

3.2.4 Exoskelette

■ **Stichwörter:** technische Assistenzsysteme, körperliche Entlastung, Flexibilität, Inklusion

> Warum ist das Thema wichtig?

Exoskelette oder physisch unterstützende Assistenzsysteme bieten die Chance, Beschäftigte von körperlicher Belastung zum Beispiel beim Heben und Tragen schwerer Lasten zu unterstützen. Die 4.0-Technologien¹ bieten Möglichkei-

ten, dass bestimmte Beschäftigtengruppen (wie zum Beispiel Ältere, körperlich Eingeschränkte) länger im Arbeitsprozess verbleiben können. Dies betrifft auch die Unterstützung im Genesungsprozess erkrankter Beschäftigter und kann daher im

Sinne der betrieblichen Wiedereingliederung hilfreich sein. Exoskelette produzieren Daten, die für cyber-physische Systeme² in 4.0-Prozessen³ mit ihren Modellen künstlicher Intelligenz (KI) genutzt werden können.

> Worum geht es bei dem Thema?

Begriff: Exoskelette

Exoskelette sind physisch unterstützende technische Assistenzsysteme, die als „Roboter-Anzug“ oder als Unterstützung einzelner Gliedmaßen getragen werden können. Ziele von Exoskeletten sind:

- Die Kombination der Vorteile von Mensch (zum Beispiel gute Senso-

motorik, Kognition und hohe Flexibilität) und Technik (zum Beispiel gute Wiederholgenauigkeit und hohe Ausdauer) zu nutzen, um

- > Bewegungen zu erleichtern,
- > Gesundheitsgefahren zu vermeiden,
- > produktive Abläufe zu gewährleisten.

- Die Teilhabe von Erkrankten im Arbeits- und Lebensprozess zu ermögli-

chen (zum Beispiel bei Querschnittslähmung)

Es gibt aktive, energiebetriebene Exoskelette, die in 4.0-Prozessen eingebunden sind, und passive, mechanische Exoskelette.⁴ Im Folgenden werden nur aktive Exoskelette betrachtet.

Die Steuerung von Exoskeletten kann auf unterschiedliche Art in Verbindung mit Software oder intelligenter Software⁵ (inkl. KI) erfolgen, wie zum Beispiel

- durch Sensoren auf der Haut, die die Muskelbewegung erfassen,
- durch Sensorik in den Exoskeletten, die Positions- und Kraftwerte messen,
- über EEG-Messungen (Messung von elektrischen Strömen des Gehirns), insbesondere im Bereich der Heilbehandlung und Unterstützung körperlich eingeschränkter Beschäftigter,
- durch Joystick und Kontrollpad,
- mittels Sprachsteuerung.

Ursprünglich war der Einsatz von Exoskeletten bei der Rehabilitation von Patientinnen und Patienten mit neurologischen

Erkrankungen relevant und wird in diesem Zusammenhang auch schon seit Jahren praktiziert. Das Exoskelett wird dabei über Nervenimpulse der Nutzer gesteuert. In einem Projekt in der Rehabilitation von Querschnittsgelähmten wurden durch Exoskelette sehr gute Erfolge erzielt.⁶

Exoskelette werden zunehmend im Arbeitsleben eingesetzt, um die Nutzer physisch zu entlasten oder die Vorteile von Mensch und Technik zu kombinieren. Anwendungen sind insbesondere bei solchen Arbeiten sinnvoll, die durch häufige manuelle Tätigkeiten gekennzeichnet sind. Einen besonders hohen ergonomischen Stellenwert haben sogenannte Lastassistenten für Montagearbeiten mit schweren Teilen, die beim Heben schwe-

rer Gegenstände unterstützen beziehungsweise entlasten können. Dort, wo andere technische Hilfsmittel wie Stapler, Krane oder Vakuumheber, beispielsweise durch eine räumliche Enge, nicht zum Einsatz kommen, können Exoskelette neben der Entlastung der Beschäftigten zu einer Reduzierung des Unfallgeschehens und der Ausfallzeiten beitragen. Exoskelette können auch bei Steh- und Zwangshaltungen sowie beim Gehen zur Entlastung eingesetzt werden. Exoskelette im Arbeitsprozess müssen eine hohe Flexibilität besitzen und dürfen die Nutzer nur wenig einschränken (insbesondere angemessene Beweglichkeit).

Exoskelette werden bei der Arbeit zum Beispiel eingesetzt als:⁷

- Ganzkörperexoskelett, mit dem bis zu

Diese Umsetzungshilfe gibt Experten und Interessierten Anregungen, wie Arbeit 4.0 zu gestalten ist. Die Empfehlungen sollten an die jeweilige konkrete betriebliche Situation angepasst werden.

¹ 4.0-Technologie bezeichnet hier Hardware und technologische Produkte (wie Assistenzmittel/Smartphones, Sensoren/Aktoren in smarten Arbeitsmitteln, Fahrzeugen, Produkten, Räumen usw., smarte Dienstleistungen, Apps), die von intelligenter Software (inkl. KI) ganz oder teilweise gesteuert werden.

² Cyber-physische Systeme (CPS) verbinden und steuern als autonome technische Systeme Arbeitsmittel, Produkte, Räume, Prozesse und Menschen beinahe in Echtzeit. Die komplette oder teilweise Steuerung übernimmt intelligente Software auf Grundlage von Modellen der künstlichen Intelligenz. Genutzt werden dazu unter anderem auch Sensoren/Aktoren, Verwaltungsschalen, Plattformen/Clouds.

³ Unter 4.0-Prozessen werden hier alle Arbeitsprozesse verstanden, in denen cyber-physische Systeme (CPS) oder andere autonome technische Systeme (wie Plattformen, Messenger-Programme) beteiligt sind. 4.0-Prozesse sind in den Arbeitsprozessen bisher selten vollständig, aber in Ansätzen in allen Betrieben umgesetzt.

⁴ Kraus 2017

⁵ Intelligente Software steuert cyber-physische Systeme (CPS) und andere autonome technische Systeme (wie Messenger-Programme). Intelligente Software nutzt Modelle künstlicher Intelligenz zusammen mit anderen Basistechnologien wie zum Beispiel Algorithmen, semantischen Technologien, Data-Mining. Intelligente Software ist autonom und selbstlernend.

⁶ Braesecke 2015

⁷ z. B. Hybrid Assistive Limb (HAL®), Nonee, H-LEX, HUMA, ReWalk, Ekso, ReWalk, Indego, H-MEX, Robo-Mate, H-WEX (Hyundai Waist EXoskeleton), German Bionic CRAY, ExoHand, Exo-Jacket 2.0

fünfmal mehr Gewicht als ohne Exoskelett getragen werden kann

- Unterstützung der Beinfunktionen, zum Beispiel beim Gehen und als Stehhilfe (Chairless-Chair)
- Unterstützung der Armfunktionen, zum Beispiel beim Heben und Tragen
- Entlastung des Rückens, zum Beispiel beim Sitzen und Heben

Die aktuelle Forschung im Bereich der Exoskelette hat ergeben, dass die Entwicklung eines Alleskönners momentan keinen Sinn macht,⁸ da die bisherigen Lösungen zu schwer und unbeweglich sind. Vielmehr werden Exoskelette individuell

auf die Tätigkeit und die damit verbundene Arbeitsschwere zugeschnitten. Vor dem Hintergrund neuer Forschungen, bei denen Exoskelette in textile Gewebe integriert werden können, sind universelle Einsatzmöglichkeiten denkbar (Textil als „künstlicher Muskel“).

Der Einsatz von Exoskeletten hat nicht nur Unterstützungsfunktionen, sondern kann auch zu Belastung führen. ▶ *Siehe Abschnitt „Chancen und Gefahren“.*

Exoskelette können Daten über ihren Träger erzeugen, wie zum Beispiel:

- Daten über die räumliche Bewegung
- Daten über die Körperbewegungen im Arbeitsablauf

- Daten über die zeitlichen Arbeitsabläufe der Nutzer
- Vitaldaten über die Nutzer (wie Herzfrequenz, Puls, Körpertemperatur, Atemgeschwindigkeit, Muskelanspannung)

Diese Daten können in cyber-physischen Systemen integriert, gespeichert und von ihnen beinahe in Echtzeit genutzt werden (zum Beispiel in CPS zur Personaleinsatzplanung, zur Arbeitsprozessgestaltung, auf Plattformen der Hersteller).

▶ Welche Chancen und Gefahren gibt es?

Physische Belastungen, beispielsweise durch Heben und Tragen schwerer Lasten, Zwangshaltungen (zum Beispiel eine gebeugte Haltung) oder einseitig belastende Tätigkeiten (zum Beispiel ständige Rotationsbewegung im Becken, langes Stehen) können zu gesundheitlichen Beschwerden von Beschäftigten und schließlich zu Ausfallzeiten führen. Ziel des Einsatzes von Exoskeletten ist es, die Arbeits- und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten zu erhalten oder zu verbessern. Der Einsatz von Exoskeletten kann daher einen wichtigen Beitrag leisten und eine sinnvolle Maßnahme sein. Daher ist die Serienreife solcher Exoskelette als Chance zu sehen.

Chancen der Nutzung von Exoskeletten sind insbesondere:

- Exoskelette können dazu beitragen, dass gesundheitliche Beeinträchtigungen für Beschäftigte bei körperlich belastenden Tätigkeiten gar nicht erst entstehen.
- Exoskelette können körperlich eingeschränkte Beschäftigte unterstützen. Durch individuell angepasste Exoskelette besteht die Möglichkeit, Beschäftigte für Tätigkeiten zu befähigen, die ohne physische Unterstützung nicht möglich sind. Dadurch erhöhen sich die Einsatzflexibilität, die Selbstständigkeit und dadurch auch der Selbstwert der betroffenen Beschäftigten.

- Exoskelette können sowohl im Reha-Bereich als auch bei Heilbehandlungen genutzt werden. Dadurch können Beschäftigte gegebenenfalls schneller wieder in den Arbeitsprozess eingegliedert werden.
- Die Daten, die die Exoskelette liefern, können in 4.0-Prozessen zu einer auf die Person angepassten Arbeitsgestaltung führen.
- Durch die Einbindung der Daten in die 4.0-Prozesse kann der Personaleinsatz optimiert werden.

Gefahren beim Einsatz von Exoskeletten können zum Beispiel sein:

- Durch Unterstützung von Exoskeletten kann bei nicht angepasster Programmierung die Belastungsgrenze von Beschäftigten überschritten werden, zum Beispiel beim Heben und Tragen von Lasten oder bei Zwangshaltungen durch den Arbeitstakt.
- Eine Fehlfunktion beziehungsweise eine Fehlbedienung des Exoskeletts kann zu Verletzungen führen.
- Exoskelette können Ursache für Stolpern oder Stürze sein, zum Beispiel wegen des zusätzlichen Gewichts oder den ausladenden mechanischen Komponenten.
- Exoskelette können zu einer psychischen Belastung führen, die durch Einengung oder Fremdsteuerung entstehen können.

- Es können Fehlfunktionen der Steuerung des Exoskeletts auftreten, die zu einer plötzlichen Belastung oder zu Unfällen führen können.
- Eine fehlende Notbefehlseinrichtung kann dazu führen, dass das Exoskelett bei Fehlfunktionen nicht abgeschaltet werden kann.
- Eine mangelhafte ergonomische Anpassung des Exoskeletts an die Nutzer kann die Gesundheit beeinträchtigen.
- Eine intensive Nutzung des Exoskeletts kann zum Abbau der Muskeln und einer Beeinträchtigung der Bewegungsfähigkeit führen.
- In der Steuerung der intelligenten Software (inkl. KI) kann es zu Fehlfunktionen kommen. Diese können auch durch einen Fremdzugriff ausgelöst werden.
- Die Daten der Exoskelette können missbräuchlich verwendet werden – zum Beispiel wenn Daten ohne Kenntnis und Einwilligung der Nutzer verwendet werden.
- Die Erfassung und Verwertung hochsensibler und multifaktoriell beeinflusster Vitaldaten durch Exoskelette wird mit validen Aussagen über den allgemeinen Gesundheitszustand oder die psychische Verfassung von Beschäftigten verwechselt oder gleichgesetzt, gegebenenfalls ohne nachvollziehbare Unterscheidung beziehungsweise Kenntnis der Ursachen.

⁸ Spilok 2015

› Welche Maßnahmen sind zu empfehlen?

Entscheidend für den Einsatz von Exoskeletten ist die Anpassung an die persönlichen Voraussetzungen der Nutzer (individualisierte Ergonomie). Durch das Tragen sollen keine zusätzlichen Belastungen oder Gefährdungen entstehen. Daher müssen solche Assistenzen leicht sein und einen gewissen Tragekomfort bieten, damit sie auch von den entsprechenden Beschäftigten genutzt werden. Im Kontakt mit den Nutzern ist es wichtig, dass die Interaktionskräfte begrenzt sind. Die Exoskelette sollten zudem leicht zu handhaben sein – zum Beispiel beim An- und Ausziehen.

Folgende Maßnahmen sollen unter anderem berücksichtigt werden:

- Überlegen, welche Vor- und Nachteile der Einsatz von Exoskeletten für den vorgesehenen Einsatz hat (auch für mobile Arbeitsplätze). Es ist zu überlegen, ob sowohl technische als auch organisatorische Maßnahmen bessere Lösungen ermöglichen⁹ (zum Beispiel kann der Einsatz von Kranen, Hubwagen und Hebehilfen wirkungsvoller sein).
- Anforderungsanalyse zum Einsatz von Exoskeletten durchführen¹⁰, bei der unter anderem Folgendes beachtet werden sollte:
 - › Technik: Funktionsprüfung von Exoskeletten verschiedener Hersteller, Sicherheitsbeurteilung des Exoskelettes (dabei unter anderem beachten: Anpassung der Technik an die Nutzer (an Körperproportionen, individuell einstellbar), komfortable Handhabung (zum Beispiel geringer Aufwand beim An- und Ablegen)
 - › Mensch: Akzeptanz der Nutzung von Exoskeletten ermitteln, individuelle Voraussetzungen (wie arbeitsmedizinische Vorsorge, Eignung), ergonomische Anforderungen an das Exoskelett (wie Tragekomfort)
- › Arbeitsplatz: Bewegungsanalyse, Voraussetzung an Arbeitsumfeld im Einsatzbereich (wie Raumbedarf, Verkehrswege, Energieversorgung), Auswirkungen von Arbeitsbedingungen (wie Gefahrstoffe, Hitze, Kälte, Wetterbedingungen)
- › Daten: Welche Daten werden erfasst und wie können sie in 4.0-Prozessen genutzt werden?
- › Vom Hersteller kurze und verständliche Informationen einfordern, welche Daten das Exoskelett erfasst, wie und wo sie gespeichert und verarbeitet werden und wer Zugriff auf die Daten hat. › *Siehe Umsetzungshilfe 1.1.7 Informationsblatt smartes Produkt.*
- › Gefährdungsbeurteilung durchführen, zum Beispiel in puncto physische Belastung durch die Arbeitsaufgabe (zum Beispiel Leitmerkmalmethode) und durch das Exoskelett (Kraftunterstützung durch Exoskelette festlegen), zusätzliche Sturz- und Stolpergefahren, Umgang mit den Daten, Auswirkungen des Einsatzes auf andere Beschäftigte und Verhalten bei Ausfall der Systeme/im Notfall
- Nur Exoskelette mit CE-Kennzeichen einsetzen (nach DIN EN ISO 13482:2014-11 „Roboter und Robotikgeräte – Sicherheitsanforderungen für persönliche Assistenzroboter“).¹¹ Im Außeneinsatz müssen diese wetterbeständig sein und den Anforderungen aus dem Arbeitsumfeld genügen (wie Hitze-, Kältearbeitsplatz, Umgang mit Gefahrstoffen).
- Die Sinnhaftigkeit der Nutzung, die Gestaltung des Arbeitsplatzes sowie die Anpassung des Exoskeletts an die Nutzer können durch digitale Menschmodelle in virtuellen Räumen getestet werden. Unterstützung bieten hier möglicherweise die Hersteller von Exoskeletten.
- Der Trage- und Nutzungskomfort sowie die Akzeptanz erhöhen sich, wenn der betroffene Beschäftigte vorab am Auswahlprozess beteiligt ist.
- Exoskelette an den Beschäftigten und seine spezifische Tätigkeit beziehungsweise die individuelle Situation anpassen – sich von der Fachkraft für Arbeitssicherheit und vom Betriebsarzt beraten lassen.
- Einsatz der Exoskelette an hoch gelegenen Arbeitsplätzen: Hier sind gegebenenfalls die Absturzsicherungen zu verstärken.
- Einbau von Sicherheitsmechanismen, die eine unmittelbare Kraftübertragung, zum Beispiel im Falle einer Fehlfunktion, auf die Nutzer verhindern. Diese müssen unabhängig von Software- oder Hardwarefehlern greifen.¹²
- Zum Umgang mit den Daten in den 4.0-Prozessen Folgendes regeln:
 - › Welche Daten werden wie erfasst und wo gespeichert?
 - › Wer hat Zugriff auf die Daten und wofür werden die Daten genutzt?
 - › Zugriff des Herstellers oder anderer Dritter auf die Exoskelette.
 - › Vereinbarung mit den Beschäftigten (dem Betriebsrat), wie mit den Daten umgegangen wird.
- Beschäftigte im Umgang mit den Exoskeletten unterweisen und trainieren.
- Exoskelette sollten regelmäßig geprüft werden (nach Betriebssicherheitsverordnung). Prüffristen können sich auch aus dem Medizinprodukterecht ergeben, da Exoskelette am Körper getragen werden.
- Die Wirksamkeit des Einsatzes der Exoskelette und der Schutzmaßnahmen überprüfen und gemeinsam mit den Betroffenen Verbesserungen festlegen.

⁹ DGUV 2017

¹⁰ Rogge et al. 2016

¹¹ DGUV 2017

¹² DFKI GmbH 2016

Quellen und weitere Informationsmöglichkeiten:

- Botthoff, A. (2015). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Braeseke, G. (2015). *Mensch-Maschine-Interface Robot Suit – MMIRS*. Abschlussbericht. http://www.ccr-deutschland.de/wp-content/uploads/2016/08/Bericht-MMIRS_150730_FINAL.pdf. Zugriffen: 11.05.2018.
- DFKI GmbH (2016). *Exoskelett und Steuerung der Teleoperation*. <http://robotik.dfk-bremen.de/de/forschung/details/vi-bot-exoskelett-und-steuerung-der-teleoperation.html>. Zugriffen: 11.05.2018.
- DGUV (2017). *Fragen und Antworten zum Thema Exoskelette. Sachgebiet Physische Belastungen*. http://www.dguv.de/fbhl/sachgebiete/physische-belastungen/faq_exo/index.jsp. Zugriffen: 05.05.2017.
- Kraus, W. (2017). *Exoskelett: Wenn Mensch und Maschine verschmelzen*. <https://www.weka.de/arbeitschutz-gefahrstoffe/exoskelett/>. Zugriffen: 02.06.2017.
- Letzel, S., Nessler, T., & Drexler, H. (2016). *Industrie 4.0 – Arbeit 4.0: Arbeit weiter denken und gestalten. Überlegungen der DGAUM zur Weiterentwicklung der betrieblichen Prävention und Gesundheitsförderung in einer digitalisierten Welt*. [https://www.arbeitenviernull.de/fileadmin/](https://www.arbeitenviernull.de/fileadmin/user_upload/DGAUM_Arbeit4.0-Arbeitsmedizin_4.0_Endversion_22.02.2016.pdf)
- user_upload/DGAUM_Arbeit4.0-Arbeitsmedizin_4.0_Endversion_22.02.2016.pdf. Zugriffen: 11.05.2018.
- Rogge, T., Daub, U., Ebrahimi, A., & Schneider, U. (2016). Der interdisziplinäre Entwicklungsprozess von aktiv angetriebenen, körpergetragenen Exoskeletten für die oberen Extremitäten am Beispiel des „Stuttgart Exo-Jacket“. In R. Weidner (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Zweite Transdisziplinäre Konferenz. Konferenzband. Hamburg. http://www.humanhybridrobot.info/wp-content/uploads/2016/12/Band-zur-zweiten-transdisziplin%C3%A4ren-Konferenz-Technische-Unterst%C3%BCtzungssysteme-die-die-Menschen-wirklich-wollen-2016_komprimiert.pdf. Zugriffen: 11.05.2018.
- Weidner, R. (2016). *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Zweite Transdisziplinäre Konferenz. Konferenzband. Hamburg. http://www.humanhybridrobot.info/wp-content/uploads/2016/12/Band-zur-zweiten-transdisziplin%C3%A4ren-Konferenz-Technische-Unterst%C3%BCtzungssysteme-die-die-Menschen-wirklich-wollen-2016_komprimiert.pdf. Zugriffen: 11.05.2018.
- Weidner, R., Yao, Z., Wulfsberg, J. P., Goehlich, R. A., & Mehler, S. (2016). Modulare Unterstützungssysteme in der Luft- und Raumfahrtindustrie. In R. Weidner (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Zweite Transdisziplinäre Konferenz. Konferenzband. Hamburg. http://www.humanhybridrobot.info/wp-content/uploads/2016/12/Band-zur-zweiten-transdisziplin%C3%A4ren-Konferenz-Technische-Unterst%C3%BCtzungssysteme-die-die-Menschen-wirklich-wollen-2016_komprimiert.pdf. Zugriffen: 11.05.2018.
- Spilok, K. (2015). *Lastesel zum Anziehen*. VDI Nachrichten Technik und Gesellschaft. <http://jb-schnittstelle.de/wp-content/uploads/2016/05/VDI-20151009-Exoskelette.pdf>. Zugriffen: 11.05.2018.
- Wächter, M., & Bullinger, A. (2015). Gestaltung gebrauchstauglicher Assistenzsysteme für Industrie 4.0. In A. Weisbecker, M. Burmester & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015*. Tagungsdokumentation. http://dl.mensch-und-computer.de/bitstream/handle/123456789/4699/W%C3%A4chter_Bullinger_2015.pdf?sequence=1. Zugriffen: 11.05.2018.

Zu diesem Thema könnten Sie auch folgende weitere Umsetzungshilfen interessieren:

- 1.1.7 Informationsblatt smartes Produkt
- 2.3.1 Datensicherheit in 4.0-Prozessen
- 2.3.2 Datenschutz in 4.0-Prozessen
- 2.3.3 Datenqualität in 4.0-Prozessen
- 3.2.1 Technische Assistenzsysteme – allgemein



**OFFENSIVE
MITTELSTAND**
GUT FÜR DEUTSCHLAND

Herausgeber: „Offensive Mittelstand – Gut für Deutschland“ – Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“
Kurfürsten-Anlage 62, 69115 Heidelberg, E-Mail: info@offensive-mittelstand.de; Heidelberg 2019

© Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“, 2019 Heidelberg. Gemeinsam erstellt von Verbundprojekt Prävention 4.0 durch BC GmbH Forschung, Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung BGF GmbH, Forum Soziale Technikgestaltung, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. – ifaa, Institut für Mittelstandsforschung Bonn – IfM Bonn, itb – Institut für Technik der Betriebsführung im Deutschen Handwerksinstitut e.V., Sozialforschungsstelle Dortmund – sfs Technische Universität Dortmund, VDSI – Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e.V. – gefördert vom BMBF – Projektträger Karlsruhe