



Handlungsanleitung

im Rahmen des Forschungsprojektes: ExoKomm
„Planungsgrundlage für den Einsatz von Exoskeletten in
der Kommissionierung“

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

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt

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

Dipl.-Wi.-Ing. Roy Stöhr
(0351) 463-33358
roy.stoehr@tu-dresden.de

Dresden, 15.07.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Handlungsanleitung zur eigenständigen Durchführung der Analysen....	3
1.1	Einordnung von Arbeitsplätzen.....	7
1.2	Erfassung der Arbeitssicherheit/Gefährdungsbeurteilung	12
1.3	Ausschlusskriterien für den Exoskeletteinsatz bei manuellen Kommissionieraufgaben.....	12
1.4	Durchführung von Ergonomieanalysen	14
1.4.1	Vorbereitung der Analysen	15
1.4.2	Erfassung der Teiltätigkeiten	17
1.4.3	Digitalisierung und Clusterung der erfassten Daten	18
1.4.4	Zusammenführung der Daten in der LMM-E Multi.....	20
1.5	Exoskeletterprobung mit Beanspruchungsbefragung.....	21
2	Abkürzungsverzeichnis	25
3	Literaturverzeichnis.....	26

1 Handlungsanleitung zur eigenständigen Durchführung der Analysen

Hinweis: Ein Abkürzungsverzeichnis befindet sich am Ende des Dokumentes auf Seite 25.

In diesem Kapitel wird eine Handlungsempfehlung gegeben, um eine eigenständige Durchführung der Analysen von dem Unternehmen durchzuführen. Die Handlungsanleitung folgt dem Flussdiagramm aus Abb. 4.

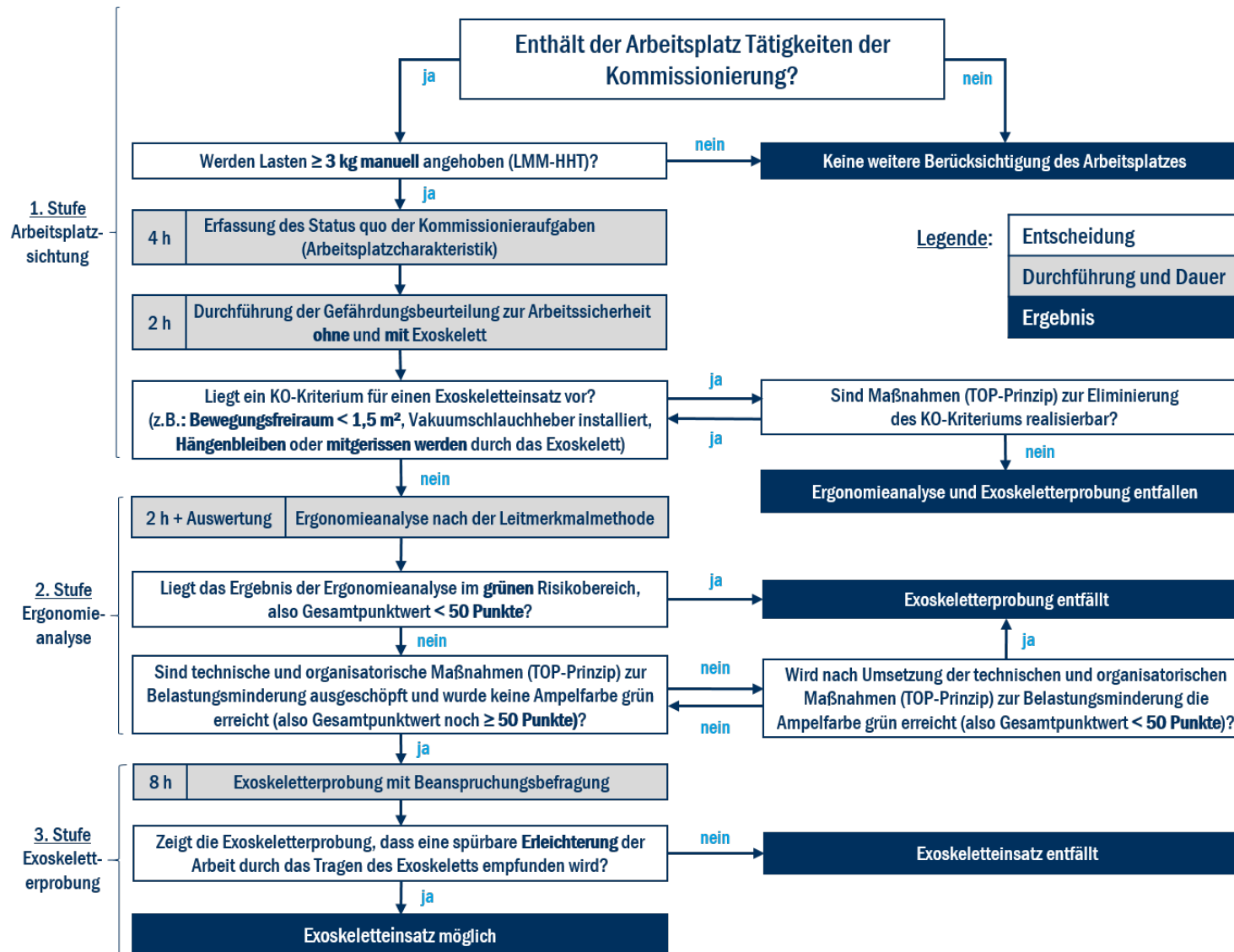


Abb. 1: Schaubild zum Vorgehen zur Arbeitsplatzuntersuchung im Unternehmen

Die Arbeitsplatzuntersuchung folgt einem 3-stufigen Vorgehen. In **Stufe 1** wird der vorhandene Kommissionierarbeitsplatz analysiert. Die Untersuchung erfolgt für alle erfassten Kommissionierarbeitsplätze, an welchen Lasten $\geq 3\text{kg}$ manuell gehandhabt werden. Außerdem erfolgt eine Gefährdungsbeurteilung zur Arbeitssicherheit. Die Ausschlusskriterien sind darin integriert. Im Ergebnis wird deutlich, ob die notwendigen Bedingungen für eine weiterführende Analyse gegeben sind.

In **Stufe 2** wird mit Hilfe einer Ergonomieanalyse die Belastungshöhe des untersuchten Arbeitsplatzes geprüft. Hierfür wird ein Mitarbeiter über die Schicht hinweg begleitet und Lastmassen, Greifbedingungen, Körperhaltungen sowie andere für die Analyse relevante Daten erhoben. Hilfreich ist es, neben der Datenerfassung auch Fotos zur Dokumentation anzufertigen, da sich im Zweifelsfall anhand der Bilder bspw. Körperhaltungen rekonstruieren lassen. Das Ergebnis zeigt, wie hoch die Belastung an dem AP ist. Liegt eine erhöhte Gefährdung vor, werden Maßnahmen zur Verringerung der Belastung empfohlen. Es erfolgt die Ableitung von Maßnahmen zur Gestaltung/Veränderung der Arbeitssituation. Dabei sind vordergründig technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen. Werden ergänzend personenbezogene Maßnahmen in Betracht gezogen und gehören Exoskelette zu den Überlegungen, ist zunächst zu prüfen, ob ein ausreichender Punkteabbau durch die Maßnahme Exoskeletteinsatz erreicht werden kann. Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung unter Einbeziehung der Maßnahme Exoskelett und Weitere: iterative Überprüfung der ergonomischen Absicherungsmaßnahmen (s. Kamusella & Schmauder, 2021). Ziel: Verringerung von Punkten in einen niedrigeren Risikobereich. Erst danach ist eine Exoskelettauswahl und -erprobung sinnvoll. Abhängig von dem Tätigkeitsspektrum findet eine Auswahl geeigneter Exoskelette nach Bauart statt. Die Feldstudien zeigten, dass bei Kommissioniertätigkeiten rumpfunterstützende Exoskelette geeignet sind. Vorzugsweise solche, die sich bei Körperfortbewegung automatisch deaktivieren.

In **Stufe 3** erfolgt die Erprobung der Exoskelette. Untersucht werden drei Mitarbeiter pro AP je einen Tag ohne Exoskelett, einen Tag mit dem Exoskelett Laevo V2.56 und einen Tag mit dem Exoskelett backX V2. Bei beiden Exoskeletten handelt es sich um am Körper getragene Assistenzsysteme zur Rückenunterstützung. Die Erprobung erfolgt dabei über die volle Schichtlänge von 8 Stunden. Dabei sei an dieser Stelle zu erwähnen, dass in der Praxis bisher „nur“ 7 Stunden inklusive Pausenzeiten aufgenommen wurden. Zeigt die Exoskeletterprobung, dass eine spürbare Erleichterung der Arbeit durch das Tragen des Exoskeletts empfunden wird, ist ein Exoskeletteinsatz möglich.

1.1 Einordnung von Arbeitsplätzen

Zunächst soll der Status quo der Kommissionieraufgaben erfasst werden. Hierfür wird mit Hilfe der Tabelle „AP-Charakteristik“ der Ist-Zustand des Arbeitsplatzes erfasst. Um die geometrischen Bedingungen am AP zu verdeutlichen, ist es zusätzlich notwendig, eine Skizze des Arbeitsplatzes anzufertigen. Im Vorfeld sollte hierfür sichergestellt werden, dass es sich um einen AP mit Kommissioniertätigkeiten handelt. Für die vollständige Erfassung eines Arbeitsplatzes ist ca. ein Tag einzuplanen. Das Vorgehen wird in Folge an einem Beispiel erklärt.

Tab. 1: AP-Charakteristik – Kommissionierverfahren

Kommissionierung am – Arbeitsplatz	
Kommissionierverfahren	
Kommissionierprinzip	Person-zu-Ware (Gabelstapler) <ul style="list-style-type: none"> • Fortbewegung: Hochregalstapler → zweidimensional • Entnahme: manuell (von Hand) • Abgabe: zentral in Verpackungsstelle
Vorgänge des Arbeitsablaufes (vgl. Nummerierung in Arbeitsplatz-Skizze)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mitarbeiter erhält Kommissionierliste (in Papierform) 2. Kommissionierliste an Stapler anbringen 3. Mitarbeiter holt Leerpalette mit Stapler 4. Schrittweise Anfahren der Lagerplätze 5. Mitarbeiter fährt auf die Regalhöhe und belädt Palette händisch mit Artikel (greift ins Regalfach, Palette auf Greifhöhe angehoben und auf Palette abgesetzt (max. 60cm, dann wird die Palette gedreht) 6. Ggf. wiederholen sich Vorgang 3 und 4 für weitere Lagerplätze 7. Abstellen der Palette auf Sammelplatz zur Verpackung (mit Stapler)
Picksystem	Pick-by-Mobile (Auftragsabarbeitung von Bildschirm (rechte obere Ecke im Führerhaus))
Artikelstruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Artikel sind teilweise lose auf Palette oder als Kartonage • Mix aus Einzelartikel- und gebündelter Ladeeinheitenentnahme

Als Erstes muss das Kommissionierverfahren erfasst werden. Hierfür werden die in Tab. 5 gelisteten Punkte

- Kommissionierprinzip
- Vorgänge des Arbeitsablaufes
- Picksystem
- Artikelstruktur

erfasst. Beim Kommissionierprinzip besteht die Auswahl zwischen dem „Person-zu-Ware“ Prinzip und dem „Ware-zu-Person“ Prinzip. Der Unterschied besteht darin, dass beim „Person-zu-Prinzip“ sich der Kommissionierer zur gelagerten Ware bewegt, während beim „Ware-zu-Person-Prinzip“ die Ware zum Kommissionierer transportiert wird (Martin, 2009, S. 389), Hilfreich ist es, die Art der Fortbewegung (bspw. mit Gabelstapler oder Ameise), sowie Entnahme (bspw. manuell oder mit Hilfsmittel) und Abgabe mitzuschreiben, um eine bessere Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Danach sollen die Vorgänge des Arbeitsablaufes beschrieben werden. Hierfür muss Schrittweise das Vorgehen des Kommissionierers nachvollzogen werden. Später sollen die Arbeitsschritte in eine Skizze des Arbeitsplatzes eingezeichnet werden.

Im Anschluss wird das Pick-System erfasst, wobei dieses die Art beschreibt, wie der Kommissionierer seine Informationen erhält.

Als letztes ist für das Kommissionierverfahren die Artikelstruktur aufzunehmen, wobei dieses die Art und Weise beschreibt, wie die Artikel gelagert sind.

Tab. 2: AP-Charakteristik - Geometrische Bedingungen am AP

Geometrische Bedingungen am Arbeitsplatz		
Bewegungsfreiraum	Artikelentnahme	Nicht ausreichend Freiraum (Bewegungsfläche: 0,7 x 1 m) eingeschränkte Seitendrehung und -neigung → Belastung: Ziehen
	Bei Umsetzung auf Pal	Nicht ausreichend Freiraum (Bewegungsfläche: 0,7 x 1 m) eingeschränkte Rumpfdrehung und -neigung → Belastung: Schieben
Sichtbedingungen		<ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtungssystem ist zweckmäßig ausgelegt (Deckenbeleuchtung mit Bewegungsmelder und Tageslichtkanälen) • Beleuchtungsstärke ist ausreihen
Zurückgelegte Wege	Abholen der Kommissionierliste vom PC	Ca. 10m (keine Lastenhandhabung → vernachlässigbar)
Regalsystem (Belegungsstrategie, Ebenen, Höhe, Breite, Tiefe)		<ul style="list-style-type: none"> • Regalsystem mit 6 Regalebenen • Alle Lagerplätze sind Kommissionierplätze (keine Priorisierung von Regalebenen) → unabhängig von Ebene kann Einzel picking erfolgen → Zusätzliches Blocklager (L-Form) mit fester Artikelanzahl (Kartonage)

Nun sind die geometrischen Bedingungen am AP aufzunehmen (vgl. Tab. 6). Zunächst gilt es hierbei das Ausschlusskriterium des Bewegungsfreiraums zu prüfen. Wenn wie in Tab. 6 der Bewegungsfreiraum an dem AP bei der Lastenhandhabung nicht gegeben ist, dann bedeutet dies, dass die Ergonomieanalyse und die Exoskeletonprobung entfallen.

Mittels des Kriteriums „Sichtbedingungen“ ist zu prüfen, ob das Beleuchtungssystem zweckmäßig ausgelegt ist.

Für die zurückgelegten Wege sind sämtliche Wege aufzugreifen, die zu Fuß erledigt werden. Sollte es keine zu Fuß zurückgelegten Strecken geben, dann ist eine Notiz mit der sonstigen Fortbewegungsart anzulegen.

Das Regalsystem bezieht sich wie in Tab. 6 auf die Belegungsstrategie, Ebenen und Abmessungen der Regale.

Tab. 3: AP - Charakteristik - Eigenschaften der Greifeinheiten

Eigenschaften der Greifeinheiten			
Artikelgeometrie (Abmessungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Großförmige Kartonage (mit 6 Flaschen) und teilweise kleiner (symmetrisch) • Einzelflaschen mit unterschiedlicher Größe und Gewicht (Gewichtsunterschied vernachlässigbar) 		
Zu handhabende Gewichte (Einstufung nach Leitmerkmal-methode Heben/Halten/Tragen (HHT) und Ziehen/Schieben (LMM-ZS))	Zwischen < 1kg (Einzelartikel) bis max. 7kg (Kartonage mit 6 Flaschen) Schieben max. bis 60cm	Häufigkeit (Einstufung nach LMM-ZS und HHT)	Saisonunabhängig → Ausgleich der Belastungsspitzen durch MA-erhöhung
Handlichkeit der Artikel	<ul style="list-style-type: none"> • Lasten mäßig gut greifbar (Keine Griffmulden der Kartonage) • Gut greifbare Einzelflaschen 		
Greifverhältnisse / Lastaufnahmebedingungen (Ein-/beidhändig, Überkopf etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Erste Regalebene: Beidhändig → HHT, ggf. überkopf (teilweise wird Kartonage im Blocklager aus der zweiten Ebene manuell (ohne Stapler) kommissioniert) • Ab zweiter Regalebene: Einhändig (Einzelartikel) und Beidhändig (Kartonage) → ZS • Rumpfdrehung und -seitneigung 		

Nun sind die Eigenschaften der Greifeinheiten aufzunehmen. Dafür werden wie in Tab. 7 gezeigt, zunächst die Artikelgeometrie und wenn möglich die dazugehörigen Abmessungen aufgenommen.

Als nächstes werden die zu handhabenden Gewichte und deren Häufigkeit beschrieben. Wichtig ist, in welchem Bereich sich die Artikelmasse befindet und wovon die Häufigkeit des Handhabens abhängt (z.B. Saisonabhängigkeit). Außerdem kann an dieser Stelle bereits abgeschätzt werden, nach welchen LMM später die Ergonomieanalyse durchgeführt werden soll.

Zuletzt sind die Greifverhältnisse bzw. die Lastaufnahmebedingungen zu dokumentieren, was bedeutet, wie Artikel bspw. aus einem Regal entnommen werden (bspw. mit Rumpfdrehung). Das ist für eine spätere Ergonomieanalyse hilfreich.

Tab. 4: AP-Charakteristik - Nutzergruppe

Nutzergruppe	
Geschlecht der Mitarbeitenden	• Frauen und Männer
Anthropometrie	Hauptsächlich 50. Perzentil (Medianwert)

Für die Nutzergruppe sind Geschlecht und die wesentliche Anthropometrie der Mitarbeitenden zu erfassen (vgl. Tab. 8).

Tab. 5: AP-Charakteristik - Belastungssituation

Belastungssituation		
Vorrangige Belastungsarten	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzkörperkräfte im Hochregallager • Heben, Halten, Tragen bei Artikel auf Bodenebene 	
Welche Belastungsarten sind vorhanden?	Ja	Nein
Heben, Halten, Tragen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ziehen/Schieben	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dauerhaftes Stehen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rumpfvorbeuge	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arme über Schulterniveau	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tätigkeiten in Körperzwangshaltung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Als nächstes soll die Belastungssituation abgesteckt werden (vgl. Tab. 9). Dabei ist abzugrenzen, welches die vorrangigen Belastungsarten sind und welche Belastungsarten generell vorliegen. Es wird bei den Belastungsarten zwischen den bereits genannten sechs Belastungsarten:

- manuelles Heben, Halten und Tragen (HHT)
- manuelles Ziehen und Schieben (ZS)
- Ganzkörperkräfte (GK)
- Körperhaltung (KH)
- Körperfortbewegung (KFB)
- manuelle Arbeitsprozesse (MA)

unterschieden.

Tab. 6: AP-Charakteristik - Eignung für Exoskeletteinsatz

Eignung für Exoskeletteinsatz			
Ja / Nein	Ja <input type="checkbox"/> / Nein <input checked="" type="checkbox"/>		
Begründung	<ul style="list-style-type: none"> • Im Stapler kein ausreichender Bewegungsfreiraum vorhanden → Einengung • Manuelle Handhabung mittlerer Lasten mit hoher Intensitäten in nach vorn gebeugter Haltung und aus unterschiedlichen Höhen → Möglichkeit zur Entlastung des Rückens • Es müssen keine längeren Wege zu Fuß zurückgelegt werden, bei denen Diskomfort entstehen kann (max. 10 m) • Technische Hilfsmittel lassen sich aufgrund der Arbeitsplatzgeometrie nur bedingt installieren 		
Voraussichtliche Körperregionunterstützung	Rumpf (backX, Laevo V2.5)	Arm (shoulderX, Skelex 360, Paexo Shoulder)	Bein (backX)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Zuletzt wird die Eignung für einen Exoskeletteinsatz abgeschätzt (vgl. Tab. 10). Die Entscheidung über die Eignung muss dann begründet werden. Sollte der AP als geeignet angesehen werden, ist die Körperregion, die unterstützt werden soll, noch abzuschätzen.

Zusammengefasst ergeben sich die Abschnitte der AP-Charakteristik zu Tab. 11.

Tab. 7: AP-Charakteristik

Kommissionierung am - Arbeitsplatz	
Kommissionierverfahren	
Kommissionierprinzip	Person-zu-Ware (Gabelstapler) <ul style="list-style-type: none"> • Fortbewegung: Hochregalstapler → zweidimensional • Entnahme: manuell (von Hand) • Abgabe: zentral in Verpackungsstelle
Vorgänge des Arbeitsablaufes (vgl. Nummerierung in Arbeitsplatz-Skizze)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mitarbeiter erhält Kommissionierliste (in Papierform) 2. Kommissionierliste an Stapler anbringen 3. Mitarbeiter holt Leerpallette mit Stapler 4. Schrittweise Anfahren der Lagerplätze

		5. Mitarbeiter fährt auf die Regalhöhe und belädt Palette händisch mit Artikel (greift ins Regalfach, Palette auf Greifhöhe angehoben und auf Palette abgesetzt (max. 60cm, dann wird die Palette gedreht) 6. Ggf. wiederholen sich Vorgang 3 und 4 für weitere Lagerplätze 7. Abstellen der Palette auf Sammelplatz zur Verpackung (mit Stapler)		
Picksystem		Pick-by-Mobile (Auftragsabarbeitung von Bildschirm (rechte obere Ecke im Führerhaus)		
Artikelstruktur		<ul style="list-style-type: none"> Artikel sind teilweise lose auf Palette oder als Kartontage Mix aus Einzelartikel- und gebündelter Ladeeinheitenentnahme 		
Geometrische Bedingungen am Arbeitsplatz				
Bewegungs freiraum	Artikelentnahme	Nicht ausreichend Freiraum (Bewegungsfläche: 0,7 x 1 m) eingeschränkte Seitendrehung und -neigung → Belastung: Ziehen		
	Bei Umsetzung auf Pal	Nicht ausreichend Freiraum (Bewegungsfläche: 0,7 x 1 m) eingeschränkte Rumpfdrehung und -neigung → Belastung: Schieben		
Sichtbedingungen		<ul style="list-style-type: none"> Beleuchtungssystem ist zweckmäßig ausgelegt (Deckenbeleuchtung mit Bewegungsmelder und Tageslichtkanälen) Beleuchtungsstärke ist ausreihen 		
Zurückgelegte Wege	Abholen der Kommissionierliste vom PC	Ca. 10m (keine Lastenhandhabung → vernachlässigbar)		
Regalsystem (Belegungsstrategie, Ebenen, Höhe, Breite, Tiefe)		<ul style="list-style-type: none"> Regalsystem mit 6 Regalebenen Alle Lagerplätze sind Kommissionierplätze (keine Priorisierung von Regalebenen) <p>→ unabhängig von Ebene kann Einzelpicking erfolgen → Zusätzliches Blocklager (L-Form) mit fester Artikelanzahl (Kartontage)</p>		
Eigenschaften der Greifeinheiten				
Artikelgeometrie (Abmessungen)		<ul style="list-style-type: none"> Großförmige Kartontage (mit 6 Flaschen) und teilweise kleiner (symmetrisch) Einzelflaschen mit unterschiedlicher Größe und Gewicht (Gewichtsunterschied vernachlässigbar) 		
Zu handhabende Gewichte (Einstufung nach Leitmerkmalmethode Heben/Halten/Tragen (HHT) und Ziehen/Schieben (LMM-ZS))	Zwischen < 1kg (Einzelartikel) bis max. 7kg (Kartontage mit 6 Flaschen) Schieben max. bis 60cm	<table border="1"> <tr> <td>Häufigkeit (Einstufung nach LMM-ZS und HHT)</td> <td>Saisonunabhängig → Ausgleich der Belastungsspitzen durch MA-erhöhung</td> </tr> </table>	Häufigkeit (Einstufung nach LMM-ZS und HHT)	Saisonunabhängig → Ausgleich der Belastungsspitzen durch MA-erhöhung
Häufigkeit (Einstufung nach LMM-ZS und HHT)	Saisonunabhängig → Ausgleich der Belastungsspitzen durch MA-erhöhung			
Handlichkeit der Artikel		<ul style="list-style-type: none"> Lasten mäßig gut greifbar (Keine Griffmulden der Kartontage) Gut greifbare Einzelflaschen 		
Greifverhältnisse / Lastaufnahmebedingungen (Ein-/beidhändig, Überkopf etc.)		<ul style="list-style-type: none"> Erste Regalebene: Beidhändig → HHT, ggf. überkopf (teilweise wird Kartontage im Blocklager aus der zweiten Ebene manuell (ohne Stapler) kommissioniert Ab zweiter Regalebene: Einhändig (Einzelartikel) und Beidhändig (Kartontage) → ZS Rumpfdrehung und -seitneigung 		
Nutzergruppe				
Geschlecht der Mitarbeitenden		<ul style="list-style-type: none"> Frauen und Männer 		
Anthropometrie		Hauptsächlich 50. Perzentil (Medianwert)		
Belastungssituation				
Vorrangige Belastungsarten		<ul style="list-style-type: none"> Ganzkörperkräfte im Hochregallager Heben, Halten, Tragen bei Artikel auf Bodenebene 		
Welche Belastungsarten sind vorhanden?		Ja	Nein	
Heben, Halten, Tragen		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ziehen/Schieben (mit z.B. Kommissionierwagen)		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dauerhaftes Stehen		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Rumpfvorbeuge		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Arme über Schulterniveau		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Tätigkeiten in Körperzwangshaltung (statisches z.B. Beugen)		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Eignung für Exoskeletteinsatz			
Ja / Nein	Ja <input type="checkbox"/> / Nein <input checked="" type="checkbox"/>		
Begründung	<ul style="list-style-type: none"> • Im Stapler kein ausreichender Bewegungsfreiraum vorhanden → Einengung • Manuelle Handhabung mittlerer Lasten mit hoher Intensitäten in nach vorn gebeugter Haltung und aus unterschiedlichen Höhen → Möglichkeit zur Entlastung des Rückens • Es müssen keine längeren Wege zu Fuß zurückgelegt werden, bei denen Diskomfort entstehen kann (max. 10 m) • Technische Hilfsmittel lassen sich aufgrund der Arbeitsplatzgeometrie nur bedingt installieren 		
Voraussichtliche Körperregionunterstützung	Rumpf (backX, Laevo V2.5)	Arm (shoulderX, Skelex 360, Paexo Shoulder)	Bein (backX)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.2 Erfassung der Arbeitssicherheit/Gefährdungsbeurteilung

Hierfür wird jeder AP kritisch hinsichtlich der folgenden Kriterien geprüft:

- mechanischer Gefährdungen
- Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen
- Gefährdungen durch Arbeitsumgebungsbedingungen
- Gefährdungen durch Physische Belastungen/Arbeitsschwere
- Gefährdungen durch Arbeitsorganisation und Verhalten
- Sonstige Gefährdungen/Belastungen

Dies erfolgt mit Hilfe einer vorgefertigten MS-Excel Arbeitsmappe. Dabei werden Kriterien ohne Exoskelett und exoskelettbezogene Kriterien abgefragt.

1.3 Ausschlusskriterien für den Exoskeletteinsatz bei manuellen Kommissionieraufgaben

Im Folgenden wird unterschieden zwischen generellen Ausschlusskriterien und sicherheitstechnischen Ausschlusskriterien (vgl. Tab. 8). Die Prüfung auf Ausschlusskriterien erfolgt im Rahmen der Datenerfassung zum Status quo operativer Kommissionieraufgaben (generelle Ausschlusskriterien) und der anschließenden Gefährdungsbeurteilung zur Arbeitssicherheit (sicherheitstechnische Ausschlusskriterien). Das Vorliegen eines Ausschlusskriteriums kann zum Ausschluss eines möglichen Exoskeletteinsatzes und damit Abbruch der Arbeitsplatzuntersuchung führen. Können jedoch Maßnahmen realisiert werden, um vorliegende Ausschlusskriterien zu eliminieren, wird die Arbeitsplatzuntersuchung fortgesetzt.

Tab. 8: Generelle sowie sicherheitstechnische Ausschlusskriterien für einen möglichen Exoskeletteinsatz

Generelle Ausschlusskriterien	Begründung
Organisatorische und technische Arbeitsschutzmaßnahmen noch nicht ausgeschöpft	Diese sind personenbezogenen Maßnahmen vorzuziehen.
Hebe-, Halte- und Tragevorgänge sind nicht vorhanden	Keine Unterstützungswirkung durch das Exoskelett, da Unterstützungswirkung durch das Exoskelett hauptsächlich bei Hebevorgängen
Ausschließlich Lastenhandhabung von Lastgewichten < 3 kg	Es werden zwar Gegenstände manuell umgesetzt, gehalten und transportiert, deren Lastmassen betragen aber < 3 kg → es liegt keine Belastungsart Heben, Halten, Tragen mehr vor
Ausschließlich Lastenhandhabung von Lastgewichten >25 kg	Lastmassengrenze durch Exoskeletthersteller für Unterstützungswirkung bis ca. 25 kg. Teiltätigkeiten mit Lastklassen ab 25 kg bleiben in ihrer Punktwichtung und Wirkung bestehen.
Ausschließlich Lastenhandhabung auf gleichem Niveau der Lasten	Lastaufnahme vorherrschend aus aufrechter oder nahezu ergonomischer Ausgangshöhe. Wirksamkeit von Exoskeletten für diese Körperhaltungsbedingung von vornherein sehr eingeschränkt. Unterstützungswirkung durch das Exoskelett hauptsächlich bei Hebevorgängen
Lasten werden überwiegend getragen oder gehalten (kaum Hebevorgänge)	Lasten werden nahezu aufrecht ohne Schritte umgesetzt. Wirksamkeit von Exoskeletten ist für diese Körperhaltungsbedingungen eher kritisch zu sehen.
Lastenmanipulation, jedoch in Form von Körperfortbewegung oder Ziehen und Schieben	
Gesamtpunktwert der Ergonomieanalyse < 50 Punkte , also „grüne“ Ampelfarbe	Resultat aus Gefährdungsbeurteilung: keine wesentlich erhöhte physische Belastung am Arbeitsplatz → akzeptables Risiko, kein Handlungsbedarf
Zusatzlast des Exoskeletts zu hoch für den Nutzer	Am Körper zu tragende Ausrüstung entspricht einer Zusatzbelastung.
Nutzer kann Tätigkeiten nicht ohne Exoskeletteinsatz durchführen	Das Exoskelett dient zur Unterstützung und damit zur Schonung der Gesundheit. Kann eine Tätigkeit nicht ohne Exoskelett durchgeführt werden, dann ist diese Tätigkeit ebenso mit Exoskelett ausgeschlossen, um gesundheitliche Schäden zu vermeiden. Das Exoskelett dient auch nicht dazu, höhere Lasten zu heben.
Ausschließlich Lastenhandhabung über Schulter- und Kopfniveau	Exoskeletten zur Rumpfunterstützung wirken für Hebetätigkeiten bei Beugevorgängen. Im Fall einer Lastenhandhabung über Schulter- und Kopfniveau kann ein Exoskelett zur Armunterstützung in Betracht gezogen werden.
Ausschließlich dynamische Tätigkeiten (Kommissionierung im Vorbeigehen)	Geringer Hebeanteil, häufige Laufwege → kaum Unterstützungswirkung durch das Exoskelett
Häufige Unterbrechung von HHT-TT durch andere Vorgänge	In Mischbelastungen treten weitere Belastungsarten auf. Für Körperfortbewegung oder Ziehen und Schieben von Lasten sind bestimmte Exoskelettbauarten ungeeignet. Keine Unterstützungswirkung durch das Exoskelett
Manuelle Hebe-Teiltätigkeiten werden zu einem entscheidenden Anteil durch Fortbewegung mit Transportmitteln unterbrochen	Keine Unterstützungswirkung durch das Exoskelett
Es treten längere und regelmäßig wiederkehrende Unterbrechungen durch Laufwege ohne Last auf	Keine Unterstützungswirkung durch das Exoskelett
Bewertung des Gesundheitsrisikos unter Betracht der Maßnahme Exoskeletteinsatz erbringt keine ausreichende Absenkung von Risikopunktwerten (Exoskeletteinsatz nicht zielführend)	

Sicherheitstechnische Ausschlusskriterien	Begründung
Mechanische Gefährdungen	
Stürzen, Ausrutschen, Stolpern, Umknicken durch Eingeschränkte Beweglichkeit / eingeschränkter Bewegungsfreiraum $\leq 1,5 \text{ m}^2$	Bei der Handhabung von Lasten ist ein Bewegungsfreiraum von ca. $\geq 1,5 \text{ m}^2$ erforderlich. Die Exoskelette verbreitern allgemein den Körperbereich und der Bewegungsraum verkleinert sich.
Riss- oder Schnittverletzungen an Teilen mit gefährlichen Oberflächen	Der Einsatz von Exoskeletten erfordert eine Arbeitsumgebung ohne eine Gefahr von Riss- oder Schnittverletzungen (z. B. hervorstehende Stellteile, Kartons, Abrissmaterial oder Transportbänder).
Gefährdung durch spezielle physikalische Einwirkungen	
Übertönung von Gefahrensignalen oder anderen wichtigen akustischen Geräuschen durch die Betriebsgeräusche des Exoskeletts	Das Exoskelett darf im Betriebszustand keine Lärmgeräusche verursachen, welche die akustische Wahrnehmung der Notfallsignale erschweren. Das Ausschlusskriterium gilt insbesondere für aktive Exoskelette.
Gefährdungen durch Arbeitsumgebungsbedingungen	
Exoskelett kann von beweglichen Teilen in der Umgebung mitgerissen werden	Die Gefahr, dass das Exoskelett in der Arbeitsumgebung mitgerissen werden kann (z. B. Transportbänder, Flurförderzeuge), muss vollständig ausgeschlossen werden.
Beim Tragen des Exoskeletts kann man an Gefahrstellen gelangen und sich dabei verletzen	Gefahrenstellen, welche den Beschäftigten an Arm, Rumpf, Wirbelsäule oder Beinen durch den Exoskelett-Einsatz verletzen können, müssen substituiert oder minimiert werden (z. B. Einhausung).
Gefährdungen durch Arbeitsorganisation und Verhalten	
Exoskelett ist nicht mit dem Arbeitsprozess kompatibel	Der Arbeitsplatz ist nicht für den Exoskeletteinsatz geeignet, da andere Maßnahmen bereits wirken. (z. B. Vakuumschlauchheber installiert). Die Transformation der Arbeitsmittel kann kalkuliert werden, ist aber nicht immer zielführend.
Kombination von Exoskelett und persönlicher Schutzausrüstung beeinträchtigt sich gegenseitig in ihrer Schutzwirkung	Die Schutzwirkung gegen Gefahren am betroffenen Arbeitsplatz hat Vorrang gegenüber dem Exoskelett, falls die persönliche Schutzausrüstung nicht die gleiche Assistenz beabsichtigt, wie das Exoskelett. In diesem Fall sollte ein Vergleich der persönlichen Schutzausrüstungen erfolgen. Ein Exoskelett wird nicht als Maßnahme für eine bereits getroffene Maßnahme eingesetzt.
Gefährdungen der sonstigen Gefährdungen / Belastungen	
Personen mit Exoskelett können den Fluchtweg nicht benutzen	Sollte das Treppensteigen nicht möglich oder eine Behinderung beim Laufen oder Rennen durch das Exoskelett vorliegen, ist der Einsatz für Gefährdungen im Notfall abzusichern oder das Exoskelett am Arbeitsplatz nicht einsetzbar.

1.4 Durchführung von Ergonomieanalysen

Hinweis: Für genauere Erläuterungen siehe Anlage digital 1.

Mit Hilfe der Ergonomieanalyse soll die Belastungssituation am Arbeitsplatz geprüft werden. Bisher traten an allen im Rahmen des Projektes untersuchten Arbeitsplätzen als Belastungsformen ausschließlich entweder HHT, ZS oder GK auf. Daher wird an dieser Stelle nur auf das Vorgehen und die Besonderheiten dieser Belastungsformen eingegangen. Es kann allerdings auch vorkommen, dass andere Belastungssituationen auftreten. Falls Unsicherheiten bestehen, welche LMM angewendet werden sollen bzw. ob und welche Art von Belastungsschwerpunkten vorhanden sind, wird empfohlen, den

Basis-Check bzw. das Einstiegsscreening bei körperlicher Belastung der BAuA zu nutzen. Dieser steht, genauso wie die einzelnen erweiterten Leitmerkmalmethoden auf der Website der BAuA zum Download zur Verfügung. Grundsätzlich wurden die LMM als Papierversionen entwickelt. Daraus abgeleitet wurden in dem MEGAPHYS-Projekt erweiterte rechnergestützte MS Excel-Versionen (LMM-E), mit Hilfe derer die Bewertung mehrerer Tätigkeiten gleicher Belastungsart in einer Schicht ermöglicht wurde. In diesem ExoKomm-Projekt erfolgt die Auswertung der Belastungssituation mit den LMM-E. Daher werden für die Analyse die folgenden Dokumente benötigt:

- Basis-Check und Einstiegsscreening körperlicher Belastung: Interaktives Formular
- Erweiterte Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Heben, Halten und Tragen von Lasten ≥ 3 kg (LMM-HHT-E)
- Erweiterte Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen beim manuellen Ziehen und Schieben von Lasten (LMM-ZS-E)
- Erweiterte Leitmerkmalmethode zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen bei der Ausübung von Ganzkörperkräften (LMM-GK-E)

Es erfolgt eine Bewertung mehrerer Tätigkeiten gleicher Belastungsart. Die Verrechnung einzelner Tätigkeiten erfolgt belastungsartbezogen.

Grundsätzlich besteht ein Arbeitsplatz eines Beschäftigten aus mehreren verschiedenen Tätigkeiten und Teil-Tätigkeiten. Um eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, wird vorausgesetzt, dass eine Arbeitsschicht von ca. 8 Stunden absolviert wird. Dabei sollen dann sämtliche Teiltätigkeiten des Mitarbeiters bei denen Lasten gehandhabt werden erfasst werden. Zur Erfassung während der Schicht eignen sich Papier und Bleistift Methoden. Es ist möglich, eine geringere Zeitspanne (bspw. von 2 Stunden) des Arbeitstages zu erfassen und dann später diese auf die volle Arbeitszeit hochzurechnen. Die Mitschriften müssen im Anschluss an die Vor-Ort Analyse digitalisiert und zusammengefasst werden.

1.4.1 Vorbereitung der Analysen

Voraussetzung zur Durchführung der Ergonomieanalyse ist es, dass vorher die auftretenden Belastungsarten bestimmt wurden. Da bisher an den Kommissionierarbeitsplätzen vorrangig nur HHT, GK und ZS auftraten, wurden zur Vorbereitung zwei Arbeitsmappen in MS-Excel erstellt. Die erste Mappe (Tab. 12) beinhaltet die wesentlichen Aspekte der LMM-HHT und LMM-GK.

Tab. 9: Hilfsmittel zur Erfassung von Hebe-, Halte-, und Tragetätigkeiten

Erfassung von Teiltätigkeiten am AP:				Legende:				Inhaltsverzeichnis													
Unternehmen:				Fotos: so, dass Körperhaltung gut erkennbar																	
Untersucher:				Lastaufnahmebedingungen:																	
Mitarbeiter:				sieht man auf Körperhaltungs-Fotos:				EH=Einhändig SY=symmetrisch (gl. Last an je einer Hand) UN=unsymm./ungleiche Lastverteilung zw. Händen IN=instabiler Lastschwerpunkt (Pat.transfer, inst. Kartonage-Paletten)													
Datum: Nebensaison? O ja, Aufkommen Hpt.saison? _____ O nein, es ist Hauptsaison				Zusatzbedingungen:																	
Schichtzeit:				verdreht: Rumpf-Rotation																	
Pausenzeiten:				Körperfern: >17cm Brust Handmitte																	
Ausschließlich eine Belsatungsar O ja ____ O nein, _____				Elle->: Oberarmabduktion, Hände zw. Ellenbogen und Schulter																	
Ausschließlich Männer? O ja O nein (__ x Männer, __ x Frauen)				Schulter↑: Hände über Schulterhöhe																	
Ausschließlich beidhändig? O ja O nein (siehe Fotos & Notizen) (auch beidhändig aber symm.: 2 gleichartige Lasten an je einer Hand)				Ungünstige Ausführungsbedingungen:																	
Anzahl tragender Personen? _____				Hand-Ende: Hand-/Armstellung am Ende der Bew.keitsbereiche																	
Weggelassen (zB: < 2 kg, leeren Karton geholt, Artikel einz. gehoben): - _____				Kraftübertragung: 0, 1 (z.B. Pakete), 2 (tritt kaum auf)																	
Woher/-hin zB: Boden, Band, Tisch (auch für Wagen)				sieht man auf Körperhalt.-Fotos: Weg siehe AP-Skizze:				Umgebung Räumliche Bedingung Kleidung Erschwernis													
Abk. zB: GW=Gitterwagen / D=DHL-Wagen: U=Unten, M=Mitte, O=Oben								<table border="1"> <tr><td>Anzahl aller Vorgänge:</td><td>0</td></tr> <tr><td>Lastenhandhabung (>= 3 kg):</td><td>0</td></tr> <tr><td>Körperhaltungsbewertung (< 3 kg):</td><td>0</td></tr> <tr><td>--> unwichtig für Exoskelette</td><td></td></tr> <tr><td>Belastungsspitzen (> 15 kg):</td><td>0</td></tr> </table>				Anzahl aller Vorgänge:	0	Lastenhandhabung (>= 3 kg):	0	Körperhaltungsbewertung (< 3 kg):	0	--> unwichtig für Exoskelette		Belastungsspitzen (> 15 kg):	0
Anzahl aller Vorgänge:	0																				
Lastenhandhabung (>= 3 kg):	0																				
Körperhaltungsbewertung (< 3 kg):	0																				
--> unwichtig für Exoskelette																					
Belastungsspitzen (> 15 kg):	0																				
Untersucher 1:				Untersucher 2:																	
Basisdaten				Zusatzbedingungen (X, wenn ja)				Ausführungsbed.en													
Bsp: 8:15-8:17/8s R2M x x Band 12,7				x x x x				x 0 1 2													
Nr.	Anzahl	Woher	Foto	Wohin	kg	verdreht	körperf.	Elle->	Schulter↑	Hand-Ende	Kraft-Über.	Notiz (zB: einhändig, unsymmetrisch, Hilfsmittel, gekippt (ZS), 2 Pers., Häufigkeit)									
1																					
2																					
3																					

Oberhalb der Tabelle werden grundlegende Informationen zum Analysetag erfasst. Zunächst sind die Basisdaten des Handhabungsvorgangs zu erfassen. Deswegen wird der jeweiligen Vorgangsnummer zunächst die Anzahl der Wiederholungen, der Entnahmeort (Woher) und der Abgabeort (Wohin) zugeordnet. Außerdem sind Zusatzbedingungen und Ausführungsbedingungen aufzunehmen. Sollten Ganzkörperkräfte erfasst werden, muss zusätzlich die Höhe der Kraftaufwendung in Bezug zur Maximalkraft für jeden Vorgang abgeschätzt werden. Dafür eignet sich die BORG-RPE Skala (Abb. 7). Hierbei wird der Mitarbeiter befragt, wie viel Prozent der Maximalkraft während der Handhabung aufgewendet werden. Zusätzlich kann mit einer Federzugwaage die genaue Kraftaufwendung erfasst werden und mittels montagespezifischen Kraftatlas berechnet werden.

Krafthöhe	Prozent der Maximalkraft	Borg Skala	Beschreibung der Empfindung	Bei Beobachtung der Tätigkeit
Geringe Kräfte	< 2	6	Überhaupt nicht anstrengend	Die Ausübung der Tätigkeit erfordert das Ausüben von Kräften die grundsätzlich im Sitzen aufgeführt werden können. (--> Anwendung der LMM MA)
	2 < 5	7	Extrem leicht	
	5 < 10	8		
	10 < 15	9		
Mittlere Kräfte	15 < 20	10	Leicht	Die Ausübung der Tätigkeit erfordert das Ausüben von Kräften, die nicht mehr im Sitzen ausgeführt werden können.
	20 < 25	11		
	25 < 30	12		
Hohe Kräfte	30 < 35	13	Etwas anstrengend	Die Ausübung der Tätigkeit erfordert eine erkennbare Beteiligung des Oberkörpers.
	35 < 40	14		
	40 < 50	15		
Sehr hohe Kräfte	50 < 60	16	Anstrengend	Die Ausübung der Tätigkeit erfordert eine deutlich erkennbare Beteiligung von Oberkörper, Rumpf und Beinen.
	60 < 70	17		
	70 < 80	18		
Spitzenkräfte	80 < 90	19	Extrem anstrengend	Extremsituation, sehr deutliche Beteiligung von Oberkörper, Rumpf und Beinen.
	≥ 90	20	Maximale Anstrengung	

Abb. 2: BORG-RPE Skala

Die zweite Arbeitsmappe (Tab. 13) beinhaltet die wesentlichen Aspekte LMM-ZS.

Tab. 10: Hilfsmittel zur Erfassung von Zieh- und Schiebetätigkeiten

Erfassung von Teiltätigkeiten am AP:		Legende:	Inhaltsverzeichnis						
Unternehmen:		Fotos: so, dass Körperhaltung und Untergrund gut erkennbar sind							
Untersucher:		Beförderungsmittel: (Stützräder und Treppenkarren sind nicht zu beurteilen)							
Mitarbeiter:		Karren: Schub-, Stapelkarren / Tonnen							
Datum: Nebensaison? Nein O ja, Aufkommen Hpt.saison?		Wagen: Unterscheidung nach Rollenart (bei Notiz zu erfassen)							
Schichtzeit:		nur Lenkrollen / Mit Bockrollen oder feststellbaren Lenkrollen / mit Deichsellenkung							
Pausenzeiten:		Sonstige: Hängebahn/- kräne							
Ausschließlich eine Belastungsart?		Ungünstige Eigenschaften Beförderungsmittel:							
Ausschließlich Männer?		unangepasste Rollen: zu klein auf weichem oder unebenen Boden							
Ausschließlich beidhändig?		sieht man auf Räumliche Bedingung							
Anzahl tragender Personen?		Kleidung Anzahl aller Vorgänge: 0							
Weggelassen (zB: wenn Flurförderzeug kaum bewegt wurde 0,5m):		Erschwernis Lastenhandhabung (>= 3 kg): 0							
-		Weg grob Körperhaltungsbewertung (< 3 kg): 0							
-		abzuschätzen (>/< 40m/200m/...) --> unwichtig für Exoskelette:							
-		Belastungsspitzen (> 15 kg): 0							
Abk. zB: GW=Gitterwagen / D=DHL-Wagen: U=Unten, M=Mitte, O=Oben		Hochrechnung durchgeführt, wenn ja wie?							
Untersucher 1:		Untersucher 2:							
Basisdaten						Eigenschaften		Notiz	
Bsp:	01 bis 04	20m	x	x	45	12,7			
Nr.	Vorgänge (aus HHT für Masse)	Weglänge	Foto	Masse Wagen [kg]	Lastgewicht ohne Wagenmasse [kg]	Summe Lastgewicht [kg]	Transportmittel (Keine Handgriffe / keine Bremse bei Neigungen >2-3° / Unangepasste oder defekte Rollen)	Ausführungsbedingungen (Anfahrkräfte, Unterbrechungen, Kurven /Rangieren, Präzision, hohe Bewegungsgeschwindigkeit)	Anzahl Rollen des Wagens, starke Verschmutzungen des Bodens,...

Die Tabelle ähnelt vom Aufbau Tab. 12. Zu den Basisdaten zählen hier die Weglänge, die Masse des genutzten Wagens und die Lastmasse ohne Wagenmasse. Ein neuer Vorgang beginnt, wenn zu der Lastmasse auf dem Wagen, neue Kommissionierware auf dem Kommissionierwagen befindet und sich somit dessen Masse beim Ziehen/Schieben im Vergleich zum vorherigen Vorgang verändert hat. Es empfiehlt sich, im Vorfeld sich mit den LMM-E beschäftigt zu haben. Außerdem ist es wichtig, bei der Festlegung des Tages der Analyse darauf zu achten, dass der betrachtete Arbeitstag auch einem durchschnittlichen Arbeitstag entspricht. Des Weiteren sind die Eigenschaften des Transportmittels und der Ausführungsbedingungen aufzunehmen

1.4.2 Erfassung der Teiltätigkeiten

Bei der Erfassung der Teiltätigkeiten empfiehlt es sich zu zweit zu arbeiten. Dann beginnt der Kommissionierer mit seiner Arbeit, wobei jeder Handhabungsvorgang mit Hilfe der vorbereiteten Tab. 12 und Tab. 13 zu dokumentieren ist. Wenn beim HHT oder beim Aufbringen von GK die Vorgänge repetitiv sind, kann die Anzahl der Handhabungen vermerkt und einige Fotoaufnahmen, auf denen die typische Körperhaltung erkennbar ist, gemacht werden. Wenn ein neuer Handhabungsvorgang beginnt, wird ein neues Foto aufgenommen und dieses in der Spalte Foto vermerkt. Generell sind Fotoaufnahmen hilfreich, um später die Notizen besser nachvollziehen zu können und im Zweifelsfall auch die Körperhaltung etc. daraus abzuleiten.

Wenn die Lastmasse nicht direkt bestimmt werden kann, muss in der Notizspalte der Name des gehandhabten Artikels vermerkt werden. So kann die Artikelmasse hinterher ermittelt werden.

Körperhaltung⁹⁾
 Die Bewegung kann in beide Richtungen erfolgen, d. h. die dargestellten Piktogramme können sowohl Start als auch Ziel der Lastenhandhabung darstellen. Befinden sich mehrere Piktogramme in einem Feld, sind diese als gleichwertig anzusehen. Zusätzlich sind Rumpfverdröhung / -seitneigung, Lastposition / körperfernes Greifen, Arbeit mit angehobenen Händen und Greifen über Schulterhöhe zu betrachten (Zusatzpunkte).

Start / Ziel	Ziel / Start	Wichtung	Start / Ziel	Ziel / Start	Wichtung	Zusatzpunkte (max. 6 Punkte) Nur relevant, wenn zutreffend	Z lösen
		0			10 ³⁾	Gelegentliche Rumpfverdröhung bzw. -seitneigung erkennbar +1 ✓ Häufige / ständige Rumpfverdröhung bzw. -seitneigung erkennbar +3	
		3			13 ³⁾	Lastschwerpunkt bzw. Hände gelegentlich körperfern +1 Lastschwerpunkt bzw. Hände häufig / ständig körperfern +3 ³⁾	
		5			15 ³⁾	Arme gelegentlich angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe +0,5 Arme häufig / ständig angehoben, Hände zwischen Ellenbogen- und Schulterhöhe +1	
		7			18 ³⁾	Hände gelegentlich über Schulterhöhe +1 Hände häufig / ständig über Schulterhöhe +2 ³⁾ ✓	
		9 ³⁾			20 ³⁾		
						Wichtung KH	
						4.7	
						Zusatzpunkte	
						3	
						=	
						7.7	

Abb. 4: Auszug aus der LMM-E HHT, Bewertung der Körperhaltung

Das Ziel ist nun, jedem Vorgang in Abb. 8 eine typische Körperhaltung zuzuordnen. Eine Hilfestellung kann nützlich sein (s. Abb. 10).

8	Hilfestellung	
9		RO = Regal Oben
0	Kategorie	Wichtung
1	RM/RO-PM	5
2	RU-PM/RO-PU	10
3	RU-PU	15

Abb. 5: Hilfestellung für die Zuordnung der typischen Körperhaltung

Im Anschluss werden mit Hilfe einer Tabelle Lasten gleicher Lastkategorie und gleicher Körperhaltungswichtung geclustert, wodurch sich die Anzahl der auszufüllenden LMM-E Bögen reduziert, die Anzahl der Handhabungen jedoch erhalten bleibt (s. Abb. 11).

Clusterung der Teil-Vorgänge											
	Körperhaltung-Wichtung										
Lastgewicht	0	3	5	7	9	10	13	15	18	20	Summe
3-5kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5-10kg	-	-	48	-	-	2	-	-	-	-	50
10-15kg	-	-	30	-	-	23	-	-	-	-	53
15-20kg	-	-	50	-	-	119	-	12	-	-	181
20-25kg	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	20
25-30kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30-35kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
35-40kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
>40kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
GK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
in Klärung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Summe	0	20	128	0	0	144	0	12	0	0	309

Abb. 6: Clusterung der Teil-Vorgänge

Die Clusterung bewirkt, dass Zusatzpunkte sowie ungünstige Ausführungsbedingungen nicht mehr im Detail zuordenbar sind. Daher sind diese für die Lastkategorien neu zu bestimmen (vgl. Abb. 12).

Erklärung für Zusatzpunkte									
--> Zusatzpunkte folgen aus der Erfassungstabelle (Beurteilung anhand von Bildern und vor Ort aufgenommen Bedingungen)									
Masse	KH	Zusatzpunkte							
		Rumpfdrehung		Lastschwerpkt. Körperf.		Arme angehoben		Hände ↑ Schulterniveau	
		Gelegentlich	Ständig / Häu.	Gelegentlich	Ständig / Häu.	Gelegentlich	Ständig / Häu.	Gelegentlich	Ständig / Häu.
5-10 kg	5		x		x		x		
	10		x				x		x
10-15kg	5		x				x		
	10		x				x	x	
15-20kg	5		x				x		
	10		x				x		x
20-25kg	15		x		x		x		
	3		x		x		x		

Abb. 7: Neubestimmung der Zusatzpunkte

Gelegentlich meint in Abb. 12 5 - <25% der Vorgangszeit, während häufig/ständig $\geq 25\%$ bedeutet (vgl. MEGAPHYS, S. 167).

Als letzter Punkt ist die Arbeitsorganisation zu beurteilen. Hierfür sind in den LMM drei Kategorien möglich:

- 0 Gut: hierbei werden die Arbeitsvorgänge zu geringen Zeitanteil (z.B. < 2 h/ Schicht) ausgeführt, sofern in den verbleibenden 6 h auch Tätigkeiten mit anderen Belastungen (z.B. Belastung anderer Muskelgruppen) ausgeführt werden
- 2 Eingeschränkt: die Arbeitsvorgänge nehmen einen zeitlichen Anteil von $\geq 2h$ und $\leq 5h$ ein
- 4 Ungünstig: Wird ein Arbeitsvorgang überwiegend (z.B. > 5 h/ Schicht) ausgeführt und dabei sind wenige Belastungswechsel enthalten (z.B. in kurzer Abfolge wdh.e gl. Bewegungsabläufe) (vgl. MEGAPHYS S.169)

Sind alle Daten geclustert, dann werden die einzelnen Bewertungsbögen je Lastkategorie ausgefüllt.

1.4.4 Zusammenführung der Daten in der LMM-E Multi

Wenn alle Bewertungsbögen ausgefüllt sind, können diese in die LMM-E Multi übertragen werden. Hierfür wird zunächst das Dokument mit der Multi geöffnet und im Anschluss alle anderen Bewertungsbögen. Durch das Betätigen des Buttons „Import“ und dann dem Anklicken eines roten Kreises werden die anderen PDF-Dateien importiert (s. Abb. 13).

Übersicht der LMM-Beurteilungen aller Teil-Tätigkeiten eines Arbeitstages

k	LMM	T _k	t _k	ZW _k	I _k	PW _k = ZW _k * I _k	PW _k : extrap. 8h
Lfd. #	Belastungsart (LMM)	Bezeichnung der Teil-Tätigkeit	Reale Zeitdauer [min]	Zeitwichtung [Pkt.]	Intensität = Summe der Merkmalswichtungen [Pkt.]	Punkt-wert pro Teil-Tätigkeit [Pkt.]	Hochrechnung der Belastung durch eine Tätigkeit dieser Art auf 8h [Pkt.]
Import							
Bsp.	MA	Polstern	240	4	12	48	96
#01	---	---	0	0.0	0.0	---	---
#02	---	---	0	0.0	0.0	---	---
#03	---	---	0	0.0	0.0	---	---
#04	---	---	0	0.0	0.0	---	---
#05	---	---	0	0.0	0.0	---	---
#06	---	---	0	0.0	0.0	---	---

Abb. 8: Ausschnitt aus LMM-E Multi

Zum Schluss ergibt sich ein Punktwert über alle Teil-Tätigkeiten für die ausgefüllte Belastungsart (s. Abb. 14).

Zusammenfassung über den gesamten Arbeitstag pro physische Belastungsart

LMM	Physische Belastungsarten	Kumulative Zeitdauer t _{LMM} [min]	Anzahl Teil-Tätigkeiten pro LMM n _{LMM}	PW _{LMM8h} über alle Teil-Tätigkeiten [Punkte]	Risiko-bereich
HHT	Heben, Halten und Tragen v. Lasten	38	8	53.2	3 - wesentl. erhöht

Abb. 9: Ausschnitt LMM-E Multi, Zusammenfassung über den gesamten Arbeitstag pro physische Belastungsart

Hinweis: Sind technische und organisatorische Maßnahmen angeblich ausgeschöpft und liegt der Risikopunkt看wert der Belastung trotzdem deutlich im roten Bereich, dann erbringt die Exoskelettnutzung als alleinige Maßnahme keine ausreichende Punktabsenkung in die erforderliche Risikokategorie. Daher muss zusätzlich etwas umgestaltet werden (bspw. hinsichtlich Körperhaltung, Lastgewicht). Unternehmen müssen also weitere Maßnahmen ergreifen, da eine Maßnahme nicht ausreicht (also bspw. in Kombination mit Exoskelett).

1.5 Exoskeletterprobung mit Beanspruchungsbefragung

Im Anschluss an die Ergonomieanalyse erfolgt die Exoskeletterprobung. Bisher erfolgte eine Erprobung ausschließlich mit den beiden an der Professur für Arbeitswissenschaften verfügbaren passiven Exoskeletten Laevo V2.56 und backX V2, daher ist abzusehen, dass die Erprobung auch weiterhin mit diesen Exoskeletten erfolgt. Die Erprobung erfolgt wie bereits erwähnt über eine Zeitspanne von mindestens 7 h inklusive Pause. Dies begründet sich darin, dass für das Anlegen der Exoskelette, Erklärungen etc. zusätzlich Zeit eingeplant werden muss und trotzdem die normale Schichtlänge von 8h einzuhalten ist.

Zunächst wird der nordische Fragebogen ausgefüllt und notwendige Probandendaten aufgenommen. Hierzu zählen:

- Geschlecht
- Alter
- Körpergröße
- Technikaffinität
- Physische Beschwerden
- Ellenbogenhöhe
- Schulterhöhe
- Reichweite nach vorn
- Hüfthöhe
- Kniemittenhöhe.

Idealerweise erfolgt am ersten Tag zur Referenzwertgewinnung die Beanspruchungsbefragung ohne Exoskelett. Erfragt werden alle 15 Minuten der Grad der Anstrengung mit der Frage „Wie stark sind Sie angestrengt?“ und der Grad der Missempfindung mit der Frage „Wo drückt es am meisten?“. Bei letzterem sollen maximal 3 Körperregionen genannt werden. Zusätzlich werden in der Notizspalte die Tätigkeiten vermerkt, um eine spätere Vergleichbarkeit zu ermöglichen (vgl. Abb. 15).

Tag der Studie	Zeit	Anstrengung Wie stark sind Sie angestrengt?	Missempfindung (Diskomfort, Unbehagen, unangenehmes Gefühl)								Notiz
19.11.2020			Wo drückt es am meisten (max. 3 Körperzonen)? (ggf. Körperstelle genauer notieren)								
[Uhrzeit (24h)]	[min]	0 → 4	Nacken	Oberarme	Brustbereich	Bereich LWS	Hüftgelenk	Oberschenkel	Kniegelenke	Fußgelenke	
7:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	nirgends drückt es
8:00	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kommissionieren vieler kleiner Reifen (Proband wird warm)

Abb. 10: Beanspruchungsbefragung

Die Abfrage erfolgt unter Nutzung einer modifizierten Borg-Skala (vgl. Abb. 16, 17 und 18).

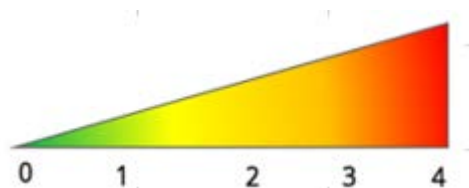


Abb. 11: Modifizierte Borg-Skala

• **Grad der Anstrengung:**

	Anstrengungsintensität 4	Sehr anstrengend
	Anstrengungsintensität 3:	Anstrengend
	Anstrengungsintensität 2:	Etwas anstrengender
	Anstrengungsintensität 1:	Leicht anstrengend
	Anstrengungsintensität 0:	Gar nicht anstrengend

Abb. 12: Interpretation Grad der Anstrengung

• **Grad der Missempfindung:**

	Schmerzintensität 4:	Unerträgliche Schmerzen
	Schmerzintensität 3:	Starke Schmerzen
	Schmerzintensität 2:	Mittlere Schmerzen
	Schmerzintensität 1:	Geringe Schmerzen (aber man nimmt sie langsam mehr wahr)
	Schmerzintensität 0:	Keine Schmerzen, beschwerdefrei

Abb. 13: Interpretation Grad der Missempfindung

Die betroffenen Körperbereiche hinsichtlich der Missempfindung wurden mittels Abb. 19 abgefragt.

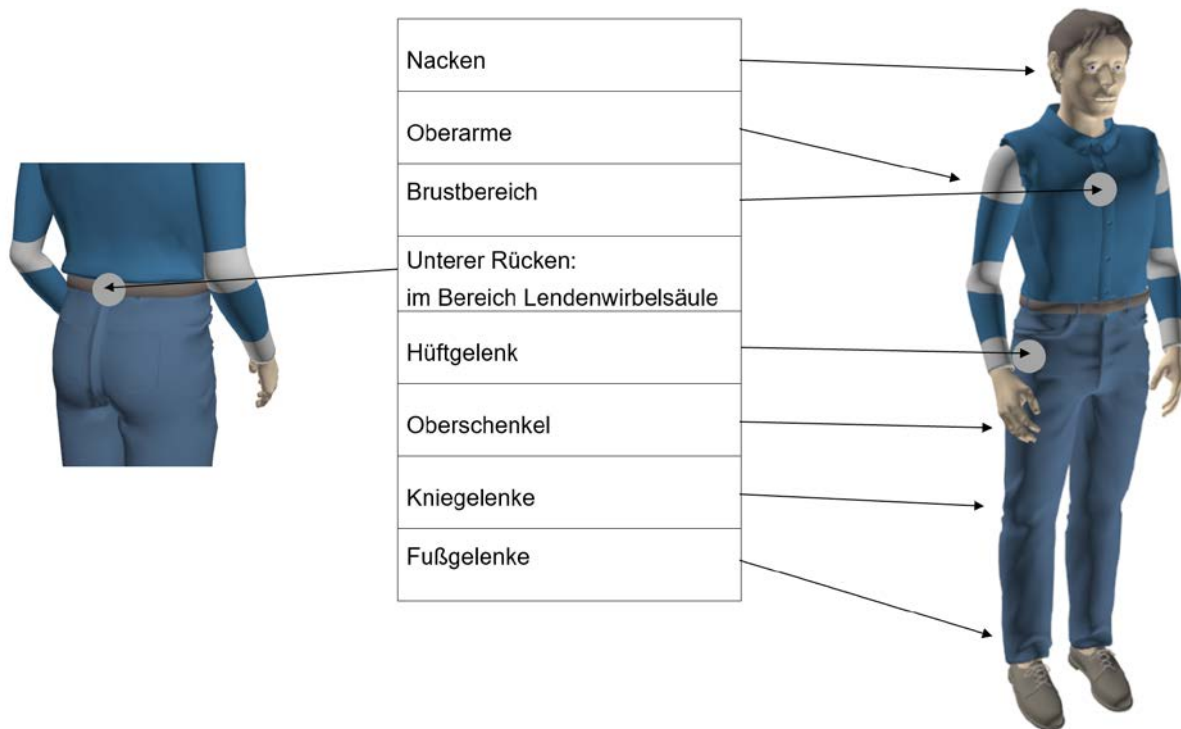


Abb. 14: Menschenmodell zur Abfrage der Körperregionen mit Missempfindung

Für die Befragung mit Exoskelett werden zusätzlich positive wie negative Effekte aufgenommen und im Anschluss eine Probandenbefragung durchgeführt (vgl. Abb. 20).

Probandenaussagen zum Einsatz von Exoskeletten (Abfrage am Analysetag)				
	trifft völlig zu	trifft überwiegend zu	trifft wenig zu	trifft gar nicht zu
Das Eigengewicht des Exoskeletts wird als zu hoch empfunden.				
Es wird eine spürbare Erleichterung der Arbeit durch das Tragen des Exoskeletts empfunden.				
Es werden Einschränkungen des Bewegungsapparat beim Tragen des Exoskeletts empfunden.				
Es ist vorstellbar, das Exoskelett täglich in den Arbeitsablauf zu integrieren.				

Abb. 15: Abschließende Probandenbefragung

2 Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitsplatz
ASI	Arbeitssicherheit
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin
BGHM	Berufsgenossenschaft Holz und Metall
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
ExoKomm	Planungsgrundlage für den Einsatz von Exoskeletten in der Kommissionierung
GK	Ganzkörperkräfte
HHT	(Manuelles) Heben, Halten und Tragen
KAP	Kommissionierarbeitsplatz
KB	Körperfortbewegung
LMM	Leitmerkmalmethode(n)
LMM-E	Erweiterte rechnergestützte Leitmerkmalmethode(n)
LMM-GK	Leitmerkmalmethode für Ganzkörperkräfte
LMM-HHT	Leitmerkmalmethode für Heben, Halten und Tragen
LMM-Multi-E	Leitmerkmalmethode zur Aggregation von Teil-Tätigkeiten
LMM-ZS	Leitmerkmalmethode für Ziehen/Schieben
Neben-TT	Neben-Teil-Tätigkeit(en)
MEGAPHYS	Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz
TOP	technische, organisatorische und personenbezogene (Maßnahmen)
TT	Teil-Tätigkeit(en)
ZS	(Manuelles) Ziehen und Schieben von Lasten

3 Literaturverzeichnis

VDI 3590 Blatt 1 - Kommissioniersysteme; Grundlagen.

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

Martin, H. (2009). Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik (7. Aufl.). Vieweg + Teubner.