

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

Bewertung der Kommissionierleistung mit und ohne Exoskelettanwendung für Haupt- und Nebentätigkeiten der Kommissionierung

Fachtagung Arbeitsplanung und Prävention

Dipl.-Ing. Carolin Kreil
18.04.2023

Einführung und Definition

Was sind Exoskelette?

- Exoskelette sind am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken. (nach Schick, 2018)
- Mit Exoskeletten werden folgende Wirkungen angestrebt:
 - Ausführbarkeit von Körperbewegungen und -haltungen
 - Schädigungslosigkeit bei Körperbewegungen und -haltungen
 - Beeinträchtigungsfreiheit bei Körperbewegungen und -haltungen

Bauarten & Eigenschaften von Exoskeletten

Bauart	Passive Exoskelette	Aktive Exoskelette
Energiezufuhr	Keine, Nutzung der Schwerkraft (Speicherung der Energie beim Beugen oder Aufrichten)	Akku, Druckluft, Stromnetz
Eigenschaften	Passive (Teil-) Unterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Bewegungen	Aktive Teil- oder Vollunterstützung der Körpersegmente bei bestimmten Haltungen und Lastenhandhabungen
Unterstützte Körperregion	Beine, Rumpf, Arme, Kombinationen, Ganzkörper	Beine, Rumpf, Arme, Kombinationen, Ganzkörper
Funktionsweise	Mechanische Feder/ Gasdruckfeder, ggf. Beugewinkelbegrenzung als Stützfunktion	Elektrischer/ pneumatischer Antrieb mit komplexer Regelungs-/ Steuerungsfunktion

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

Einsatzbereiche

Ziel: begrenzte Leistungsfähigkeit des Menschen steigern

Medizin

- Rehabilitation
- Ermöglichen von nicht mehr funktionierenden Bewegungen
- Unterstützungsapparat

Militär

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

Industrie

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

Einordnung der Exoskelette:

- Technisches Hilfsmittel
- Medizinprodukt
- Persönliche Schutzausrüstung

→ Zuordnung noch in Erarbeitung



Problemstellung

Kommissionierung

- Teilgebiet der Logistik, große Bedeutung in der Lagerlogistik
 - Ändernde Mitarbeiterstruktur aufgrund des demographischen Wandels: höhere Frauenquote, ältere Beschäftigte, Leistungsgewandelte
 - Höhere Anforderungen an die Mitarbeiter
 - Hohe physische Belastungen in Form von Lastenhandhabung, Körperzwangshaltung sowie Stehen und Gehen
- neue Lösungskonzepte im Blickfeld der Unternehmen nach Ausschöpfung technischer und organisatorischer Maßnahmen:

Vorstellbarer Lösungsansatz: Einsatz von Exoskeletten

Was bisher fehlt: umfangreiche Untersuchung und Bewertung der Auswirkung von Exoskeletten auf die Effizienz der Arbeitsabläufe an manuellen Kommissionierarbeitsplätzen

Problemstellung

Definition Kommissionierung

- „Kommissionieren hat das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen“
 - Bewegung des Kommissionierers zum Bereitstellort → **Nebentätigkeit (KB)**
 - Entnahme der Entnahmeeinheit(en) durch den Kommissionierer → **Haupttätigkeit (HHT)**
 - Abgabe der Entnahmeeinheit(en) → **Haupttätigkeit (HHT)**
 - Transport der Sammeleinheit(en) zur Abgabe Sammeleinheit(en) → **Nebentätigkeit (ZS)**

(VDI-Richtlinie 3590, 1994. S. 2)

— Belastungsarten

- manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten → Haupttätigkeit, Exosk.einsatz sinnvoll
- manuelles Ziehen und Schieben von Lasten } → Nebentätigkeit, Exosk.einsatz überflüssig
- Körperfortbewegung }

Sowohl Haupt- als auch Nebentätigkeiten gehören zur Aufgabe eines Kommissionierers und sind während eines Arbeitsprozesses nicht zu trennen.
→ **Prozessbedingt Exoskeletteinsatz sowohl bei Haupt- und Nebentätigkeiten**

Zielstellung / Fragestellung

- Zentrale Fragestellungen
 - In welcher Weise verändert sich die Effizienz von Kommissioniertätigkeiten durch einen Exoskeletteinsatz?
 - Bei welchen Teiltätigkeiten und Einflüssen treten abweichende Kommissionierzeiten auf?
 - Werden die Planung und Kalkulation von Kommissioniersystemen (z.B. Bereitstellung technischer Ressourcen, Festlegung notwendiger Mitarbeiteranzahl) durch den Exoskeletteinsatz beeinflusst?
- mittels standardisierter Bewegungsabfolgen werden an verschiedenen Versuchsständen Kommissionierzeiten für unterschiedliche Expositionen ohne und mit Exoskelett erfasst, anhand derer die individuellen Kommissionierleistungen berechnet werden
- Laborstudie 1:
Haupttätigkeiten der Kommissionierung
- Laborstudie 2:
Nebentätigkeiten der Kommissionierung
- Studiendurchführung: 07/2021 – 04/2022

Versuchsdesign

- Verwendung/Untersuchung von zwei passiven, rumpfunterstützenden Exoskeletten
 - passives Hüftexoskelett zur Unterstützung und Entlastung der Wirbelsäule
 - Drehmoment-Einrichtung zur manuellen De- bzw. Aktivierung der Unterstützungsfunktion
 - anthropometrische Anpassbarkeit durch individuelle Verstellmöglichkeiten

Exoskelett Paexo Back (Firma Ottobock)

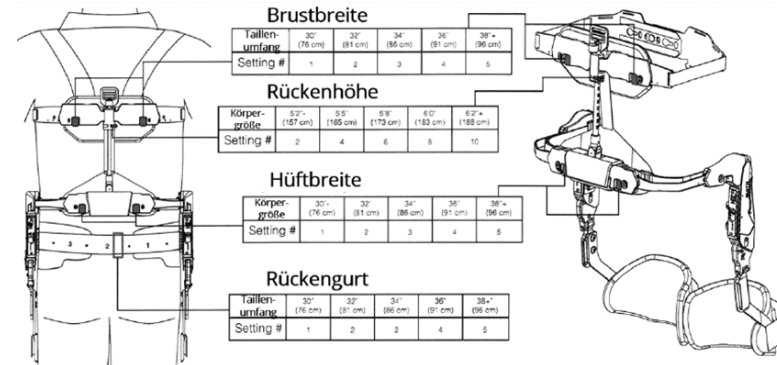


Quelle: <https://www.exoskelette.com/produkt/paexo-back/>, Zugriff 08.03.2023

Exoskelett backX V2 (Firma SuitX)



Quelle: <https://exoskeletonreport.com/product/backx/>, Zugriff: 08.03.2023









Quelle: SuitX. (2017). backX AC - Quick Fit Guide

Haupttätigkeiten der Kommissionierung

Heben, Halten und Tragen von Lasten

Konstruktion eines repräsentativen Versuchsstands in Laborumgebung

— Bestimmung der Merkmalswichtungen nach der LMM-HHT-E

Wirksame Lastmassen (LM)					
Wirksame Lastmasse 1 (LM1): >5 – 10 kg			Wirksame Lastmasse 2 (LM2): >10 – 15 kg		
7,5kg			12,5kg		
Körperhaltungen (KH)					
Körperhaltung 1 (KH1)		Körperhaltung 2 (KH2)		Körperhaltung 3 (KH3)	
					
Entnahme	Abgabe	Entnahme	Abgabe	Entnahme	Abgabe
beidhändige und körpernahe Entnahme und Abgabe der Behälter					

LMM-HHT-E...Erweiterte Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten ≥ 3 kg

KH...Körperhaltung LM...Lastmasse


Haupttätigkeiten der Kommissionierung

Heben, Halten und Tragen von Lasten

Konstruktion eines repräsentativen Versuchsstands in Laborumgebung

16 Expositionen

- Jede Körperhaltung mit jeder Lastmasse kombiniert
→ 6 Kombinationen
- 2 Mischexpositionen
- Jede Exposition mit und ohne Exoskeletonanwendung
→ Σ 16 Expositionen
- Wiederholungsanzahl der Hebevorgänge so angepasst, dass alle Expositionen gemäß LMM gleiche Belastung aufweisen
- Belastung liegt im wesentlich erhöhten Bereich

Risiko	Risiko-bereich	Belastungshöhe ¹⁾
	1	< 20 Punkte gering
	2	20 - < 50 Punkte mäßig erhöht
	3	50 - < 100 Punkte wesentlich erhöht
	4	≥ 100 Punkte hoch

Haupttätigkeiten der Kommissionierung

Heben, Halten und Tragen von Lasten

Konstruktion eines repräsentativen Versuchsstands in Laborumgebung

— Versuchsaufbau, unter Betrachtung der Anthropometrie

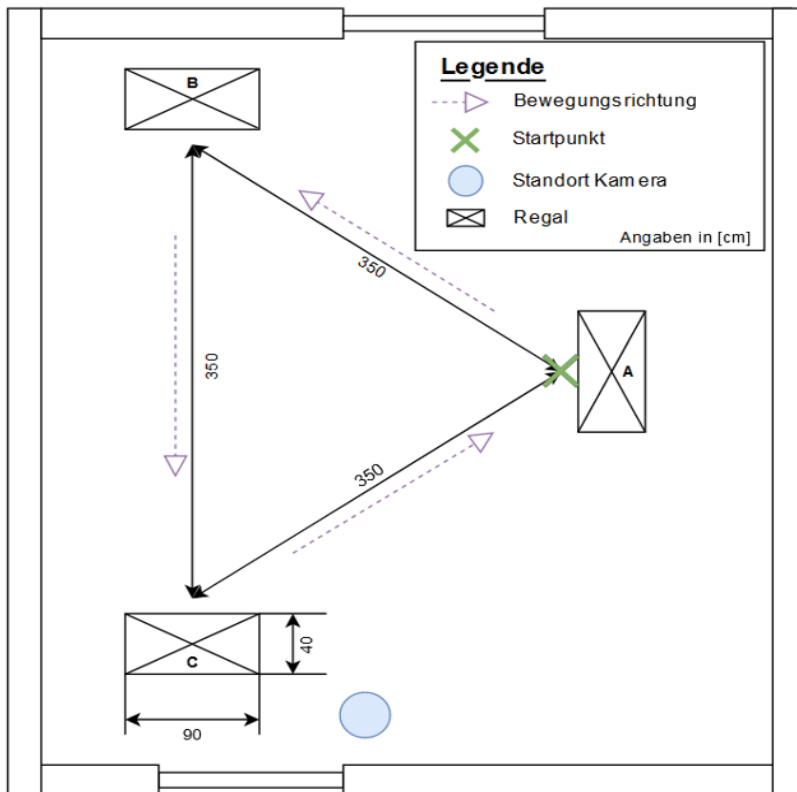
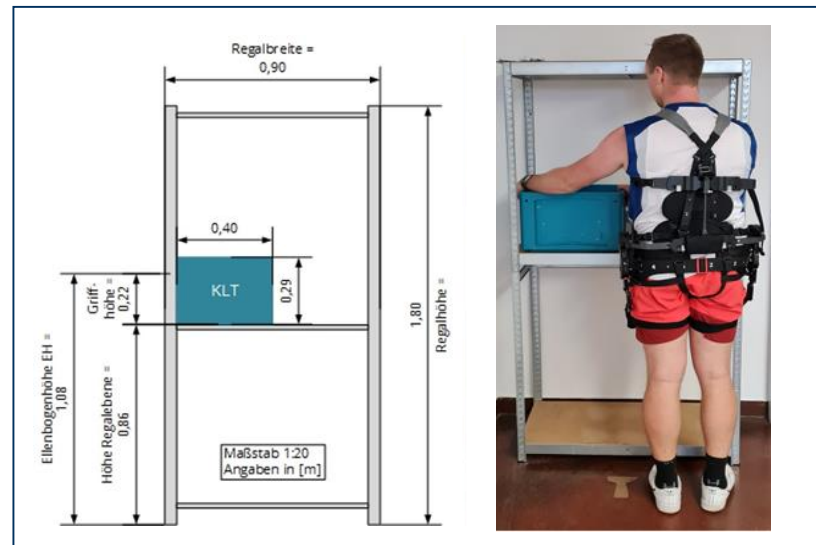


Abbildung Versuchsstand



Entnahme des KLT in KH3

Haupttätigkeiten der Kommissionierung

Heben, Halten und
Tragen von Lasten

Hypothesen und Ergebnisse

Haupteffekte

H1: Durch den Einsatz eines Exoskeletts wird die Kommissionierleistung erhöht.

H2: Bei Hebevorgängen mit leichten Lastmassen wird die Kommissionierleistung erhöht.

H3: Je belastender die Körperhaltung, desto kleiner die Kommissionierleistung.

Interaktionseffekte

H4: Je höher das zu kommissionierende Lastgewicht, desto größer die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.

H5: Je belastender die Körperhaltung, desto größer die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.

Haupttätigkeiten der Kommissionierung

Heben, Halten und Tragen von Lasten

Zusammenfassung der Ergebnisse



Belastungsmerkmale	Auswirkungen
Einsatz Exoskelett	Kommissionierleistung ↓
Lastmasse ↑	Kommissionierleistung ↓
Belastung Körperhaltung ↑	Kommissionierleistung ↓

→ Kein signifikanter Einfluss der Interaktionseffekte

Nebentätigkeiten der Kommissionierung

Alle Tätigkeiten eines Kommissioniervorgangs, bei denen das Exoskelett nicht unterstützt:

- Körperfortbewegung
 - Treppensteigen
 - Leitersteigen
 - Ziehen und Schieben von Lasten
 - Bücken
 - Sitzen
 - Schreiben, Tastatur bedienen
 - Hocken
 - Stehen
 - Schnelles Fortbewegen (Rennen bei Notfällen)
 - Ein- und Aussteigen & Fortbewegung mit Flurförderzeugen
- } Belastungsarten nach Leitmerkmalmethode

Nebentätigkeiten der Kommissionierung

Untersuchung in Laborstudie

- Körperfortbewegung
 - Treppensteigen
- Ziehen und Schieben von Lasten
- Bücken

} Belastungsarten nach Leitmerkmalmethode

- 18 Expositionen (4 Teilversuche)
- mind. 11 Probanden
- Studiendurchführung 04/23-10/23

Nebentätigkeiten der Kommissionierung

Hypothesen

Fragestellung 1: Körperfortbewegung

- Durch das Tragen eines Exoskeletts wird die Dauer erhöht (gemittelt über Gehen und Treppensteigen).
- Beim Treppensteigen wird die Dauer der Tätigkeit durch das Exoskelett stärker erhöht als beim Gehen.

Fragestellung 3: Ziehen und Schieben von Lasten

- Durch das Tragen eines Exoskeletts wird die Dauer erhöht (gemittelt über Ziehen & Schieben und LM).
- Je größer das zu bewegendes Lastgewicht mit Kommissionierwagen, desto höher die Dauer der Nebentätigkeiten mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne (gemittelt über Ziehen & Schieben).

Fragestellung 2: Wegstrecke

- Durch das Tragen eines Exoskeletts wird die Dauer erhöht (gemittelt über alle Wegstrecken).
- Je länger die Wegstrecke, desto höher die Dauer mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.

Fragestellung 4: Bücken

- Durch das Tragen eines Exoskeletts wird die Dauer erhöht.

Fazit und Ausblick

- Laborstudien zu Haupt- und Nebentätigkeiten umfassen nur einen Teil der noch zu erforschenden Themengebiete rund um das Thema Exoskelette
 - starke Abgrenzung der Versuche
 - weitere Notwendigkeit der Anpassung der Versuchsparameter
 - weibliche Probanden
 - andere Altersstruktur der Probanden
 - längere Versuchsdauern
 - Usw. ...

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit