

01.24

In Kooperation mit:



75. Jahrgang
Jahrgang 2024
ISSN 2199-7330
1424

sicher ist sicher

www.SISdigital.de

Hybrid-Veranstaltung

14. März 2024, 9-16:30 Uhr, Berlin und online

Sonderpreis für
Abonnent/innen von
sicher ist sicher!

Arbeitsschutzverantwortung auf Baustellen

Health, Safety &
Environment (HSE)-Anforderungen



Weitere Informationen und Anmeldung:

www.ESV-Akademie.de/ArbeitsschutzBau

ESV AKADEMIE

Partner:

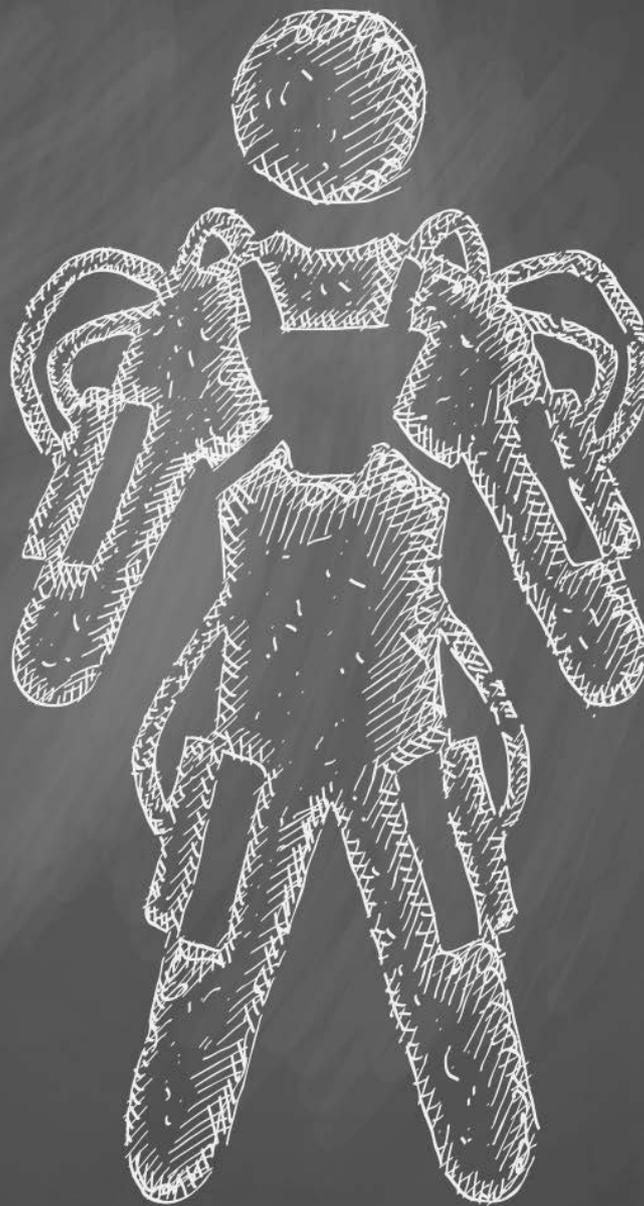


Q 2 VDSI-PUNKTE
Arbeitsschutz

Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft von Exoskeletten 7
Mobiles Arbeiten 12

Körperliche Belastungen in der Industrie 21
EU-KI-Verordnung 32

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG



© pdlau83 - stock.adobe.com

JULIA RIEMER · SASCHA WISCHNIEWSKI

Schlüsselfaktoren für langfristige Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft von Exoskeletten am Arbeitsplatz

Der Einsatz von Exoskeletten am Arbeitsplatz hängt neben anderen Faktoren stark von der Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft der Beschäftigten ab. Es ist daher wichtig zu verstehen, welche Faktoren diese beeinflussen, wenn Exoskelette in Unternehmen eingesetzt werden. Der vorliegende Beitrag liefert diesbezüglich Erkenntnisse beim Langzeiteinsatz von Exoskeletten und identifiziert Aspekte, die bei ihrem Einsatz zu beachten sind.

Eine ergonomische Gestaltung von Arbeit soll unter anderen Risikofaktoren für Muskel- und Skeletterkrankungen wie manuelle Lastenhandhabung, repetitive Tätigkeiten oder statische

Muskelbeanspruchungen reduzieren und ihr arbeitsbedingtes Auftreten minimieren [1]. Die Schaffung eines angemessenen Gleichgewichts zwischen den Anforderungen der Arbeit und den

DIE AUTOR*INNEN



Julia Riemer
ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Fachgruppe „Human Factors, Ergonomie“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.



Dr. Sascha Wischniewski
leitet die Fachgruppe am Standort Dortmund.

Fähigkeiten von Beschäftigten steht dabei im Vordergrund mit dem Ziel, die Arbeitsbedingungen an die Fähigkeiten der Beschäftigten anzupassen [2]. In Berufsfeldern mit häufigen Veränderungen in der Produktion stoßen Anpassungen jedoch gelegentlich an Grenzen [3]. In derartigen Szenarien können Exoskelette eine Möglichkeit darstellen, körperliche Entlastung bei manuellen Arbeitsaufgaben zu bieten. Nach § 4 ArbSchG sind Gesundheitsgefahren an ihrer Quelle zu bekämpfen und individuelle Schutzmaßnahmen wie Exoskelette nachrangig zu anderen Maßnahmen zu ergreifen (vgl. S-T-O-P-Prinzip). Des Weiteren entscheidet der Verwendungszweck des Exoskeletts, ob es als technisches Hilfsmittel, Medizinprodukt oder persönliche Schutzausrüstung einzustufen ist [4] und damit auch maßgeblich, welche sicherheitstechnischen Anforderungen es zu erfüllen hat und an welcher Stelle es in der Arbeitsschutzhierarchie zu berücksichtigen ist. Sollte ein Exoskelett beispielsweise als medizinisches Hilfsmittel bei der beruflichen Wiedereingliederung eingesetzt werden, muss es auch den sicherheitstechnischen Anforderungen eines Medizinproduktes entsprechen [4].

Die Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft der Beschäftigten für den Einsatz von Exoskeletten stellen eine entscheidende Voraussetzung für eine Einführung der Systeme dar und können durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden [5]. Dazu zählen psychosoziale Faktoren, z.B. wahrgenommene Nützlichkeit [6] oder die generelle Einstellung gegenüber Exoskeletten [7]. Aber auch physiologische Faktoren wie z.B. Discomfort [8] oder Bewegungseinschränkungen durch das Exoskelett [9] spielen eine wichtige Rolle. Dabei kann die kontinuierliche Begleitung des Einsatzes und Optimierung dieser Faktoren eine langfristige Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft von Exoskeletten am Arbeitsplatz fördern [5].

Dieser Beitrag beschreibt Ergebnisse der im Rahmen des Projektes F2466 „Ergonomische Bewertung von Exoskeletten in der Arbeitswelt“ durchgeführten Langzeit-Erhebungen und die daraus ermittelten Faktoren. Dabei wurden Arbeitsschutzexpertinnen und -experten, die in ihren Unternehmen für die Betreuung von 50–400 potenziellen Exoskelett-Nutzenden verantwortlich sind (Tabelle 1), über den Zeitraum von einem Jahr begleitet und regelmäßig zum Exoskelett-Einsatz im jeweiligen Betrieb befragt. In den untersuchten Unternehmen kamen sowohl passive Exoskelett-Systeme als auch Soft-Exoskelette zum Einsatz, die jeweils rückenunterstützend wirken. Exoskelette werden als am Körper getragene Assistenzsysteme definiert, die mechanisch auf den Körper einwirken [10] und Körperhaltungen und -kräfte unterstützen. Passive Exoskelette sind durch starre, kraftübertragende Strukturen gekennzeichnet, während Soft-Exoskelette häufig aus elastischen Stoffen, Textilien, Seilzügen und/oder pneumatischen Elementen gefertigt sind. Letztere sind leicht und können unter der Kleidung getragen werden [11]. In den Unternehmen der Expertinnen und Experten waren zwischen zwei und fünf Exoskelette unterschiedlicher Hersteller vorhanden, die von den Mitarbeitenden an ihren Arbeitsplätzen genutzt werden konnten.

Eine vielversprechende Kennzahl zur Messung der Nutzungsbereitschaft ist die tägliche freiwillige Nutzungsdauer der Exoskelette durch die Beschäftigten. Die Nutzung von Exoskeletten erfolgte in allen Betrieben auf freiwilliger Basis und folgt damit den derzeitigen Empfehlungen der S2k-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin [12].

In Abbildung 1 werden die durchschnittlichen Stunden pro Tag dargestellt, in denen die Beschäftigten das Exoskelett nach Angaben der Expertinnen und Experten während des einjährigen

Experte	Exoskelett	Anwendungsfall
A	Passives Exoskelett	Fertigung: Im Bereich der Flugzeugteileherstellung werden die Exoskelette eingesetzt, um den Transport von Blechen und Montageblechen unterschiedlicher Größen zu unterstützen. Das Gewicht der Teile liegt bei maximal 2 kg, und der Transport erfolgt etwa 3–4-mal pro Minute mit Pausen.
B	Passives Exoskelett	Baugewerbe: Im Bereich des Gleisbaus und bei Betonarbeiten werden Exoskelette eingesetzt, wenn Schienen im Knien mit kontinuierlicher Rumpfbiegung betoniert werden.
C	Soft-Exoskelett	Logistik: Bei einem Logistikdienstleister werden Exoskelette für das Verpacken und Kommissionieren von Teilen und Kartons (1–2 kg) eingesetzt. Diese Tätigkeiten werden mehrere hundert Mal pro Tag durchgeführt.
D	Soft-Exoskelett	Pflege: Die Exoskelette werden in der täglichen Pflege eingesetzt, insbesondere beim Transport und Transfer von Bewohnern, zum Beispiel vom Bett zur Toilette oder zum Rollstuhl. Diese Aufgaben erfordern häufiges Anheben und Bewegen von Personen.

Tab. 1: Verwendete rückenunterstützende Exoskelett-Modelle und ihre Anwendungsfälle.

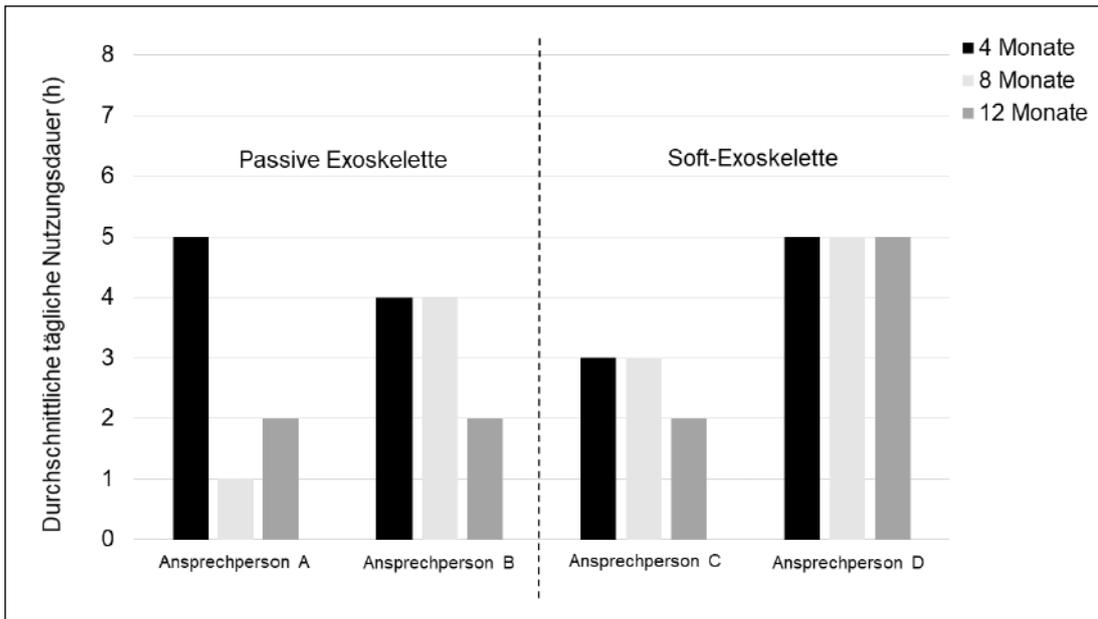


Abb. 1: Durchschnittliche tägliche Nutzungsdauer der Exoskelette nach Experten (eigene Darstellung).

Erhebungszeitraums genutzt haben. Die Daten zeigen, dass die berichtete durchschnittliche tägliche Nutzung mit zunehmenden Nutzungstagen abnimmt. Zu Beginn der Erhebung wurde eine tägliche Nutzungsdauer von 3–5 Stunden verzeichnet, doch im Laufe des Jahres nahm die Nutzungsdauer, insbesondere bei den Beschäftigten, die passive Exoskelette verwendeten (Angaben von Ansprechperson A und B), deutlich ab. Bei den Unternehmen, die Soft-Exoskelette einsetzen, war hingegen ein geringerer Rückgang der täglichen Nutzungsdauer von ≤ 1 Stunde über den Jahresverlauf zu beobachten (Ansprechperson C), und bei Ansprechperson D blieb die Nutzungsdauer während des gesamten Umfragezeitraums konstant.

Aus den weiteren Angaben der Expertinnen und Experten lassen sich verschiedene Faktoren ableiten, die zu der abnehmenden Nutzungsbereitschaft und Akzeptanz der Beschäftigten bei längerfristiger Nutzung von Exoskeletten am Arbeitsplatz beitragen. Zu diesen Faktoren gehören unter anderem der Tragekomfort, die individuelle Anpassung an den Körperbau, Hygienebedenken und die Verfügbarkeit der Exoskelette.

Beeinträchtigung bei Arbeitsaufgaben

Exoskelette werden meist für eine spezifische Arbeitsaufgabe entwickelt, wobei rückenunterstützende Modelle vor allem bei Aktivitäten wie Heben oder statischer Vorbeugung eingesetzt werden können [13]. Passive Exoskelette sind dabei weniger flexibel und behindern die Nutzenden bei anderen Arbeitstätigkeiten außerhalb der spezifischen Arbeitsaufgabe, vor allem dann, wenn diese Beuge- und Rotationsbewegungen erfordern. Deshalb führen passive Exoskelette in

den teilnehmenden Betrieben häufig zu einer Einschränkung der Bewegungsfreiheit, die auch die Sicherheit der Beschäftigten beeinflussen kann. So haben einige Beschäftigte bei der Nutzung von passiven Exoskeletten Bedenken, ihre Kolleginnen und Kollegen in engen Räumen versehentlich zu stoßen, beispielsweise auf Hebebühnen, und so Verletzungen hervorzurufen. In Arbeitsumgebungen, in denen Arbeitsaufgaben variieren, müssen passive Exoskelette daher mehrmals pro Schicht an- und abgelegt werden. Dieser zusätzliche Aufwand führt zu einer geringeren Akzeptanz und verringerten Bereitschaft der Beschäftigten, passive Exoskelette zu verwenden.

Im Gegensatz dazu zeigen Soft-Exoskelette in anderen Arbeitsaktivitäten als der vorgesehenen Aufgabe weniger Nachteile. Sie bieten den Beschäftigten in den Betrieben der Expertinnen und Experten aufgrund ihrer flexibleren Struktur eine größere Bewegungsfreiheit und haben weniger Einschränkungen in Beuge- oder Rotationsbewegungen. So werden nur geringfügige Einschränkungen beim Sitzen berichtet, insbesondere bei Soft-Exoskeletten mit einem größeren Rückenaufbau. Die Nutzungsbereitschaft ist jedoch insgesamt so groß, dass einige Mitarbeitende die Soft-Exoskelette sogar während ihrer Pausen anbehalten und sie erst am Ende der Schicht ablegen.

Verfügbarkeit und Anpassung

Die begrenzte Verfügbarkeit von Exoskeletten in den untersuchten Betrieben stellt ein Hindernis für ihre breite Anwendung und Akzeptanz dar. Denn in vielen Unternehmen reicht die Anzahl der vorhandenen Exoskelette nicht aus, um jeder/m Beschäftigten ein eigenes System zur Verfügung

zu stellen, wie auch die von uns befragten Expertinnen und Experten bestätigten. Ein Teilen der Exoskelette zwischen den Beschäftigten ist jedoch mit verschiedenen Herausforderungen verbunden: So ist vor der Nutzung eines Exoskeletts eine individuelle Anpassung und Einstellung des Systems an den Körper des Beschäftigten erforderlich, um den Tragekomfort und die Effektivität des Exoskeletts zu gewährleisten. Dieser Prozess kann zeitaufwändig sein und die Nutzungsbereitschaft der Beschäftigten beeinflussen. Er führt außerdem dazu, dass Exoskelette vor allem an den Arbeitsplätzen genutzt werden, an denen sie bereits etabliert sind. Für neue Aktivitäten hingegen werden sie möglicherweise nicht mehr in Betracht gezogen, da der Anpassungsaufwand als zu zeitintensiv empfunden wird.

Ein weiterer Aspekt, der die Akzeptanz der Exoskelette beeinflusst, sind hygienische Bedenken bei der Nutzung eines Exoskeletts durch mehrere Beschäftigte. Dies betrifft Umgebungen, in denen Mitarbeitende Schmutz, Staub oder anderen Verunreinigungen ausgesetzt sind. Jedoch äußern Beschäftigte nach Angaben der Expertinnen und Experten auch Bedenken in Bezug auf Schweißbildung und Geruchsentwicklung, wenn verschiedene Beschäftigte dasselbe Exoskelett nutzen. Da einige Modelle keine einfache Austauschbarkeit der Pads ermöglichen und eine effektive Reinigung und Desinfektion einen zusätzlichen Zeitaufwand erfordert, wird die Frage der Hygiene zu einem entscheidenden Faktor, der einige Beschäftigte dazu veranlassen kann, die Nutzung von Exoskeletten abzulehnen.

Schlechter Tragekomfort

Der Tragekomfort von Exoskeletten spielt nach wie vor eine entscheidende Rolle für ihre Akzeptanz [14], dies wird auch von den Befragten hervorgehoben. Insbesondere bei passiven Exoskeletten klagen deren Beschäftigte häufig über Druckstellen und Unannehmlichkeiten im Brustbereich, an den Schultern, den Hüften und den Beinschalen. Im Gegensatz dazu erhalten Soft-Exoskelette in den Betrieben im Allgemeinen positive Rückmeldungen in Bezug auf den Tragekomfort. Sie verursachen weniger Beschwerden und begünstigen weniger Scheuerstellen. Jedoch wurde für beide Exoskelett-Modelle festgestellt, dass die Passform der Exoskelette für bestimmte Mitarbeitende unzureichend ist, was die Nutzungsbereitschaft dieser Beschäftigtengruppen stark reduziert. Dies betrifft z.B. Mitarbeitende mit einem größeren Bauchumfang, aber auch kleine und zierliche Personen, an deren Größe die Strukturen am Rücken und an den Hüften häufig schwer anpassbar sind, wie auch in der Literatur beschrieben wird [15].

Auch die Umgebungsbedingungen der teilnehmenden Betriebe spielen eine erhebliche Rolle für den Tragekomfort von Exoskeletten. Bei hohen Außentemperaturen und Wärme kommt es verstärkt zu Schweißbildung unter dem Exoskelett. Die Feuchtigkeit kann zu Scheuerstellen und Reibungsschmerzen führen, besonders an den Stellen, an denen das Exoskelett eng am Körper anliegt. In den Wintermonaten kann der Komfort bei der Verwendung der Exoskelette im Freien oder in unbeheizten Umgebungen ebenfalls beeinträchtigt sein. Denn insbesondere passive Exoskelette, die über der Kleidung getragen werden müssen, bieten bei winterlicher Kleidung einen geringeren Tragekomfort. Diese Herausforderungen verdeutlichen, dass bei der Entwicklung von Exoskeletten neben der Funktionalität und Effektivität auch der Tragekomfort berücksichtigt werden muss.

Fazit

Exoskelette stellen einen Technologieansatz dar, um die physische Ergonomie in verschiedenen Arbeitsbereichen zu verbessern. Die Integration von Exoskeletten als personenbezogene Maßnahme zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen erfordert dabei eine ganzheitliche Betrachtung und einen umfassenden Ansatz, insbesondere in Bezug auf Verfügbarkeit, Anpassung und Tragekomfort, um eine langfristige Nutzungsbereitschaft und Akzeptanz der Beschäftigten zu gewährleisten.

Die begrenzte Verfügbarkeit durch die geringe Anzahl von Exoskeletten für alle Beschäftigten in den Unternehmen stellt ein Hindernis für ihre breite Anwendung und Akzeptanz dar. Unternehmen müssen sorgfältig abwägen, welche Arbeitsplätze und Tätigkeiten am meisten von den Vorteilen eines Exoskeletts profitieren können. Eine erhöhte Verfügbarkeit von Exoskeletten in Unternehmen und eine Optimierung des Anpassungsprozesses sind notwendig, um die Nutzungsbereitschaft der Beschäftigten zu verbessern.

Der Tragekomfort von Exoskeletten spielt eine entscheidende Rolle für ihre Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft der Beschäftigten. Die individuelle Anpassung an die Körpermaße und Bedürfnisse der Nutzenden sowie die Verwendung von atmungsaktiven Materialien sind wichtig, um den Tragekomfort zu verbessern. Es ist zudem entscheidend, dass Exoskelette in der Lage sind, unterschiedlichen Umgebungsbedingungen gerecht zu werden, um unangenehme Auswirkungen von Temperatur und Feuchtigkeit zu minimieren. Durch diese Maßnahmen kann der Tragekomfort erhöht werden. Es ist zu beachten, dass der Tragekomfort auch individuell wahrgenommen wird und von den persönlichen Präferenzen und Bedürfnissen der Benutzer abhängt. Daher

sollten Unternehmen bei der Auswahl und Implementierung von Exoskeletten die Anforderungen der Benutzer sorgfältig berücksichtigen, um den bestmöglichen Tragekomfort zu gewährleisten.

Eine einfache Reinigung und Desinfektion der Exoskelette nach der Nutzung sind von großer Bedeutung, um hygienische Standards zu erfüllen und Bedenken auszuräumen. Die Entwicklung von leichteren, flexibleren und einfach zu reinigenden Materialien kann dazu beitragen, hygienische Bedenken zu mindern. Zusätzlich sollten Schulungen und Informationen bereitgestellt werden, um den Beschäftigten die Vorteile und die korrekte Nutzung der Exoskelette zu vermitteln. Auf diese Weise können Unternehmen die Akzeptanz und Anwendung von Exoskeletten verbessern und damit einen Beitrag zur Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter am Arbeitsplatz leisten. Dabei sollte jedoch stets die Maßnahmenhierarchie nach § 4 ArbSchG berücksichtigt und die Implementierung der Technologie eng begleitet werden, da Langzeitfolgen von Exoskeletten zum aktuellen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden können [12]. ■

LITERATUR

- [1] Epstein, S., Sparer, E. H., Tran, B. N., Ruan, Q. Z., Dennerlein, J. T., Singhal, D., & Lee, B. T. (2018). Prevalence of work-related musculoskeletal disorders among surgeons and interventionalists: a systematic review and meta-analysis. *JAMA surgery*, 153(2), e174947-e174947.
- [2] Luttmann, A., Jäger, M., Griefahn, B., Coffier, G., & Liebers, F. (2003). Preventing musculoskeletal disorders in the workplace. World Health Organization.
- [3] Alabdulkarim, S., & Nussbaum, M. A. (2019). Influences of different exoskeleton designs and tool mass on physical demands and performance in a simulated overhead drilling task. *Applied ergonomics*, 74, 55–66
- [4] Schick, R. (2018). Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68(5), 266–269.
- [5] Elprama, S. A., Vanderborght, B., & Jacobs, A. (2022). An industrial exoskeleton user acceptance framework based on a literature review of empirical studies. *Appl Ergon*, 100, 103615.
- [6] Cha, J. S., Monfared, S., Stefanidis, D., Nussbaum, M. A., & Yu, D. (2020). Supporting Surgical Teams: Identifying Needs and Barriers for Exoskeleton Implementation in the Operating Room. *Human Factors*, 62(3), 377–390.
- [7] Maurice, P., Čamernik, J., Gorjan, D., Schirrmeister, B., Bornmann, J., Tagliapietra, L., Latella, C., Pucci, D., Fritzsche, L., Ivaldi, S., & Babic, J. (2019). Objective and subjective effects of a passive exoskeleton on overhead work. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(1), 152–164.
- [8] Luger, T., Bär, M., Seibt, R., Rieger, M. A., & Steinhilber, B. (2023). Using a back exoskeleton during industrial and functional tasks – Effects on muscle activity, posture, performance, usability, and wearer discomfort in a laboratory trial. *Human Factors*, 65(1), 5–21.
- [9] Hensel, R., Keil, M., Mücke, B., & Weiler, S. (2018). Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. *ASU Zeitschrift für medizinische Prävention*, 53, 654–661.
- [10] Liedtke, M., & Glitsch, U. (2018). Exoskelette – Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, 110–113.
- [11] De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59(5), 671–681.
- [12] Steinhilber, B., Luger, T., Schwenkreis, P., Middeldorf, S., Bork, H., Mann, B., von Glinski, A., Schildhauer, T. A., Weiler, S., Schmauder, M., Heinrich, K., Winter, G., Schnalke, G., Frener, P., Schick, R., Wischniewski, S., & Jäger, M. (2020). Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 74(3), 227–246
- [13] Peters, M., & Wischniewski, S. (2019). The impact of using exoskeletons on occupational safety and health. *European Agency for Safety and Health at Work*, 1–10.
- [14] Schwerha, D. J., McNamara, N., Nussbaum, M. A., & Kim, S. (2021). Adoption potential of occupational exoskeletons in diverse enterprises engaged in manufacturing tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 82, 103103.
- [15] Riemer, J., & Wischniewski, S. (2022). Study on multivariate analysis of anthropometric measures for upper body exoskeletons using archetypal analysis. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 7(3-4), 262–274.