

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

Wirksamkeit von Exoskeletten bei inhomogenen Arbeitsprozessen mit Lastenhandhabung

Dr.-Ing. Christiane Kamusella

Dipl.-Ing. Carolin Kreil

Dresden, 14.06.2022

Inhalt

1. Hintergrund

2. Physische Belastungsarten

3. Gefährdungsbeurteilung: Analyse – Bewertung - Gestaltung

4. Analyse

5. Bewertung

6. Gestaltung – Methodisches Vorgehen

- T.O. → P. Einsatz von Exoskeletten (?)
- Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale
- Ausschlusskriterien für Exoskeletteinsatz

7. Gefährdungsbeurteilung von Lastenhandhabung mit Exoskeletteinsatz: Abschätzung des Gesundheitsrisikos

8. Fazit und Ausblick

1 Hintergrund

**„Die Gesundheit ist zwar nicht alles,
aber ohne Gesundheit ist alles nichts“**

(Schopenhauer)

Ziel der Ergonomie ist es u. a., die Menschen vor Gesundheitsschäden auch bei langfristiger Ausübung einer Tätigkeit zu schützen.

Bedeutung für präventiven Arbeitsschutz, Wirtschaftlichkeit und Humanität

1 Hintergrund

Notwendigkeit von Gefährdungsbeurteilungen

— Abschätzung möglicher Folgen:

- Erkrankung, Berufskrankheiten, Frühverrentung, volkswirtschaftliche Kosten

— Gesetzliche Verpflichtung:

- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, 1996)
- Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ (DGUV, 2013)

➤ Beurteilung von Arbeitsbedingungen

➤ Dokumentation: Ergebnisse, Maßnahmen, Wirkungskontrolle

➤ Gefahrenbekämpfung an der Quelle

➤ individuelle Schutzmaßnahmen nachrangig

➤ Gemäß Stand der Technik, gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse

} **TOP (Technik-Organisation-Verhalten)**

D. h. Nutzung valider Methoden: Grundlage für Analyse, Bewertung, Gestaltung und zur arbeitsmedizinischen Vorsorge

2 Physische Belastungsarten

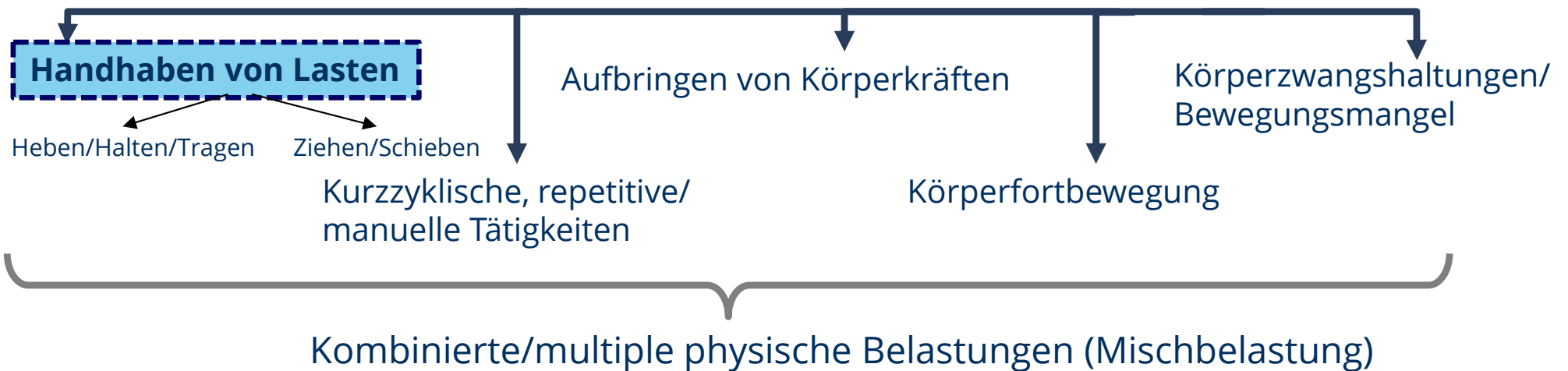
s. auch MEGAPHYS - Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Band 1
1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2019

Gefährdungsfaktoren

Verletzungsbewirkende Faktoren
:

Krankheitsbewirkende Faktoren
(=Belastungsfaktoren)
:

Physische Belastungsarten



Risikofaktoren für: arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE)
Stoffwechsel- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen

3 Gefährdungsbeurteilung: Analyse – Bewertung – Gestaltung



„Wir lästern nicht.“

Belastungsanalyse

Wir:

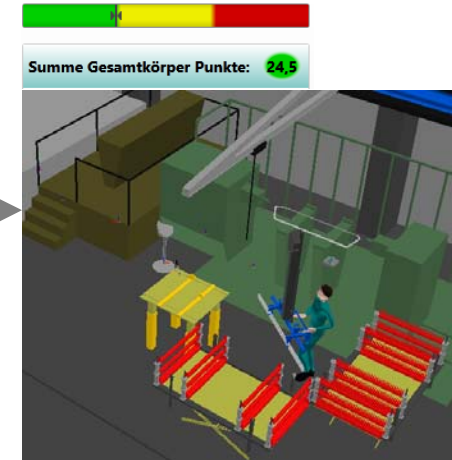
- Beobachten,
- Analysieren,
- Bewerten

- ... Teiltätigkeiten/Schicht
- ... Belastungsmerkmale
- ... das Gesundheitsrisiko

und Verändern/Verbessern die Arbeitsbedingungen: korrektiv/ prospektiv



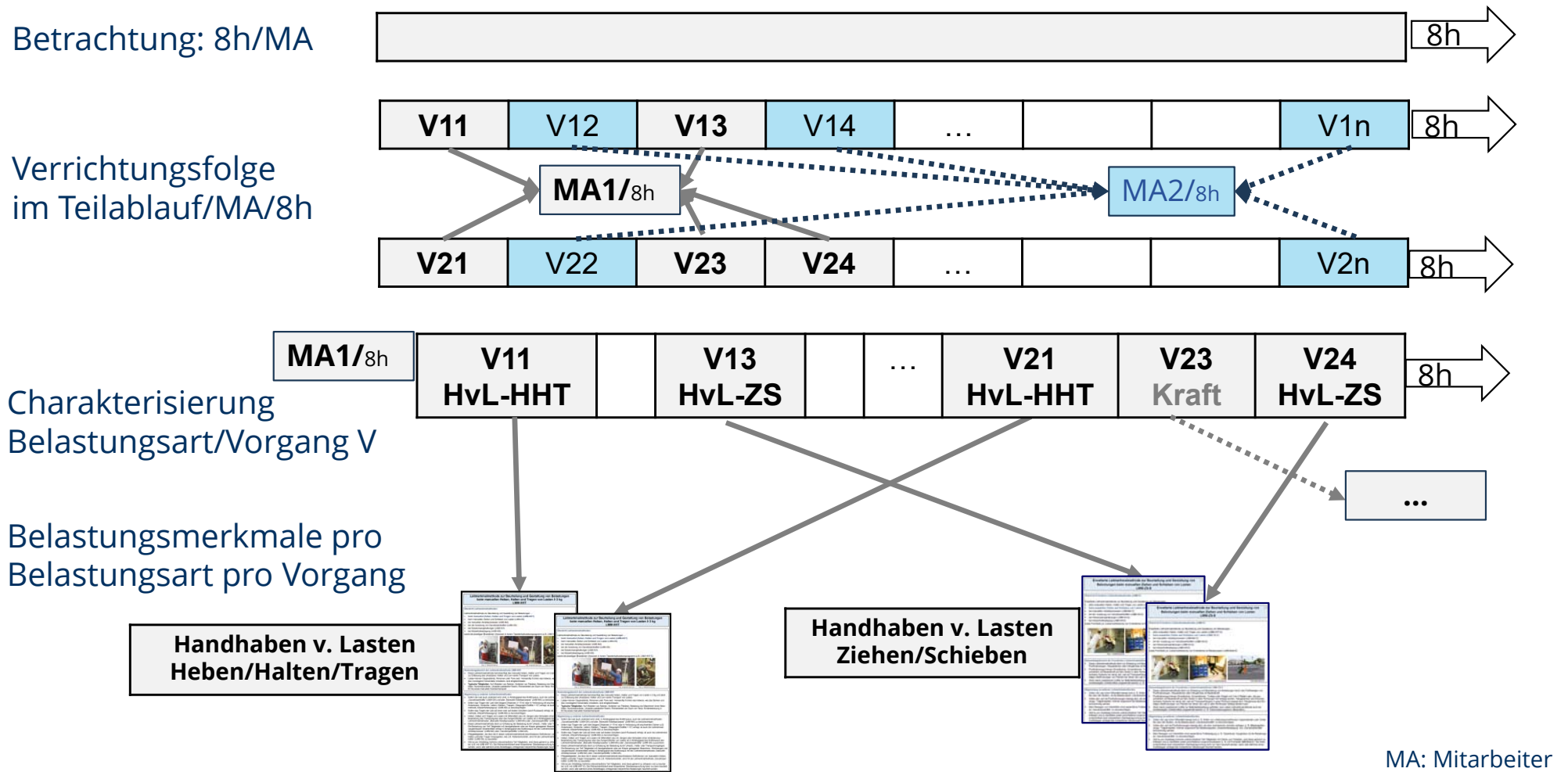
Planungs-Zustände:
Simulation, z.B. virtuelle Methoden



IST-Zustände:
Arbeitstagaufnahme

4 Analyse

Bezug zum Arbeitsablauf: Analyse Teiltätigkeiten

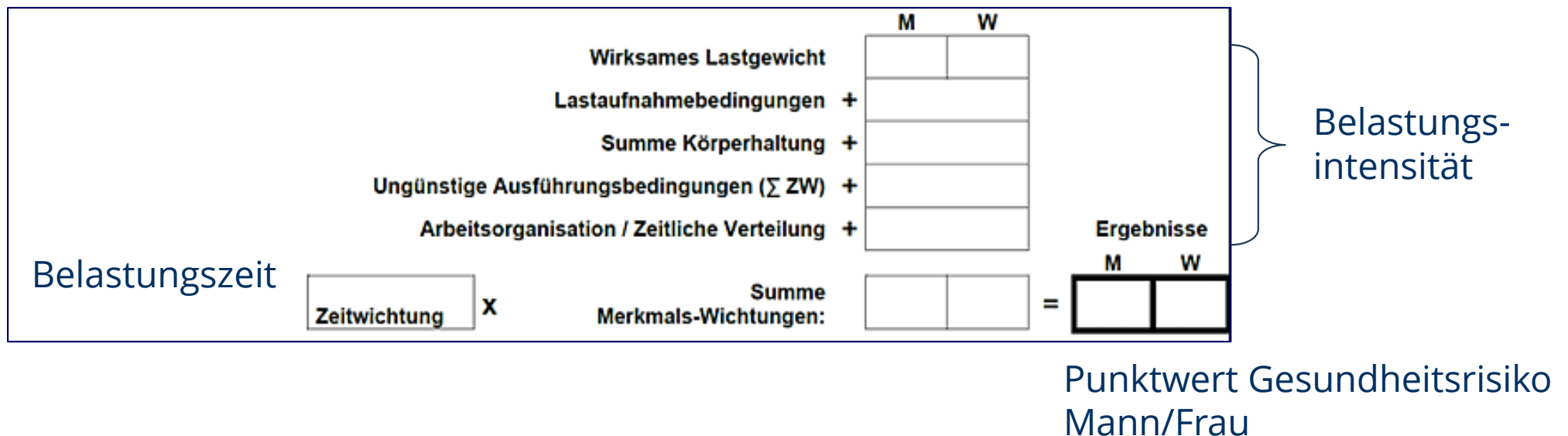


4 Analyse

— Nutzung valider Methoden:

- Spezielles Screening der BAuA:
- MEGAPHYS-Leitmerkmalmethoden/ Belastungsart
- für betriebliche Praxis staatlich empfohlen → Orientierung besonders für KMU

Bsp. Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten (LMM-HHT)



4Analyse

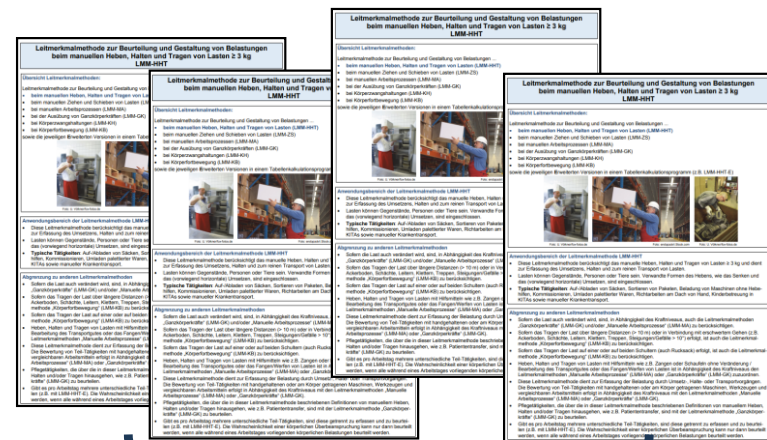
Handhaben von Lasten

Homogene Teiltätigkeiten mit gleichen/ähnlichen Belastungsmerkmalen

→ Erfassung für eine Teiltätigkeit ausreichend, da Wiederholung

Verschiedene Teiltätigkeiten mit ungleichen Belastungsmerkmalen

→ Getrennte Erfassung pro Teiltätigkeit
→ Inhomogene Belastung in der Belastungsart



→ Homogene Belastung für diese Belastungsart in der Schicht

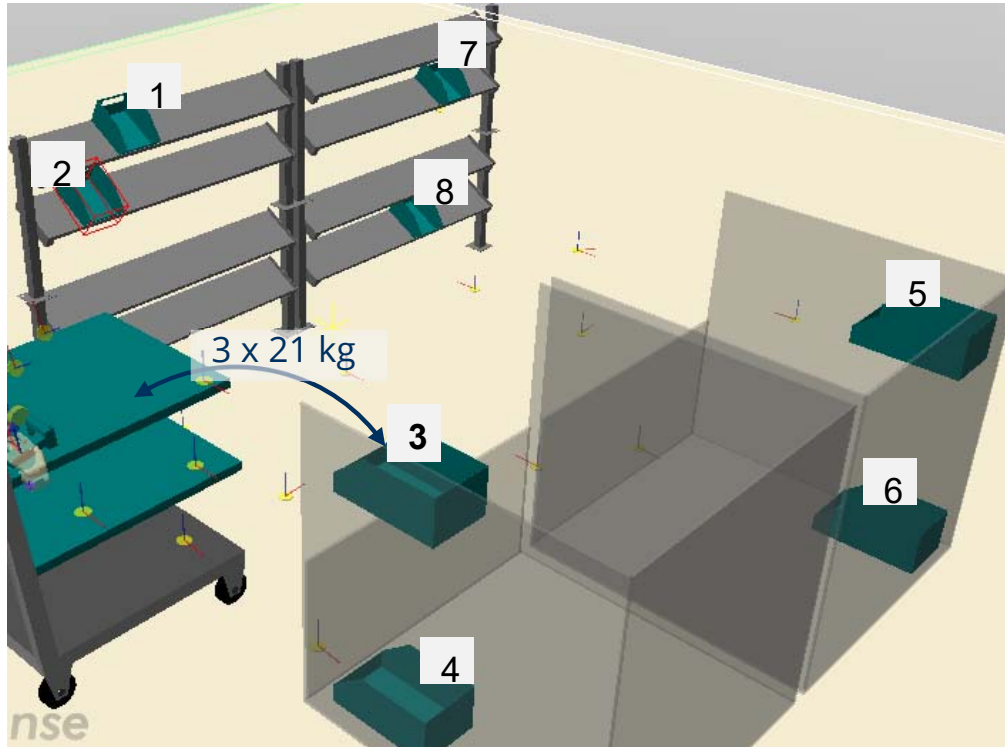
Aggregation als Tagesdosis

4 Analyse

— Beispiel Logistiktätigkeiten:

- Belastungsarten: Heben/Halten/Tragen (HHT)
Ziehen/Schieben (ZS)
- Unterschiedliche Lasten in verschiedenen Häufigkeiten, unterschiedliche Körperhaltungen, Lastaufnahme- und Ausführungsbedingungen
- 5 Takte/Schicht

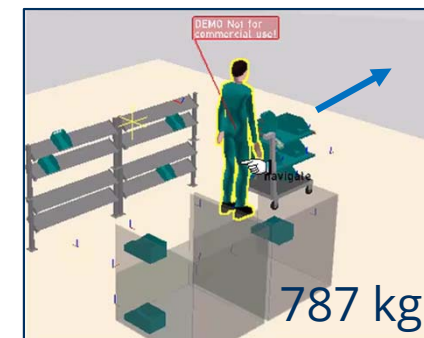
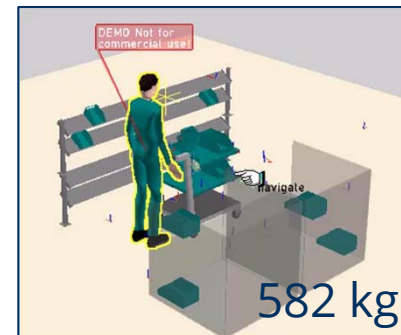
4 Analyse



Lastfälle: HHT

	Häufigkeit/Takt	pro Schicht
1: 13 kg	13x	65 x
2: 26 kg	5x	25 x
3: 21 kg	3x	15 x
4: 15 kg	2x	10 x
5: 12 kg	8x	40 x
6: 13 kg	1x	5 x
7: 7 kg	3x	15 x
8: 5 kg	15x	75 x

Lastfälle: ZS

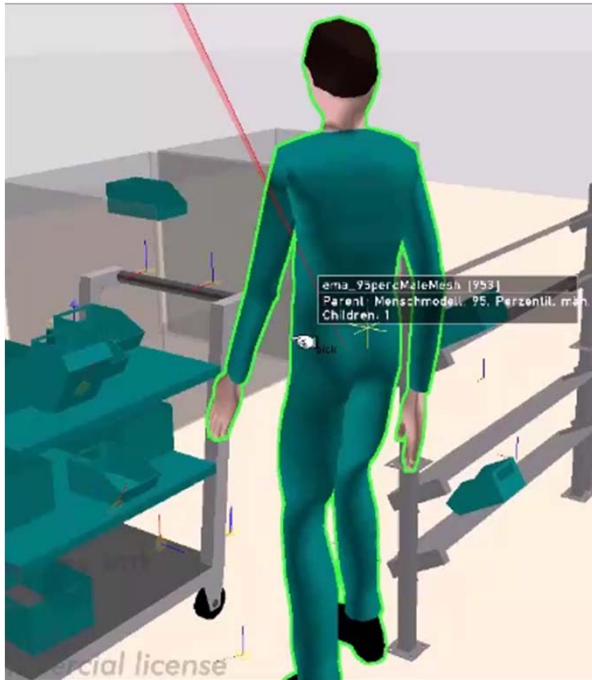


4 Analyse/Bewertung

Beispiel Lastfall HHT-8 (Teiltätigkeit 8)

64

Teildosis Lastfall 8-HHT
Risikopunktwert



Belastungsmerkmale:



- Einhändig, 5 kg 75x
- Lastaufnahme gebeugt, Lastabgabe gebeugt
- Gelegentlich verdreht
- Halten 8s

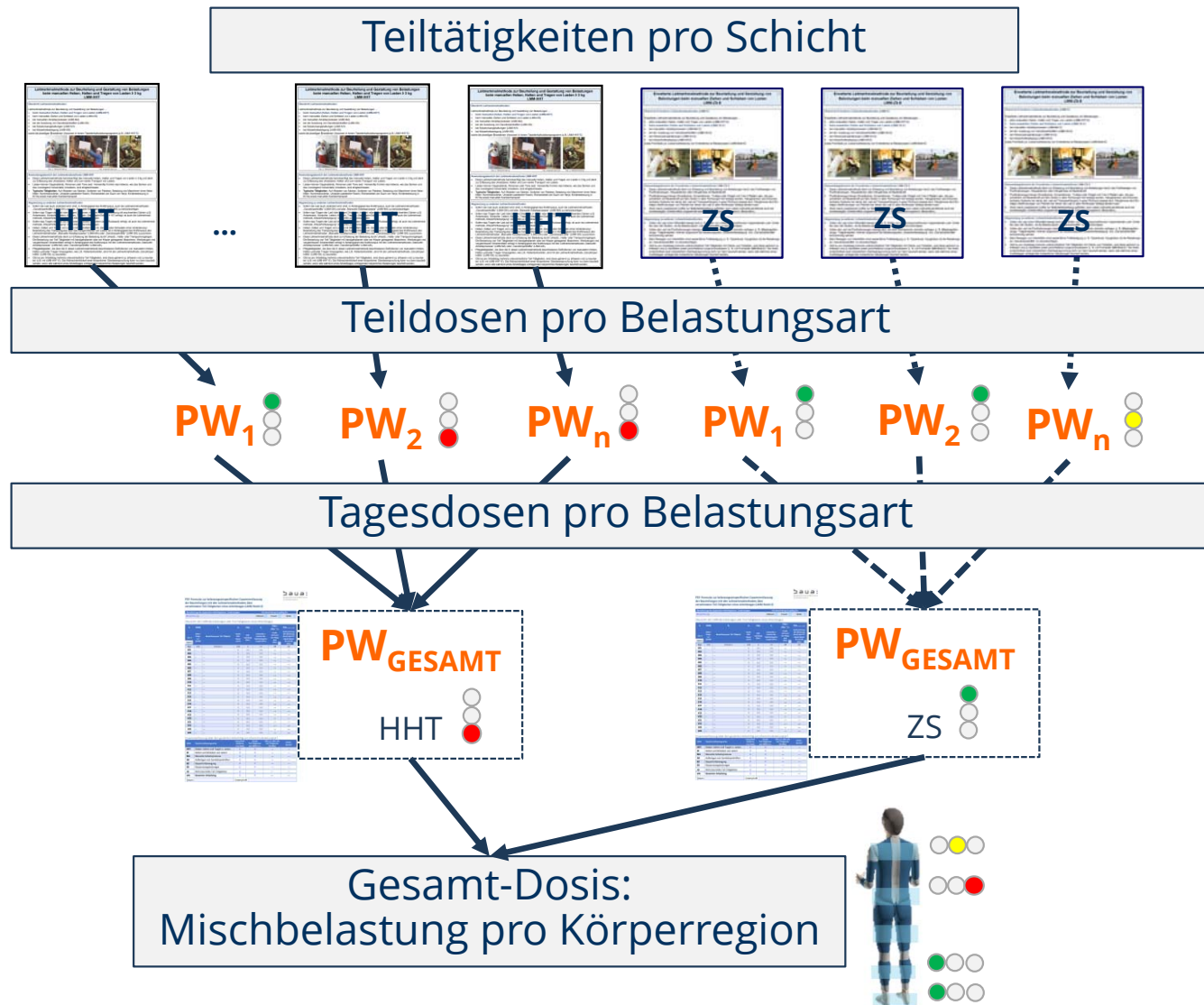
Beispiel Lastfall ZS-1 (ZS zu Beginn)



6

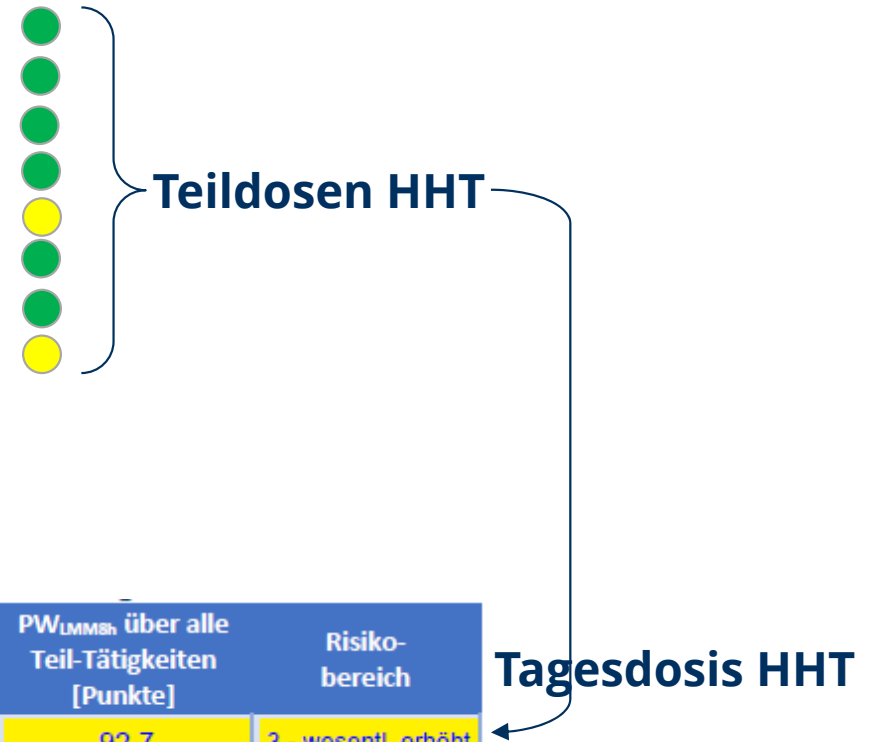
Teildosis Lastfall 1-ZS
Risikopunktwert

5 Bewertung



5 Bewertung

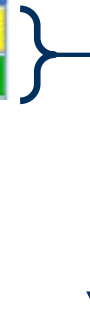
Belastungsart (LMM)	Bezeichnung der Teil-Tätigkeit	Reale Zeitdauer [min]	Zeitwichtung [Pkt.]	Intensität = Summe der Merkmalswichtungen [Pkt.]	Punkt-wert pro Teil-Tätigkeit [Pkt.]
MA	Polstern	240	4	12	48
HHT	Teiltätigkeit 1 ohne	13	2.1	10.2	21.4
HHT	Teiltätigkeit 2 ohne	5	1.5	28.0	42
HHT	Teiltätigkeit 3 ohne	3	1.3	19.7	25.6
HHT	Teiltätigkeit 4 ohne	2	1.2	25.0	30
HHT	Teiltätigkeit 5 ohne	8	1.8	27.8	50
HHT	Teiltätigkeit 6 ohne	1	1.0	27.2	27.2
HHT	Teiltätigkeit 7 ohne	3	1.3	20.8	27
HHT	Teiltätigkeit 8 ohne	15	2.3	28.0	64.4
ZS	zu Beginn leerer Wag	1	1.0	6.5	6.5
ZS	im Gang 5m x 5 Takte	2	1.0	12.0	12
ZS	am Ende zum Lager 10	5	1.0	15.0	15



LMM	Physische Belastungsarten	Kumulative Zeitdauer t_{LMM} [min]	Anzahl Teil-Tätigkeiten pro LMM n_{LMM}	PW _{LMM} über alle Teil-Tätigkeiten [Punkte]	Risikobereich
HHT	Heben, Halten und Tragen v. Lasten	50	8	92.7	3 - wesentl. erhöht
ZS	Ziehen und Schieben von Lasten	8	3	18.1	1 - gering

5 Bewertung

LMM	Physische Belastungsarten	Anzahl Teil-Tätigkeiten pro LMM n_{LMM}	PW _{LMM,MB} über alle Teil-Tätigkeiten [Punkte]	Risiko-bereich
HHT	Heben, Halten und Tragen v. Lasten	8	92.7	3 - wesentl. erhöht
ZS	Ziehen und Schieben von Lasten	3	18.1	1 - gering



**Gesamt-Dosis
Mischbelastung MB**

Zielregion	Nacken und oberer Rücken	Schulter und Oberarm	Unterarm und Hand	Unterer Rücken bis Hüfte	Knie/ Füße	Herz-Kreislauf/ Energieumsatz
Punktwert MB	55.4 ●	101.7 ●	48.2 ●	101.7 ●	48.2 ●	101.7 ●

6 Gestaltung: Methodisches Vorgehen

Identifikation von Gesundheitsrisiken anhand Gefährdungsbeurteilung

- Filterung der Belastungsarten mit Risikokategorien gelb, rot
- Extraktion von Teiltätigkeiten mit kritischen Risikokategorien (gelb, rot) in der betroffenen Belastungsart

Extraktion von Belastungsmerkmalen je Teiltätigkeit pro Belastungsart

Stellschraubenkonzept:  **Max. Potential in Punkten**

- Gestufte Veränderung relevanter Belastungsmerkmale einzeln oder in Kombination
- Abbau von Punkten pro Merkmalswichtung

Wirkungskontrolle

- Wirkung auf Teil- u. Tagesdosis; Iteration bis Punktabbau in eine niedrigere Risikokategorie

Ableitung von Gestaltungsanforderungen und –maßnahmen gemäß Hierarchie

- Ermittlung technischer und organisatorischer Gestaltungsalternativen
- Ermittlung personenbezogener Maßnahmen → **Exoskelette ?**

6































Gestaltung: Methodisches Vorgehen: T.O. → P. Einsatz von Exoskeletten (?)

6 Definition Exoskelette

Was sind Exoskelette?

- Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken.
- Einsatz nach TOP-Prinzip (technische, organisatorische, personenbezogene Maßnahmen)
- Mit Exoskeletten werden folgende Wirkungen angestrebt:
 - Ausführbarkeit von Körperbewegungen und -haltungen
 - Schädigungslosigkeit bei Körperbewegungen und -haltungen
 - Beeinträchtigungsfreiheit bei Körperbewegungen und -haltungen

6 Bauarten Exoskelette

Bauart	Passiv	Aktiv																				
Energiezufuhr	Keine – Speicherung der Energie beim Beugen oder Aufrichten	Akku / Druckluft / Stromnetz																				
Funktionsweise	Mechanische Hilfsmittel (Feder-, Seil-, Dämpfungssysteme)	Elektrische, pneumatische oder hydraulische Antriebe																				
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"> <tbody> <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> </tbody> </table>						Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf	<table border="1"> <tbody> <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> </tbody> </table>						Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf
																						
Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf																		
																						
Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf																		

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

6 Einsatzbereiche Exoskelette

Ziel: begrenzte Leistungsfähigkeit des Menschen steigern

Medizin

- Rehabilitation
- Ermöglichen von nicht mehr funktionierenden Bewegungen
- Unterstützungsapparat



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

Militär

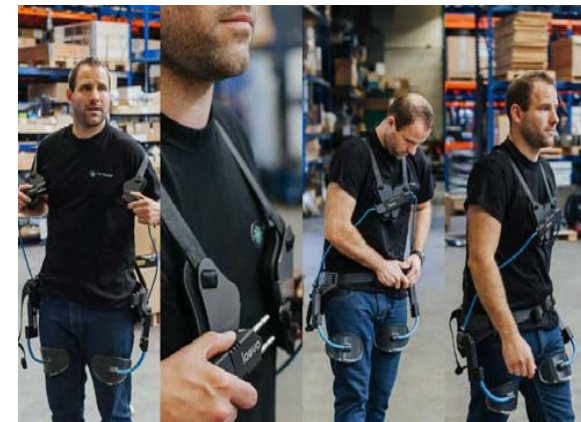
- Erhöhung der körpereigenen Kraft
- Handhabung von (schweren) Lasten



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

Industrie

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



Quelle: laevo exoskelet

6 Praxisbeispiele Exoskelette



„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 Praxisbeispiele Exoskelette



Arme/ Schulter (passiv)

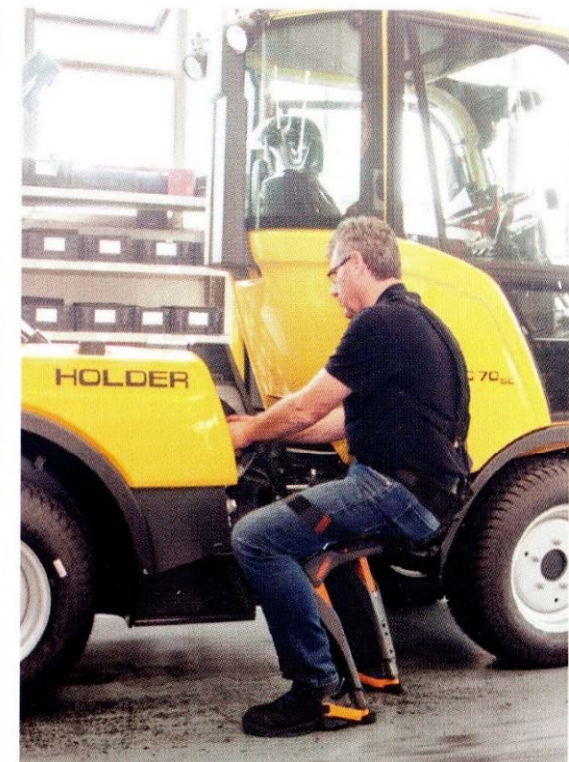
Beispiel: Skelex 360 (Firma Skelex)
(<http://skel-ex.com/>)



Arme/ Schulter (passiv)

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

6 Praxisbeispiele Exoskelette



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 Praxisbeispiele Exoskelette



Hand (aktiv)

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

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.



6 Gestaltung: Methodisches Vorgehen

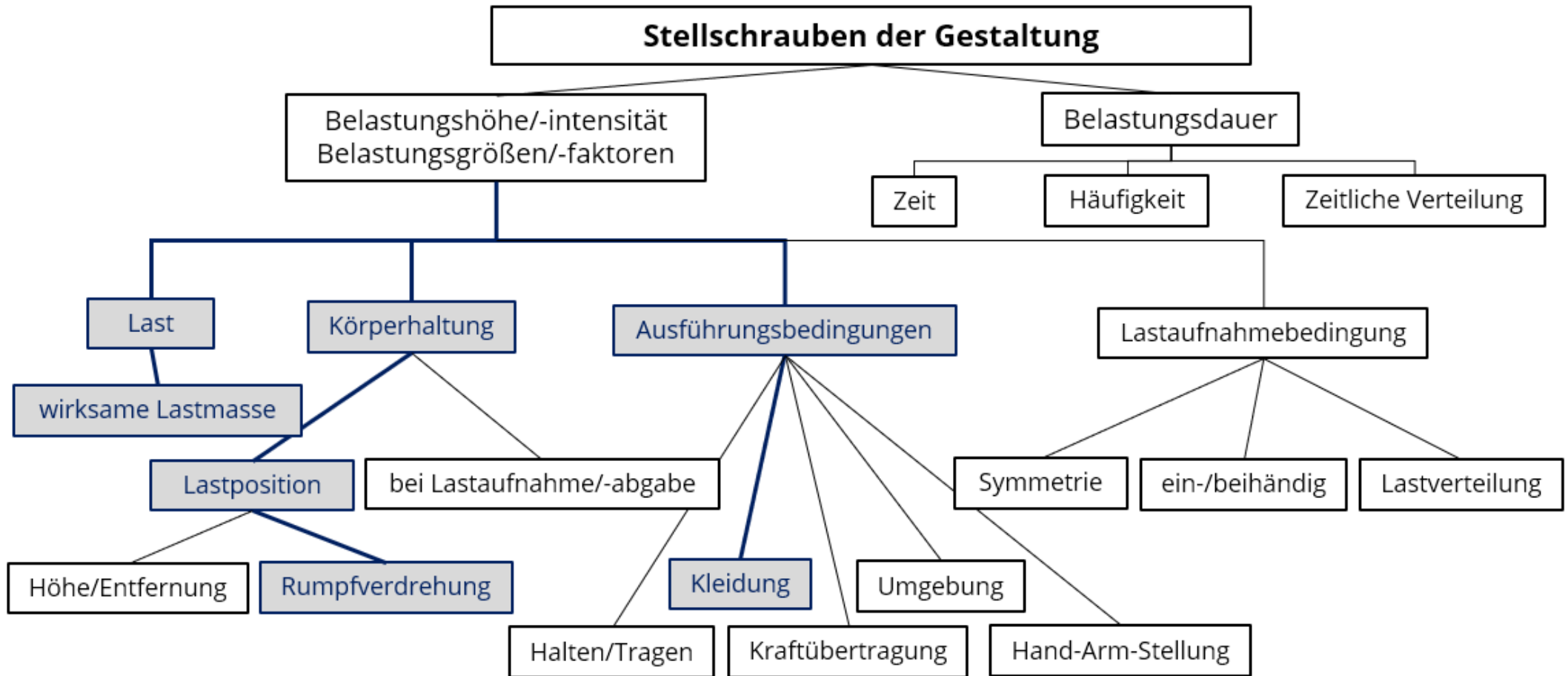
Wirkungskontrolle bei Verwendung passiver Exoskelette

- Zuordnung der Exoskelettbauart zur Belastungsart
- Extraktion von Teiltätigkeiten dieser Belastungsart
- Sondierung neu zu bewertender Teiltätigkeiten
- Filterung von Ausschlusskriterien
- Ermittlung relevanter Veränderungen in den Belastungsmerkmalen durch das Exoskelett
- Erneute Bewertung der sondierten Teiltätigkeiten nach Risikoansatz

②

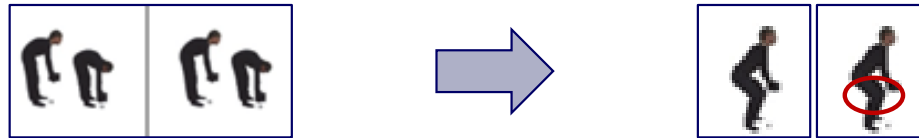
①

6 Gestaltung: Denkbarer Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale ①



6 Gestaltung: Denkbarer Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale ①

- **Körperhaltung:** durch am Körper befindliche Gurtbänder/Metallbügel Heben mit geradem Rücken; Verbesserung von Start- und Zielhaltung; Wirkung: Punktabbau. Aber: Heben mit gebeugten Beinen kniebelastend → nur für geringe Häufigkeiten ratsam



- **Zusatzbedingungen für Körperhaltungen:** Rumpftorsion und Lastposition zum Körper verändern sich: Metallbügel/Brustpad verhindern körpernahes Führen der Last. Wirkung: Punktverschlechterung

Asymmetrie vermieden; Wirkung: Punktabbau.

→ Wirkungen heben sich u. U. in Summe auf

6 Gestaltung: Denkbarer Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale ①

- **Ausführungsbedingungen:** am Körper zu tragende Ausrüstung Exoskelett = Zusatzbelastung (Merkmal Kleidung). Wirkung: Punktverschlechterung

- **Wirkung der Lastmasse:**

herstellerseitige Lastbegrenzung für Unterstützungswirkung: i. allg. bis 25 kg

Teiltätigkeiten mit Lastklassen > 25 kg bleiben in Punktwichtung gleich







Für Vorgänge mit Lastklassen ≤ 25 kg ändert sich Unterstützungseffekt des Exoskeletts über Bewegungsverlauf (s. *Glitsch et. al. (2020)*)

→ Entsprechung in verändert wirksamer Lastmasse pro Bewegungsphase

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

6 Gestaltung: Denkbarer Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale ①

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 unter Kniehöhe	Anheben aus ca. Oberschenkelmitte	Anheben aus ca. Oberschenkelmitte	Aufrechter Stand; Halten, Tragen	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

6 Gestaltung: Denkbarer Einfluss von Exoskeletten auf Belastungsmerkmale ①

Abschätzung der wirksamen Lastmasse mit Exoskelett in Relation zur Ausgangslastmasse ohne Exoskelett für 10 kg und 20 kg

	10 kg	20 kg	10 kg	20 kg	10 kg	20 kg
Betrachtete Phase im Bewegungsverlauf für Hebetätigkeit	<p><i>Phase 1 „tief“</i> Anheben unter Kniehöhe</p>		<p><i>Phase 2 „ergo“</i> Anheben aus ca. Oberschenkelmitte</p>		<p><i>Phase 3 „aufrecht“</i> Aufrechter Stand; Halten; Tragen</p>	
Absolute Veränderung d. Ausgangslast auf eine wirksame Lastmasse ¹⁾	4 kg	12 kg	9 kg	17 kg	13 kg	28 kg
Relative Veränderung d. wirksamen Lastmasse ¹⁾	Reduktion -60%	Reduktion -60%	Reduktion -10%	Reduktion -15%	Erhöhung +30%	Erhöhung +44%

1) aus Kurven des lumbalen Gelenkmoments an L5-S1 nach Jäger (1987) grob abgeleitete Werte, gerundet

Jäger, M. (1987): Biomechanisches Modell des Menschen zur Analyse und Beurteilung der Belastung der Wirbelsäule bei der Handhabung von Lasten. Düsseldorf, Fortschritt-Berichte VDI / Reihe 17, Biotechnik, Medizintechnik, Band 33

6 Gestaltung: Ausschlusskriterien für Exoskeletteinsatz

②

- unregelmäßiger Wechsel zwischen Arbeitsbereichen: „grüner“ und „roter“ Ampelfarbe bzw. zwischen sehr niedrigen und höheren Lastmassen: Tätigkeiten mit/ohne Exoskelett im Tausch unrealistisch
- Erhöhte/hohe Belastung vorliegend: technische u. organisatorische Maßnahmen noch nicht ausgeschöpft, aber möglich. Diese sind personenbezogenen Maßnahmen, zu denen Exoskelette gehören, vorzuziehen
- Technische und organisatorische Maßnahmen (angeblich) ausgeschöpft, Risikopunktwert trotzdem deutlich im roten Bereich. Exoskelette als alleinige Maßnahme erbringen keine ausreichende Punktabenkung in niedrigere Risikokategorie

6 Gestaltung: Ausschlusskriterien für Exoskeletteinsatz

②

- Es werden Lastmassen > 25 kg gehandhabt: i. allg. Lastmassengrenze durch Exoskeletthersteller für die Unterstützungswirkung: bis ca. 25 kg
- Für Körperfortbewegung; Ziehen/Schieben v. Lasten sind Exoskelette ungeeignet
- Manuelle Hebe-Teiltätigkeiten zu einem entscheidenden Anteil durch Fortbewegung mit Transportmitteln unterbrochen

6 Gestaltung: Ausschlusskriterien für Exoskeletteinsatz

②

- Lastaufnahme oder -umsetzung vorherrschend aus aufrechter oder nahezu ergonomischer Ausgangshöhe. Lasten werden überwiegend getragen oder gehalten. Wirksamkeit von Exoskeletten für diese Körperhaltungsbedingung von vornherein sehr eingeschränkt/ eher kritisch
- Längere, regelmäßig wiederkehrende Unterbrechungen durch Laufwege ohne Last
- 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) deckt am Arbeitsplatz Gefährdungsfaktoren mit nicht akzeptablem Risiko auf.

7 Gefährdungsbeurteilung von Lastenhandhabung mit Exoskeletteinsatz: Abschätzung d. Gesundheitsrisikos

Leitmerkmalmethode Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten

Beeinflusstes Belastungsmerkmal	Wirkung
ungünstige Ausführungsbedingungen (Kleidung)	Erhöhung +1 Pkt.
Körperhaltung, Heben aus den Knien	Senkung -4 bis -10 Punkte
Zusatzpunkte für Körperhaltung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rumpftorsion - Vermeidung ▪ Hebelarm - Vergrößerung 	Senkung -1 bis -3 Pkte Erhöhung +1 bis +3 Pkte
Wirksame Lastmasse <ul style="list-style-type: none"> ➤ > 25 kg ➤ ≤ 25 kg 	Unverändert In Abhängigkeit v. Bewegungsverlauf (Phase 1-2-3) → Mittelung → Wichtungswert
Starthaltung (Lastaufnahme) → Zielhaltung (Lastabgabe) z. B.: <i>aufrecht</i> → <i>aufrecht</i> <i>Erhöhung</i> <i>tief</i> → <i>aufrecht</i> <i>Senkung</i> <i>tief</i> → <i>ergo</i> <i>Senkung</i> <i>ergo</i> → <i>aufrecht</i> <i>Erhöhung</i> <i>aufrecht</i> → <i>tief</i> <i>ergo</i> → <i>ergo</i> : <i>Ergo</i> → <i>tief</i> <i>tief</i> → <i>tief</i>	

7 Gefährdungsbeurteilung von Lastenhandhabung mit Exoskeletteinsatz: Abschätzung d. Gesundheitsrisikos

— Beispiel Logistiktätigkeiten:

- Belastungsarten: Ziehen/Schieben (ZS): unverändert: kein Exoeinsatz möglich!

Heben/Halten/Tragen (HHT): **Neubewertung**

- Angenommene beste Änderung in folgenden Belastungsmerkmalen:

Teiltätigkeit	Belastungsmerkmal	Wirkung - Wichtungspunkte
1	Wirksame Lastmasse	Erhöhung
2	Wirksame Lastmasse	unverändert
3	Wirksame Lastmasse	Senkung
4	Wirksame Lastmasse Körperhaltung bei Start	Senkung Senkung
5	Wirksame Lastmasse	Erhöhung
6	Wirksame Lastmasse Körperhaltung bei Ziel	Senkung Senkung
7	Wirksame Lastmasse	unverändert
8	Wirksame Lastmasse Körperhaltung bei Ziel	Senkung Senkung

PW _{LMMBh} über alle Teil-Tätigkeiten [Punkte]	Risiko- bereich
84.6	3 - wesentl. erhöht

Senkung 8 Punkte

Riskobereich unverändert
Körperliche Überbeanspruchung
auch für normal belastbare
Personen möglich

8 Fazit und Ausblick

Fragestellungen für die Forschung

- Welchen neuen Gefahrenquellen sieht sich der Anwender durch einen Exoskelett-Einsatz ausgesetzt (Verhaken von Systemelementen, Erwärmung des Körpers, elektrostatische Aufladungen etc.)?
- Wirken sich Stolper- oder Sturzunfälle noch gravierender aus (erhöhtes Unfallrisiko)?
- Wie verändert sich das natürliche Bewegungsverhalten des Nutzers während und nach dem Tragen eines Exoskeletts über eine gesamte Schicht/ über mehrere Berufsjahre?
- Welche Langzeitwirkungen sind mit dem Tragen der Skelette verbunden (Druckstellen auf Haut und u. U. auf Gelenke, Sehnen, Muskeln; Schweißbildung)?
- Wie wirken sich die gehandhabten Lasten auf nicht unterstützte Körperbereiche aus und wie werden die auftretenden Kräfte bspw. bei einem Exoskelett für die oberen Extremitäten über den Körper verteilt (Belastung der Beinmuskulatur, Kniegelenke, Füße etc.)?
- Besteht die Gefahr, dass Unternehmer durch die mögliche Kraftunterstützung des Exoskeletts seine Mitarbeiter weiter an der Belastungsgrenze arbeiten lassen, indem sie die Belastung und konkret das zu handhabende Lastgewicht erhöhen?
- Besteht die Gefahr, dass Unternehmer technische Maßnahmen vernachlässigen?

8 Fazit und Ausblick

Derzeit keine verlässlichen Aussagen über:

- die Quantität einer potenziellen Belastungsreduktion und -umverteilung
- etwaige gesundheitliche Vorteile oder Risiken durch eine regelmäßige Verwendung eines Exoskeletts



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Dr.-Ing. Christiane Kamusella und Dipl.-Ing. Carolin Kreil
Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Professur für Arbeitswissenschaft

Telefon: 0351 463-34598

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

E-Mail: Christiane.Kamusella@tu-dresden.de