

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

Einsatz von passiven Exoskeletten an manuellen Kommissionierarbeitsplätzen und deren Einfluss auf das Bewegungsverhalten

Dipl.-Wi.-Ing. Roy Stöhr

68. GfA-Frühjahrskongress 2022 – Doktorandenwerkstatt
Dresden, 02.03.2022



Gliederung

1. **Feldstudien** zum Einsatz von passiven Exoskeletten an manuellen Kommissionierarbeitsplätzen

- 1.1 Zielstellung und Vorgehensweise
- 1.2 Arbeitsplatzzeignung für Exoskeletteinsatz
- 1.3 Grenzen für Exoskeletteinsatz bei manuellen Kommissionieraufgaben
- 1.4 Höhe physischer Belastungen und deren Hauptursachen
- 1.5 Nutzen eines Exoskeletteinsatzes bei manuellen Kommissionieraufgaben
- 1.6 Fazit

2. **Laborstudie** zur Untersuchung von Bewegungsmustern des menschlichen Körpers mittels Inertialsensormesssystem mit und ohne Exoskelettanwendung

- 2.1 Zielstellung und Vorgehensweise
- 2.2 Versuchsaufbau
- 2.3 Versuchsablauf
- 2.4 Probandenangaben und Voraussetzungen
- 2.5 Versuchsdurchführung
- 2.6 Auswertung

1. Feldstudien

1.1 Zielstellung und Vorgehensweise

Zielstellung:

- Wie sollte vorgegangen werden, wenn Exoskelette eingesetzt werden sollen?
Erarbeitung einer Handlungsanleitung für den Einsatz von Exoskeletten
- Bewertung von Eignung, Grenzen und Nutzen von Exoskeletten für die manuelle Kommissionierung

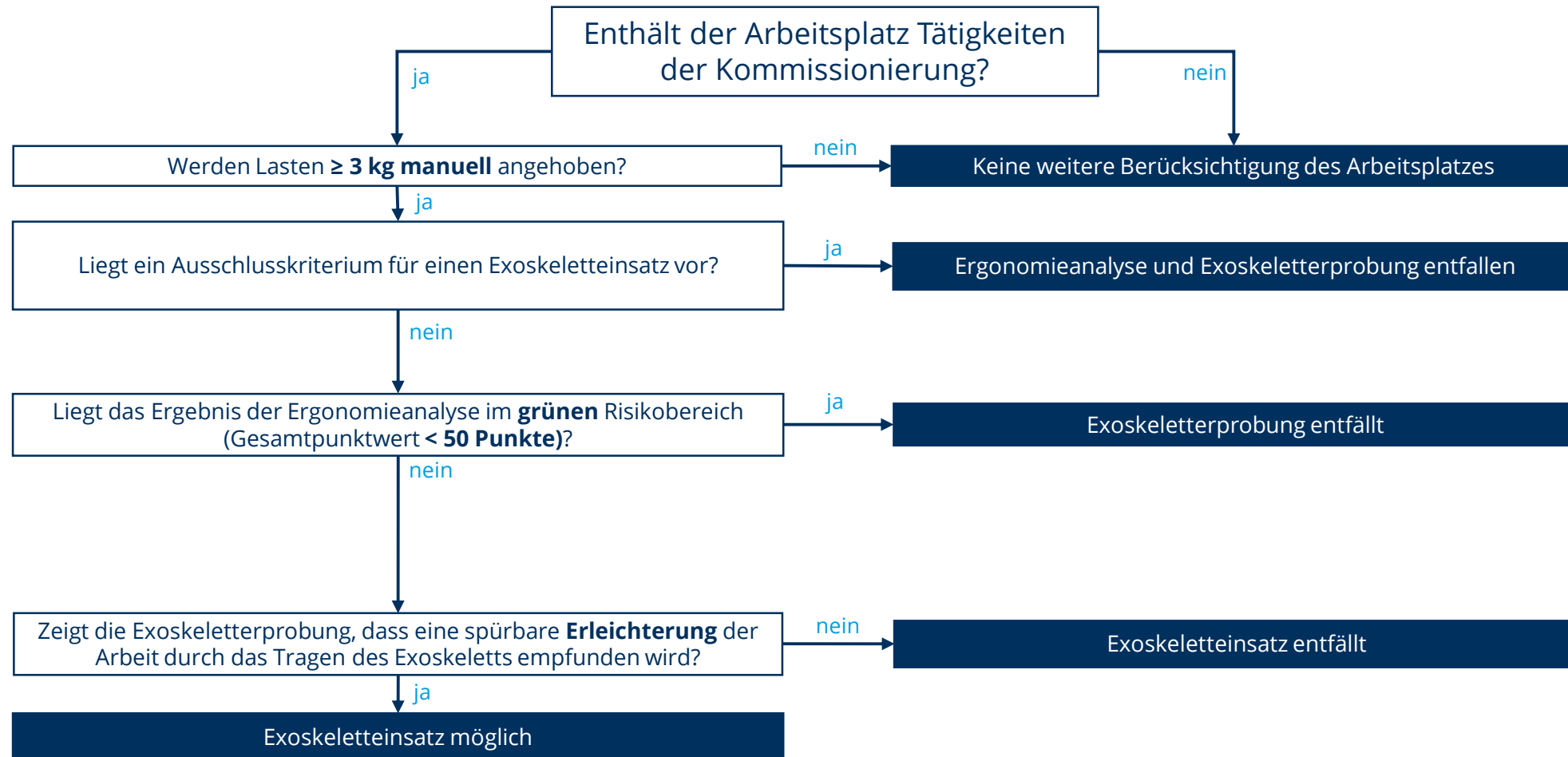
Vorgehensweise:

- Arbeitsplatzsichtung zur Erfassung des Status quo operativer Kommissionieraufgaben (nach Hompel et al., 2011; Günther et al. 2014; Walch, 2011; VDI 3590 Blatt 1, 1994)
- Gefährdungsbeurteilung zur Arbeitssicherheit ohne und mit Exoskelett (nach BGHW, 2018; Unfallkasse Hessen, 2013; BAuA, 2019a; Institut der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, 2019)
- Ergonomieanalyse nach aktueller LMM der BAuA zur Bewertung der physischen Belastungssituation (2019b)
- Exoskeletterprobung mit Beanspruchungsbefragung (Kamusella & Schmauder, 2019; Kamusella & Hoske, 2018)

1. Feldstudien

1.2 Arbeitsplatzzeignung für Exoskeletteinsatz

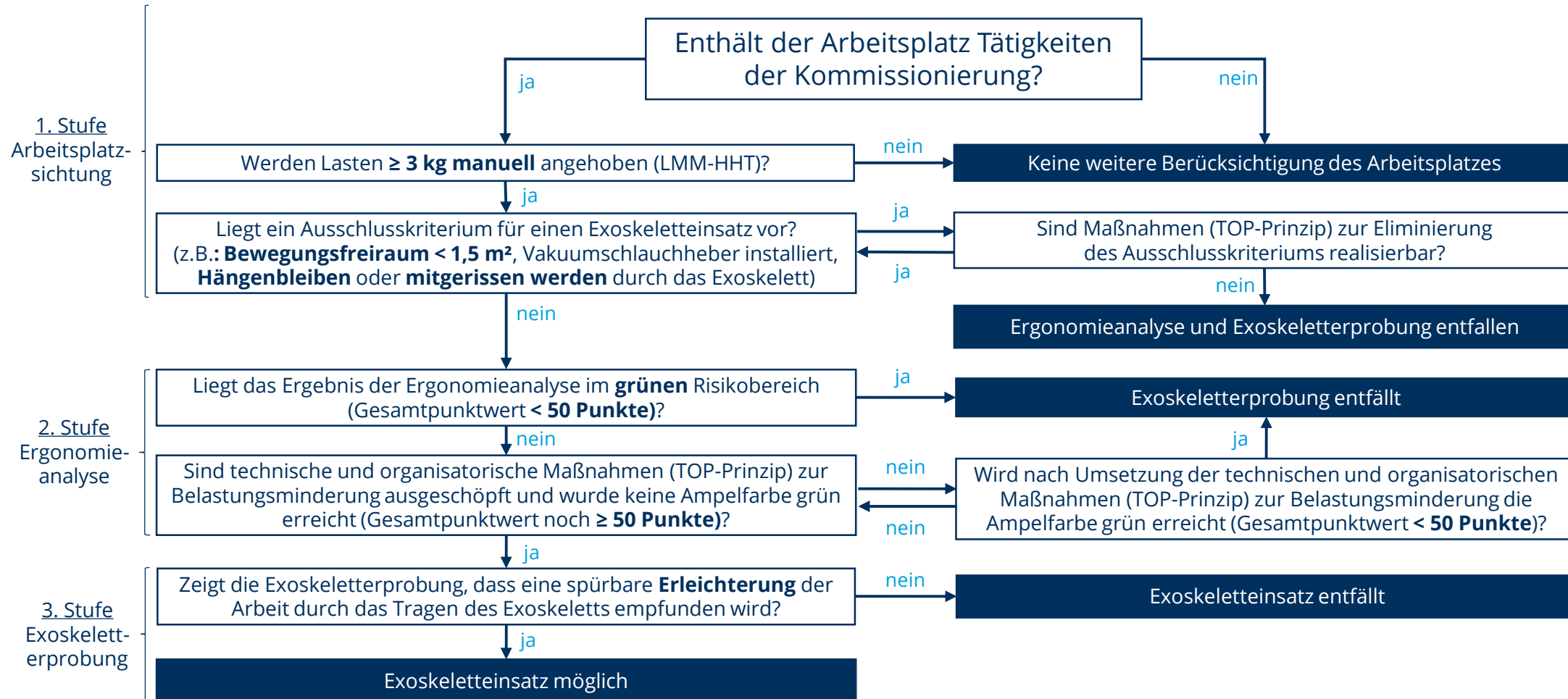
Vorgehen zur Arbeitsplatzuntersuchung vereinfacht



1. Feldstudien

1.2 Arbeitsplatzzeignung für Exoskeletteinsatz

Vorgehen zur Arbeitsplatzuntersuchung detailliert



1. Feldstudien

1.3 Grenzen für Exoskeletteinsatz bei manuellen Kommissionieraufgaben

Generelle Ausschlusskriterien	Sicherheitstechnische Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none">• Organisatorische und technische Arbeitsschutzmaßnahmen sind noch nicht ausgeschöpft• Hebe-, Halte- und Tragevorgänge sind nicht vorhanden• Lasten werden überwiegend getragen oder gehalten (kaum Hebevorgänge)• Ausschließlich Lastenhandhabung von Lastgewichten < 3 kg, > 25 kg, auf gleichem Niveau der Lasten oder über Schulterniveau	<ul style="list-style-type: none">• Stürzen, Ausrutschen, Stolpern, Umknicken, Hängenbleiben durch eingeschränkten Bewegungsfreiraum $\leq 1,5 \text{ m}^2$• Riss- oder Schnittverletzungen an Teilen mit gefährlichen Oberflächen• Exoskelett kann von beweglichen Teilen in der Umgebung mitgerissen werden• Beim Tragen des Exoskeletts kann man an Gefahrstellen gelangen und sich dabei verletzen• Exoskelett ist nicht mit dem Arbeitsprozess kompatibel
<ul style="list-style-type: none">• Gesamtpunktwert der Leitmerkalmethode HHT < 50 Punkte, also „grüne“ Ampelfarbe• Zusatzlast des Exoskeletts zu hoch für den Nutzer• Nutzer kann Tätigkeiten nicht ohne Exoskeletteinsatz durchführen• Ausschließlich dynamische Tätigkeiten (Kommissionierung im Vorbeigehen)	<ul style="list-style-type: none">• Kombination von Exoskelett und persönlicher Schutzausrüstung beeinträchtigt sich gegenseitig in ihrer Schutzwirkung• Personen mit Exoskelett können den Fluchtweg nicht benutzen

1. Feldstudien

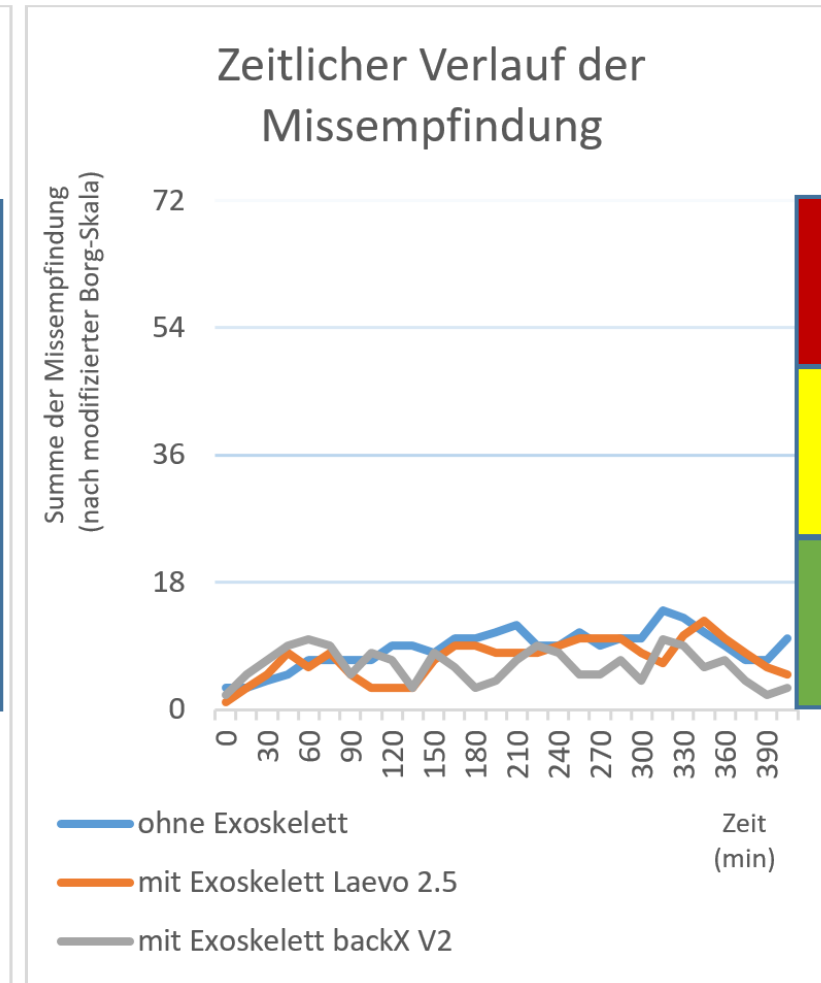
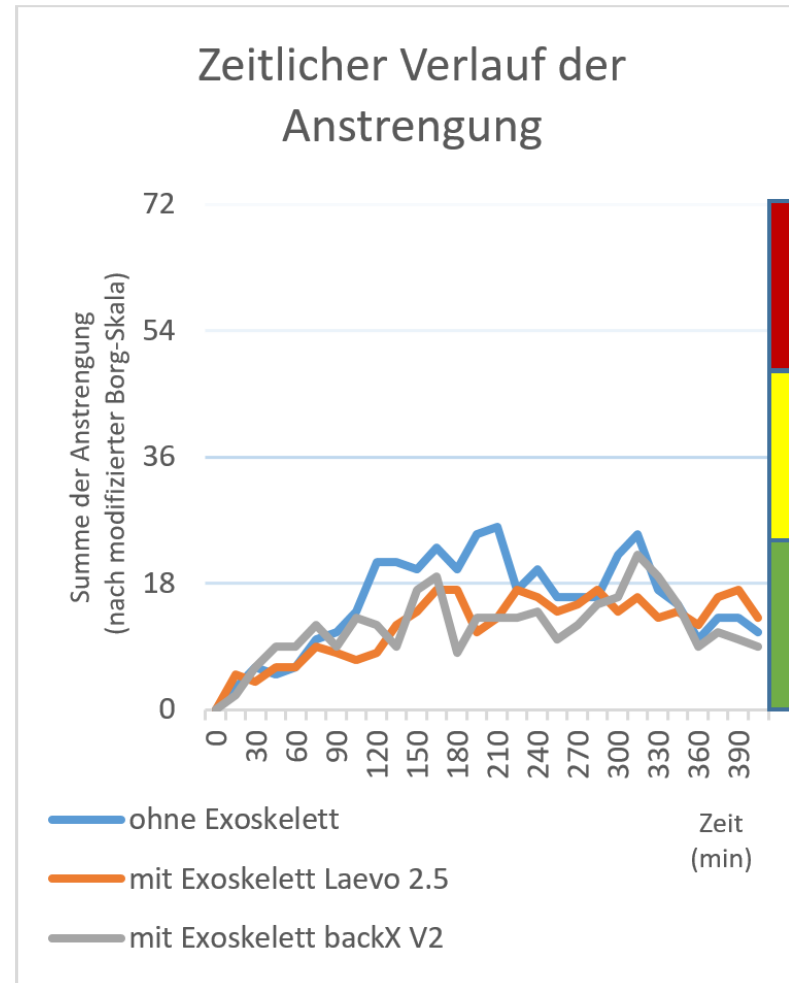
1.4 Höhe physischer Belastungen und deren Hauptursachen

- Belastungen aller 7 untersuchten Arbeitsplätze (6 Unternehmen) zumindest wesentlich erhöht
- Belastungen resultieren hauptsächlich aus
 - dem hohen **Artikelgewicht**,
 - schlechter **Körperhaltung** wegen geometrische ungünstigen Bedingungen der Entnahme- und Abgabestelle (bspw. von Regal oder Palette),
 - des **Zeitdrucks** wegen der hohen Anzahl an Kommissionierpositionen und
 - dem **manuellen Tragen** der Artikel anstatt der Verwendung technischer Hilfsmittel.

1. Feldstudien

1.5 Nutzen eines Exoskeletteinsatzes bei manuellen Kommissionieraufgaben

- Summe der Anstrengung und Missempfindung der 18 Probanden während 405 min
- Wahrgenommene Anstrengung sowie Missempfindung mit beiden Exoskeletten geringer als ohne
- Verbesserung der Anstrengung und Missempfindung durch Exoskeletteinsatz



1. Feldstudien

1.6 Fazit

- Belastungen aller 7 untersuchten Arbeitsplätze (6 Unternehmen) im roten Bereich
→ insbesondere bei Körperhaltung und Lastgewicht
 - Exoskeletterprobung an den 7 Arbeitsplätzen zeigt, wo Exoskelett wirkt:
 - Bei Lastgewicht (Verbesserung)
 - Körperhaltung (Verbesserung)
 - Rumpfdrehung (Verbesserung, da weniger verdreht)
 - Lastposition (Verschlechterung, da körperferner)
 - Kleidung (Verschlechterung, da mehr Ballast)
- Exoskeletteinsatz würde nicht zu ausreichendem Punkteabbau führen → nur marginale Veränderung der Beanspruchung

→ Belastungssituation zeigt, dass Exoskelett allein nicht reicht → Es muss zusätzlich etwas umgestaltet werden (bspw. Körperhaltung, Lastgewicht) → Unternehmen müssen weitere Maßnahmen ergreifen

Gliederung

1. **Feldstudien** zum Einsatz von passiven Exoskeletten an manuellen Kommissionierarbeitsplätzen

- 1.1 Zielstellung und Vorgehensweise
- 1.2 Arbeitsplatzzeignung für Exoskeletteinsatz
- 1.3 Grenzen für Exoskeletteinsatz bei manuellen Kommissionieraufgaben
- 1.4 Höhe physischer Belastungen und deren Hauptursachen
- 1.5 Nutzen eines Exoskeletteinsatzes bei manuellen Kommissionieraufgaben
- 1.6 Fazit

2. **Laborstudie** zur Untersuchung von Bewegungsmustern des menschlichen Körpers mittels Inertialsensormesssystem mit und ohne Exoskelettanwendung

- 2.1 Zielstellung und Vorgehensweise
- 2.2 Versuchsaufbau
- 2.3 Versuchsablauf
- 2.4 Probandenangaben und Voraussetzungen
- 2.5 Versuchsdurchführung
- 2.6 Auswertung

2. Laborstudie

2.1 Zielstellung und Vorgehensweise

Zielstellung:

- Unterschiede des Bewegungsmusters des menschlichen Körpers mit und ohne Exoskelettanwendung identifizieren
- Welche Konsequenzen hat die Änderung der Körperhaltung?
Ableitung möglicher kurz- und langfristiger Folgen physischer Belastung

Vorgehensweise:

- Zur Konzeption der Laborstudie werden Merkmale der LMM-HHT der BAuA herangezogen (2019b) sowie Erfahrungen aus den Feldstudien
- Zur Aufnahme der Bewegungsmuster wird das Inertialsensormesssystem Xsens verwendet
- Probanden führen typische Bewegungen der Kommissioniertätigkeit für verschiedene Belastungssituationen aus

Hypothesen:

Die Anwendung passiver Exoskelette zur Rumpfunterstützung führt zu einer

- a) Veränderung der Bewegung bei manuellen Hebe- und Absenkvorgängen,
- b) besseren Körperhaltung bei manuellen Hebe- und Absenkvorgängen,
- c) Reduzierung der physischen Belastung.

2. Laborstudie

2.2 Versuchsaufbau

Regalhöhen abhängig von der Anthropometrie des Probanden:

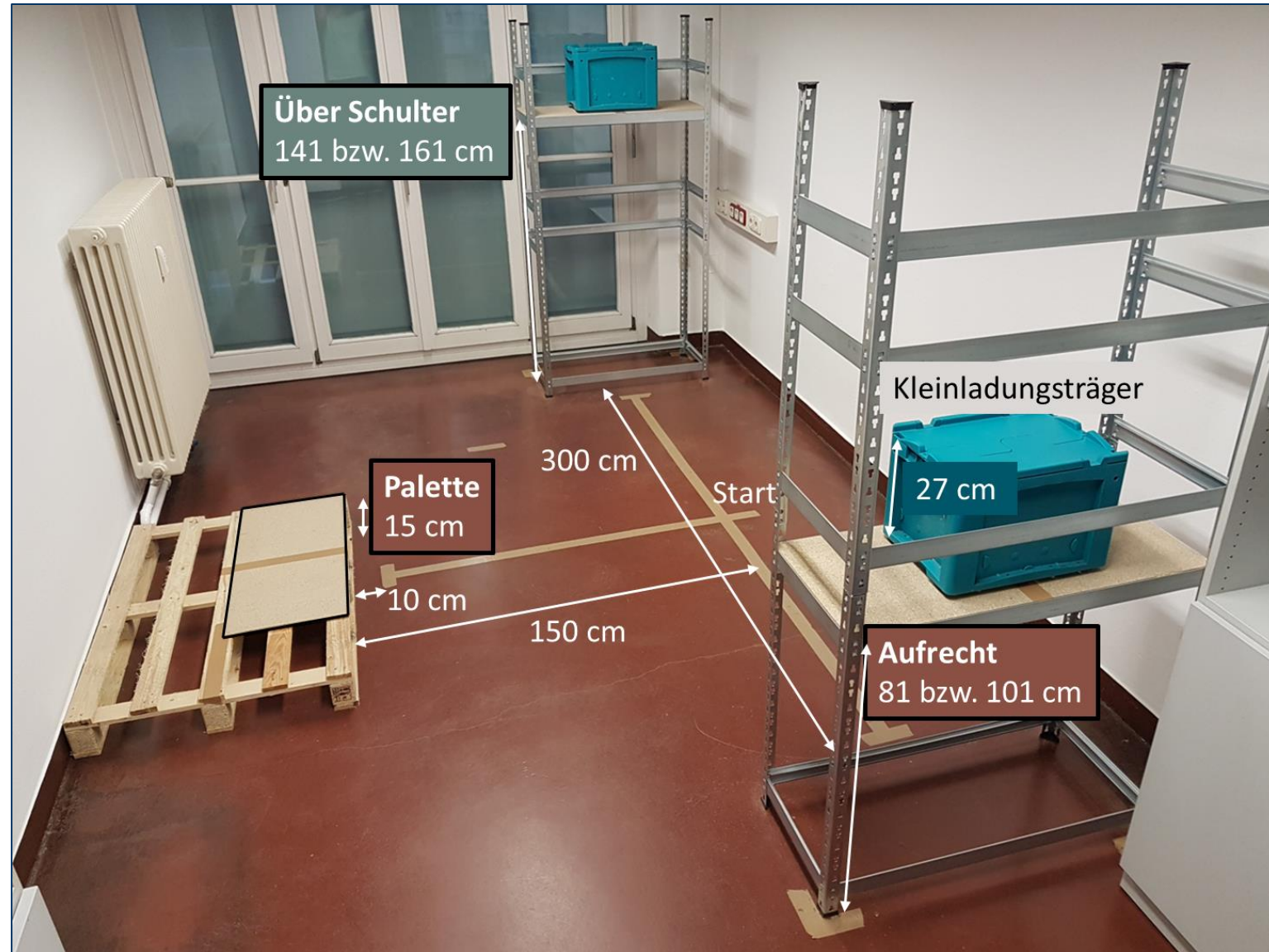
- Aufrecht: 81 cm bzw. 101 cm
- Über Schulter: 141 cm bzw. 161 cm

Abhängige Variable:

Bewegungsmuster (Beugewinkel Rumpf, Knie und Hüfte)

Unabhängige Variablen:

- Wirksame Lastmasse
- Körperhaltung
- Exoskelett



2. Laborstudie

2.3 Versuchsablauf

1. Tag (ohne Exoskelett):

- Kalibrierung Xsens
- 1 Durchgang* ohne Lastmasse zur Erwärmung
- 7,5 kg:
5 Durchgänge „Über Schulter auf Palette“, Regale tauschen,
5 Durchgänge „Aufrecht auf Palette“
- Direkt anschließend analog für 12,5 kg

2. Tag (mit Exoskelett **):

- Analog 1. Tag

* 1 Durchgang = 3 Runden = 2x Kiste auf jede Station und weg = ca. 30 s, zwischen jedem Durchgang Grid-Reset (= „move to origin“ + „axis reset“), sonst hoher Drift in Xsens

** Ottobock Paexo Back



2. Laborstudie

2.4 Probandenangaben und Voraussetzungen

Probandenangaben

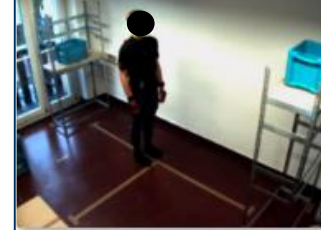
- 16 männliche Probanden
- Alter: 19 – 31 Jahre
- Körperhöhe: 173 – 193 cm
- Körpergewicht: 62 – 100 kg
- Ruhetage zw. beiden Versuchstagen: 1 – 15 Tage

Voraussetzungen an die Probanden

- An allen Versuchstagen dieselben Schuhe und Kleidung
- 24 Stunden vor Versuchstag kein Sport
- Aktivitätsniveau sollte sich vor Start der Messung nicht unterscheiden

2. Laborstudie

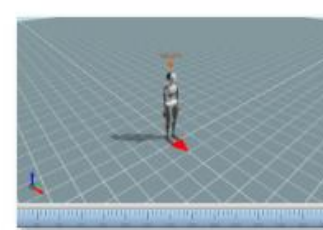
2.5 Versuchsdurchführung



01 Proband_Start_Ende.png



01 Start_Sagittalebene.png



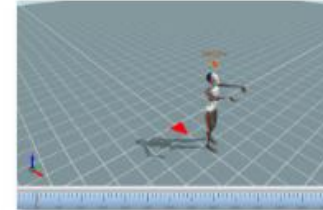
01 Xsens_Start.png



02 Proband_überSchulterhöhe.png



02 überSchulterhöhe_Sagittalebene.png



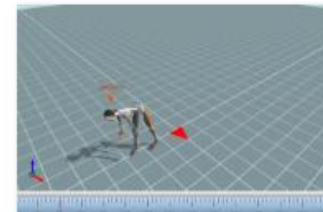
02 Xsens_überSchulterhöhe.png



03 aProband_Palettenhöhe.png



03 Palettenhöhe_Sagittalebene.png



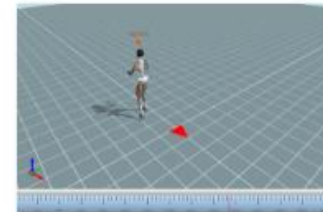
03 Xsens_Palettenhöhe.png



04 aProband_Arbeitshöhe.png



04 Arbeitshöhe_Sagittalebene.png



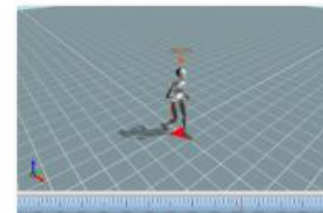
04 Xsens_Arbeitshöhe.png



05 aProband_HHT_KLT.png



05 HHT_KLT_Sagittalebene.png

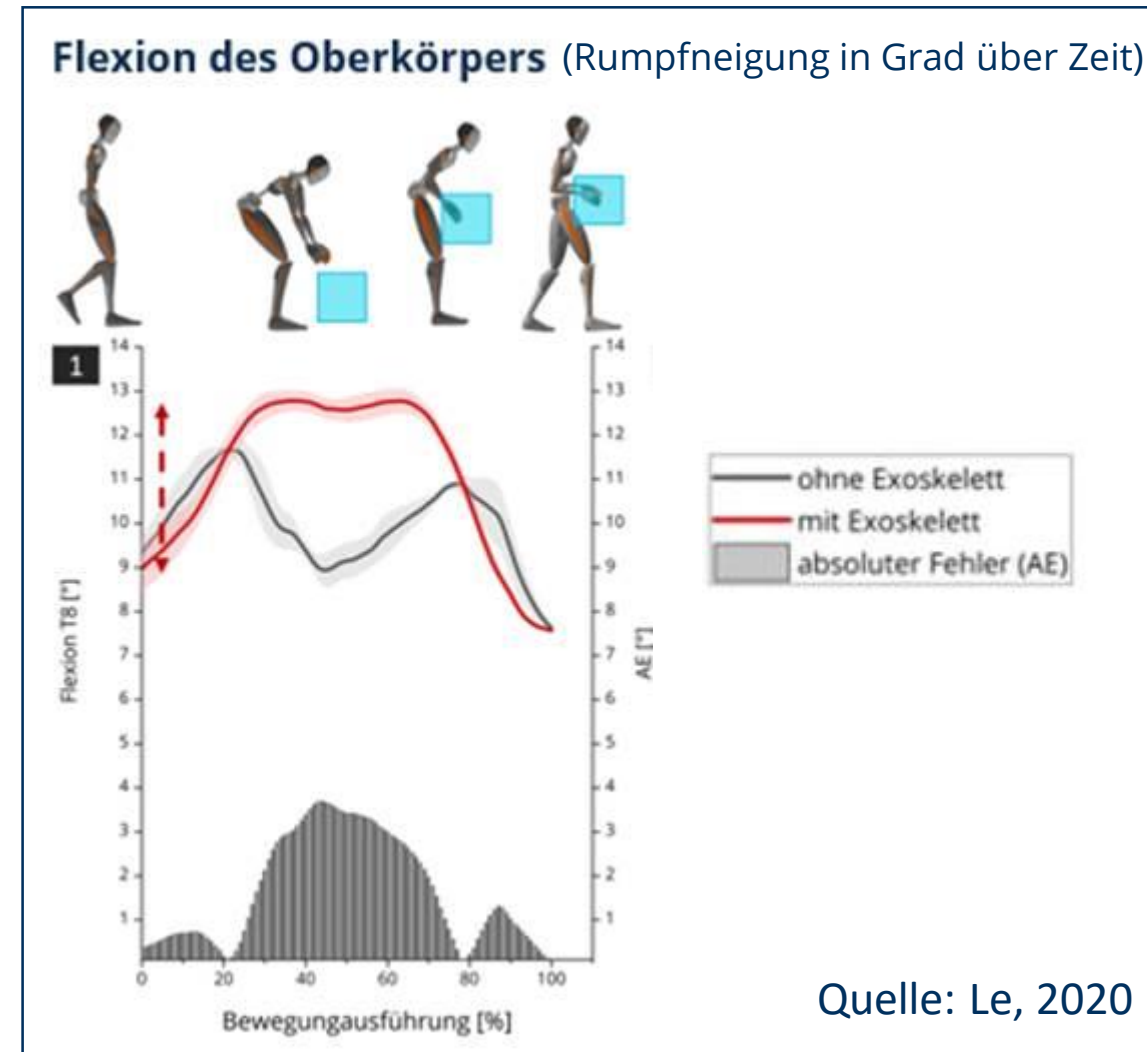


05 Xsens_HHT_KLT.png

2. Laborstudie

2.6 Auswertung

- Mittels Matlab Bewegungsmuster während das Hebens visualisieren (im Durchschnitt über alle 16 Probanden)
- Ableitung möglicher kurz- und langfristiger Folgen physischer Belastung aufgrund der veränderten Körperhaltung mittels RULA-Bewertung
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Exoskeletteinsatz



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Die Daten wurden gewonnen im Rahmen des
Forschungsprojektes: ExoKomm

„Planungsgrundlage für den Einsatz von Exoskeletten in der
Kommissionierung“

Kontakt:

Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Institut Technische Logistik und Arbeitssysteme
Professur für Arbeitswissenschaft

Dipl.-Wi.-Ing. Roy Stöhr

E-Mail: roy.stoehr@tu-dresden.de
TU-Homepage: <http://tu-dresden.de/mw/tla>

Förderhinweis:

Das Forschungsvorhaben „ExoKomm“ (Kennzeichen 20905 BR) der Bundesvereinigung Logistik (BVL) wird über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Literatur

- Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik [BGHW]. (2018). Gefährdungsbeurteilung kompakt - Einzelhandel allgemein. Zugriff am: 1. März 2022. Verfügbar unter: https://kompendium.bghw.de/bghw/xhtml/document.jsf?alias=bghw_gbk_b12ama131_1_&&event=navigation
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [BAuA]. (2019a). Gefährdungsfaktoren: Ein Ratgeber. Zugriff am: 1. März 2022. Verfügbar unter: www.baua.de/gefaehrungsfaktoren
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2019b) MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2019, Band 1.
- Gudehus, T. (2010). Logistik (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Günther, W. A., Deuse, J., Rammelmeier, T. & Weisner, K. (2014). Entwicklung und technische Integration einer Bewertungsmethodik zur Ermittlung von Mitarbeiterbelastungen in Kommissioniersystemen (ErgoKom). München. Dortmund. Technische Universität München.
- Hompel, M. ten, Sadowsky, V. & Beck, M. (2011). Kommissionierung: Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik (1. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung [IFA]. (2019). Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette Version 1.1 - Entwurf. Zugriff am: 1. März 2022. Verfügbar unter: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-ergonomie/exoskelette/index.jsp>
- Kamusella C., Hoske P. (2018). Studie zu Dreipunkt- und Vierpunktgurten in Baumaschinen. Ergebnisbericht für die GRAMMER AG.
- Kamusella, C., & Schmauder, M. (2019). Steharbeitsplätze mit Lasthandhabung: Einfluss des Belastungswechsels auf Muskelbeanspruchung, Beschwerdeempfinden und Bein volumenänderung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 73(1), 78–89. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0120-0>Kamusella C, Schmauder M (2021). Exoskelette bei manuellen Kommissionieraufgaben? Sicher ist sicher 10-2021 und 11/2021, S. 475-481 und S. 526-536. Erich Schmidt Verlag
- Kamusella C., Schmauder M. (2021). Exoskelette bei manuellen Kommissionieraufgaben? Sicher ist sicher 10-2021 und 11/2021, S. 475-481 und S. 526-536. Erich Schmidt Verlag
- Unfallkasse Hessen [UKH]. (2013). Dokumentationsvorlage für die Gefährdungsbeurteilung gemäß §§5, 6 Arbeitsschutzgesetz. Zugriff am: 1. März 2022. Verfügbar unter: <https://www.ukh.de/praevention/gefaehrungsbeurteilung/>
- Verein Deutscher Ingenieure [VDI] (1994). VDI 3590 Blatt 1 - Kommissioniersysteme - Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag.
- Walch, M. D. (2011). Belastungsermittlung in der Kommissionierung vor dem Hintergrund einer altersgerechten Arbeitsgestaltung der Intralogistik [Dissertation]. Technische Universität, München. S. 143.

Diskussion & Fragen



www.goo.gl/images/w1ajuE