

Fakultät Maschinenwesen, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Professur für Arbeitswissenschaft

Einsatz von Exoskeletten

Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Dr.-Ing. Christiane Kamusella
Dipl.-Ing. Carolin Kreil

Inhalt

1. Einführung
2. Arten von Exoskeletten
3. Informationsquellen
4. Exoskelette in der Rechtssystematik
5. Gestaltung
6. Fazit und Ausblick

Exoskelette – Ähnliches gab es schon einmal



auch in der Industrie



Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext

Der Jungbrunnen von Lucas Cranach dem Älteren, 1546



1 Einführung

Was sind Exoskelette?

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

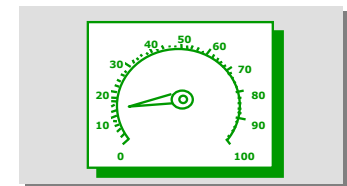
Exoskelette – neue Möglichkeiten der Unterstützung von Menschen



**Beanspruchungs-
reduktion**

Art der Unterstützung:

- Ermöglichen
- Verstärken
- Ergänzen
- Erleichtern
- Stabilisieren



**Leistungsunter-
stützung**

Inhalt

1. Einführung
- 2. Arten von Exoskeletten**
3. Informationsquellen
4. Exoskelette in der Rechtssystematik
5. Gestaltung
6. Fazit und Ausblick

6 Arten von Exoskeletten

Medizin

- Rehabilitation
- Ermöglichen von nicht mehr funktionierenden Bewegungen
- Unterstützungsapparat



Quelle: <https://www.rehatreff.de>



Militär

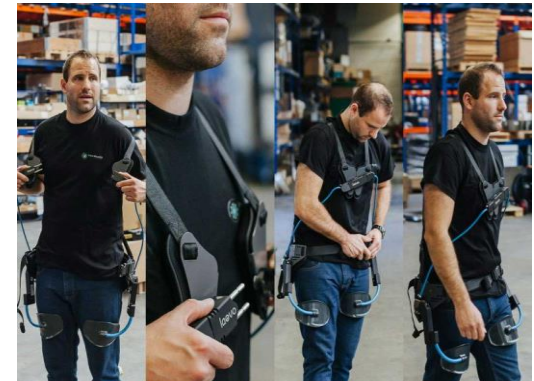
- Erhöhung der körpereigenen Kraft
- Handhabung von (schweren) Lasten



Quelle:
<https://peteredwards2012.wordpress.com/lockheed-martin-hulc/>

Industrie

- Handhabung von (schweren) Lasten
- gleichzeitige Verringerung der körperlichen Beanspruchung
- Körperzwangshaltung



Quelle: laevo exoskelet

6 Arten von Exoskeletten



„Mit dem FORTIS-Werkzeugarm können Bediener mühelos schwere Handwerkzeuge halten und so die Produktivität steigern, indem sie die Muskelermüdung reduzieren.“



Ganzkörper (passiv)

Beispiel: FORTIS Exoskeleton (Firma Lockheed Martin Corporation)
(<https://www.lockheedmartin.com/us/products/exoskeleton.html>)

Unterer Rücken (passiv)

Beispiel: Laevo V2.5 (Firma Laevo)
(<http://www.laevo.nl/>)

6 Arten von Exoskeletten



Arme/ Schulter (passiv)

Beispiel: Skelex 360 (Firma Skelex)
(<http://skel-ex.com/>)



Arme/ Schulter (passiv)

Beispiel: Paexo Shoulder (Firma Ottobock)
(<https://www.ottobock.com/de/unternehmen/ottobock-industrials/paexo/>)

6 Arten von Exoskeletten

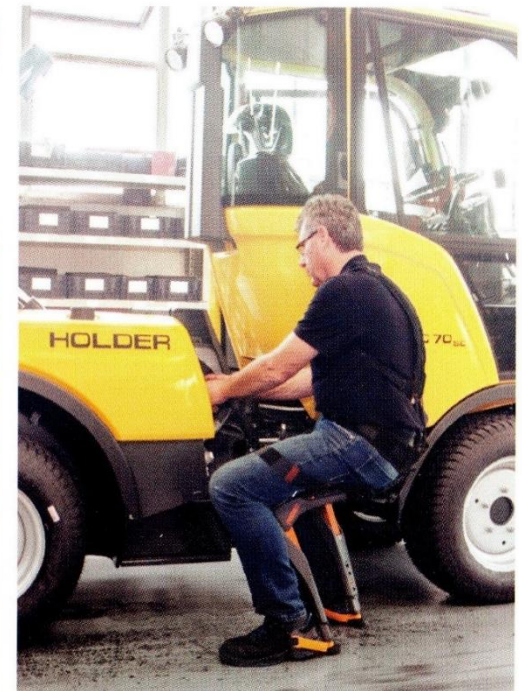


Beine (passiv)

Beispiel: Chairless Chair® (Firma Noonee)
(<https://www.noonee.com/>)



Ohne Chairless Chair®:
Eine anstrengende und ermüdende
Körperhaltung.



Mit Chairless Chair®:
Eine bequeme und entlastende
Körperhaltung.

6 Arten von Exoskeletten



Unterer Rücken (passiv)

Beispiel: CORFOR (<http://www.corfor.fr/>)



Unterer Rücken (passiv)

Beispiel: Softexo (<https://hunic.com/softexo-exoskelett-fur-die-logistik/>)

6 Arten von Exoskeletten



Hand (aktiv)

Beispiel: Carbonhand®
(<http://www.bioservo.com/healthcare/product-portfolio/carbonhand/>)



































Rumpf (aktiv)

Beispiel: Cray X (Firma German Bionic)
<https://www.germanbionic.com>



6 Bauarten Exoskelette

Bauart	Passiv	Aktiv																				
Energiezufuhr	Keine – Speicherung der Energie beim Beugen oder Aufrichten	Akku / Druckluft / Stromnetz																				
Funktionsweise	Mechanische Hilfsmittel (Feder-, Seil-, Dämpfungssysteme)  https://www.youtube.com/watch?v=Ug1AqMYdEUM	Elektrische, pneumatische oder hydraulische Antriebe  https://www.youtube.com/watch?v=zGmymin7d0o																				
Eigenschaften	Passive (Teil-) Unterstützung bei bestimmten Haltungen, Bewegungen und Lastenhandhabungen	Aktive (Teil- oder Voll-) Unterstützung bei bestimmten Haltungen, Bewegungen und Lastenhandhabungen																				
Unterstützte Körperregion	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arme</td> <td>Hände</td> <td>Beine</td> <td>Schultern</td> <td>Rumpf</td> </tr> </table>						Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arme</td> <td>Hände</td> <td>Beine</td> <td>Schultern</td> <td>Rumpf</td> </tr> </table>						Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf
																						
Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf																		
																						
Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf																		

Maschine
CE

Quelle: Fachbereich-Information FBHL-006, <http://www.dguv.de/medien/fb-handelundlogistik/pdf-dokumente/exoskelette.pdf>



A+A / Aussteller & Produkte / Alle Aussteller & Produkte 2023

AUSSTELLER & PRODUKTE AUF DER A+A 2023

Alle Aussteller & Produkte

Produktkategorien

Hallenplan



https://www.aplusa.de/vis/v1/de/search?oid=19004&lang=1&_query=Exoskelett

6 Chancen und Risiken Exoskelette

Chancen:

- Mensch weiterhin Handelnder
- Anpassung an wechselnde Umgebungen möglich
- Positive Effekte bzgl. physischer Belastung auf Rücken, Schulter und Armen
- Einsatzmöglichkeiten leistungsgewandelter Menschen könnten erhöht werden

Risiken:

- Kräfte werden nicht eliminiert sondern umgeleitet (Belastungen verlagern sich, Lastumverteilung)
- Erhöhte Aktivität anderer Muskeln bei Reduzierung der Rückenmuskelaktivität
- Aufgebrachten Druck verursacht lokalen Diskomfort (bspw. in Schultern, Oberschenkeln)
- Auswirkungen nach langer Exposition bisher unbekannt

Wo viel Licht ist, ist auch viel Schatten.



Inhalt

1. Einführung
2. Arten von Exoskeletten
- 3. Informationsquellen**
4. Exoskelette in der Rechtssystematik
5. Gestaltung
6. Fazit und Ausblick

3 Informationsquellen



Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette Version 1.1 – Entwurf

(Dokumentation gemäß § 6 Arbeitsschutzgesetz und

Fachbereich AKTUELL

FBHL-006



Sachgebiet Physische Belastungen

Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeits- plätzen



Forschungsergebnisse Projekt „Exo@work“ – Leitfaden zur Evaluation von Exoskeletten

3 Informationsquellen

[Die AWMF](#)

[Fachgesellschaften](#)

[Leitlinien](#)

[Forschung & Lehre](#)

[Medizin. Versorgung](#)

[Service](#)

[→ Home](#) [→ Leitlinien](#) [→ Detail](#)

[Leitlinien-Suche](#)

[Aktuelle Leitlinien](#)

[Angemeldete Leitlinien](#)

[Patienteninformation](#)

[Leitlinienprogramme](#)

[AWMF-IMWi](#)

[Leitlinien-Kommission](#)

[LL-Glossar](#)

[Interessenerklärung
Online](#)

[AWMF-Regelwerk](#)

[LL- Partner & Links](#)

Leitlinien



Leitlinien-Detailansicht

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

Registernummer 002 - 046

Klassifikation **S2k**

Stand: 31.05.2020 , gültig bis 30.05.2023

3 Informationsquellen



- Wirksamkeit / Nutzen
- Prüfverfahren
- Ergonomie / Usability
- Sicherheitsanforderungen (PSA)

Inhalt

1. Einführung
2. Arten von Exoskeletten
3. Informationsquellen
- 4. Exoskelette in der Rechtssystematik**
5. Gestaltung
6. Fazit und Ausblick

4 Exoskelette in der Rechtssystematik

Rechtskreise

Hersteller



Betreiber (Verwender)

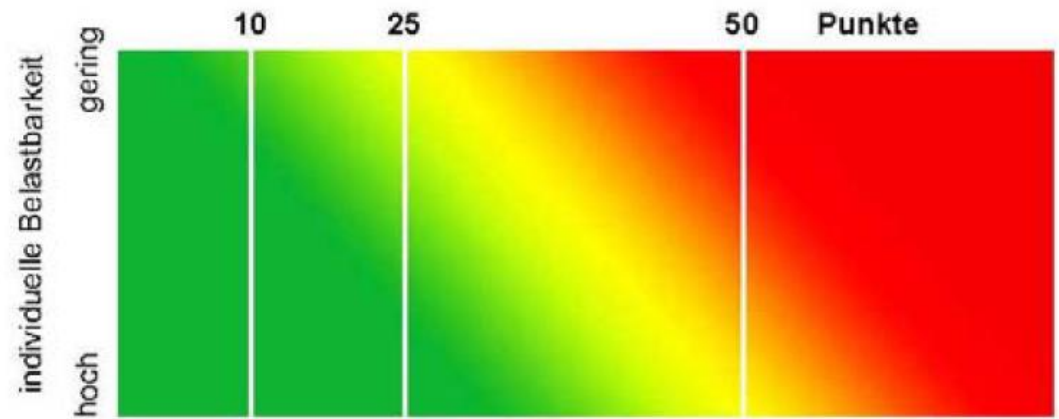
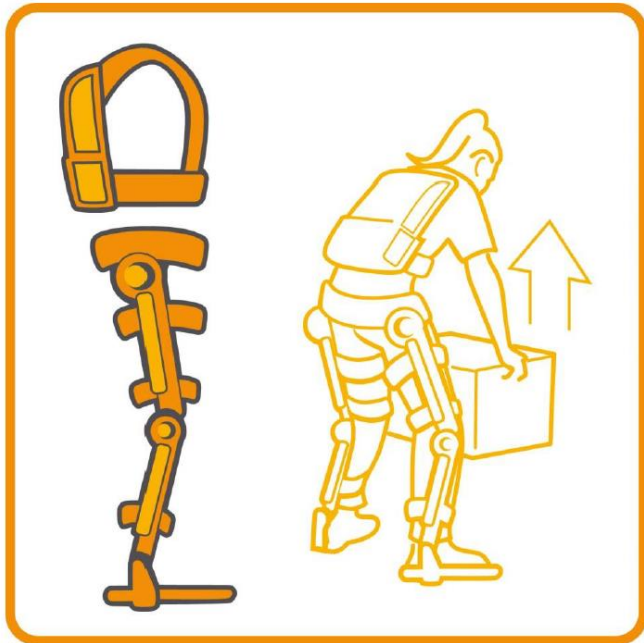


Inhalt

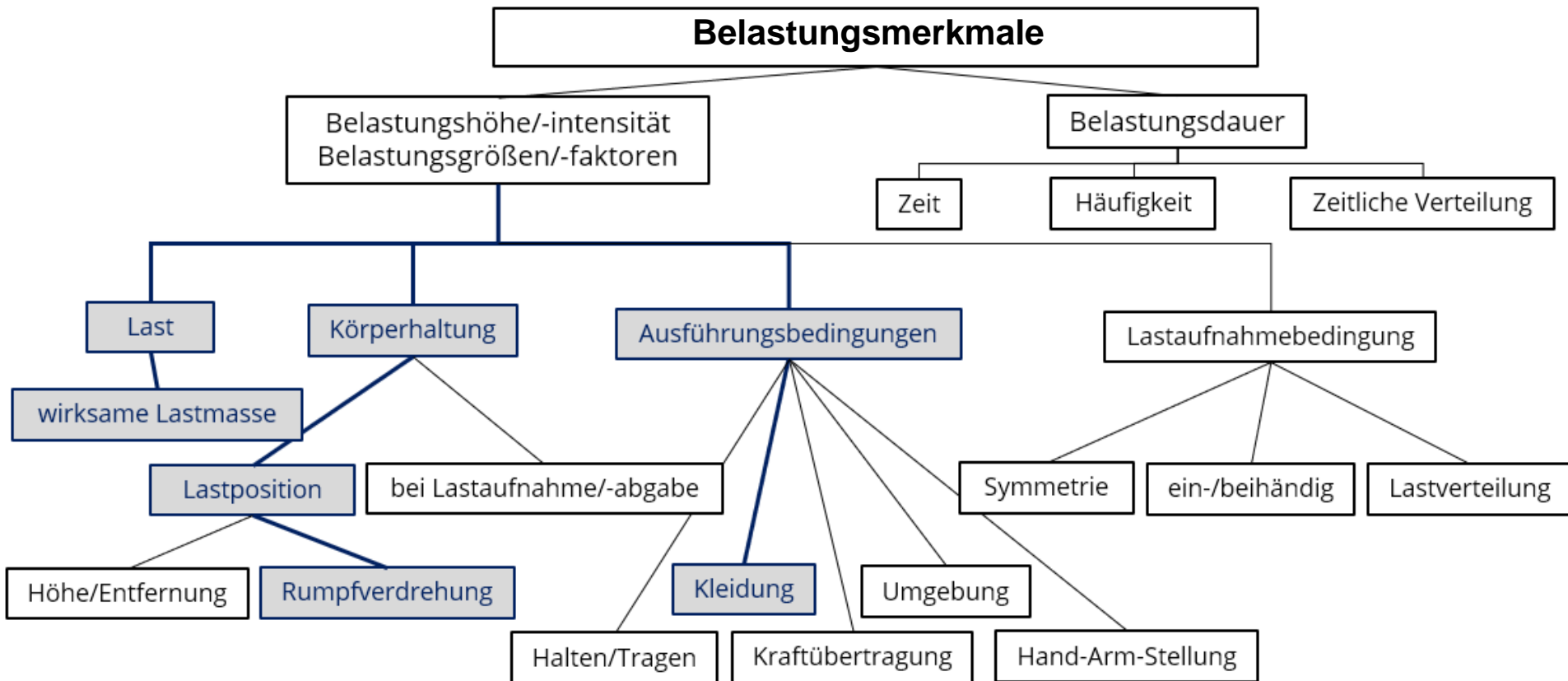
1. Einführung
2. Arten von Exoskeletten
3. Informationsquellen
4. Exoskelette in der Rechtssystematik
- 5. Gestaltung**
6. Fazit und Ausblick

5 Gestaltung: Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale

Wie wirken sich Exoskelette in der Gefährdungsbeurteilung mittels Leitmerkmalmethoden aus?



5 Gestaltung: Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale






5 Gestaltung: Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale

- **Körperhaltung:** durch am Körper befindliche Gurtbänder/Metallbügel Heben mit geradem Rücken; Verbesserung von Start- und Zielhaltung; Wirkung: Punktabbau.
- **Zusatzbedingungen für Körperhaltungen:** Rumpftorsion und Lastposition zum Körper verändern sich: Metallbügel/Brustpad verhindern körpernahes Führen der Last. Wirkung: Punktverschlechterung
Asymmetrie vermieden; Wirkung: Punktabbau.
- **Ausführungsbedingungen:** am Körper zu tragende Ausrüstung Exoskelett = Zusatzbelastung (Merkmal Kleidung). Wirkung: Punktverschlechterung

5 Gestaltung: Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale

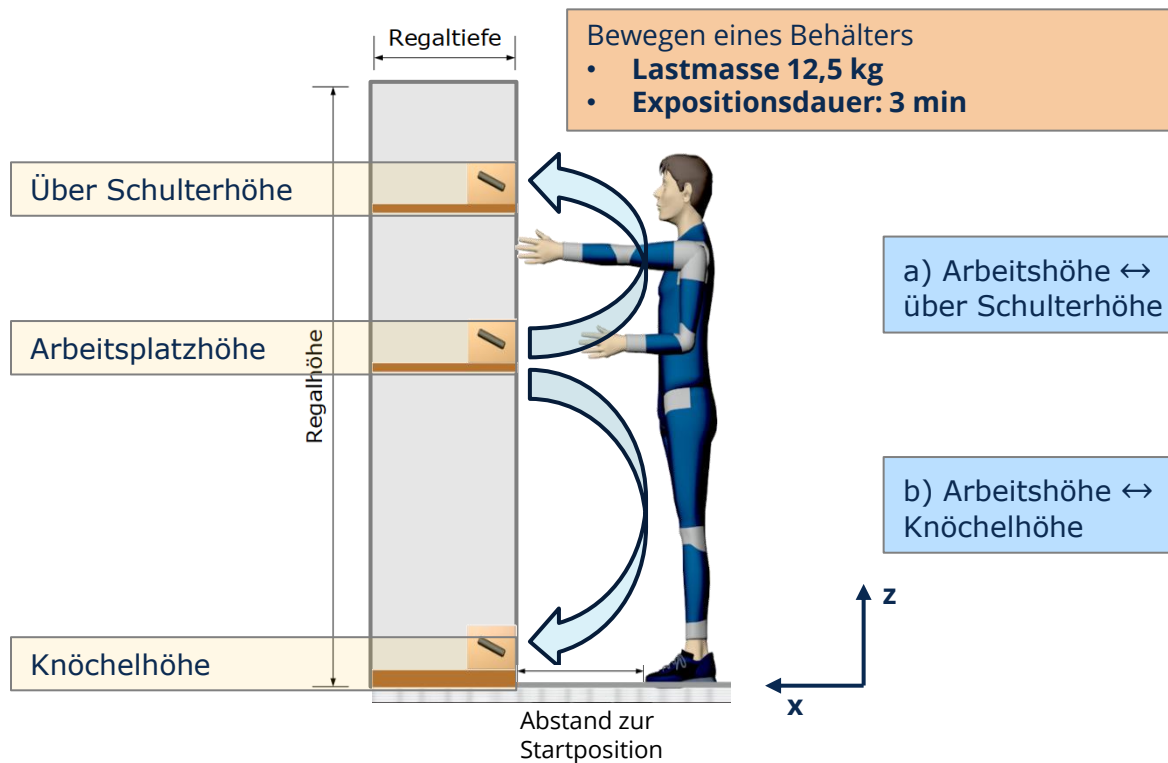
Relative Veränderung der lumbalen Gelenkmomente mit gegenüber ohne Exoskelettnutzung für die Phasen stark gebeugtes, leicht gebeugtes Anheben und aufrechter Stand

Lastmasse	10 kg	20 kg	10 kg	20 kg	10 kg	20 kg
Betrachtete Phase im Bewegungsverlauf für Hebetätigkeit	 Anheben unter Kniehöhe	 Anheben aus ca. Oberschenkelmitte	 Aufrechter Stand; Halten, Tragen			
Relative Veränderung des lumbalen Moments an L5-S1 bei Nutzung Exoskelett gegenüber ohne (Werte gerundet)	Reduktion -19%	Reduktion -20%	Reduktion -6%	Reduktion -11%	Erhöhung +24%	Erhöhung +32%
	signifikant			signifikant	signifikant	

aus Daten von: Glitsch et. al. (2020, S. 301)

Glitsch, U., Bäuerle, I., Hertrich, L., Heinrich, K., Liedtke, M. (2020): Biomechanische Beurteilung der Wirksamkeit von rumpfunterstützenden Exoskeletten für den industriellen Einsatz, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Volume 74, 294-305

• Geschwindigkeitsveränderung durch Exoskelette



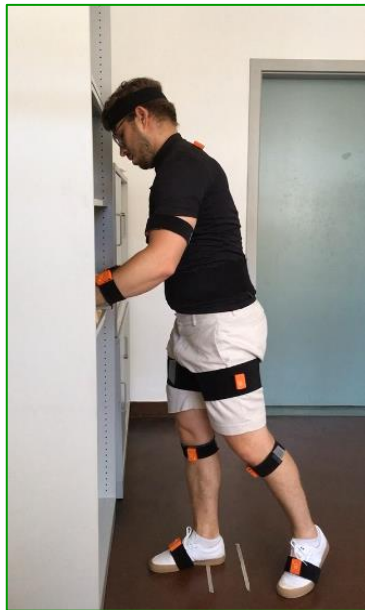
ohne Exoskelett
Endphase



mit LAEVO
Endphase



ohne Exoskelett
Endphase

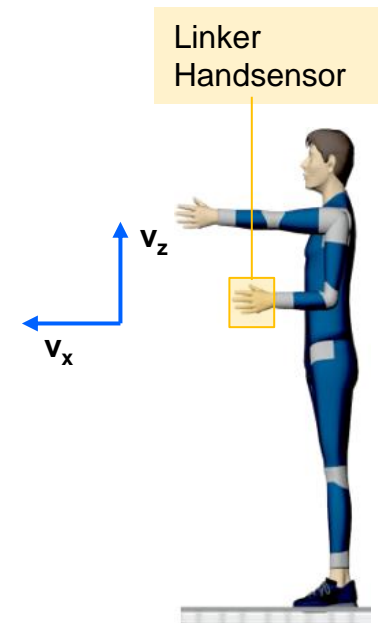


mit SKELEX
Endphase



- **Geschwindigkeitsveränderung**

Exposition	Wiederholungen (Expositionszeitd. 3 min, Lastmasse: 12,5 kg)	Geschwindigkeiten nach 1 min (m/s)	Geschwindigkeiten nach 2:30 min (m/s)
Arbeitshöhe ↔ über Schulterhöhe			
ohne Exoskelett	32	$V_x = 0,8$ $V_z = 1,0$	$V_x = 0,6$ $V_z = 0,9$
mit Exoskelett Skelex	40	$V_x = 0,9$ $V_z = 1,4$	$V_x = 0,8$ $V_z = 1,0$
Arbeitshöhe ↔ Knöchelhöhe			
ohne Exoskelett	38	$V_x = 0,8$ $V_z = 1,0$	$V_x = 0,6$ $V_z = 0,9$
mit Exoskelett LAEVO	48	$V_x = 0,9$ $V_z = 1,3$	$V_x = 0,7$ $V_z = 1,0$



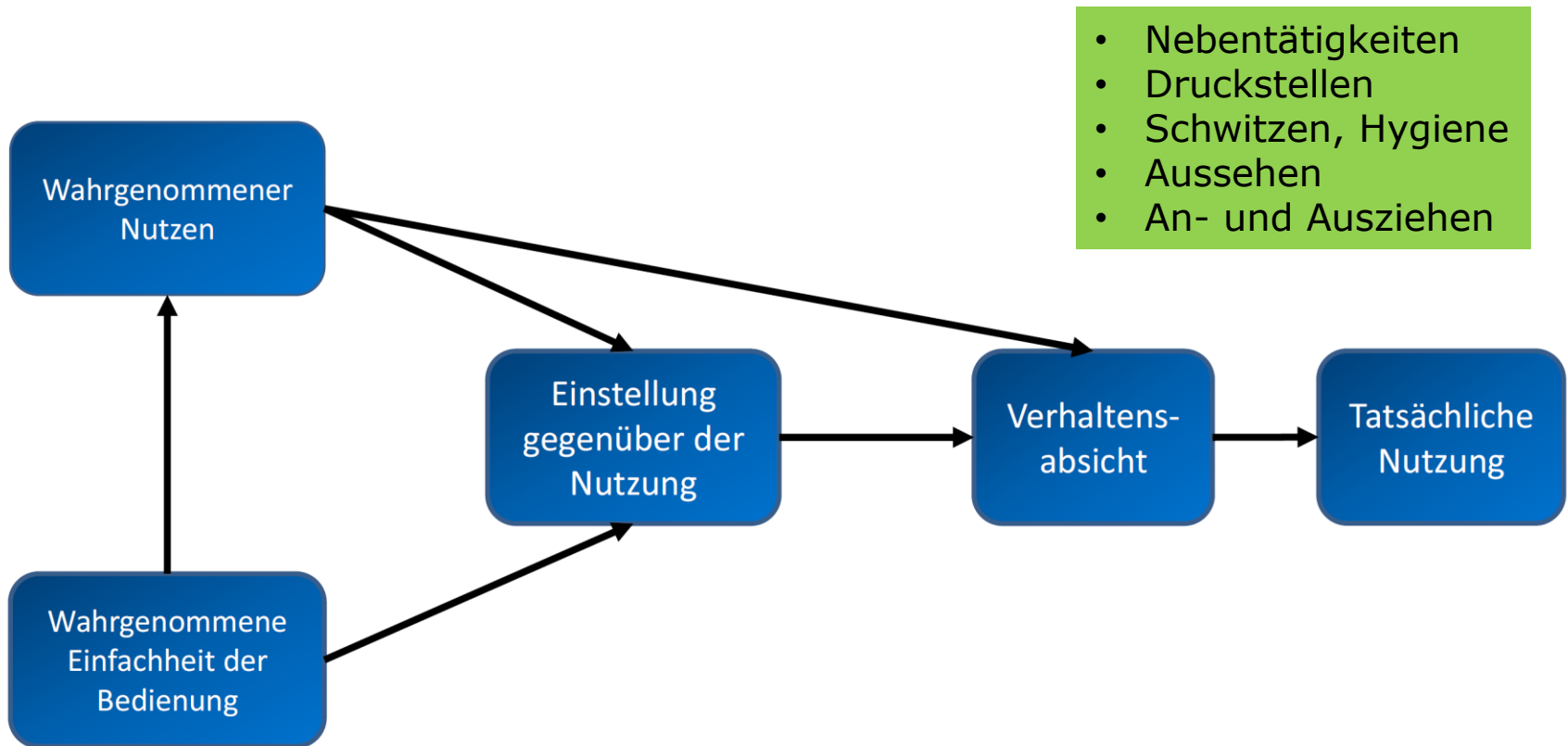
6 Gestaltung: Ausschlusskriterien

- Längere, regelmäßig wiederkehrende Unterbrechungen durch Laufwege ohne Last
- Für Körperfortbewegung; Ziehen/Schieben v. Lasten sind Exoskelette ungeeignet
- Kein Bewegungsfreiraum $\geq 1,5 \text{ m}^2$ bei Handhabung der Lasten. Die Assistenzsysteme verbreitern i. Allg. den Körperbereich für Körperbewegungen.
- Risikoeinschätzung gefahrbringender Bedingungen bei Verwendung eines Exoskeletts (z. B. bei Stürzen oder Hängenbleiben an Betriebseinrichtungen).

Inhalt

1. Einführung
2. Arten von Exoskeletten
3. Informationsquellen
4. Exoskelette in der Rechtssystematik
5. Gestaltung
- 6. Fazit und Ausblick**

- **Akzeptanz**
(Technologie-Akzeptanz-Modell nach Davis)



6 Fazit und Ausblick

- Exoskelette sind kein „Universalmittel“.
- Technische und organisatorische Maßnahmen (angeblich) ausgeschöpft, Risikopunktwert trotzdem deutlich im roten Bereich. Exoskelette als alleinige Maßnahme erbringen keine ausreichende Punktabsenkung bei der Anwendung von Leitmerkmalmethoden in eine niedrigere Risikokategorie.
- Derzeit keine verlässlichen Aussagen über:
 - die Quantität einer potenziellen Belastungsreduktion und -umverteilung
 - mögliche Veränderung des Bewegungsverhaltens (Ausgleichsbewegungen)
 - etwaige gesundheitliche Vorteile oder Risiken durch eine regelmäßige Verwendung (Langzeitwirkungen) eines Exoskeletts (Druckstellen auf Haut und u. U. auf Gelenke, Sehnen, Muskeln; Schweißbildung)?
- Für einige Arbeitsplätze mit spezifischen Bedingungen können Exoskelette eine Reduzierung der Beanspruchung bewirken.
- Exoskelette werden laufend weiterentwickelt und arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse werden erarbeitet.

Exoskelette und Beton?



Es kommt drauf an, was man draus macht.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Professur für Arbeitswissenschaft

Web: www.tu-dresden.de/mw/tla

E-Mail: martin.schmauder@tu-dresden.de