



IFA

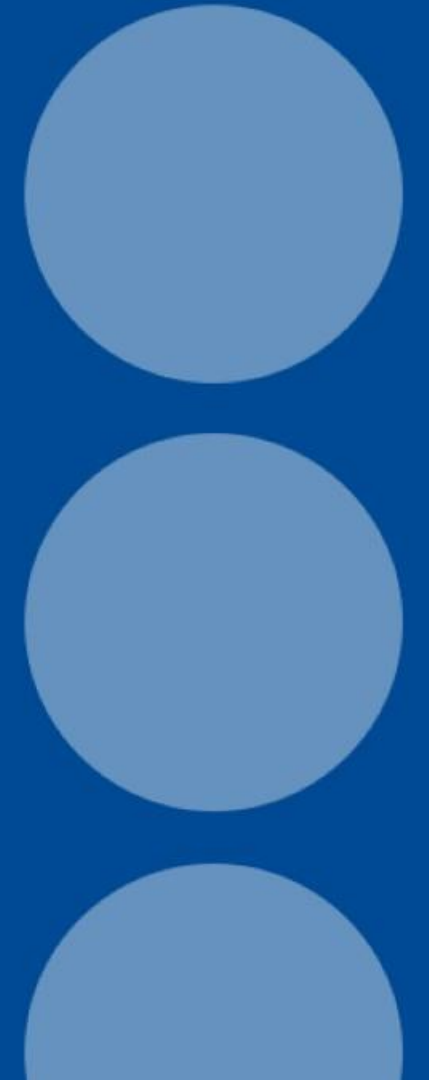
Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Reduktion akuter arbeitsbedingter körperlicher Belastung: Exoskelette in der Arbeitswelt

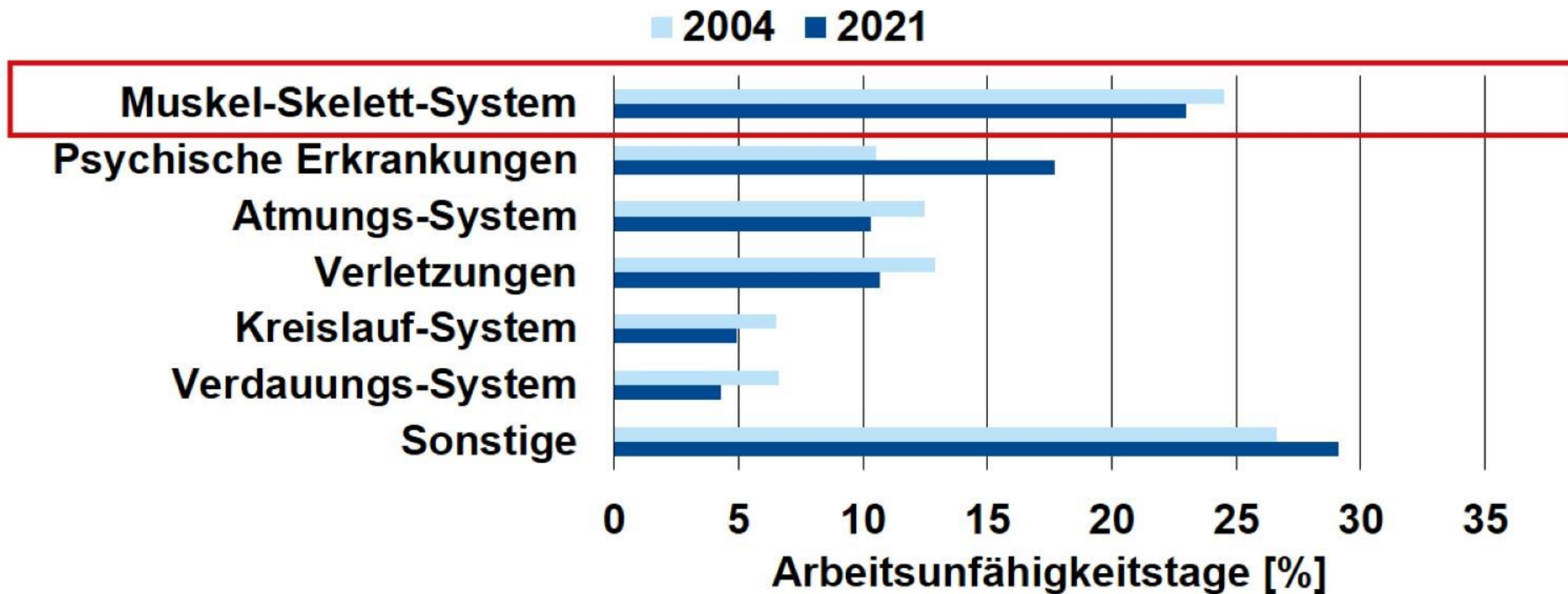
- Hoffnung oder Illusion?

4. Dreiländertagung BGF 2023

Kai Heinrich, 25.04.2023



Ursache von Arbeitsunfähigkeitstagen



(nach BMAS und BAuA 2006 & 2022)

Definition: Exoskelett



(Angela Schwarz, CC BY-SA 3.0)

altgriechisch:

ἔξω (éxō)

= außerhalb

σκελετός (skeletós)

= Gerippe/Gerüst

→ **außen am Körper anliegendes stabilisierendes Gerüst**

→ Exoskelett

Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken.

(Schick, 2018)

Exoskelette

Mobilität & Training



Rehabilitation

(Jan Pauls/BG Kliniken Bergmannstrost Halle (Saale))

Funktionalität & Lebensqualität



Prothetik

(Michael Schwartz/MSSP)

Überlastungsschutz



Prävention

(Hermes)

Performance Enhancement



Militär(!)/Sport(?)

(jurvetson/CC BY-NC-SA 2.0) (Andreas Joneck/DBS)

Exoskelette

Passive

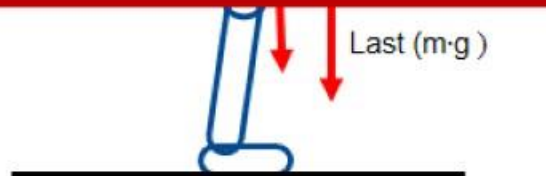
- energie
- z.B. Fe

ponenten
motoren

Ziel:
Reduktion der
Muskel-Skelett-Belastungen



(Hermes)

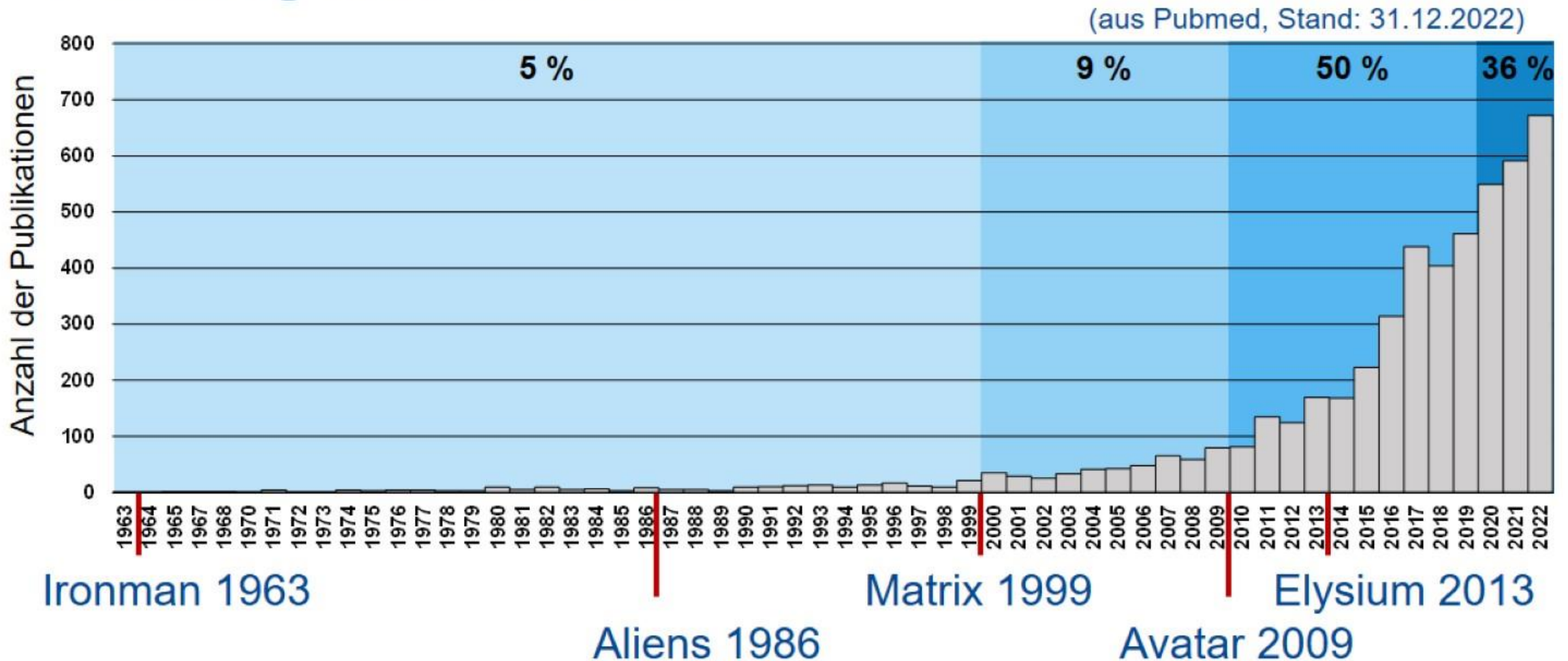


(Glitsch et al. 2019)



(DGUV/IFA)

Hoffnung oder Illusion?



grundsätzliche Fragen

biomechanisches Wirkprinzip

- mechanischen Eigenschaften
- funktionelle Wirksamkeit



(Airbus Defence & Space GmbH, 2021)

(vgl. Heinrich et al. 2022)

biomechanisches Wirkprinzip – Anheben einer Last

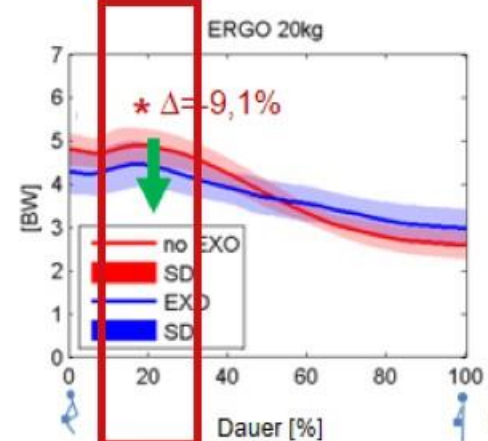
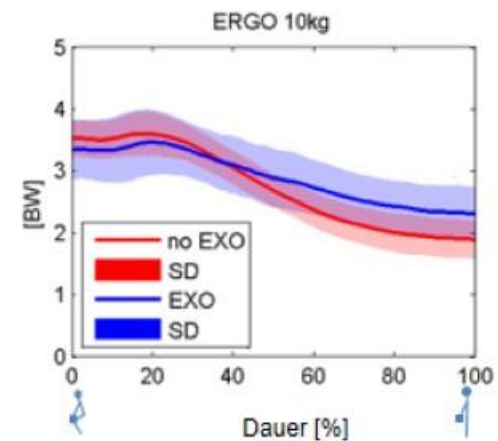
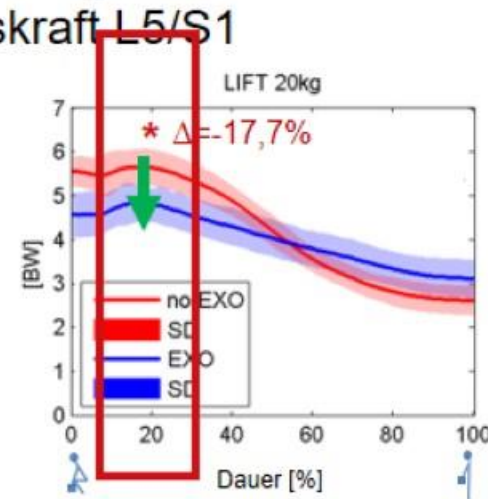
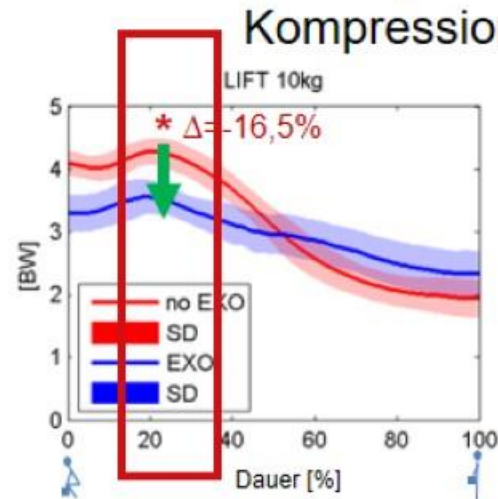
Tiefe Ausgangslage
($h_0 \approx 0,4 \text{ m}$)



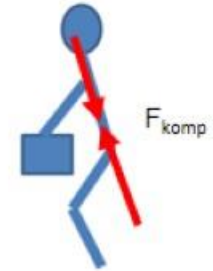
Ergonomische Ausgangslage
($h_0 \approx 0,6 \text{ m}$)



¹ BW: Bodyweight



(n=12)
* $p < 0.05$



(DGUV/IFA)

(nach Bäuerle 2018)



(modifiziert nach Gray 1918)

aktueller Stand der Forschung - Labor

individuelle positive Effekte nachgewiesen (de Looze et al. 2016)

- Kräfte/Momente: ↓ Ziel-Körperregion (u.a. Johns 2020; Kermavnar et al., 2021, Weber et al. 2022)
- Muskelaktivität: ↓ Ziel-Körperregion (u.a. Maurice et al. 2019; Glitsch et al. 2020, Weber et al. 2022)
- Durchblutung: ↑ Ziel-Körperregion (u.a. Weston et al. 2021; Kaufmann et al. submitted)

- Belastung: z. T. ↑ Neben-Körperregion (u.a. Theurel et al. 2018; Alabdulkarim et al. 2019; Bär et al. 2022)

→ Trend:

kurzzeitige Reduktion der Muskel-Skelett-Belastung ↓

grundsätzliche Fragen

biomechanisches Wirkprinzip

- mechanischen Eigenschaften
- funktionelle Wirksamkeit

präventive Wirksamkeit

- Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen
- präventive Wirkung



(Airbus Defence & Space GmbH, 2021)

(vgl. Heinrich et al. 2022)

präventive Wirksamkeit von Exoskeletten - Feld

loser Hinweis aus einem Interview (ohne Evidenz):

„Toyota (USA) hat schulterunterstützende Exoskelette bei Überschreitung einer Expositionsschwellenwerte verpflichtend eingeführt.“ (Selko 2019)

„Langzeitstudien“:

- wissenschaftliche Begleitung
Einsatz der Exoskelette über einen mind. mehrmonatigen Zeitraum
- Untersuchung der Ent- und Belastungen
Beanspruchungen bei exoskelettunterstützten Tätigkeiten
- Dokumentation
Entwicklung von Muskel-Skelett-Beschwerden/-Erkrankungen

Stand der Forschung - präventive Wirksamkeit

AWMF S2k-Leitlinie zum Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext

Z. Arb. Wiss. (2020) 74:227–246
<https://doi.org/10.1007/s41449-020-00226-7>

MITTEILUNGEN

Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden

Benjamin Steinhilber¹ · Tessa Luger¹ · Peter Schwenkreis² · Stefan Middeldorf³ · Hartmut Bork⁴ · Bernhard Mann⁵ · Alexander von Glinski⁶ · Thomas A. Schildhauer⁶ · Stephan Weiler⁷ · Martin Schmauder⁸ · Kai Heinrich⁹ · Gabriele Winter¹⁰ · Gerhard Schnalke¹¹ · Peter Frener¹² · Ralf Schick¹³ · Sascha Wischniewski¹⁴ · Matthias Jäger¹⁵

Online publiziert: 11. August 2020
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020

(Steinhilber et al. 2020)

aktuell keine Evidenz:

- Schulter, Kopf, Hals und Nacken
- Rumpf/Wirbelsäule
- Hüfte/Becken

siehe auch:

https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-046m_S2k_Exoskelette_2020-07.pdf

Kooperationsprojekt 2022/2023: Einfluss von Exoskelette auf MSB/MSE

- Pandemiebedingte Verzögerung!
- > 6 Monate, seit 11/2022
- Begleitung durch Betriebsmediziner
- 8 MA: „Schulter-Exoskelette“
- 8 MA: „Kontrollgruppe“



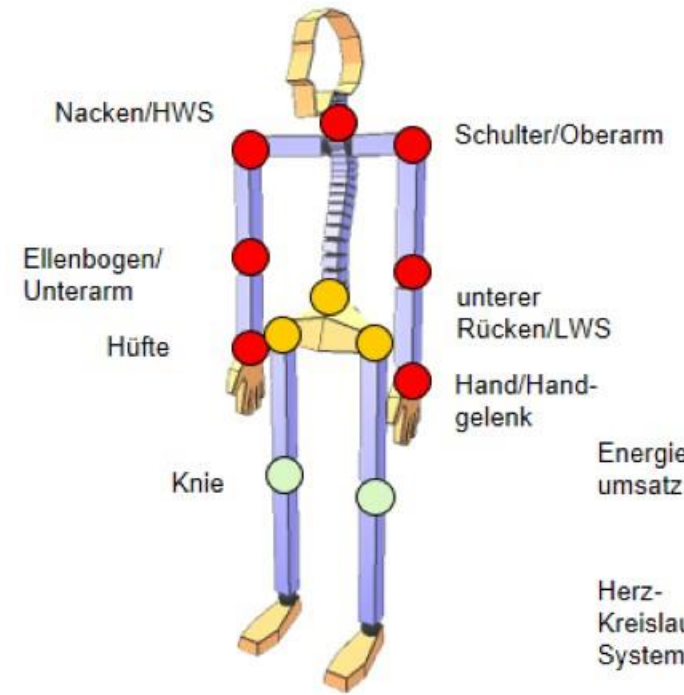
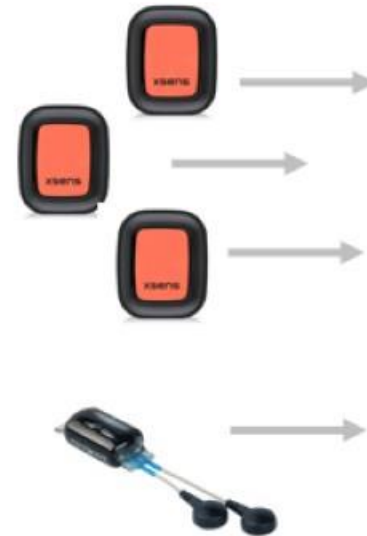
(Airbus Defence & Space GmbH, 2021)

CUELA Bewertungskonzept



(DGUV)

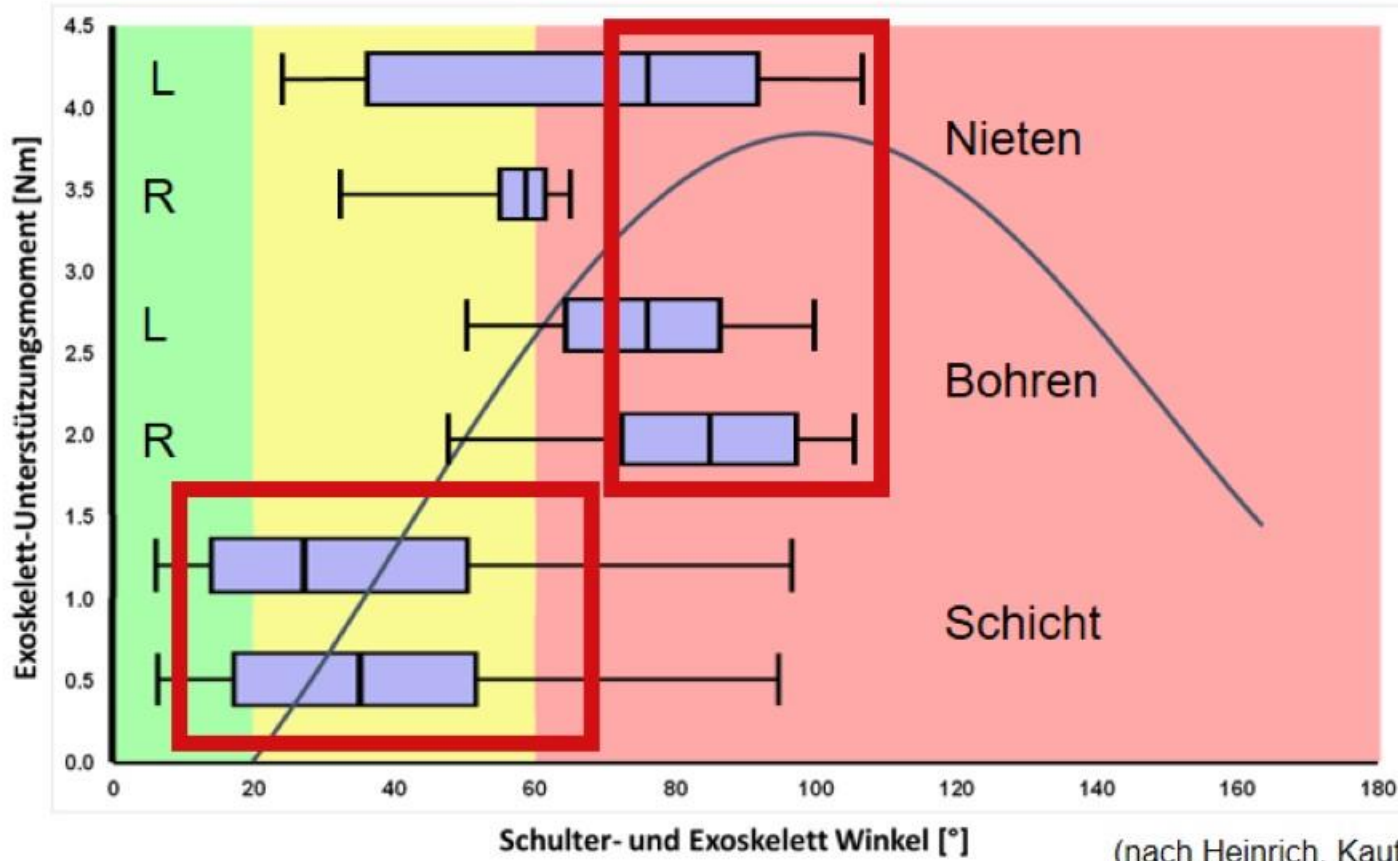
Bewegungs-Erfassung
 Elektromyographie
 (Herzfrequenz)
 Video
 Kraft
 ...



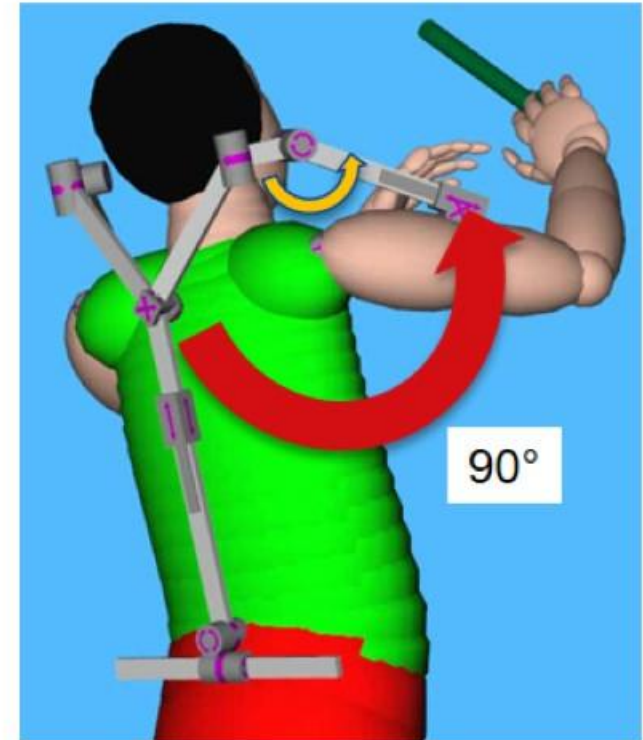
nach AMR 13.2

→ Körperregion-bezogene Bewertungsverfahren

aktueller Stand



(nach Heinrich, Kaufmann, Johns et al.)



(Heinrich 2016)

grundsätzliche Fragen

biomechanisches Wirkprinzip

- mechanische Eigenschaften
- funktionelle Wirksamkeit

präventive Wirksamkeit

- Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen
- präventive Wirkung

Anwendbarkeit

- Gefährdungsbeurteilung
- Zielgruppe, Umweltbedingungen

(vgl. Heinrich et al. 2022)

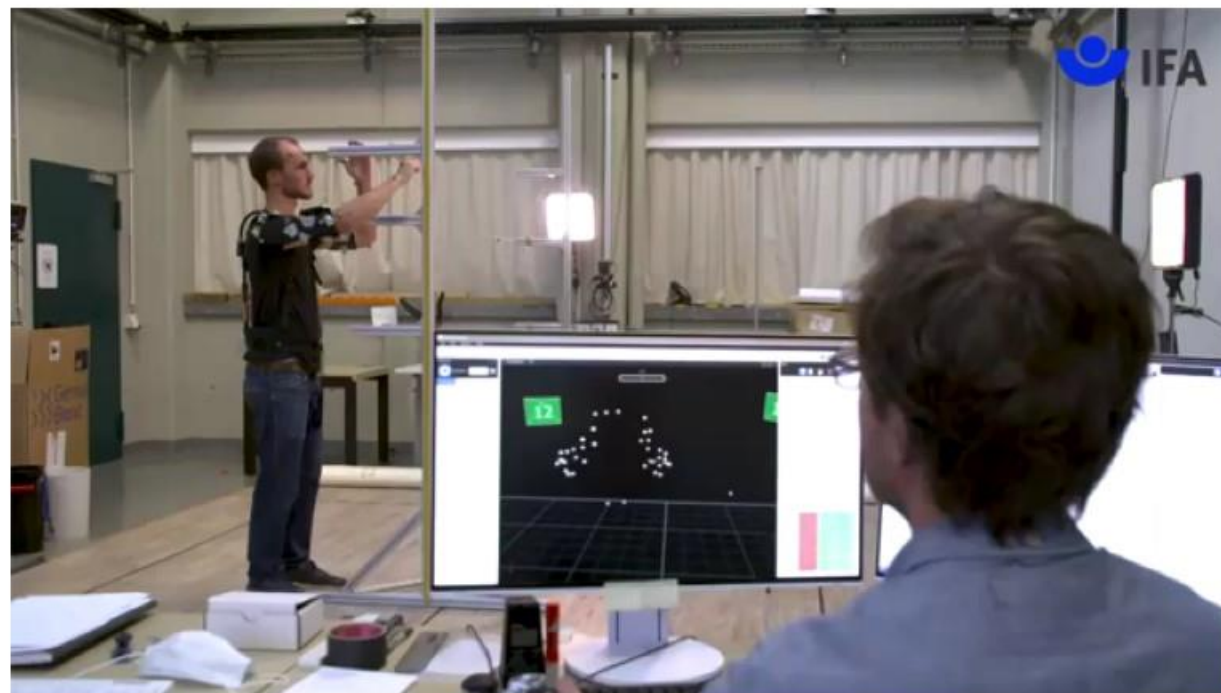


(Airbus Defence & Space GmbH, 2021)

Anwendbarkeit – Allgemeine Gebrauchstauglichkeit

Labortests:

- Parcours mit exoskelettaffinen Tätigkeiten
- Biomechanische Belastungsanalyse
- Allgemeine Tätigkeiten (Gehen, Sitzen, Bewegungsfreiheit, An/Ausziehen)

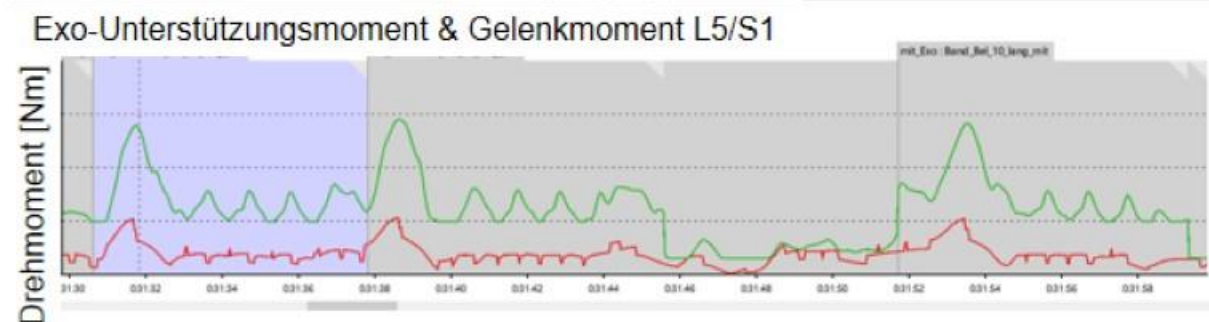


(DGUV)

Anwendbarkeit – Allgemeine Gebrauchstauglichkeit

Betriebliche Messung:

- Kontinuierliche Bewegungsmessung über ca. 2 h
- Detailliertes Tätigkeitsprotokoll
- Fragebogen zur subjektiven Belastungs- und Akzeptanzeinschätzung



(DGUV/IFA)



Gefährdungsbeurteilung

STOP

Notwendigkeit von Maßnahmen (z.B. Arbeitsmittel)?

→ weitere Gefährdungsbeurteilung:

1 Mechanische Gefährdungen

Mögliche Gefährdung	Situationen, Arbeitsabläufe oder Geräteteile, die diese Gefährdung hervorrufen können	Maßnahmen zur Verringerung oder Beseitigung der Gefährdung	Risiko-bewertung		Handlungs-bedarf?	
					Ja	Nein
Ungeschützte bewegte Teile	<p>Sind am Exoskelett ungeschützte bewegte Teile vorhanden? Wenn ja: Welche?</p> <p>Kann man beim Tragen des Exoskeletts an Gefahrstellen gelangen und verletzt werden?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quetschen von Händen oder Fingern • Erfassen von Kleidung oder Haaren • Scherstellen • Stoßen an großen Teilen <p>Können Gefahrstellen in besonderen Situationen oder Betriebszuständen entstehen (z. B. Reinigung, An- oder Ausziehen, Wechsel von Teilen des Exoskeletts)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Neuanschaffung auf sichere Geräte achten (Falls erforderlich: CE-Zeichen für Maschinenrichtlinie, EMV-Richtlinie, etc.; relevante Normen beachten) • Exoskelette ohne scharfe Kanten, Quetschstellen oder andere gefährliche Oberflächen einsetzen • Herstellerangaben zu Schutzeinrichtungen beachten • Schutzeinrichtungen auf ihre Wirksamkeit überprüfen • Gefahrstellen kennzeichnen 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bemerkung/Begründung						
Teile mit gefährlichen Oberflächen	<p>Können durch das Exoskelett Riss- oder Schnittverletzungen auftreten? Z. B. durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • scharfe Kanten, Spalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Angaben der Herstellfirma zu Alterung und Funktionsprüfungen für Exoskelett und Komponenten beachten 	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

https://www.dguv.de/medien/ifa/de/prax/ergonomie/gefaehrungsbeurteilung_exoskelette.pdf

(Liedtke, M.; Glitsch, U.; Heinrich, K.; Bömer, T.; Werner, C, 2020)

Zusammenfassung – Illusion?

- **Exoskelette**
 - greifen **komplex** in menschliche Bewegungsabläufe ein
- **positive (kurzfristige) Effekte** bei kinematischen, kinetischen und muskelphysiologischen Parametern **nachweisbar**
- **(noch) keine Evidenz** hinsichtlich
 - ... Symptomlinderung von MSB
 - ... Verhinderung arbeitsassoziierter MSE



(DGUV/IFA)

Zusammenfassung

Passive Exoskelette

- assistierende **Wirkung**
- bei bestimmten Tätigkeiten in **ergonomisch (sehr) ungünstigen Haltungen**
- **Unterstützen, aber Reduzieren NICHT die äußere Last**

Aktive Exoskelette

- größeren Aktivierungsspielraum
- **Unterstützungseffekt** in der Praxis **nicht größer**



(DGUV/IFA)

Bedeutung für die Praxis

- **Exoskelette besitzen das Potenzial zur Reduktion von MSB:**
beim Anheben von Lasten
bei Überschulter und Überkopfarbeit
bei Arbeit in (quasi) statischen Körperhaltungen
- **Hoffnung:**
in Zukunft könnten sie für ein größeres Feld an beruflichen Tätigkeiten
und verschiedene Gruppen von Beschäftigten eingesetzt werden

→ hoher Bedarf an Langzeitstudien

→ evidente Ergebnisse erst in 1-3 Jahren



IFA

Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit.**

Kai.Heinrich@dguv.de

