO 13482: 2014-11 Roboter und Robotikgeräte - Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter
- DIN ISO/TS 15066:2017-04; DIN SPEC 5306:2017-04 Roboter und Robotikgeräte - Kollaborierende Roboter