

Band
66

Matthias Klumpp / Torsten Marner / Thomas Hanke (Hrsg.)

*Anwendung von passiven Exoskeletten
in der Intralogistik*
Ergebnisse und Tendenzen aus ersten Piloteinsätzen

~
Holger Schulz / Nicole Bednorz / Patrick Lückmann /
Simon Hauser

ild Schriftenreihe

FOM
Hochschule

ild

Institut für Logistik- &
Dienstleistungsmanagement
der FOM University of Applied Sciences

Holger Schulz / Nicole Bednorz / Patrick Lückmann / Simon Hauser

Anwendung von passiven Exoskeletten in der Intralogistik
Ergebnisse und Tendenzen aus ersten Piloteinsätzen

ild Schriftenreihe der FOM, Band 66

Essen 2020

ISBN (Print) 978-3-89275-121-2 ISSN (Print) 1866-0304
ISBN (eBook) 978-3-89275-122-9 ISSN (eBook) 2569-5355

Dieses Werk wird herausgegeben vom ild Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement der FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2020 by



**MA Akademie
Verlags- und Druck-
Gesellschaft mbH**

MA Akademie Verlags-
und Druck-Gesellschaft mbH
Leimkugelstraße 6, 45141 Essen
info@mav-verlag.de

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung der MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Oft handelt es sich um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind.

Holger Schulz / Nicole Bednorz / Patrick Lückmann / Simon Hauser

***Anwendung von passiven Exoskeletten in der Intralogistik –
Ergebnisse und Tendenzen aus ersten Piloteinsätzen***

Matthias Klumpp / Torsten Marner / Thomas Hanke (Hrsg.)

Die vorliegende Publikation erscheint im Kontext des Projektes „ADINA – Automatisierungstechnik und Ergonomieunterstützung für innovative Kommissionier- und Umschlagkonzepte der Logistik in NRW“. Die Förderung erfolgt im Rahmen der EFRE-Förderung NRW (2017-2020), Leitmarktwettbewerb Logistik.NRW. Die Projektbeteiligten sind das Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement (ild) der FOM Hochschule, das Zentrum für Logistik und Verkehr (ZLV) der Universität Duisburg-Essen, Fiege Logistik Grafschaft, EJOT Bad Berleburg, Bohnen Logistik Duisburg, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) Dortmund.



EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Abstract

Logistics commands a huge variety of dynamic developments, driven by technological, organizational as well as market changes. In particular, automation and ergonomics is seen as promising trends to tackle potentials for economical, ecological and social sustainability.

The publication of this paper marks the third phase of the ADINA research project (automation technology and ergonomic support for innovative picking and transshipment concepts of logistics in NRW). Based on the requirements analysis in phase one and the selection of technologies and ergonomic solutions in phase two of the project, this paper encompasses a detailed description of a pilot application for a passive exoskeleton within the field of intralogistics.

In this paper the first results and tendencies of this pilot application are carefully presented. In order to receive representable data and a larger sample of various user experiences, for further evaluation of the exoskeleton, there were employees of three different companies involved in the testing. The main goal for this paper and as well as for the pilot trial is to verify the devices application potential in a real industrial working environment that resembles specific intralogistical processes, like for example a commissioning process. The paper is structured as follows: First of all, the general procedure of the pilot application is being described. The next section covers the questionnaires which are used to acquire the employees user experience. Brief summaries of the testing process, for the respective company, finalize this chapter. The following chapter is dedicated to a detailed evaluation and analysis of the gathered data, the evaluation of the specific results and a conclusion. While these aspects are broken down on a company level in the first section, the same issues are viewed in the next section, though on a meta level where the three companies are not considered separate anymore, to get a final result and conclusion regarding the potential of exoskeleton within the field of intralogistics and especially within the specific examined intralogistical processes.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abstract..... | II |
| Abkürzungsverzeichnis..... | V |
| Abbildungsverzeichnis..... | VI |
| Tabellenverzeichnis..... | IX |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Pilotierungsphase in Unternehmen..... | 6 |
| 2.1 Grundsätzlicher Ablauf der Pilotierung..... | 6 |
| 2.2 Aufbau und Inhalte des Fragebogens..... | 12 |
| 2.3 Kurzüberblick Piloteinsätze..... | 18 |
| 2.3.1 Kurzsteckbrief Unternehmen A..... | 18 |
| 2.3.2 Kurzsteckbrief Unternehmen B..... | 21 |
| 2.3.3 Kurzsteckbrief Unternehmen C..... | 24 |
| 3 Auswertung und Gesamtbewertung des Piloteinsatzes..... | 28 |
| 3.1 Auswertung der Piloteinsätze..... | 28 |
| 3.1.1 Unternehmen A..... | 29 |
| 3.1.2 Unternehmen B..... | 37 |
| 3.1.3 Unternehmen C..... | 52 |
| 3.2 Gesamtbewertung des Piloteinsatzes und prozessspezifische Fazite..... | 61 |
| 4 Zusammenfassung und Gesamtfazit „Einsatzpotential eines passiven Exoskelettes in der Intralogistik“..... | 65 |
| 5 Qualitative Einordnung und Auswertung der Pilotierungsphasen..... | 66 |
| 6 Anpassung und Feedback – Implikationen für den weiteren Projektverlauf..... | 68 |
| 6.1 Methodik: Multiple Case-Study-Analyse..... | 68 |
| 6.1.1 Vorstudien und Datengrundlage..... | 68 |
| 6.1.2 Cross-Case-Study-Methode..... | 69 |
| 6.1.3 Qualitative Datenanalyse ADINA: Komparative Fallstudie..... | 72 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 6.2 | Untersuchungsergebnisse..... | 75 |
| 7 | Expertenworkshop und Ergebnisse..... | 90 |
| 8 | Fazit der qualitativen Auswertung & Anpassung | 96 |
| 9 | Gesamtfazit..... | 98 |
| | Literaturverzeichnis..... | 100 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|---|
| ADINA | Automatisierungstechnik und Ergonomieunterstützung für innovative Kommissionier- und Umschlagkonzepte der Logistik in NRW |
| AMR | Arbeitsmedizinischen Regeln |
| BAuA | Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin |
| DAK | Deutsche Angestellten-Krankenkasse |
| FFZ | Flurförderzeug |
| FOM | Hochschule für Oekonomie & Management |
| FhG IML | Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik |
| ild | Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement |
| MSE | Muskel-Skelett-Erkrankungen |
| VAS | Visuelle Analogskala |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Skalenbewertung..... | 15 |
| Abbildung 2: Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen | 15 |
| Abbildung 3: Exemplarischer Auszug aus dem Fragebogen „Themenblock - Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“ ... | 17 |
| Abbildung 4: Vorgesehener Arbeitsplatz zur Erprobung des passiven Exoskelettes bei Unternehmen A | 19 |
| Abbildung 5: Angelegtes passives Exoskelett an einem Probanden / Unternehmen A..... | 20 |
| Abbildung 6: Vorgesehener Arbeitsplatz zur Erprobung des passiven Exoskelettes bei Unternehmen B | 22 |
| Abbildung 7: Angelegtes passives Exoskelett an einem Probanden / Unternehmen B..... | 23 |
| Abbildung 8: Vorgesehener Arbeitsplatz zur Erprobung des passiven Exoskelettes bei Unternehmen C..... | 26 |
| Abbildung 9: Angelegtes passives Exoskelett an einem Probanden / Unternehmen C..... | 26 |
| Abbildung 10: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unter-nehmen A | 30 |
| Abbildung 11: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unter-nehmen A..... | 32 |
| Abbildung 12: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen A..... | 33 |
| Abbildung 13: Vor- und Nachteile sowie Gesamtnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen A..... | 35 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 14: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen B | 38 |
| Abbildung 15: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen B | 40 |
| Abbildung 16: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen B | 42 |
| Abbildung 17: Vor- und Nachteile sowie Gesamtendnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen B | 43 |
| Abbildung 18: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen B – Wiederholung | 46 |
| Abbildung 19: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen B Wiederholung | 48 |
| Abbildung 20: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen B Wiederholung | 50 |
| Abbildung 21: Vor- und Nachteile sowie Gesamtendnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen B | 52 |
| Abbildung 22: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen C | 54 |
| Abbildung 23: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen C | 56 |
| Abbildung 24: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen C | 58 |
| Abbildung 25: Vor- und Nachteile sowie Gesamtendnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen C | 60 |
| Abbildung 26: Vor- und Nachteile sowie Gesamtendnote des passiven Exoskelettes / Gesamtbewertung | 62 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 27: Komparatives Fallstudiendesign..... | 71 |
| Abbildung 28: Induktive Kategorienbildung | 74 |
| Abbildung 29: Ergebnis Qualitative Inhaltsanalyse..... | 86 |
| Abbildung 30: Workshop Vorgehensmodell ADINA Phase II..... | 91 |
| Abbildung 31: Workshop Inhalt und Ergebnisse | 94 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Eckdaten Unternehmen A | 21 |
| Tabelle 2: Eckdaten Unternehmen B | 24 |
| Tabelle 3: Eckdaten Unternehmen C | 27 |
| Tabelle 4: Kodierungen Analyst 1 | 80 |
| Tabelle 5: Kodierungen Analyst 2 | 84 |
| Tabelle 6: Cross-Case Vergleich | 89 |

1 Einleitung

Die Themen „Ergonomie am Arbeitsplatz“ sowie „Gesundheit der Arbeitnehmer“ gewinnen bei Unternehmen und Arbeitgebern in den letzten Jahren kontinuierlich an Bedeutung. Betrachtet man beispielsweise die aufgrund von krankheitsbedingter Arbeitsunfähigkeit entstehenden Kosten, wird die Wichtigkeit der Gesundheit am Arbeitsplatz nochmals bekräftigt. Aussagen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) belegen, dass im Jahr 2017 die krankheitsbedingten Produktionsausfälle insgesamt Kosten im Umfang von 76,4 Milliarden (Mrd.) Euro verursacht haben.¹ In dieser Gesamtsumme belaufen sich die krankheitsbedingten Ausfallkosten, welche sich speziell den Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems sowie des Bindegewebes zuordnen lassen, auf insgesamt 17,2 Mrd. Euro.²

Der Gesundheitsreport der DAK-Gesundheit (DAK) bestätigt ebenfalls, dass sich eine hohe Anzahl der krankheitsbedingten Arbeitsunfähigkeitstage aufgrund von Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems ergeben. Betrachtet man die im Jahr 2017 von DAK-Mitglieder entstandenen Ausfalltage im Detail, so wird ersichtlich, dass alleine die Muskel-Skelett-Erkrankungen mit einem prozentualen Anteil von 21,8% an den gesamten Ausfalltagen einen maßgeblichen Krankheitsgrund darstellen.³ Auch nach Aussage von Knieps und Pfaff sind Muskel-Skelett-Erkrankungen mit die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland.⁴

In diesem Zusammenhang muss ergänzend berücksichtigt werden, dass Berufs- und Tätigkeitsfelder, bei denen eine Form der manuellen Arbeit und Lastenhandhabung ausgeführt wird, ein sehr hohes Risiko bezüglich einer Arbeitsunfähigkeit des Arbeitnehmers aufgrund von Rückenschmerzen besteht.⁵ Nach den Arbeitsmedizinischen Regeln (AMR), wird die manuelle Lastenhandhabung vor allem durch das Heben, Halten, Tragen, Ziehen oder auch das Schieben von Lasten definiert.⁶ Somit besteht insbesondere für Mitarbeiter im Bereich der Logistik eine

¹ Vgl. BAuA (2018), S. 117.

² Vgl. ebd.

³ Vgl. Marschall et al. (2018), S. 16.

⁴ Vgl. Knieps/Pfaff (2016), S.43.

⁵ Vgl. Liebers/Brendler/Latza (2013), S.371 - 372.

⁶ Vgl. BAuA AMR Nr. 13.2 (2014), S. 1571.

hohe Wahrscheinlichkeit an einer Muskel-Skelett-Erkrankung (MSE) zu erkranken. Zu den betroffenen Tätigkeiten zählen besonders intralogistische Arbeitsprozesse, wie beispielsweise die Kommissionierung und Palettierung von Packstücken oder das Umpacken von Waren. Diese Tätigkeiten sind während der Durchführung der einzelnen Arbeitsprozesse häufig von manuellen Lastenhandhabungen des Mitarbeiters geprägt. Dazu zählen z. B. ein häufiges und wiederkehrendes Heben, das Auf- und/oder Absetzen sowie das Halten von Lasten in unterschiedlicher Größe, Anzahl und Gewicht. Gemäß der BAuA heben und tragen 21,8% der erwerbsmäßigen Frauen sowie 24,1% aller beschäftigten Männer bei ihrer Arbeit schwere Lasten.⁷

Ebenfalls muss in diesem Kontext beachtet werden, dass sich die Anzahl der älteren Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen in Deutschland kontinuierlich verändert bzw. diese ansteigt. Gemäß dem Statistischem Bundesamt gingen im Jahr 2005 45% der 55- bis unter 65-Jährigen einer Beschäftigung nach. Nach den aktuellsten Daten aus 2017 hat sich dieser Wert um 25%-Punkte auf insgesamt 70% gesteigert.⁸ Wenn man nun von einer abnehmenden Leistungsfähigkeit im zunehmenden Alter ausgeht, erscheinen vor allem die manuell durchgeführten Tätigkeiten und Arbeitsprozesse auch aus diesem Gesichtspunkt heraus zunehmend problematischer für Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer zu werden.

Um die Gesundheit der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer zu verbessern, gilt es daher Lösungsansätze bzw. Technologien anzuwenden bzw. zu erforschen, um den Anteil der manuellen Lastenhandhabung für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu reduzieren und die Angestellten während des Arbeitsprozesses ergonomisch zu unterstützen.

In den letzten Jahren sind im Bereich der technischen Entwicklung innovativer Technologien und Assistenzsysteme, bei den Themen „Robotik“ und „Automatisierung“ sowie speziell auf dem Gebiet der sogenannten „Exoskelette“ im industriellen Umfeld wesentliche Fortschritte erzielt und realisiert worden.

⁷ Vgl. Brenscheidt/Siefer/Hinnenkamp/Hünefeld (2018), S. 23.

⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt (2018), S. 368.

Nach Herr wird ein Exoskelett als ein mechanisches Instrument bezeichnet, welches am Körper des Nutzers getragen wird. Dieses Instrument soll hierbei eine Steigerung in Bezug auf die jeweilige Leistungsfähigkeit der nutzenden Person ermöglichen.⁹

Grundsätzlich können Exoskelette in die Kategorien „aktiv“ und „passiv“ eingeteilt werden.¹⁰ Aktive Exoskelette verwenden Aktoren, welche beispielsweise durch elektrische, hydraulische oder auch pneumatische Motoren angetrieben werden und das Exoskelett hierdurch mit zusätzlicher Energie versorgen. Ohne den Einsatz bzw. die Verwendung eines aktiven Antriebs werden diese technischen Geräte als passive Exoskelette bezeichnet. Die Funktionsweise eines passiven Exoskelettes beruht somit auf einer rein mechanischen Unterstützung, wie beispielsweise Federn oder Seilzugtechnologien. Neben einer Kategorisierung in aktive und passive Exoskelette kann zudem differenziert werden, für welche Körperregion das Gerät primär ausgelegt ist. Gemäß de Looze et al. können Exoskelette beispielsweise folgende Bewegungen bzw. Tätigkeiten unterstützen:¹¹

⁹ Vgl. Herr (2009), S. 1.

¹⁰ Vgl. Schick (2018), S. 266.

¹¹ Vgl. de Looze et al. (2016), S. 672.

- Gebückte Arbeitshaltung
- Statisches Halten von Lasten
- Dynamisches Anheben und/ oder Absenken von Lasten
- Tragen von Gegenständen

Durch die Nutzung eines Exoskelettes sollen somit die betroffenen Mitarbeiter innerhalb ihrer Tätigkeitsabläufe und Arbeitsprozesse bei der manuellen Lastenhandhabung körperlich entlastet werden. Folglich soll diese ergonomisch optimierte Arbeitsweise zu einer Verringerung der Gesundheitsbelastung führen.

Die Entscheidung zur Nutzung eines passiven Exoskelettes für den anstehenden Piloteinsatz wurde aufgrund folgender Kriterien getroffen:

- Deutlich günstigerer Kaufpreis gegenüber aktiven Exoskeletten.
- Geringeres Eigengewicht des passiven Exoskelettes, da in diesen Geräten keine zusätzlichen Motoren integriert sind.
- Niedrigeres Risiko hinsichtlich Eigenverletzungen des Anwenders aufgrund der Nutzung des Exoskelettes.
- Kurzfristige Verfügbarkeit am Markt zum Zeitpunkt des Beginns des Piloteinsatzes.

Das Forschungsprojekt ADINA befasst sich mit der Analyse bestehender Techniken zur Automatisierung und Ergonomieunterstützung sowie deren Implementierung in spezifischen Anwendungsfeldern der Logistik.

Die vorliegende Veröffentlichung zum Thema „Anwendung von passiven Exoskeletten in der Intralogistik – Ergebnisse und Tendenzen aus ersten Piloteinsätzen an Kommissionier- und Palettierarbeitsplätzen“ wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ADINA vom Fraunhofer IML wissenschaftlich betreut und durchgeführt sowie von Fraunhofer IML und Institut für Logistik und Dienstleistungsmanagement der FOM Hochschule ausgewertet.

Die grundsätzliche Forschungsfrage für die durchzuführenden Piloteinsätze innerhalb der Intralogistik lautete wie folgt:

- Ermöglicht der Einsatz eines passiven Exoskelettes Arbeitnehmer bei der Durchführung ihres spezifischen Arbeitsprozesses, wie dem

Palettier-, Umpack- und/oder Kommissionierprozess, ergonomisch zu unterstützen bzw. sie körperlich zu entlasten?

Bei der Erarbeitung dieser Fragestellung wurde beispielsweise

- in einer Feldstudie die physische Arbeitsbelastung der operativen Lagerarbeiter unter realen Arbeitsbedingungen mittels eines passiven Exoskelettes analysiert,
- die hierbei erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse hinsichtlich des Einsatzpotentials zur Reduzierung physischer Beanspruchung, der Nutzerakzeptanz sowie der Handhabung und des Tragekomforts ausgewertet,
- ein Vergleich der jeweils auszuführenden Arbeitstätigkeiten mit bzw. ohne Unterstützung des passiven Exoskelettes berücksichtigt sowie
- abschließend geprüft, ob weitere Handlungsfelder bzw. -bedarfe zur Verbesserung von Arbeitsergonomie, Mitarbeitergesundheit und Mitarbeiterzufriedenheit in der Intralogistik abgeleitet werden können.

2 Pilotierungsphase in Unternehmen

In diesem Kapitel werden im Detail die einzelnen Pilotierungsphasen innerhalb der involvierten Industrieunternehmen vorgestellt. Neben einer Kurzübersicht der Eckparameter hinsichtlich der durchgeführten Feldstudie wird ausführlich auf den grundsätzlichen Ablauf und die Vorgehensweise während der Pilotierungsphasen sowie dem zugrundeliegenden Aufbau und den fachspezifischen Inhalten der validierten Fragebögen eingegangen. Zudem erfolgen in diesem Kapitel die Kurzbeschreibungen der an dem Piloteinsatz teilgenommenen drei Industrieunternehmen inklusive der Vorstellung der jeweils betrachteten Arbeitsprozesse.

Eckparameter der Piloteinsätze:

- Durchführung der Pilotierungsphasen bei drei Industrieunternehmen.
- Teilnahme von jeweils zwei bis vier Probanden pro Industriepartner.
- Die teilnehmenden Probanden
 - waren aus verschiedenen Altersgruppen,
 - hatten unterschiedliche Körpergrößen,
 - gehörten unterschiedlichen Nationalitäten an und
 - hatten keine gesundheitlichen Einschränkungen.
- Untersuchung von Tätigkeiten in den Arbeitsprozessen Palettierung, Umpackfähigkeit und Kommissionierung.
- 14-tägige Tragezeit des passiven Exoskelettes mit sukzessiver Steigerung der Tragezeit pro Tag.
- Analyse und Auswertung der einzelnen Piloteinsätze mittels standardisiertem Vorgehen unter Verwendung validierter Fragebögen.

2.1 Grundsätzlicher Ablauf der Pilotierung

Zum Start der zweiwöchigen Pilotierungsphase erfolgte beim jeweiligen Industrieunternehmen ein Einführungsworkshop, in welchem den Vertretern des Unternehmens und den einzelnen Probanden der Testphase die Ziele sowie das Vorgehen und der Ablauf der Pilotierungsphase ausführlich vorgestellt wurde.

Den am Piloteinsatz freiwillig teilnehmenden Probanden der Unternehmen wurde eine detaillierte Geräteführung gegeben, um die Mitarbeiter mit der Handhabung sowie den einzelnen Funktionen und Einstellungsmöglichkeiten des passiven Exoskelettes vertraut zu machen. Ebenfalls wurde in diesem Schritt darauf hingewiesen, was bei der Pilotierungsphase besonders beachtet werden muss, damit eine reibungslose Nutzung und Funktionalität des Gerätes gewährleistet ist. Hierzu gehörte unter anderem das korrekte Anlegen des Exoskelettes, die notwendigen Einstellungsmöglichkeiten bezüglich des Ein- und Ausschaltens des Gerätes, der Winkeleinstellungen für die Beinschienen sowie die Handhabung der individuellen Gurtanpassungen für Becken und Hüfte, Schulter, Brust- und Rückenbereich sowie den Beinschalen für die Oberschenkel. Auch ein selbstständiges An- und Ablegen des passiven Exoskelettes seitens der Probanden sowie die Überprüfung auf eine korrekte und für den Mitarbeiter komfortablen Einstellung des Gerätes erfolgte in diesem Einführungsworkshop.

Abschließend führten die Probanden nach der Anprobe bestimmte Bewegungen, wie beispielsweise Kniebeugen oder einfaches Auf- und Abgehen mit eingeschaltetem Gerät durch. Waren diese Übungen und Bewegungen für die Mitarbeiter angenehm und ohne Schwierigkeiten durchführbar, war die Exoskelett-Anprobe abgeschlossen. Andernfalls wurden einzelne Geräteeinstellungen überprüft, nachjustiert und anschließend nochmals getestet. In diesem Zusammenhang wurden bei den einzelnen Probanden auch deren jeweilige Größe, Gewicht, Geschlecht, Brust- und Hüftumfang sowie die finalen Größen- und Winkeleinstellungen am Gerät schriftlich aufgenommen und das korrekte Sitzen des Exoskelettes bildlich dokumentiert.

Zusätzlich wurden die einzelnen Probanden im Einführungsworkshop jeweils darauf hingewiesen, dass bei eventuell auftretenden Beschwerden oder Schmerzen, welche durch das Tragen des passiven Exoskelettes verursacht werden, sofortige Rücksprache mit dem Betreuer seitens des Unternehmens zu halten sowie individuelle Anpassungen an den Geräteeinstellungen vorzunehmen sind. Falls nach Änderungen der Einstellungen, beispielsweise der Winkeleinstellungen der Beinschienen oder der Hüft-, Becken- und Schultergurte, beim Probanden weiterhin Schmerzen oder Unannehmlichkeiten auftraten,

wurde das Tragen und die Nutzung des Gerätes beendet und der Piloteinsatz für denjenigen Probanden abgebrochen.

Direkt im Anschluss an den Workshop begann der Pilotierungseinsatz, welcher grundsätzlich in zwei Phasen unterteilt ist. Die Eingewöhnungswoche in den ersten fünf Arbeitstagen des Feldtests und einer daran anschließenden einwöchigen Testphase. In der Eingewöhnungswoche wird die Tragezeit des passiven Exoskelettes sukzessive gesteigert: von einer Stunde Tragezeit am ersten Tag, zwei Arbeitsstunden am zweiten Tag und vier Arbeitsstunden am dritten Tag. Ab dem vierten Testtag erfolgt die Nutzung des Exoskelettes über den gesamten Arbeitstag des Probanden (Tragezeit = acht Stunden). Das Tragen des Exoskelettes am ersten Tag wurde unmittelbar nach dem Einführungsworkshop gestartet. Während der ersten Arbeitsstunde wurde der Proband bei der Nutzung des Exoskelettes beaufsichtigt, um im Bedarfsfall augenblicklich eingreifen zu können, beispielsweise wenn eine falsche Handhabung oder ein nicht korrektes Sitzen des Gerätes erkennbar war. Hierdurch konnte zum Beginn des Piloteinsatzes nochmals helfend eingegriffen werden.

Am Ende der Eingewöhnungswoche fand ein erstes Feedbackgespräch mit den einzelnen Probanden statt. In diesen Gesprächen ging es hauptsächlich darum herauszufinden, wie die ersten Eindrücke der Testpersonen bezüglich des passiven Exoskelettes während der Ausübung ihres Arbeitsprozesses waren sowie um erste individuelle Einschätzungen und qualitative Erfahrungswerte der Probanden zu erhalten. Zudem konnte bei aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Nutzung bzw. der Handhabung des Gerätes nochmals unterstützend eingegriffen bzw. Gegenmaßnahmen zur Behebung dieser Probleme eingeleitet werden.

Diese persönlichen Gespräche am Ende der Eingewöhnungswoche erfolgten jeweils nach einem strukturierten Vorgehen. Die Probanden wurden einzeln nach folgenden sechs Kategorien befragt:

- Erster Eindruck des passiven Exoskelettes
 - Wie ist es dem Probanden in der ersten Woche grundsätzlich während der Nutzung und das Tragen des Gerätes ergangen?

- Tragekomfort des passiven Exoskelettes, z. B. hinsichtlich
 - Einschränkungen bei bestimmten Bewegungen.
 - des Geräteeigengewichts.
 - Veränderungen des Tragekomforts innerhalb der ersten Woche.

- Handhabung des Gerätes, beispielsweise ob
 - Schwierigkeiten beim An- oder Ausziehen aufgetreten sind.
 - die Anlegedauer des Exoskelettes als eher kurz oder lang empfunden wurde.
 - Änderungen bei den Größen- und/oder den Winkeleinstellungen vorgenommen werden mussten.

- das Gerät oft komplett ausgeschaltet werden musste. Empfundene, körperliche Entlastung bzw. ergonomische Unterstützung des passiven Exoskelettes bei der Durchführung des Arbeitsprozesses innerhalb der Eingewöhnungswoche, z. B.
 - ob bei bestimmten Bewegungen eine Unterstützung durch das Tragen des Gerätes wahrgenommen werden konnte.
 - an welchen Stellen körperliche Entlastungen verstärkt wahrgenommen wurden, z. B. im Brust-, Rücken- oder Beinbereich.
 - ob sich die körperliche Entlastung bzw. ergonomische Unterstützung im Laufe der Woche gesteigert hat.

- Auswirkungen des Gerätes auf die jeweilige Arbeitstätigkeit, beispielsweise
 - die selbständige Einschätzung der Arbeitseffizienz unter Nutzung des passiven Exoskelettes (besser, schlechter, gleichbleibend).
 - ob bei bestimmten Arbeitsschritten grundsätzliche Probleme oder Schwierigkeiten aufgetreten sind.

- Eine erste Aussage bzw. Abschätzung darüber, ob eine dauerhafte Nutzung des Exoskelettes innerhalb des betrachteten Arbeitsprozesses vorstellbar ist (ja, nein, noch keine Aussage möglich).

In der zweiten Testwoche wurde die Erprobung des passiven Exoskelettes mit einer täglichen Tragezeit von acht Stunden fortgesetzt.

Am Ende der gesamten Pilotierungsphase fand ein abschließendes und ausführliches Feedbackgespräch mit den einzelnen Probanden statt. Dies erfolgte einerseits als strukturiertes Interview, beispielsweise um in Erfahrung zu bringen, was dem Probanden bei der Nutzung des passiven Exoskelettes besonders gut gefallen hat bzw. welche Schwierigkeiten und Probleme während des Piloteinsatzes aufgetreten sind oder festgestellt wurden. Andererseits erfolgte beim

Abschlussgespräch zusätzlich eine qualitative Befragung mittels validierter Fragebögen.

Die einzelnen Themenblöcke des Fragebogens sind in folgende Bewertungskategorien aufgeteilt:

- Wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit während des Arbeitsprozesses
- Subjektive Arbeitsbeanspruchung während des Arbeitens mit dem passiven Exoskelett
- Allgemeiner und lokaler Tragekomfort bzgl. verschiedener Körperbereiche
- Handhabung und (Benutzer-)Einstellungen des passiven Exoskelettes
- Gesamtbewertung des passiven Exoskelettes
- Persönlicher Umgang mit Technologien und grundsätzliche Technologieaffinität
- Aufnahme von soziodemographischen Daten

Der detaillierte Aufbau und die fachspezifischen Inhalte des validierten Fragebogens werden in Abschnitt 2.2 ausführlich vorgestellt. Alle innerhalb dieses Abschlussgesprächs mit den einzelnen Probanden mündlich aufgenommenen sowie mittels Fragebogen ermittelten Ergebnisse bilden die Grundlage für die anschließende qualitative und quantitative Bewertung des Piloteinsatzes (siehe hierzu auch Kapitel 3 „Auswertung und Gesamtbewertung des Piloteinsatzes“).

Während der gesamten 14-tägigen Pilotierungsphase stand ein Vertreter des jeweiligen Industrieunternehmens sowie Vertreter des Fraunhofer IML als Ansprechpartner bezüglich technischer Schwierigkeiten und als wissenschaftliche Feldtestbegleitung zur Verfügung. Hierdurch konnte bei Problemen direkt bzw. zeitnah eingegriffen oder bei Fragen der Probanden eine entsprechende Hilfestellung angeboten werden. Dies gewährleistete einen reibungsloseren Ablauf des Pilotierungseinsatzes.

Unten stehend ist der grundsätzliche sowie identische Ablauf der Pilotierungsphasen innerhalb der drei Industrieunternehmen nochmals in Stichpunkten zusammengefasst:

- Einführungsworkshop zum Start des Pilotierungseinsatzes.
- Wissenschaftliche und technische Feldtestbegleitung während der gesamten Dauer der Pilotierungsphase.
- Jeweils 14-tägige Echtzeit-Nutzung des passiven Exoskelettes beim Industrieunternehmen in dessen spezifischem Arbeitsprozess.
- Kurze Feedbackrunde mit den einzelnen Probanden am Ende der ersten Pilotierungswoche.
- Ausführliches, qualitatives und quantitatives Feedbackgespräch mit den einzelnen Probanden bezüglich des Feldtests am Ende des Piloteinsatzes, inklusive validiertem Fragebogen.

2.2 Aufbau und Inhalte des Fragebogens

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, bildete der validierte Fragebogen sowie die Informationen aus dem strukturierten Interview beim abschließenden Feedbackgespräch am Ende der 14-tägigen Pilotierungszeit die Grundlage für die qualitative und quantitative Bewertung bezüglich dem grundsätzlichen Einsatzpotential eines passiven Exoskelettes im jeweils spezifischen Arbeitsprozess.

In diesem Abschnitt wird daher im Detail auf den Aufbau und die einzelnen Themenblöcke bzw. Inhalte des standardisierten und validierten Fragebogens, die jeweiligen Bewertungsmöglichkeiten sowie der abschließenden individuellen Einschätzung bzgl. der Eignung des passiven Exoskelettes in der Intralogistik eingegangen.

Grundsätzlich ist der Fragebogen in die sechs Bewertungskategorien „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“, „allgemeiner und lokaler Tragekomfort“, „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“, „Gesamtbewertung aus Sicht des Probanden“, „Technologieaffinität und persönlicher Umgang mit Technologien“ und einem „soziodemographischen Fragenblock“ gegliedert.

Beim Themenbereich „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“ wird darauf eingegangen, wie die Probanden die grundsätzliche Aufgabenschwierigkeit ihrer jeweiligen Tätigkeit bzw. ihres Arbeitsprozesses wahrnehmen und einstufen. Die Bewertungsskala erfolgt mittels einer visuellen Analogskala¹² (VAS) und reicht hierbei von sehr einfach (0) bis sehr schwierig (10). Ebenso werden spezifische Aspekte wie die geistige und körperliche Arbeitsbeanspruchung bewertet. Neben den psychischen und physischen Gesichtspunkten wird allerdings auch auf zeitliche sowie subjektive Anforderungen, wie z. B. Leistung, Anstrengung und Frustration, eingegangen. Die Bewertung dieser Parameter erfolgt gemäß dem NASA-Task Load Index¹³ in einer Skala von gering (0) bis sehr hoch (100).

In der Kategorie „allgemeiner und lokaler Tragekomfort“ wird konkret auf die subjektive Bewertung des Probanden hinsichtlich des Gesamteindrucks des Tragekomforts des passiven Exoskelettes eingegangen. Zusätzlich werden in diesem Fragebogenabschnitt die einzelnen lokalen Körperbereiche, wie z. B. Brust- und Bauchbereich, oberer und unterer Rücken oder der vordere und hintere Oberschenkel, hinsichtlich des spezifischen Tragekomforts bewertet. Die Bewertung dieser Kategorie erfolgt ebenfalls über VAS¹⁴ in einer Bandbreite von sehr bequem / ohne Beschwerden (0) bis sehr unbequem / maximales Unbehagen (10).

Innerhalb des Themenblocks „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“ werden gezielt Aspekte hinsichtlich der jeweiligen Benutzereinstellung am Gerät abgefragt und dessen Handhabung bewertet, wie beispielsweise das An- und Ablegen des Exoskelettes, die Schwierigkeit bei Änderungen der Größenanpassungen und der Einstellungen am Gerät selbst. Die Bewertung erfolgt hierbei mittels VAS¹⁵ mit einer Skala von sehr einfach (0) bis sehr schwierig (10). Weitere wichtige Aspekte in diesem Bewertungsabschnitt sind die Fragen nach einer Einschränkung der Bewegungsfreiheit des Probanden bzw. einer Beeinträchtigung während des Arbeitsprozesses durch das Gerät,

¹² Vgl. Baltrusch et al. (2018), S. 94-106.

¹³ Vgl. Staveland/Hart (1988), S. 139-183.

¹⁴ Vgl. Baltrusch et al. (2018), S. 94-106.

¹⁵ Vgl. ebd.

einer Unterstützungsleistung des passiven Exoskelettes im Rückenbereich sowie bei der Ausführung der jeweiligen Tätigkeit. Auch diese Parameter werden gemäß dem VAS¹⁶ in einer Skala von 0 bis 10 bewertet wobei hier die 0 stellvertretend für „nicht eingeschränkt, keine Beeinträchtigung, hohe Unterstützung und starke Verringerung“ steht. Die 10 dementsprechend für „stark eingeschränkt, starke Beeinträchtigung, keine Unterstützung und keine Verringerung“.

In der Kategorie „Gesamtbewertung“ erfolgt die subjektive Abschlussbewertung aus Sicht des jeweiligen Probanden hinsichtlich seiner Zufriedenheit mit der Nutzung des passiven Exoskelettes für seinen Arbeitsprozess während der 14-tägigen Pilotierung. Diese Bewertung erfolgt anhand einer Schulnotenvergabe von sehr gut (1) bis ungenügend (6). Die von den einzelnen Probanden abgegebenen Bewertungen wurden für die Gesamtbewertung des Exoskelettes für den Arbeitsprozess des jeweiligen Industrieunternehmens abschließend gemittelt um hierdurch eine aussagekräftige Gesamtnote zu erhalten.

Im Abschnitt „Technologieaffinität“ wird in Erfahrung gebracht, wie die jeweilige Akzeptanz des Probanden in Hinblick auf neue technische Hilfsmittel sowie bezüglich Innovationen bei technischen Gerätschaften vorhanden ist (Technikeinstellung¹⁷). Ebenfalls wird der persönliche Umgang mit moderner Technik bewertet (Technikbereitschaft¹⁸). Aus diesen Antworten wird abschließend die jeweilige Technologieaffinität des Probanden ermittelt und somit in Erfahrung gebracht, wie hoch diese bei dem Arbeitnehmer tatsächlich ausgeprägt ist.

Im Themenblock „Soziodemographische Fragen“ werden beispielsweise der schulische Werdegang, ein gegebenenfalls vorhandener Ausbildungsabschluss, das Geschlecht und das Alter des Probanden abgefragt.

Am Ende des Feedbackgesprächs werden den Probanden abschließend spezifische Fragen bezüglich des passiven Exoskelettes gestellt. Diese Fragen zielen beispielsweise auf festgestellte Vorteile sowie Schwierigkeiten oder Probleme bei der Nutzung des Gerätes ab. Dazu zählen z. B. gegebenenfalls

¹⁶ Vgl. ebd.

¹⁷ Vgl. Claßen (2012), S. 139.

¹⁸ Vgl. Neyer et al. (2016).

aufgetretene körperliche Beschwerden während oder nach der Nutzung des passiven Exoskelettes.

Bei allen Themenblöcken des Fragebogens kann der Proband nach dem Lesen der einzelnen Fragestellung seine Antwort bzw. Bewertung im eigenen Ermessen und/oder die zutreffendste Antwort anhand

a) einer Skalenform, z. B.:

von „gering“



bis „sehr hoch“,

Abbildung 1: Skalenbewertung
Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

b) durch Ankreuzen, z. B.:

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| stimmt gar nicht | stimmt wenig | stimmt teilweise | stimmt ziemlich | stimmt völlig |
| <input type="checkbox"/> |

Abbildung 2: Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen
Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

oder

c) durch freie Textformulierungen bei offen gestellten Fragen, wie beispielsweise

- besonders positiv oder negativ aufgefallene Merkmale bzw. Eigenschaften bei der Nutzung des passiven Exoskelettes.
- festgestellte Schwierigkeiten und Problempunkte bei der Ausführung der Arbeitstätigkeit.

festlegen.

Insgesamt umfasst der Fragebogen eine Gesamtanzahl von ca. 45 Fragen. Die Zeitdauer der Befragung pro Proband betrug annähernd 30 Minuten. Diese zeitliche Dauer war allerdings auch davon abhängig, ob der jeweilige Proband deutscher Muttersprachler war oder ob zur Befragung eine zusätzliche Übersetzerin oder ein Übersetzer mit einbezogen werden musste. In diesem Falle waren dann Befragungszeiten von bis zu einer Stunde pro Proband möglich.

Die untenstehende Abbildung 3 zeigt einen exemplarischen Auszug des verwendeten Fragebogens zum Themenblock „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“.

Abbildung 3: Exemplarischer Auszug aus dem Fragebogen „Themenblock - Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“

| | | |
|------|---|---|
| AS | Wie schwierig war die Palettieraufgabe, die Sie letzte Woche erledigt haben? <i>(Bitte markieren)</i> |  |
| | sehr einfach | sehr schwierig |
| TLX | Bitte schätzen Sie Ihre durchschnittliche Beanspruchung während des Palettierens für jede der untenstehenden Dimensionen rückblickend ein. <i>(Bitte markieren)</i> | |
| TLX1 | Geistige Anforderungen Wie hoch waren die geistigen Anforderungen während des Palettierens? |  |
| | gering | hoch |
| TLX2 | Körperliche Anforderungen Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen während des Palettierens ? |  |
| | gering | hoch |
| TLX3 | Zeitliche Anforderungen Wie hoch war das Tempo, mit dem die einzelnen Arbeitsschritte des Palettierens aufeinander folgten? |  |
| | gering | hoch |
| TLX4 | Leistung Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Palettieraufgabe Ihrer Ansicht nach durchgeführt? |  |
| | gut | schlecht |
| TLX5 | Anstrengung Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um Ihre Leistung zu erreichen? |  |
| | gering | hoch |
| TLX6 | Frustration Wie verunsichert, entmutigt, gereizt und verärgert waren Sie? |  |
| | gering | hoch |

Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

2.3 Kurzüberblick Piloteinsätze

In diesem Unterkapitel werden in einem kurzen Überblick grundlegende Informationen und Eckdaten zu den drei Industrieunternehmen, welche das passive Exoskelett in einem Piloteinsatz getestet haben, gegeben. Zusätzlich wird der jeweils zu untersuchende Arbeitsprozess näher beschrieben sowie auf die Anzahl, das Geschlecht, den Altersbereich und die Technologieakzeptanz der Probanden eingegangen.

2.3.1 Kurzsteckbrief Unternehmen A

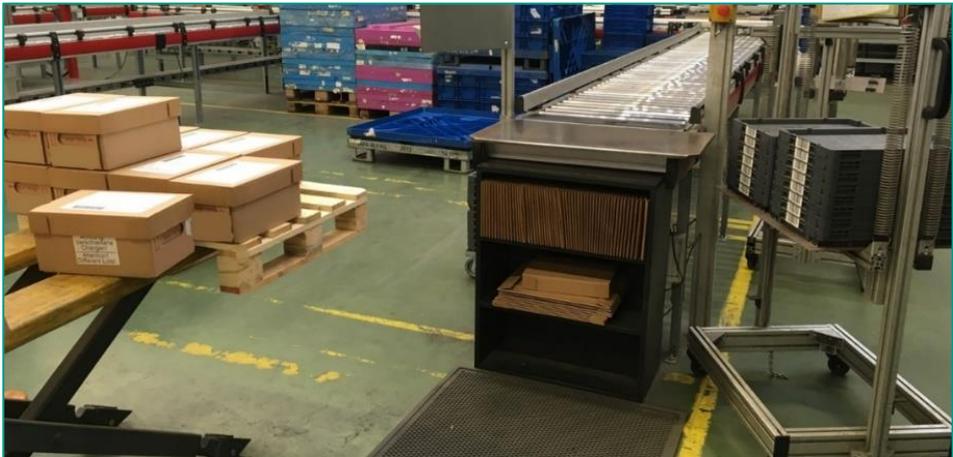
Bei Unternehmen A handelt es sich um eine mittelständische Unternehmensgruppe, welche Lösungen für die Verbindungstechnik in den Bereichen der Automobilindustrie sowie im Elektro- und Baugewerbe entwickelt und produziert. Im Unternehmen A wird mittels Fördertechnik Ware aus dem Lager allokiert und direkt zur jeweiligen Entnahmestelle zu den Kommissionierenden befördert

(= Ware-zur-Person-Prinzip). Der manuelle Arbeitsprozess des Kommissionierers besteht nun darin, die bereitgestellte Ware (Kartons und Behälter) vom Ausgabebereich des Förderbandes auf einer Höhe von ca. 86 cm zu entnehmen und die einzelnen Packstücke systematisch auf einem zweiten Bereich, einer Europalette, abzulegen und während der weiteren Arbeitstätigkeit diese Palette mit den Packstücken systematisch aufzurichten, folglich zu palettieren.

Die Ablagehöhe kann mittels eines Hubwagens vom Mitarbeiter individuell angepasst werden. An dieser Arbeitsstelle erfolgt ein stündlicher Durchsatz von ca. 100 Packstücken, welche sich in ihren Abmessungen, Gewichten und Stapelform unterscheiden. Das durchschnittliche Gewicht pro Packstück beträgt ungefähr acht bis neun Kilogramm. Während des Piloteinsatzes wurde untersucht, ob die anfallende manuelle Lastenhandhabung durch die Nutzung des passiven Exoskelettes verbessert und/ oder ob eine körperliche Entlastung für den Kommissionierer während der Durchführung seiner Tätigkeit ermöglicht werden kann.

Folgende Abbildung 4 gibt einen Überblick über den zu untersuchenden Palettierarbeitsplatz bei Unternehmen A.

Abbildung 4: Vorgesehener Arbeitsplatz zur Erprobung des passiven Exoskelettes bei Unternehmen A



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch einen der Probanden von Unternehmen A mit dem korrekt angelegten passiven Exoskelett.

Abbildung 5: Angelegtes passives Exoskelett an einem Probanden / Unternehmen A



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Die umseitig stehende Tabelle 1 gibt einen zusammengefassten Überblick über die Eck- und Probandendaten von Unternehmen A. Des Weiteren sind in dieser Tabelle weitere Informationen bezüglich des Piloteinsatzes und des untersuchten Arbeitsprozesses bzw. Arbeitsbereiches ersichtlich.

Tabelle 1: Eckdaten Unternehmen A

| Eckdaten Unternehmen A | |
|--|--|
| Anzahl Probanden: | 4 |
| Altersbereich: | 24 - 51 Jahre |
| Geschlecht: | Männlich (4) |
| Technologieakzeptanz: | Hoch |
| Dauer Piloteinsatz: | 14 Tage |
| Untersuchter Arbeitsprozess: | Palettierarbeitsplatz |
| Anzahl Arbeitsplätze: | 2 |
| Weitere Informationen zum Arbeitsbereich: | |
| Entnahmehöhe: | 86 cm |
| Ablagehöhe: | ca. 86 cm (individuell anpassbar mittels Hubwagen) |
| durchschnittliches Gewicht pro Packstück: | 8 - 9 kg |
| durchschnittliche Anzahl Packstücke pro Stunde: | 100 |

Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

2.3.2 Kurzstreckbrief Unternehmen B

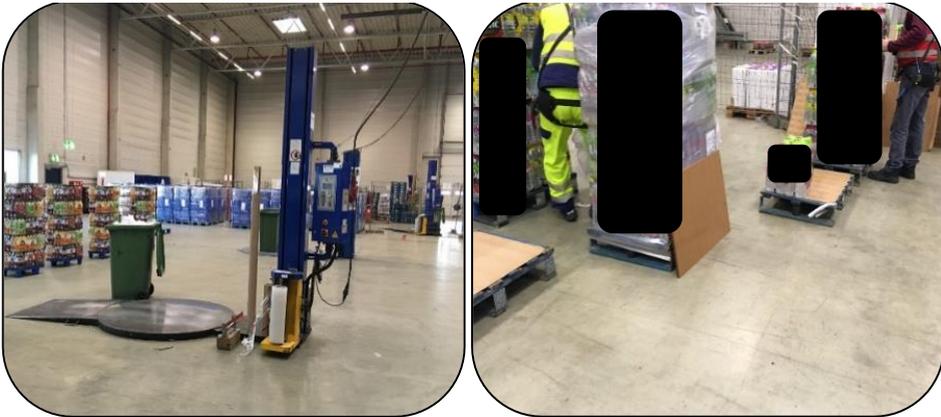
Bei Unternehmen B handelt es sich ebenfalls um ein mittelständisches Unternehmen, welches im Bereich der Kontraktlogistik tätig ist und dabei Dienstleistungen in den Bereichen Transport, Warehousing, IT und Beratung für seine Kunden erbringt.

Während der Pilotstudie wurden bei Unternehmen B spezielle Umpackarbeitsplätze untersucht. An diesen Arbeitsplätzen werden vom Mitarbeiter von einer Palette (A) einzelne Getränkegebinde entnommen und auf einer zweiten Palette (B) systematisch angeordnet und im weiteren Laufe des Arbeitsprozesses gestapelt. Das durchschnittliche Gewicht eines Getränkegebundes beträgt ungefähr 9 kg. Auf Palette B werden insgesamt vier Ebenen mit Getränkegebunden gestapelt, mit einer abschließenden Höhe von ca. 155 cm (Palette und Getränkegebinde). Die maximale Ablagehöhe auf die dritte Ebene beträgt somit circa 120 cm. Nachdem die einzelne Palette vollständig mit den Getränkegebunden bestückt ist, wird diese vom Mitarbeiter manuell mit einer Folie ummantelt (foliert), um der Palette eine gewisse Stabilität zu gewährleisten.

Während des Piloteinsatzes wurde untersucht, ob die anfallende manuelle Lastenhandhabung durch die Nutzung des passiven Exoskelettes verbessert und/ oder ob eine körperliche Entlastung für den Mitarbeiter während der Durchführung seiner Tätigkeit ermöglicht werden kann.

Folgende Abbildung 6 gibt einen Überblick über den zu untersuchenden Umpackarbeitsplatz bei Unternehmen B.

Abbildung 6: Vorgesehener Arbeitsplatz zur Erprobung des passiven Exoskelettes bei Unternehmen B



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Abbildung 7 zeigt exemplarisch einen der Probanden von Unternehmen B mit dem korrekt angelegten passiven Exoskelett.

Abbildung 7: Angelegtes passives Exoskelett an einem Probanden / Unternehmen B



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Die untenstehende Tabelle 2 gibt einen zusammengefassten Überblick über die Eck- und Probandendaten von Unternehmen B. Ebenso sind in dieser Tabelle weitere Informationen bezüglich des Piloteinsatzes und des untersuchten Arbeitsprozesses bzw. Arbeitsbereiches ersichtlich.

Tabelle 2: Eckdaten Unternehmen B

| Eckdaten Unternehmen B | |
|--|---------------------------|
| Anzahl Probanden: | 2 |
| Altersbereich: | 25 - 43 Jahre |
| Geschlecht: | Männlich (2) |
| Technologieakzeptanz: | Moderat |
| Dauer Piloteinsatz: | 14 Tage |
| Untersuchter Arbeitsprozess: | Umpackarbeitsplätze |
| Anzahl Arbeitsplätze: | 2 |
| Weitere Informationen zum Arbeitsbereich: | |
| Entnahmehöhe: | Variiert (155 cm - 50 cm) |
| Ablagehöhe: | Variiert (15 cm - 120 cm) |
| Handling von | Getränkegebinde |
| durchschnittliches Gewicht pro Packstück: | 9 kg |

Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

2.3.3 Kurzsteckbrief Unternehmen C

Bei Unternehmen C handelt es sich um ein Großunternehmen, welches in der Logistikbranche tätig ist. Das Unternehmen ist innerhalb der Kontraktlogistik weltweit operierend und bietet dabei Full-Service-Logistikdienstleistungen, wie z. B. Lagerung, E-Commerce, Zollabwicklung oder Transport, an. Die Kernbereiche des Unternehmens liegen dabei unter anderem in den Branchen Reifen- und Medienlogistik, Konsumgüter, Online Retail, Healthcare, Industrie und Fashionlogistik.

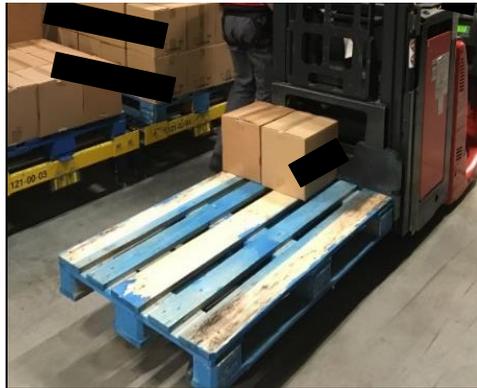
Während der Pilotstudie wurden bei Unternehmen C Kommissionierarbeitsplätze untersucht. Die Kommissionierung erfolgt bei Unternehmen C im Person-zur-Ware-Prinzip. Hierbei sucht der Mitarbeiter die nach Anweisung zu kommissionierende Ware an deren spezifischem Lagerort auf, entnimmt die Ware in der richtigen Menge und legt anschließend die vorgegebene Anzahl der Packstücke auf einer Europalette ab. Bei Unternehmen C erfolgt dieser Kommissioniervorgang durch den Mitarbeiter jedoch nicht ausschließlich zu Fuß, sondern unter Nutzung von Flurförderzeugen (FFZ). Die jeweilige Entnahme- und Ablagehöhen

der einzelnen Packstücke bzw. Ware sowie auch die Anzahl der einzelnen Packstücke und somit das jeweilige Gesamtgewicht pro Kommissionierauftrag variiert hierbei stets. Nach dem Abarbeiten der Kommissionierliste begibt sich der Kommissionierer zum nächsten Arbeitsplatz bzw. -prozess – dem automatisierten Verpacken.

Während des Piloteinsatzes wurde untersucht, ob die anfallende manuelle Lastenhandhabung durch die Nutzung des passiven Exoskelettes verbessert und/oder ob eine körperliche Entlastung für den Kommissionierer während der Durchführung seiner Tätigkeit ermöglicht werden kann.

Folgende Abbildung 8 gibt einen Überblick bezüglich des zu untersuchenden Arbeitsprozesses „Kommissionierarbeitsplatz“ bei Unternehmen C.

Abbildung 8: Vorgesehener Arbeitsplatz zur Erprobung des passiven Exoskelettes bei Unternehmen C



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Abbildung 9: Angelegtes passives Exoskelett an einem Probanden / Unternehmen C



Quelle: © Fraunhofer IML 2019

Die untenstehende Tabelle 3 gibt einen zusammengefassten Überblick über die Eck- und Probandendaten von Unternehmen C. Ebenso sind in dieser Tabelle weitere Informationen bezüglich des Piloteinsatzes und des untersuchten Arbeitsprozesses bzw. Arbeitsbereiches ersichtlich.

Tabelle 3: Eckdaten Unternehmen C

| Eckdaten Unternehmen C | |
|---|--|
| Anzahl Probanden: | 2 |
| Altersbereich: | 32 - 55 Jahre |
| Geschlecht: | Männlich (2) |
| Technologieakzeptanz: | Sehr gering bis sehr hoch (sehr große Varianz) |
| Dauer Piloteinsatz: | 14 Tage |
| Untersuchter Arbeitsprozess: | Kommissionierarbeitsplatz |
| Anzahl Arbeitsplätze: | 2 |
| Weitere Informationen zum Arbeitsbereich: | |
| Entnahmehöhe: | Variiert pro Lagerort |
| Ablagehöhe: | Variiert (individuell anpassbar mittels Ameise) |
| Kommissionierprozess erfolgt unter Verwendung eines: durchschnittliches Gewicht pro Packstück: | Flurförderfahrzeugs (Ameise) Variiert pro Packstück |

Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

3 Auswertung und Gesamtbewertung des Piloteinsatzes

In diesem Kapitel erfolgt im ersten Abschnitt die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse der spezifischen Pilotierungseinsätze innerhalb der einzelnen Industrieunternehmen, jeweils inklusive eines Gesamtfazits und den Hauptkenntnissen des Feldtests. Im zweiten Unterkapitel wird die Auswertung über alle drei Industrieunternehmen hinweg und die Darstellung des Gesamtergebnisses des Pilotierungseinsatzes durchgeführt.

3.1 Auswertung der Piloteinsätze

Im Folgenden wird auf die bei den einzelnen Industrieunternehmen erzielten Bewertungsergebnisse der spezifischen Piloteinsätze im Detail eingegangen. Hierbei werden jeweils die Hauptkenntnisse und Pilotierungsergebnisse anhand der Themenblöcke „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“, „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“ sowie „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“ dargestellt.

Ebenfalls wird in einer graphischen Darstellung die gesamte Bandbreite der erhaltenen Bewertungen bzw. Antworten aller am Feldtest teilgenommenen Probanden des jeweiligen Unternehmens aufgezeigt.

Abschließend wird der Piloteinsatz pro Unternehmen als zusammengefasstes Gesamtergebnis aufbereitet. Dies beinhaltet die Einstufung bzw. Bewertung nach dem Schulnotensystem und die hierfür jeweils ausschlaggebenden positiven und negativen Hauptgründe bzw. -argumente sowie grundsätzliche Anmerkungen zum Piloteinsatz.

3.1.1 Unternehmen A

Themenblock: „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“

Aufgabenschwierigkeit:

- Die durchzuführende Tätigkeit bei Unternehmen A „Palettierung“ wurde als sehr gering bis moderat bewertet.

Subjektive Beanspruchung beim Palettieren:

- Die Einschätzung der Probanden erfolgte insgesamt als moderat.
- Die spezifischen Arbeitsbelastungsauswertungen zeigen ein unterschiedliches Ergebnis.

Spezifische Arbeitsbeanspruchungsauswertungen:

- Die gefühlte Anstrengung und die körperliche Anforderung während der Arbeitstätigkeit sind über dem Durchschnitt.
- Die geistige Anforderung während dem Palettiervorgang wird als gering bewertet.
- Die Fragen zur zeitlichen Anforderung, der Frustration und der selbst eingeschätzten Arbeitsleistung liegen in den einzelnen Bewertungen im mittleren Feld.

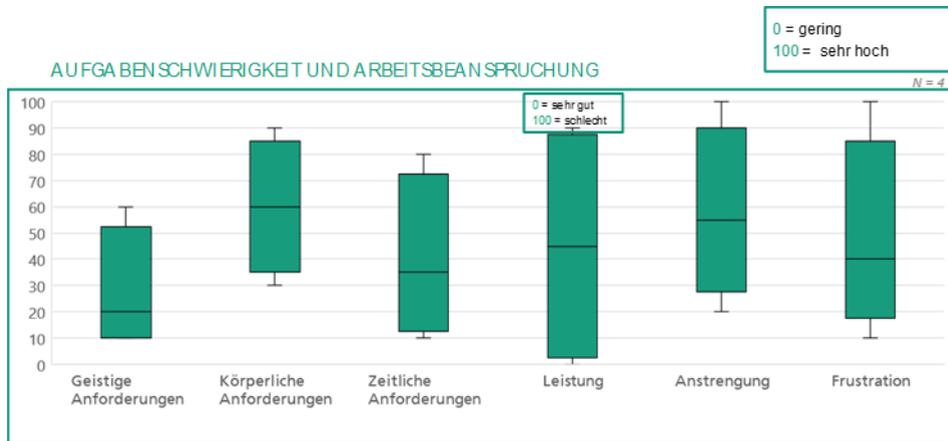
Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei der Frage zur selbsteingeschätzten Arbeitsleistung. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „sehr gut“ bis „schlecht“.

Folgende Abbildung 10 stellt die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“ in visueller Form dar. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige

Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 10: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen A



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Themenblock: „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“

Einstellungsschwierigkeit:

- Das An- und Ablegen sowie die Größenverstellbarkeit des passiven Exoskelettes wurden als sehr einfach bewertet.

Bewegungsfreiheit und körperliche Unterstützungsleistung:

- Die Probanden fühlten sich durch das Gerät in ihrer Arbeitstätigkeit moderat eingeschränkt.
- Mehrheitlich wurde von den Teilnehmern am Piloteinsatz eine beträchtliche Reduktion der Belastung am Rücken wahrgenommen.

Aufgabenunterstützung und -beeinträchtigung:

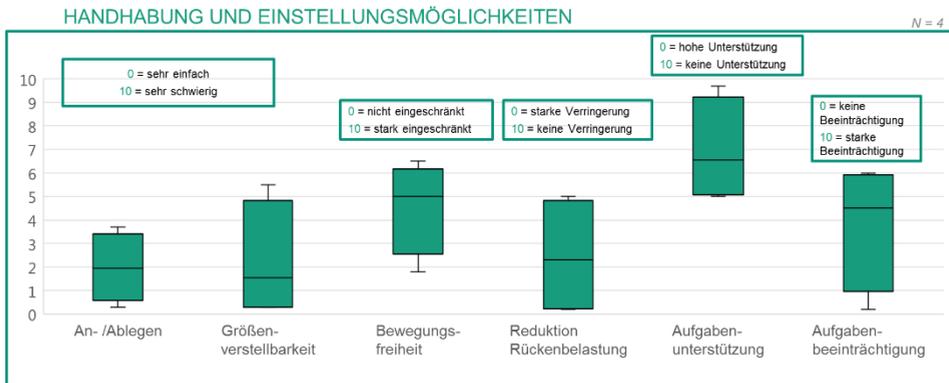
- Nach den Bewertungen der Probanden leistet das passive Exoskelett für den Arbeitsprozess „Palettierung“ wenig Unterstützung.
- Während der Tätigkeitsausführung wurden moderate Beeinträchtigungen bei der Arbeit festgestellt.

Anmerkungen:

- Als eine Beeinträchtigung während der Arbeit sahen die Probanden die Beinschalen des passiven Exoskelettes an. Vor allem beim Ziehen und Aufstellen von leeren Europaletten kam es hier zu Schwierigkeiten.

Die untenstehende Abbildung 11 gibt einen Überblick über die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 11: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen A



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Themenblock: „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“

Allgemeiner Tragekomfort:

- Der allgemeine Tragekomfort des passiven Exoskelettes liegt im mittleren Komfortbereich.

Lokaler Tragekomfort:

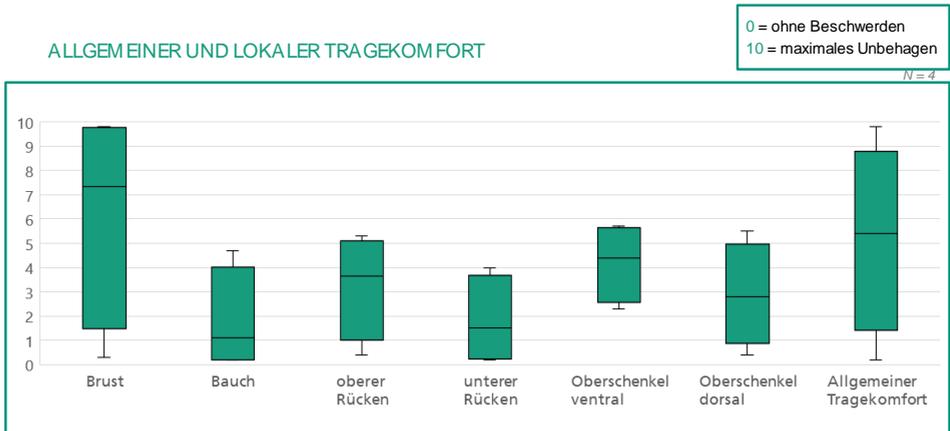
- Das größte Unbehagen beim Tragen des Exoskelettes wurde von den Probanden im Brustbereich festgestellt.
- In den Bereichen Bauch und unterer Rücken wurden kaum Beschwerden durch das Tragen des Exoskelettes wahrgenommen.
- Beim vorderen und hinteren Oberschenkel sowie dem oberen Rückenbereich gab es bezüglich des Tragekomforts wenig bis moderate Beschwerden bzw. Beanstandungen.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei der Frage zum Tragekomfort im Brustbereich. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „wenig Beschwerden“ bis hin zu „maximalem Unbehagen“.

Nachfolgende Abbildung 12 gibt einen Überblick bezüglich den Bewertungsergebnissen des Themenblocks „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 12: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen A



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Abschließende Gesamtbewertung von Unternehmen A

Die Gesamtnote für das passive Exoskelett beim Arbeitsprozess „Palettierung“ wurde mit einer „4+“ festgelegt. Dieser Wert ergab sich aus der Bildung eines

Notendurchschnittes aller am Piloteinsatz des Unternehmens A teilgenommenen Probanden. Auch wurden bei der Notenbildung weitere Erkenntnisse, welche bei den Zwischen- und Abschlussgesprächen mit den Probanden bzw. aus den einzelnen Fragebögen hervorgingen bei der Gesamtbewertung des passiven Exoskelettes mitberücksichtigt.

Hauptgründe, die zur Gesamtnote „4+“ geführt haben, sind die während der Pilotierungsphase bei einzelnen Probanden individuell aufgetretenen Nachteile. Wie beispielsweise die Probleme mit dem Tragegurt des passiven Exoskelettes bzw. das Verrutschen des Gerätes am Körper, während der Durchführung des Arbeitsprozesses, der allgemeinen Behinderung bei der Arbeitstätigkeit „Palettierung“, aufgetretene Schweiß- sowie Hautprobleme durch die Brust- und Beinpolster des Gerätes oder auch die teilweise aufgetretenen Schmerzen beim Tragen des Exoskelettes. Als positive Eigenschaften des passiven Exoskelettes wurden probandenübergreifend vor allem die vielseitigen Einstellungsmöglichkeiten am Gerät, das sehr einfache An- und Ablegen, das nicht zu Beschwerden führende Eigengewicht des Exoskelettes von ca. 3 kg und auch die wahrgenommene Unterstützung bzw. körperliche Entlastung im Rückenbereich bei der manuellen Lastenhandhabung aufgeführt.

In untenstehender Abbildung 13 sind diese einzelnen positiven und negativen Eigenschaften sowie die Gesamtnote des passiven Exoskelettes nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 13: Vor- und Nachteile sowie Gesamtnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen A



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Grundsätzliche Anmerkungen zum Piloteinsatz bei Unternehmen A Arbeitsprozess: „Palettierung“

Der mittels Hubwagen individuell anpassbare Höhenausgleich ermöglichte in diesem untersuchten Arbeitsprozess eine in etwa einheitliche Entnahme- und Ablagehöhe. Dadurch kam es während der Durchführung der primären Arbeitstätigkeit, der Entnahme und Ablage der einzelnen Packstücke, kaum zu tieferen Beugungen und Streckungen des Oberkörpers bei den einzelnen Probanden. Folglich konnte das gesamte Potential des passiven Exoskelettes im Unternehmen A während des Piloteinsatzes bei der Tätigkeit „Palettieren“ nicht vollständig ausgeschöpft werden. Dieser Aspekt muss bei der Interpretation des Gesamtergebnisses bei Unternehmen A mit berücksichtigt werden und erklärt auch teilweise die durchschnittliche Gesamtnote bzw. einzelne beanstandete negative Eigenschaften des passiven Exoskelettes.

Ein zweites erwähnenswertes Thema, welches zu einer schlechteren Gesamtbewertung geführt haben kann, ist die Tatsache, dass das passive Exoskelett bei Unternehmen A über zwei Arbeitsschichten hinweg getragen wurde und grundsätzlich beim Schichtwechsel an den nachfolgenden Probanden übergeben wurde. Während der Dauer des Piloteinsatzes wurde das jeweils korrekte Sitzen des Gerätes und die individuelle Anpassung der Hüft- und Schultergurte immer weniger beachtet und hat somit sukzessive abgenommen. Das im Einführungsworkshop abgesprochene Vorgehen hinsichtlich des akkuraten Anziehens des Exoskelettes sowie der gegenseitigen Hilfe und Überprüfung durch die Mitarbeiter selbst, ob das Gerät optimal am Körper getragen wird, wurde über die Dauer des Piloteinsatzes nicht durchgängig und von allen Probanden eingehalten.

3.1.2 Unternehmen B

Themenblock: „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“

Aufgabenschwierigkeit:

- Die durchzuführende Tätigkeit bei Unternehmen B „Umpacken“ wurde als mittel bis eher schwierig bewertet.

Subjektive Beanspruchung beim Umpacken:

- Die Einschätzung der Probanden erfolgte insgesamt als moderat.
- Die spezifischen Arbeitsbelastungsauswertungen zeigen ein unterschiedliches Ergebnis.

Spezifische Arbeitsbeanspruchungsauswertungen:

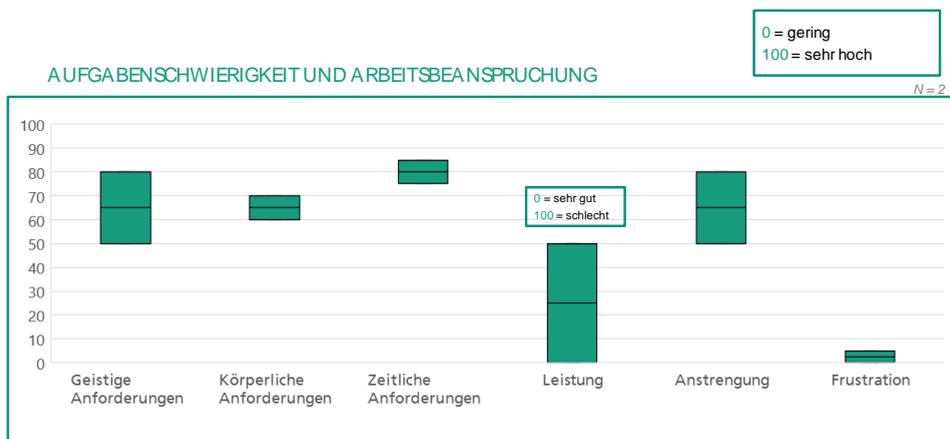
- Die zeitliche Anforderung des Arbeitsprozesses ist sehr hoch.
- Die gefühlte Anstrengung sowie die geistige und die körperliche Anforderung während der Arbeitstätigkeit sind überdurchschnittlich hoch.
- Die Beurteilung der selbst eingeschätzten Arbeitsleistung liegt im guten Bereich.
- Die Frage zur Frustration während der Umpackstätigkeit wird als sehr gering bewertet.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei der Frage zur selbsteingeschätzten Arbeitsleistung. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „sehr gut“ bis „moderat“.

Folgende Abbildung 14 stellt die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“ in visueller Form dar. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 14: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen B



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Themenblock: „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“

Einstellungsschwierigkeit:

- Das An- und Ablegen sowie die Größenverstellbarkeit des passiven Exoskelettes wurden als sehr einfach bewertet.

Bewegungsfreiheit und körperliche Unterstützungsleistung:

- Die Probanden fühlten sich durch das Gerät in ihrer Arbeitstätigkeit moderat eingeschränkt.
- Von den Teilnehmern am Piloteinsatz wurde keine Reduktion der Belastung am Rücken wahrgenommen.

Aufgabenunterstützung und -beeinträchtigung:

- Nach den Bewertungen der Probanden leistet das passive Exoskelett für den Arbeitsprozess „Umpacken“ keine Unterstützung.
- Während der Tätigkeitsausführung wurden überdurchschnittliche Beeinträchtigungen bei der Arbeit festgestellt.

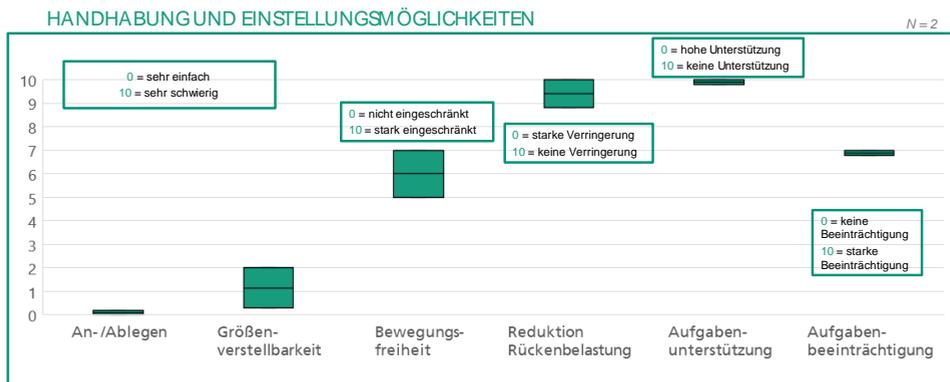
Anmerkungen:

- Als eine Beeinträchtigung während der Arbeit sahen die Probanden die Beinschalen des passiven Exoskelettes an. Vor allem eine daraus resultierende Behinderung während Teilarbeiten des Tätigkeitsprozesses wie dem manuellen Folieren der umgepackten Palette oder einem „tief-in-die-Hocke-Gehen“.
- Die Bewertungsergebnisse der Probanden während des Piloteinsatzes bei Unternehmen B bezüglich den Aspekten „Bewegungsfreiheit und körperliche Unterstützungsleistung“ sowie „Aufgabenunterstützung und -beeinträchtigung“ wurden als nicht valide eingestuft, da es zu Komplikationen mit dem passiven Exoskelett während des Feldtests gekommen ist. Das Gerät war ab dem zweiten Tag nicht mehr aktiviert und somit nicht unterstützend. Siehe hierzu auch die Anmerkungen zur Gesamtbewertung auf Seite 44 und 45.

Die untenstehende Abbildung 15 gibt einen Überblick über die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten

der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 15: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen B



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Themenblock: „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“

Allgemeiner Tragekomfort:

- Der allgemeine Tragekomfort des passiven Exoskelettes liegt im (sehr) niedrigen Komfortbereich. Es wurde ein hohes Unbehagen festgestellt.

Lokaler Tragekomfort:

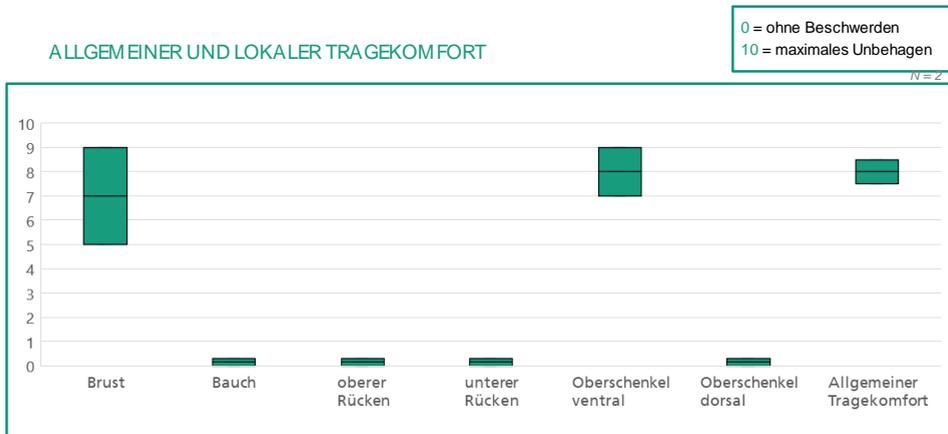
- (Sehr) hohes Unbehagen beim Tragen des Exoskelettes wurde von den Probanden im Brustbereich und am vorderen Oberschenkel festgestellt.
- Komplettschwerdefrei wurden der hintere Oberschenkel, der obere sowie untere Rückenbereich sowie der Bauch bewertet.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei der Frage zum Tragekomfort im Brustbereich. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „moderaten Beschwerden“ bis hin zu „sehr hohem Unbehagen“.
- Die Bewertungsergebnisse der Probanden während des Piloteinsatzes bei Unternehmen B bezüglich des Aspekts „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“ wurden als nicht valide eingestuft, da es zu Komplikationen mit dem passiven Exoskelett während des Feldtests gekommen ist. Das Gerät war ab dem zweiten Tag nicht mehr eingeschaltet und somit nicht aktiv. Siehe hierzu auch die Anmerkungen zur Gesamtbewertung auf Seite 44 und 45

Nachfolgende Abbildung 16 gibt einen Überblick bezüglich den Bewertungsergebnissen des Themenblocks „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 16: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen B



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Abschließende Gesamtbewertung von Unternehmen B

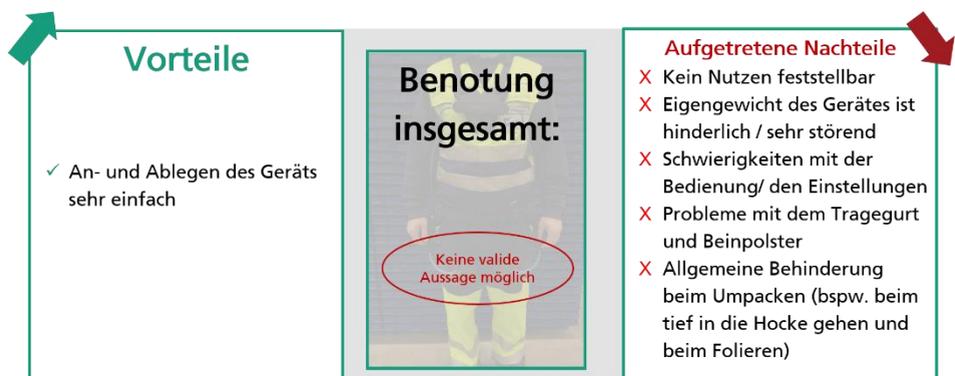
Eine Gesamtnote für das passive Exoskelett beim Arbeitsprozess „Umpacken“ konnte für diesen Piloteinsatz nicht valide ermittelt werden, da während des Feldtests Gerätekomplika­tionen aufgetreten sind. Ab dem zweiten Testtag wurde das passive Exoskelett von den Probanden in einem nicht eingeschalteten und somit nicht aktiven Zustand während des Arbeitsprozesses getragen. Aus diesem Grund ist keine verlässliche Aussage hinsichtlich der Gesamtbewertung und -benotung des Gerätes für Unternehmen B möglich.

Bei einzelnen Probanden individuell aufgetretenen Nachteile während der Pilotierungsphase waren jedoch das Eigengewicht des Exoskelettes von ca. 3 kg, welches als hinderlich bis hin zu sehr störend eingestuft wurde. Auch Schwierigkeiten mit der korrekten Bedienung bzw. hinsichtlich den Einstellmöglichkeiten des passiven Exoskelettes sind bei diesem Feldtest als Nachteil festzuhalten. Ebenfalls traten bei den Probanden Probleme mit dem Tragegurt und den Beinschienen des Gerätes auf, beispielsweise das Verrutschen der Gurte und ein „Rauspringen“ der angelegten Beinschalen. Zudem wurden allgemeine Behinderungen bei der Durchführung der Arbeitstätigkeit „Umpacken“

festgestellt, hauptsächlich an den Beinschalen beim „tief-in-die-Hocke-Gehen“ bzw. während des manuellen Foliervorgangs einer umgepackten Palette. Als Gesamtfazit war bei den Probanden kein Nutzen des Gerätes für ihren Arbeitsprozess ersichtlich. Als einzige positive Eigenschaft des passiven Exoskelettes wurde probandenübergreifend das sehr einfache An- und Ablegen des Gerätes genannt.

In untenstehender Abbildung 17 sind diese einzelnen positiven und negativen Eigenschaften des passiven Exoskelettes nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 17: Vor- und Nachteile sowie Gesamtnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen B



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Grundsätzliche Anmerkungen zum Piloteinsatz bei Unternehmen B

Arbeitsprozess: „Umpacken“

Bedingt durch die nicht korrekte Einstellung bzw. Funktionsweise am passiven Exoskelett war für das Unternehmen B und dessen betrachteten Arbeitsprozess keine abschließende Gesamtbenotung bzw. valide Gesamtbewertung des Gerätes möglich. Daher kann auch keine grundsätzliche Aussage zum Potential des passiven Exoskelettes im Arbeitsprozess „Umpackfähigkeit“ gegeben werden.

Bei der Auswertung der einzelnen Bewertungen seitens der Probanden konnten nur die Aspekte „Allgemeiner Tragekomfort“ und „Technologieaffinität“ zweckmäßig ausgewertet werden.

Aus diesen Gründen ist wurde die Pilotierungsphase für Unternehmen B nochmals mit identischem Testaufbau durchzuführen, um anschließend eine verlässliche und aussagekräftige Gesamtbewertung bezüglich dem Umpackprozess durchführen zu können sowie hieraus dann ein validiertes Gesamtergebnis zu erhalten.

3.1.2.1 Wiederholung des Piloteinsatzes bei Unternehmen B

Zum Erzielen valider Ergebnisse wurde die Untersuchung mit zwei anderen, männlichen Probanden im Alter von 19 bis 26 Jahren wiederholt. Dabei konnte sichergestellt werden, dass die Komplikationen des vorherigen Tests nicht erneut auftraten.

Aufgabenschwierigkeit:

- Die durchzuführende Tätigkeit bei Unternehmen B „Umpacken“ wurde als sehr einfach bewertet (vorher: mittel bis eher schwierig).

Subjektive Beanspruchung beim Umpacken:

- Die Einschätzung der Probanden erfolgte insgesamt als moderat.
- Die spezifischen Arbeitsbelastungsauswertungen zeigen ein unterschiedliches Ergebnis.

Spezifische Arbeitsbeanspruchungsauswertungen:

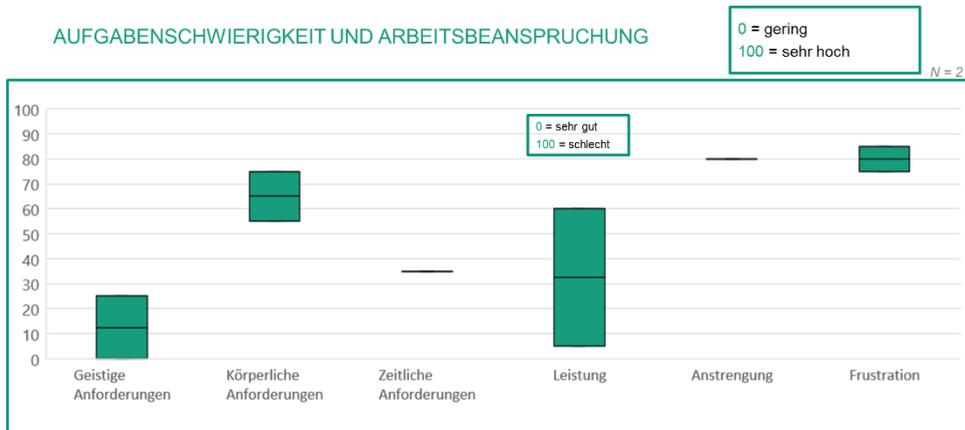
- Die gefühlte zeitliche Anforderung des Arbeitsprozesses ist eher gering (vorher sehr hoch) – im selben Arbeitsprozess.
- Die gefühlte Anstrengung und die körperliche Anforderung während der Arbeitstätigkeit sind überdurchschnittlich hoch.
- Die Beurteilung der selbst eingeschätzten Arbeitsleistung liegt im variiert zwischen gut und sehr schlecht.
- Die Frage zur Frustration während der Umpackstätigkeit wird als sehr hoch bewertet (vorher sehr gering).

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte wie schon im ersten Pilotierungsversuch bei der Frage zur selbsteingeschätzten Arbeitsleistung. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „gut“ bis „moderat“.

Folgende Abbildung 18 stellt die erneut Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“ in visueller Form dar. In den einzelnen Balkendiagrammen sind weiterhin die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 18: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen B – Wiederholung



Quelle: Eigene Abbildung.

Themenblock: „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“

Einstellungsschwierigkeit:

- Das An- und Ablegen sowie die Größenverstellbarkeit des passiven Exoskelettes wurden wieder als sehr einfach bewertet.

Bewegungsfreiheit und körperliche Unterstützungsleistung:

- Die Probanden fühlten sich durch das Gerät in ihrer Arbeitstätigkeit eingeschränkt.
- Von den Teilnehmern am Piloteinsatz wurde keine bzw. kaum Reduktion der Belastung am Rücken wahrgenommen.

Aufgabenunterstützung und -beeinträchtigung:

- Nach den Bewertungen der Probanden leistet das passive Exoskelett für den Arbeitsprozess „Umpacken“ moderate bis kaum Unterstützung.
- Während der Tätigkeitsausführung wurden starke Beeinträchtigungen bei der Arbeit festgestellt.

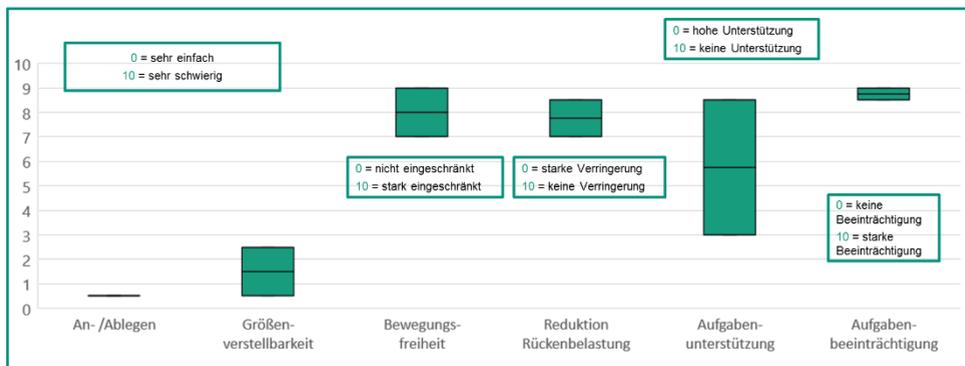
Anmerkungen:

- Als eine Beeinträchtigung während der Arbeit sahen die Probanden auch in der Wiederholung die Beinschalen des passiven Exoskelettes an. Vor allem eine daraus resultierende Behinderung während Teilarbeiten des Tätigkeitsprozesses wie dem manuellen Folieren der umgepackten Palette oder einem „tief-in-die-Hocke-Gehen“.
- Die Bewertungsergebnisse der Probanden während des Pilo-teinsatzes bei Unternehmen B bezüglich den Aspekten „Bewegungsfreiheit und körperliche Unterstützungsleistung“ sowie „Aufgabenunterstützung und -beeinträchtigung“ wurden zuvor als nicht valide eingestuft. Diese anschließend erhobenen validen Ergebnisse zeigen eine hohe Varianz bei den Ergebnissen bzgl. der Aufgabenunterstützung (moderate Unterstützung bis kaum Unterstützung). Die Reduktion der Rückenbelastung wurde als leicht verbessert eingestuft während die Einschränkung der Bewegungsfreiheit hingegen zunahm.

Die umseitig stehende Abbildung 19 gibt einen Überblick über die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 19: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen B Wiederholung

HANDHABUNG UND EINSTELLUNGSMÖGLICHKEITEN



Quelle: Eigene Abbildung.

Themenblock: „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“

Allgemeiner Tragekomfort:

- Der allgemeine Tragekomfort des passiven Exoskelettes liegt im (sehr) niedrigen Komfortbereich. Es wurde ein hohes Unbehagen festgestellt.

Lokaler Tragekomfort:

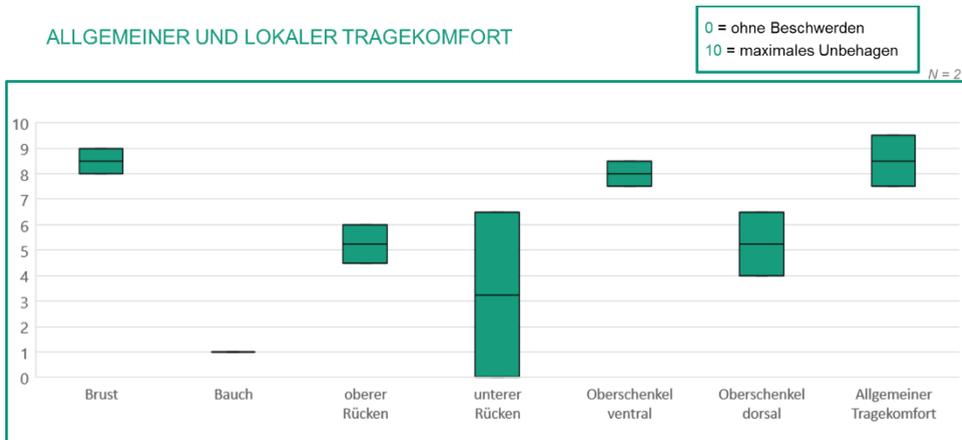
- Sehr hohes Unbehagen beim Tragen des Exoskelettes wurde von den Probanden im Brustbereich und am vorderen Oberschenkel festgestellt.
- Komplettschmerzfrei wurde nur der Bauch bewertet.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei der Frage zum Tragekomfort unteren Rücken. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „moderaten Beschwerden“ (leichte Rückenschmerzen nach der Schicht) bis hin zu „komplett beschwerdefrei“.
- Die Bewertungsergebnisse aus dem ersten (nicht validen) Pilotierungsversuch haben sich trotzdem im Wesentlichen bestätigt und sind teilweise sogar schlechter als zuvor. Die Probleme mit sehr starken Unbehagen an Brust und Oberschenkeln blieben bestehen und auch die allgemeinte Bewertung fällt ähnlich negativ aus. Hinzu kommen die Rückenschmerzen eines Probanden nach seinen Schichten. Hier wurde der Test abgebrochen, da er nicht weiter zu vertreten war.

Nachfolgende Abbildung 20 gibt einen Überblick bezüglich den Bewertungsergebnissen des Themenblocks „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie auch der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 20: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen B Wiederholung



Quelle: Eigene Abbildung.

Abschließende Gesamtbewertung von Unternehmen B

Nach Wiederholung des Piloteinsatzes ist nun eine Gesamtbewertung für den Einsatz im Bereich des Umpackens möglich.

Die zuvor aufgetretenen Nennungen des sich nachteilig auswirkenden Eigengewichts ließen sich im erneuten Einsatz nicht replizieren. Das kann an einer nun eingesetzten Unterstützung oder auch an der Wahrnehmung der anderen Probanden liegen. Auch Schwierigkeiten mit der korrekten Bedienung bzw. hinsichtlich den Einstellungsmöglichkeiten des passiven Exoskelettes sind bei diesem Feldtest nicht erneut aufgetreten – um valide Aussagen zu treffen wurde im Verlauf der Pilotierung hierauf ein besonderes Augenmerk gelegt.

Ebenfalls traten bei den Probanden wieder Probleme mit dem Tragegurt und den Beinschienen des Gerätes auf. Es wurde eine starke Beeinträchtigung der allgemeinen Bewegungsfreiheit festgestellt – äußerte sich insbesondere störend beim „tief-in-die-Hocke-Gehen“. Das Hochrutschen der Beinschalen beim Hinhocken und das anschließende Richten der Schalen machte sich zudem negativ in der Geschwindigkeit der Arbeit bemerkbar, was bei den Probanden zu erhöhter Frustration führte. Da das Folieren ein Prozess ist der viel Bewegungsfreiheit und Flexibilität erfordert scheint ein starres Gerät wie das hier getestete ungeeignet

zu sein. Dem entsprechend wurde von den Probanden eine sehr hohe Aufgabenbeeinträchtigung festgestellt.

Wo das Exoskelett am Körper aufliegt, kam es zu vermehrter Schweißbildung und Hautreizungen. Vor allem das Polster an der Brust sorgte für starke Hautirritationen und Probleme für die Probanden. Weiterhin wurde das Gerät von den Probanden für die Benutzung eines Flurförderzeugs als ungeeignet befunden. Ein Proband gab beim Zwischengespräch an nach Beendigung seiner Schicht Rückenprobleme zu haben, woraufhin dieser aus gesundheitlichen Gründen gebeten wurde den Test abubrechen.

Als Gesamtfazit war bei den Probanden weiterhin kein Nutzen des Gerätes für ihren Arbeitsprozess ersichtlich. Als einzige positive Eigenschaft des passiven Exoskelettes wurde probandenübergreifend das sehr einfache An- und Ablegen des Gerätes genannt.

In untenstehender Abbildung 17 sind diese einzelnen positiven und negativen Eigenschaften des passiven Exoskelettes nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 21: Vor- und Nachteile sowie Gesamtnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen B



Quelle: Eigene Abbildung.

3.1.3 Unternehmen C

Themenblock: „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“

Aufgabenschwierigkeit:

- Die durchzuführende Tätigkeit bei Unternehmen C „Kommissionierung“ wurde als moderat bewertet.

Subjektive Beanspruchung beim Kommissionieren:

- Die Einschätzung der Probanden erfolgte insgesamt als etwas über dem Durchschnitt.
- Die spezifischen Arbeitsbelastungsauswertungen zeigen ein unterschiedliches Ergebnis.

Spezifische Arbeitsbeanspruchungsauswertungen:

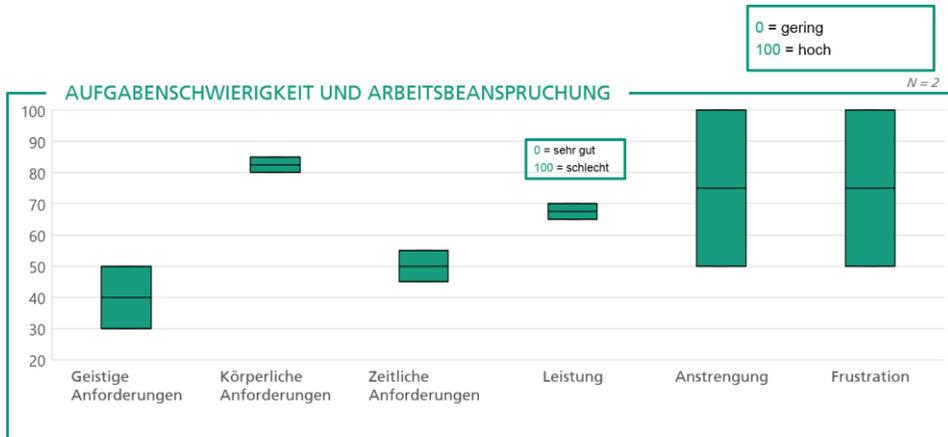
- Die körperliche Anforderung, die gefühlte Anstrengung und die Frustration während der Arbeitstätigkeit sind überdurchschnittlich bis hoch.
- Die geistige sowie die zeitliche Anforderung während des Kommissioniervorgangs liegen im mittleren Feld.
- Die selbst eingeschätzte Arbeitsleistung liegt in den einzelnen Bewertungen im schlechteren Bereich.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei den Fragen bzgl. der Frustration und der gefühlten Anstrengung während dem Arbeitsprozess. Hier reichten die jeweiligen Bandbreiten der erhaltenen Antworten von „durchschnittlich“ bis „sehr hoch“.

Folgende Abbildung 22 stellt die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung“ in visueller Form dar. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 22: Auswertung der Aufgabenschwierigkeit und Arbeitsbeanspruchung / Unternehmen C



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Themenblock: „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“

Einstellungsschwierigkeit:

- Das An- und Ablegen sowie die Größenverstellbarkeit des passiven Exoskelettes wurden als sehr einfach bewertet.

Bewegungsfreiheit und körperliche Unterstützungsleistung:

- Die Probanden fühlten sich durch das Gerät in ihrer Arbeitstätigkeit (weit) überdurchschnittlich eingeschränkt.
- Von den Teilnehmern am Piloteinsatz wurde eine moderate Reduktion der Belastung am Rücken wahrgenommen.

Aufgabenunterstützung und -beeinträchtigung:

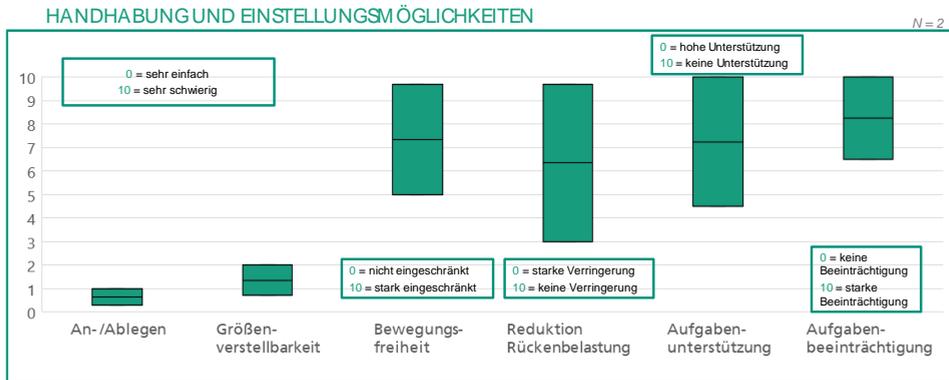
- Nach den Bewertungen der Probanden leistet das passive Exoskelett für den Arbeitsprozess „Kommissionierung“ wenig Unterstützung.
- Während der Tätigkeitsausführung wurden starke Beeinträchtigungen bei der Arbeit festgestellt.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei der Frage hinsichtlich der Reduktion der Belastung im Rückenbereich. Hier reichte die Bandbreite der erhaltenen Antworten von „kaum körperliche Unterstützung“ bis „überdurchschnittliche körperliche Unterstützung“.
- Als Hauptbeeinträchtigung während der Arbeit sahen die Probanden die Beinschalen des passiven Exoskelettes an. Durch die Kombinationen eines „gehenden“ und „fahrenden“ Arbeitsprozesses bei der Kommissionierung kam es hier zu Problemen wie beispielsweise beim Ein- und Aussteigen in das Flurförderzeug (Ameise) und dem dabei unbeabsichtigten Betätigen des „Not-Aus-Schalters“ durch die Beinschalen. Dies verursachte eine insgesamt langsamere Arbeitszeit während dem Kommissionierprozess und verminderte zudem die allgemeine Arbeitseffizienz des Probanden.

Die untenstehende Abbildung 23 gibt einen Überblick über die Bewertungsergebnisse des Themenblocks „Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 23: Auswertung der Handhabung und Einstellungsmöglichkeiten / Unternehmen C



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Themenblock: „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“

Allgemeiner Tragekomfort:

- Der allgemeine Tragekomfort des passiven Exoskelettes liegt im niedrigen Komfortbereich. Es wurde ein hohes Unbehagen festgestellt.

Lokaler Tragekomfort:

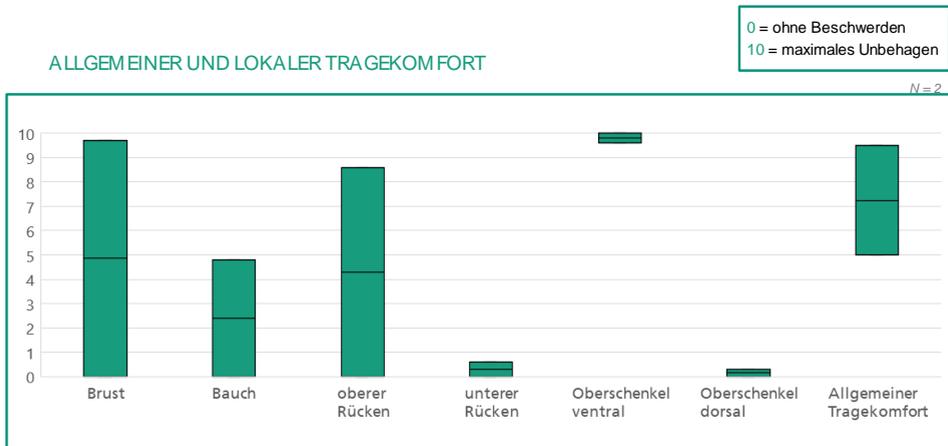
- Das größte bzw. ein maximales Unbehagen beim Tragen des Exoskelettes wurde von den Probanden am vorderen Oberschenkel festgestellt.
- Der Brust- sowie der obere Rückenbereich wurden mit einem moderaten Unbehagen bewertet.
- Im Bauchbereich gab es bezüglich des Tragekomforts nur wenig Beschwerden bzw. Beanstandungen.
- Komplettschwerdefrei wurden der hintere Oberschenkel sowie der untere Rückenbereich bewertet.

Anmerkungen:

- Die größte Varianz bei den einzelnen Bewertungen der Probanden erfolgte bei den Fragen bzgl. dem Tragekomfort im Brust- sowie im oberen Rückenbereich. Hier reichten die jeweiligen Bandbreiten der erhaltenen Antworten von „komplettschwerdefrei“ bis hin zu „maximalem Unbehagen“.

Nachfolgende Abbildung 24 gibt einen Überblick bezüglich den Bewertungsergebnissen des Themenblocks „Allgemeiner und lokaler Tragekomfort“. In den einzelnen Balkendiagrammen sind die jeweiligen Bandbreiten der Bewertungen aller Probanden sowie der Mittelwert, aus welchem abschließend die Gesamteinstufung erfolgte, ersichtlich. Die jeweilige Dimensionierung der einzelnen Fragenkategorie ist in der Y-Achse und direkt über den betreffenden Balkendiagrammen zu erkennen.

Abbildung 24: Auswertung des allgemeinen und lokalen Tragekomforts / Unternehmen C



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Abschließende Gesamtbewertung von Unternehmen C

Die Gesamtnote für das passive Exoskelett beim Arbeitsprozess „Kommissionierung“ wurde in der Kombination mit einem Flurförderzeug mit einer 5 festgelegt. Die Gesamtbewertung des Gerätes bei einem „nur gehenden“ Arbeitsprozess, also ohne Nutzung eines Flurförderzeuges, wurde mit der Endnote „4“ bewertet. Diese(r) Wert(e) ergab(en) sich aus der Bildung des Notendurchschnittes aller am Piloteinsatz des Unternehmens C teilgenommenen Probanden. Ebenfalls wurden bei der Notenbildung weitere Erkenntnisse, welche bei den Zwischen- und Abschlussgesprächen mit den Probanden bzw. aus den einzelnen Fragebögen hervorgingen bei der Gesamtbewertung des passiven Exoskelettes mitberücksichtigt.

Hauptgründe die zu dieser Gesamtbewertung geführt haben sind vor allem in der Kombination zwischen fahrendem und gehendem Kommissionierprozess zu finden. Hierbei kam es durch die Beinschienen des Exoskelettes zu Fehlbedienungen am Flurförderzeug und einer dadurch insgesamt langsameren Arbeitsgeschwindigkeit sowie niedrigeren Arbeitseffizienz der einzelnen Probanden. Es wurden allerdings auch individuelle Nachteile und Schwierigkeiten bei einzelnen Probanden während der Pilotierungsphase festgestellt, wie z. B. das

Verrutschen des Gerätes am Körper während der Durchführung des Arbeitsprozesses,

aufgetretene Schweiß- und Hautproblemen sowie vereinzelt Druckschmerzen durch die Brust- und Beinpolster des Gerätes. Ebenfalls traten allgemeine Behinderungen während der Durchführung der Arbeitstätigkeit „Kommissionierung“ auf, hauptsächlich durch Bewegungseinschränkungen bei einem tiefen Bücken der Probanden.

Als positive Eigenschaften des passiven Exoskelettes wurden probandenübergreifend vor allem das sehr einfache An- und Ablegen des Gerätes, das nicht zu Beschwerden führende Eigengewicht des Exoskelettes von ca. 3 kg sowie die von der Hälfte der Probanden wahrgenommenen Unterstützung bzw. körperliche Entlastung im Rückenbereich bei der manuellen Lastenhandhabung aufgeführt.

In untenstehender Abbildung 21 sind diese einzelnen positiven und negativen Eigenschaften sowie die Gesamtendnote(n) des passiven Exoskelettes, jeweils in Kombination mit und ohne ein Flurförderzeug, nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 25: Vor- und Nachteile sowie Gesamtnote des passiven Exoskelettes / Unternehmen C



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Grundsätzliche Anmerkungen zum Piloteinsatz bei Unternehmen C
Arbeitsprozess: „Kommissionierung“

Als Hauptbeeinträchtigung während der Durchführung der Arbeitstätigkeit sahen die Probanden die Beinschalen des passiven Exoskelettes an. Durch die Kombinationen eines „gehenden“ und „fahrenden“ Arbeitsprozesses bei der Kommissionierung im Unternehmen C traten hier Gerätekomplika­tionen auf, wie beispielsweise beim Ein- und Aussteigen in das Flurförderzeug und dem hierbei unbeabsichtigten Betätigen des „Not-Aus-Schalters“ des Flurförderzeuges durch die Beinschalen des Gerätes. Dies verursachte eine insgesamt langsamere Arbeitszeit des Probanden während der Kommissionierung und verminderte folglich die grundsätzliche Arbeitseffizienz des Mitarbeiters. Daher ist festzuhalten, dass das passive Exoskelett in der getesteten Geräteversion für eine Kombination aus einem „gehenden“ und „fahrenden“ Kommissionierprozess nicht geeignet bzw. prinzipiell nicht ausgelegt ist.

3.2 Gesamtbewertung des Piloteinsatzes und prozessspezifische Fazite

In diesem Unterabschnitt wird zusammenfassend auf die Bewertung des Piloteinsatzes über alle drei Industrieunternehmen hinweg eingegangen sowie das Gesamtergebnis hinsichtlich des Einsatzes des passiven Exoskelettes vorgestellt. Anschließend erfolgt für jeden der drei untersuchten Arbeitsprozesse ein Fazit zum jeweiligen Piloteinsatz.

Abschließende Gesamtbewertung der drei Industrieunternehmen

Die abschließende Gesamtnote des Piloteinsatzes bezüglich des Einsatzes eines passiven Exoskelettes in den Arbeitsprozessen „Palettierung“, „Umpackfähigkeit“ und „Kommissionierung“ wurde mit der Note „4“ festgelegt. Dieser Wert ergab sich aus der Bildung eines Notendurchschnittes aller am Piloteinsatz der Unternehmen A, B, und C teilgenommenen Probanden bzw. der einzelnen Gesamtnoten der drei spezifischen Industrieunternehmen. Ebenfalls wurden bei der Notenbildung weitere Erkenntnisse, welche bei den einzelnen Zwischen- und Abschlussgesprächen mit den Probanden bzw. aus den einzelnen Fragebögen hervorgingen, bei der abschließenden Gesamtbewertung des Piloteinsatzes mitberücksichtigt.

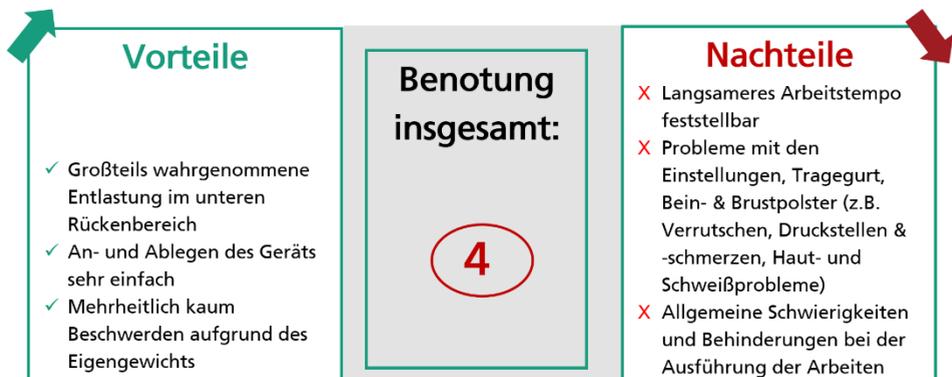
Folgende Hauptgründe und Aspekte sind ausschlaggebend dafür, dass die Gesamtnote mit einer „4“ bewertet wurde. Unternehmensübergreifend sind bei den Probanden während des Piloteinsatzes häufig Probleme mit dem Tragegurt, den Bein- und Brustpolstern sowie den Einstellungsmöglichkeiten des passiven Exoskelettes aufgetreten. Hier kam es beispielsweise zum Verrutschen des Gerätes am Körper während der Durchführung des jeweiligen Arbeitsprozesses, zu Druckstellen und -schmerzen an bestimmten Körperpartien durch das Tragen des Gerätes und zu Haut- und Schweißproblemen durch die Bein- und Brustpolster sowie die Tragegurte des passiven Exoskelettes. Ebenso wurden bei allen drei untersuchten Arbeitsprozessen allgemeine Behinderungen und Schwierigkeiten bei der Durchführung der jeweiligen Tätigkeit festgestellt, z. B. beim Tragen und Ziehen von leeren Paletten, beim manuellen Folieren von umgepackten Paletten oder bei tiefen Beugungen bzw. einem tiefen „in-die-Hocke-Gehen“ während des Kommissionierens. Bei einem Unternehmen wurde durch die

Nutzung des passiven Exoskelettes eine langsamere Arbeitsgeschwindigkeit während der Durchführung des Arbeitsprozesses „Kommissionierung“ verursacht und verminderte dadurch die Arbeitseffizienz der einzelnen Mitarbeiter.

Als positive Eigenschaften des Exoskelettes wurden probanden- und unternehmensübergreifend vor allem das sehr einfache An- und Ablegen des Gerätes aufgeführt. Ebenfalls kam es mehrheitlich kaum zu Beschwerden aufgrund des Eigengewichtes des Exoskelettes von ca. 3 kg. Des Weiteren wurde von großen Teilen aller am Piloteinsatz teilgenommenen Probanden eine Unterstützung bzw. körperliche Entlastung im Rückenbereich bei der manuellen Lastenhandhabung wahrgenommen.

In untenstehender Abbildung 22 sind diese einzelnen positiven und negativen Eigenschaften sowie die Endnote des passiven Exoskelettes bezüglich einer abschließenden Gesamtbewertung des Piloteinsatzes nochmals übersichtlich zusammengefasst.

Abbildung 26: Vor- und Nachteile sowie Gesamtnote des passiven Exoskelettes / Gesamtbewertung



Quelle: © Fraunhofer IML 2019.

Fazit: „Einsatz des passiven Exoskelettes bei Palettierarbeitsplätzen“

Das im Piloteinsatz getestete passive Exoskelett liefert bei Palettieraufgaben mit einer identischen bzw. ähnlichen Entnahme- und Ablagehöhe nur eine relativ geringe ergonomische Unterstützungsleistung für den Mitarbeiter. Körperlich spürbare Entlastungen sind bei diesen Arbeitsplatzvoraussetzungen im Rückenbereich nur eingeschränkt vorhanden.

Im Falle eines bestehenden Höhenunterschiedes zwischen der Entnahme- und Ablagehöhe und der dadurch notwendigen Beugung und Streckung des Oberkörpers des Mitarbeiters wird allerdings eine deutlich höhere körperliche Entlastung und größere ergonomische Unterstützung des Mitarbeiters seitens des passiven Exoskelettes erwartet.

Fazit: „Einsatz des passiven Exoskelettes bei Umpackarbeitsplätzen“

Bei Umpacktätigkeiten von einer Entnahmestelle auf eine separate Ablagestelle sind vom Mitarbeiter grundsätzlich viele körperliche Bewegungen und aufgrund des jeweiligen Höhenunterschiedes auch häufig tiefe Beugungen bzw. weite Streckungen notwendig. Folglich entstehen somit standardmäßige Bewegungsabläufe der Mitarbeiter bei der Durchführung dieses Tätigkeitsprozesses.

Aus diesen Gründen wird speziell für den Arbeitsprozess „Umpacken“ eine hohe ergonomische Unterstützungsleistung des passiven Exoskelettes erwartet, um den Mitarbeiter spürbar körperlich zu entlasten. Um diese erwarteten Ergebnisse jedoch abschließend bestätigen zu können, muss der Pilotierungsversuch für diesen Arbeitsprozess bei Unternehmen B wiederholt werden.

Fazit: „Einsatz des passiven Exoskelettes bei Kommissionierarbeitsplätzen“

Im Piloteinsatz wurde festgestellt, dass das passive Exoskelett bei einer Kombination aus einem gehenden und fahrenden Kommissionierprozess nicht zweckmäßig nutzbar ist. Das Gerät verursachte in diesem Fall für die Durchführung der Kommissionierung eine höhere Arbeitszeit und reduzierte somit die Arbeitseffizienz des einzelnen Mitarbeiters.

Bei einer Kommissioniertätigkeit des Mitarbeiters zu Fuß und anfallenden häufigen sowie tiefen Hebe- und Beugetätigkeiten des Kommissionierers wird davon ausgegangen, dass für diesen Tätigkeitsablauf das passive Exoskelett zu einer ergonomischen Unterstützung sowie einer spürbaren körperlichen Entlastung, vorrangig im Rückenbereich, beitragen kann. Diese Aussage muss allerdings anhand eines weiteren Piloteinsatzes untersucht werden und die daraus ermittelten Ergebnisse abschließend ausgewertet werden.

4 Zusammenfassung und Gesamtfazit „Einsatzpotential eines passiven Exoskelettes in der Intralogistik“

Durch die in diesem Pilotierungsversuch ermittelten Ergebnisse und erhaltenen Bewertungen ist das getestete passive Exoskelett bei keinem der drei untersuchten Arbeitsprozesse bezüglich einer ergonomischen Unterstützung des Mitarbeiters bei der Durchführung ihrer jeweiligen Tätigkeit uneingeschränkt empfehlenswert. Der Tragekomfort des Exoskelettes sowie eine körperliche Entlastung des Mitarbeiters während einer manuellen Lastenhandhabung ist bei der im Feldtest verwendeten Geräteausführung des passiven Exoskelettes für Arbeiter im Kommissionier-, Palettier- und Umpackbereich nur vereinzelt gegeben.

Die besten Einsatzchancen bzw. die größten Unterstützungsleistungen eines passiven Exoskelettes werden bei Palettier Tätigkeiten ohne bestehenden Höhenausgleich zwischen der Entnahme- und Ablagestelle gesehen sowie aufgrund der hohen Anzahl von Bewegungen und häufigen tiefen Beugungen ebenfalls im Arbeitsprozess „Umpack Tätigkeit“ erwartet. Die Nutzung des passiven Exoskelettes ist in Kombination mit einer fahrenden Tätigkeit, beispielsweise stehend auf einem Flurförderzeug, wie z. B. der Ameise, oder sitzend auf einem Gabelstapler, nicht geeignet.

Jedoch muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die hier vorgestellten Endergebnisse und Bewertungen hinsichtlich des Piloteinsatzes „passives Exoskelett für die Intralogistik“, auf den Aussagen und Bewertungen von insgesamt acht Probanden beruhen. Die hier vorgestellten Ergebnisse dürfen somit nicht als repräsentative Gesamtergebnisse bezüglich des grundsätzlichen Einsatzpotentials von passiven Exoskeletten in den jeweils betrachteten Arbeitsprozessen verstanden werden. Jedoch ist bei allen untersuchten Arbeitsbereichen eine Tendenz hinsichtlich der Eignung eines passiven Exoskelettes erkennbar. Ebenfalls erfolgten die einzelnen (Gesamt-)Auswertungen der Piloteinsätze unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten.

5 Qualitative Einordnung und Auswertung der Pilotierungsphasen

Zusätzlich zu der in Kapitel 3 erfolgten quantitativen Auswertung der Pilotierungen wird auf den folgenden Seiten eine qualitative Auswertung der Pilotierungsphasen vorgenommen. Der fallübergreifende Fallstudienansatz wurde genutzt, um mit qualitativen Analysemethoden die Ergebnisse aus drei Pilotanwendungen bei Praxispartnern zusammenzufassen und zu bewerten.

Im Rahmen des Projekts wurden zu diesem Zweck verschiedene qualitative Analysemethoden diskutiert, ausgewählt und mit zusätzlichen empirischen Elementen ergänzt. Ziel war es, das Feedback aus den abgeschlossenen Pilotierungen zu sammeln und notwendige Anpassungen und Änderungen für die zweite Pilotphase abzuleiten. Daraus lässt sich die Forschungsfrage ableiten, welche Änderungen und Anforderungen (auf Basis der von Probanden getätigten Aussagen) für die zweite Pilotierungsphase zu berücksichtigen sind.

Vor diesem Hintergrund werden in dieser Untersuchung die drei in den Kapiteln zwei und drei erläuterten Case Studies genutzt, um die Ergebnisse im Rahmen einer strukturierten Cross-Case-Study¹⁹ zu vergleichen und fallübergreifende Erkenntnisse zu dokumentieren.

Im folgenden Abschnitt dieser Studie wird zunächst das methodische Vorgehen erläutert, um aufzuzeigen, wie die Studienergebnisse erarbeitet wurden. Es werden verschiedene methodische Untersuchungsansätze als Alternativen erläutert, und das finale Forschungsdesign vorgestellt. Darüber hinaus wird beschrieben, welche Art der qualitativen Inhaltsanalyse auf die hier vorliegenden Daten angewandt wurde, um die Endergebnisse nachvollziehbar zu machen.

Das Kapitel 6 präsentiert die Untersuchungsergebnisse und fasst die Erkenntnisse mit Blick auf die anstehende zweite Pilotphase des ADINA-Projekts zusammen. Hier sollten erste Rückschlüsse auf die Forschungsfrage erarbeitet werden, die als Grundlage für den im vierten Kapitel vorgestellten Expertenworkshop sind.

¹⁹ Vgl. Yin 2014, S.60.

Das abschließende Kapitel fasst die Ergebnisse zu einer hinreichenden Antwort auf die Ausgangsfrage zusammen. Ebenfalls werden an dieser Stelle die gewonnenen Erkenntnisse zu einem Ausblick für die kommenden Arbeitspakete des ADINA-Projekts verdichtet, um so einen Blick nach vorne zu ermöglichen.

6 Anpassung und Feedback – Implikationen für den weiteren Projektverlauf

6.1 Methodik: Multiple Case-Study-Analyse

Basierend auf den Fallstudien der ersten Pilotierungsphase werden in diesem Abschnitt die Fallstudienenergebnisse zusammengeführt, um Rückschlüsse aus einer vergleichenden Analyse zu ermöglichen. Dazu wird im folgenden Unterkapitel kurz die vorliegende Datenbasis erläutert, um darauf aufbauend die Methodik für eine qualitative fallübergreifende Case Study zu entwickeln. Zunächst ist es jedoch wichtig kurz die Erkenntnisse aus den in Kapiteln 2 und 3 erläuterten Fallstudien einzuordnen.

6.1.1 Vorstudien und Datengrundlage

Wie in den Kapiteln 2 und 3 dieses Berichts beschrieben wurden bei drei Praxispartnern in den Bereichen „Kontraktlogistik“ und „Produktionsausgangslogistik“ 14-tägige Pilotphasen für die Anwendung passiver Exoskelette bei Palettier-, Umpack-, oder Kommissionieraufgaben durchgeführt. Dabei wurden folgende Tätigkeitsbereiche durch die Technologie unterstützt:

In Unternehmen A wurden Palettierarbeiten mit Unterstützung des Exoskelettes durchgeführt. Abnahme und Ablagehöhe waren ähnlich, da die Höhe der Europalette, auf die die Packstücke verbracht wurden, einstellbar war. Die Packstücke wogen 9-10 Kilogramm, und es wurden zwei Arbeitsplätze untersucht. In Unternehmen A nahmen vier männliche Probanden zwischen 24 und 51 Jahren an der Pilotierung teil. Die Technologieakzeptanz wurde als „hoch“ eingestuft.

Bei Unternehmen B handelt es sich um einen mittelständischen Kontraktlogistiker im Bereich der Getränke Logistik. Die Pilotierung erfolgte an zwei Arbeitsplätzen, an denen einzelne Getränkegebinde von Paletten entnommen und auf Zielpaletten systematisch gestapelt und verpackt werden. Bei den Probanden handelte es sich um zwei männliche Mitarbeiter im Alter von 25 und 43 Jahren. Packstücke mit einem durchschnittlichen Gewicht von 9 Kilogramm werden hier von einer bzw. auf eine maximale Höhe von 1,20 Meter gestapelt.

Das Unternehmen C ist ein großer Logistikdienstleister mit Kontraktlogistikdienstleistungen in verschiedenen Industriesparten. Untersucht wurden ebenfalls zwei Arbeitsplätze in der Kommissionierung und zwei Mitarbeiter im Alter von 32 und 55 Jahren. Die Kommissionierung erfolgte nach dem Person-zu-Ware-Prinzip und erforderte das Zurücklegen von Wegen und den Einsatz von Flurförderzeugen. Entnahme- bzw. Ablagehöhen variierten stark, ebenso wie die Gewichte der Packstücke.

Von allen drei Pilotstudien lagen zu Beginn dieser vergleichenden Fallstudienanalyse die gleichen Datenquellen vor:

- Bisherige Projektergebnisse und dokumentierte Berichte und Experteneinschätzungen
- Die Fragebögen zur Evaluierung der Pilotphase; ausgefüllt bei der Befragung der Probanden
- Beobachtungen und Einschätzungen der Projektbeteiligten, die während der Pilotierung gesammelt oder bei Projektpartnertreffen ausgetauscht wurden.

Ergänzend wurden durch die Autoren im Rahmen der Projektpartnertreffen zusätzliche qualitative Daten erhoben. Diese Workshops wurden systematisch genutzt um bisherige Projektergebnisse zu bewerten, das weitere Vorgehen zu diskutieren und von den anwesenden Expertinnen und Experten weitere Bewertungen einzuholen.

Zunächst ist es jedoch wichtig zu verstehen, welche Methode zur Analyse der vorliegenden Daten genutzt wurden, um fallübergreifend die Ergebnisse der Pilotierungsphase zusammen zu fassen und zu interpretieren.

6.1.2 Cross-Case-Study-Methode

Als Fallstudien (bzw. Case Studies) bezeichnet man solche Forschungs- bzw. Untersuchungsdesigns, die sich im Detail mit einem oder mehreren empirischen

Fällen befassen.²⁰ Dabei können Fallstudien grundsätzlich qualitativer und/oder quantitativer Natur sein²¹ und nach Yin (2014)²² in fünf verschiedene Typen ausgeprägt sein.

1. Kritischer Fall: Hier wird eine Fallstudie durchgeführt, um unter bestimmten und für die Hypothese kritischen Bedingungen eine empirische Beobachtung zu untersuchen.
2. Extremer oder einzigartiger Fall: Solche Fallstudien beschreiben einen Fall, der in einzigartiger Weise vom Üblichen oder einer Theorie abweicht.
3. Repräsentativer Fall: Hier wird ein Fall beschrieben, anhand dessen eine Theorie oder Hypothese exemplifiziert werden kann.
4. Aufschlussreicher Fall: Beschreibt einen Fall, der neuartig ist und für Beobachtung oder Analyse noch nicht zugänglich war.
5. Längsschnitt-Fall: In einer solchen Fallstudie werden Fälle an zwei oder mehreren Zeitpunkten „begleitet“ bzw. analysiert.

Da es sich bei den Fallstudien im ADINA-Projekt um ausgewählte Kontexte bzw. Aufgabenumfelder handelt und die Hypothese der Anwendbarkeit überprüft werden soll, liegt es nahe, die Fallstudien dem ersten Typus „Kritische Fallstudie“ zuzuordnen.

Fallstudien Untersuchungsdesign bergen zusätzlich die Möglichkeit innerhalb einer empirischen Untersuchung verschiedene Fallbeobachtungen in die Studie mit einzubeziehen. Yin²³ spricht in diesem Zusammenhang von „Multiple-Case Designs“, während Döring und Bortz²⁴ den Begriff „Gruppenfallstudien“ nutzen.

Dabei ist es entscheidend festzuhalten, ob es sich bei den zusätzlichen Fällen vom Konzept her um Replikationsstudien handelt oder die Beobachtung mehre-

²⁰ Vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 214.

²¹ Vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 215; Bryman und Bell, 2007, S. 68.

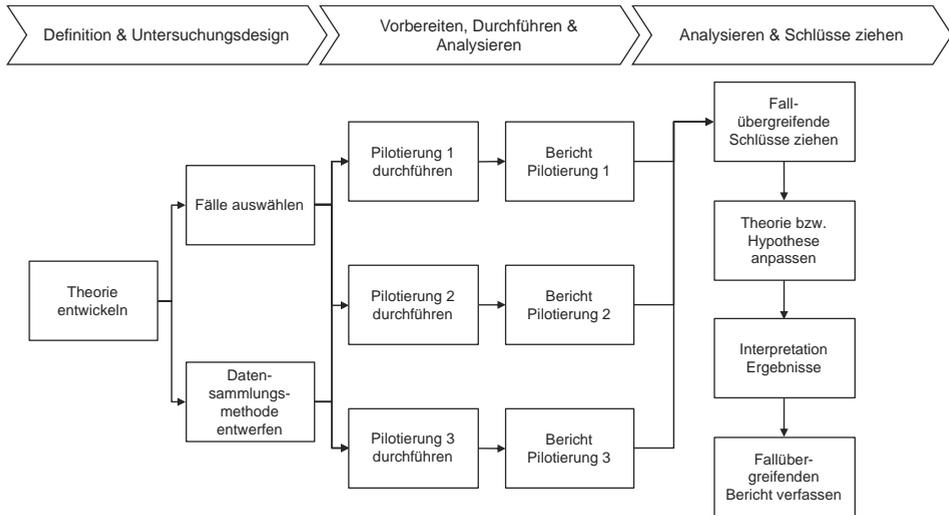
²² Vgl. Yin, 2014, S. 51 – 53.

²³ Vgl. Yin, 2014, S. 56.

²⁴ Vgl. Döring und Bortz, 2016, S. 215.

rer Fälle zur besseren Verallgemeinerbarkeit aus Stichprobenerwägungen geschieht. Komparative Fallstudien zielen darauf ab, verschiedene empirische Beobachtungen zu vergleichen und Schlüsse zu ziehen.²⁵

Abbildung 27: Komparatives Fallstudiendesign



Quelle: COSMOS Corporation, zitiert bei Yin, 2014, S.60.

Der hier gewählte Ansatz (siehe Abbildung 27) entspricht dem eines komparativen Fallstudiendesigns nach Bryman²⁶ unter Berücksichtigung des Vorgehensmodells für Multiple Case Studies welches Yin²⁷ vorstellt.

Die einzelnen Pilotierungen müssen hier als eigenständige und einzigartige Fälle gelten, weil der Einsatzbereich in jeder Pilotierung einzigartig im Kontext dieser Untersuchung ist. Die Anzahl der Probanden stellt insofern eine Replikation der

²⁵ Vgl. Yin, 2014, S. 56 und Bryman, 2012, S. 72.

²⁶ Vgl. Bryman, 2012, S. 72.

²⁷ Vgl. Yin, 2014, S. 60.

Anwendung im Kontext der einzelnen Fallstudie dar, als dass die Anwendungsumgebung die gleiche ist. Diese ist indes nur eingeschränkt zutreffend, weil die körperlichen Eigenschaften der Probanden mitunter stark voneinander abwichen.

Wie Abbildung 27 zum Komparativen Fallstudiendesign zeigt, wie die drei Pilotierungen des ADINA-Projekts in Berichten dokumentiert wurden. Diese Berichte wurden in Kapitel 4 dieser Arbeit zusammengefasst. Grundlage für diesen Fallstudienbericht waren unter anderen qualitativen Einschätzungen der Probanden, die im Rahmen der Abschlussbefragung erhoben wurden. Die ausgefüllten Fragebögen wurden deshalb als Datenmaterial für die komparative, fallübergreifende Fallstudienanalyse in diesem Bericht genutzt. Da es sich bei dieser fallübergreifenden Fallstudienanalyse um eine Textanalyse handelt, müssen im Folgenden kurz die methodischen Grundlagen für die qualitative Inhaltsanalyse in dieser Analyse dargestellt werden.

6.1.3 Qualitative Datenanalyse ADINA: Komparative Fallstudie

Basierend auf den qualitativen Daten, die im ersten Teil dieses Berichtes dokumentiert wurden, erfolgt nun eine qualitative Datenanalyse um fallübergreifend Schlussfolgerungen für die zweite Pilotphase des ADINA-Projekts zu sammeln.

Nach Bryman²⁸ muss auch, und vor allem, qualitative Forschung Reliabilität und Validität sicherstellen. Zur Erhöhung der externen Validität und zur Reduktion von „Researcher Bias“ wurde entschieden, unabhängig von einander zwei qualitative Inhaltsanalysen durchzuführen und die Ergebnisse abschließend zu vergleichen und zu integrieren. Ein solcher Ansatz wurde bereits in anderen Studien genutzt um reliable qualitative Forschungsergebnisse zu produzieren.²⁹

Grundsätzlich stehen für einen ein solches Vorhaben verschiedene Techniken der qualitativen Inhaltsanalyse zur Verfügung. Für die Autoren dieser Studie erschienen insbesondere zwei systematische und regelbasierte Vorgehensweisen nach Mayring³⁰ als grundsätzlich anwendbar.

²⁸ Vgl. Bryman, 2012, S. 389.

²⁹ Vgl. Lückmann & Färber, 2016.

³⁰ Vgl. Mayring, 2015.

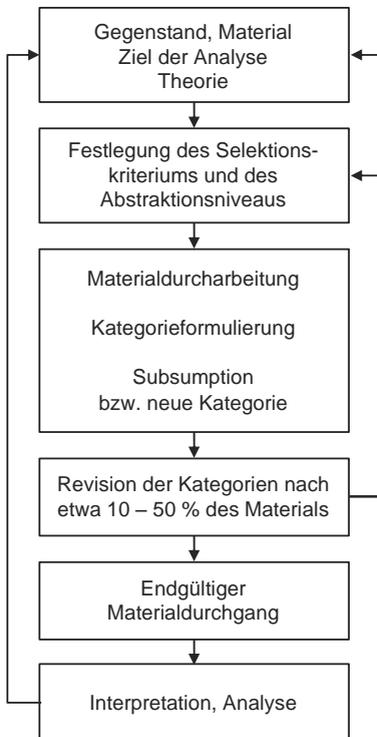
- Bei der Strukturierung bzw. der deduktiven Kategorienanwendung werden theoriegeleitet Kategorien entwickelt und die qualitativen Daten anhand dieser strukturiert.³¹
- Bei der induktiven Kategorienbildung werden die Kategorien aus den Daten selbst entwickelt. Sie repräsentieren daher etwas stärker was an empirischen Beobachtungen im Datenmaterial vorliegt.³²

Abbildung 28 beschreibt den Prozess der induktiven Kategorienbildung, der in dieser Studie bei von beiden Analysten angewandt wurde. Prinzipiell werden bei diesem Verfahren, aufbauend auf der originären Fragestellung und dem Ziel der Untersuchung, zunächst Auswahlkriterien und Abstraktionsniveau festgelegt.

³¹ Vgl. ebd., S.97.

³² Vgl. ebd., S.86.

Abbildung 28: Induktive Kategorienbildung



Quelle: Mayring, 2015, S. 86.

Während der Analyse des Datenmaterials werden Kategorien formuliert und sukzessive in neue bzw. schon genutzte Kategorien subsummiert. Nachdem ca. 50% des Materials bearbeitet wurde, sollte eine Revision des Kategoriensystems erfolgen, weil davon ausgegangen werden kann, dass dann ein Sättigungseffekt eingetreten ist. Hier können auch Selektionskriterien und Abstraktionsniveau nochmal angepasst werden. Mit diesem saturierten Kategoriensystem kann nun das gesamte Material analysiert werden und die Ergebnisse anschließend mit Bezug auf die Ausgangsfrage analysiert und interpretiert werden.³³

³³ Vgl. Mayring, 2015, S. 85-90.

Das genutzte Kodierungsverfahren entspricht im operativen Prozess dem von Strauss und Corbin (1990) empfohlenen Grounded-Theory-Ansatz. Da es sich bei der vorliegenden Studie nicht um eine Grounded-Theory-Forschungsmethodik handelt, werden hier ausschließlich Grounded-Theory-Kodierregeln angewandt, wie beispielsweise empfohlen von Myers.³⁴

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse systematisch vorgestellt und kurz zusammengefasst.

6.2 Untersuchungsergebnisse

Die zum Abschluss der ersten Pilotphase erhobenen qualitativen und quantitativen Daten waren zunächst Grundlage für die einzelnen Fallstudienberichte Studie. Ziel dieses Studienabschnitts ist darüber hinaus in einer fallübergreifenden, komparativen Fallstudienanalyse Rückschlüsse und Anpassungen für die zweite Pilotphase zu gewinnen.

Wie im vorigen Abschnitt erläutert wurde das Datenmaterial nach dem induktiven Kategoriebildungsprozess aus Abbildung 28 analysiert, kodiert und strukturiert. Dabei wurde das Datenmaterial parallel von zwei Analysten durchgearbeitet, um den Einfluss des „Researcher Bias“ zu schmälern größere externe Validitäten zu erreichen.

| Code | Häufigkeit | Beschreibung |
|--|------------|---|
| An- & Ablegen | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Häufiges Nachjustieren | 1 | Häufiges nachjustieren der Einstellungen nötig |
| <ul style="list-style-type: none">• Schnelles An - & Ablegen | 4 | An - & Ablegen des Skeletts ist schnell und unkompliziert |

³⁴ Vgl. Myers, 2013, S.107-111.

| | | |
|---------------------------------|---|---|
| • Einstellungsmöglichkeiten | 3 | Positive Erwähnung zahlreicher Einstellungsmöglichkeiten |
| Belastungsreduktion | | |
| • Keine wahrgenommene Reduktion | 2 | Eine Reduktion der Belastung wurde von den Probanden nicht wahrgenommen |
| ○ Drehung des Oberkörpers | 3 | Bei Arbeiten die eine Drehung des Oberkörpers erfordern keine Reduktion |
| • Wahrgenommene Reduktion | 1 | Eine Reduktion der Belastung wurde von den Probanden wahrgenommen |
| ○ In die Knie gehen | 1 | Unterstützung beim in die Knie gehen |
| ○ Rücken/Bücken | 5 | Unterstützung im Rücken beim Bücken |
| ○ Schweres Heben | 1 | Unterstützung beim schweren Heben |

| | | |
|--|---|--|
| Eigengewicht des Gerätes | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Leicht – kaum/nicht wahrnehmbar | 1 | Das Eigengewicht des Geräts wurde nicht als störend empfunden |
| <ul style="list-style-type: none"> • Schwer – negativ wahrnehmbar | 1 | Das Eigengewicht des Geräts wurde als störend empfunden |
| Probleme | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Verrutschen | 4 | Verrutschen des Exoskelettes |
| <ul style="list-style-type: none"> • Schmerzen im Rücken | 1 | Schmerzen beim/ nach dem Tragen |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bewegungs-/Tätigkeitseinschränkungen | 1 | Gefühl der allgemeinen Bewegungseinschränkung |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Laufen | 1 | Stören der Beinschalen beim Laufen |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Palettieren | 2 | Behinderung der Beinschienen beim Palettieren |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Benutzung Flurförderzeug | 5 | Behinderung der Nutzung des FFZ, tätigen des Not-Aus-Schalters, Hängenbleiben beim Aus- & Einsteigen |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Bücken | 2 | „Gegendruck“ beim Bücken |
| <ul style="list-style-type: none"> • Wärme- /Schweißbildung | 1 | Allgemeine verstärkte Schweißbildung |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Beine | 1 | Wärme- /Schweißbildung im Bereich der Beine |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Brust | 0 | Wärme- /Schweißbildung im Bereich der Brust |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Rücken | 4 | Wärme- /Schweißbildung im Bereich des Rückens |
| <ul style="list-style-type: none"> • Druckstellen/ Reibung | 1 | Nicht näher spezifizierte Hautprobleme durch Druck/Reibung |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Hals | 1 | Probleme am Hals durch die Gurte des Systems |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Brust | 4 | Drücken und Reiben auf der Brust |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Beinschalen | 3 | V.a. Reiben der Beinschalen |

In der Tabelle wird ersichtlich, dass beim Kodieren der Daten zunächst zwecks besserer Übersicht Überkategorien/Themengebiete gebildet wurden. Weil diese

Kategorien lediglich der Übersicht dienen, stellen sie keinen zuordenbaren Code dar. Die unter einer Kategorie zusammengefassten Codes (oftmals negative und/oder positive Bewertung) und deren Häufigkeit lassen eine Bewertung zu. Ist ein Code trotz weiterer UnterCodes einer allgemeineren Kategorie übergeordnet, so war auch die Aussage des Probanden allgemeinerer Natur, welche keine nähere Zuordnung zugelassen hatte. Die Abwesenheit eines Codes bedeutet aufgrund der induktiven Kategorienbildung nicht dessen Nichtberücksichtigung, sondern dessen Nichtnennung. So hat z. B. keiner der Probanden ausgesagt, dass es lange dauerte, das Exoskelett anzulegen – weshalb ein Code wie z. B. langsames An- & Ablegen nicht zu finden ist. Des Weiteren wurden die vielen Einstellungsmöglichkeiten positiv erwähnt, ein Proband merkte an, dass ein häufiges Nachjustieren der Einstellungen nötig war.

Hauptzweck des eingesetzten Exoskelets ist die Reduktion der Belastung im Rücken, weshalb sich ein eigenes Codefeld anbietet. Zwei Teilnehmer des Tests in Unternehmen B äußerten, dass sie allgemein keinerlei Entlastung spüren bzw. keinen Nutzen Erkennen konnten. Im Palletiervorgang in Unternehmen A wurde von *allen* Probanden eine Belastungsreduktion beim Bücken angemerkt, allerdings merkten gleichzeitig drei der vier Probanden an, dass sie, sobald eine Drehbewegung des Oberkörpers stattfand, keine Entlastung beim Prozess mehr zu spüren war. Vom Eigengewicht des Gerätes wurde im Teil der qualitativen Antworten wenig gesprochen, was auf den quantitativen Teil des Fragebogens zurückzuführen ist, da dieser explizit auf das Gewicht des Geräts eingeht.

Für die insgesamt ablehnende Bewertung der Probanden konnten mehrere Problemfelder ausgemacht werden. Vier Mal (von drei Probanden) wurde ein störendes Verrutschen des Exoskelettes beim Bücken angeführt. In jedem dieser Fälle war dies beim Prozess des Bückens zu beobachten. Die Beinschalen des Exoskelettes rutschten am Oberschenkel hoch – je tiefer die Probanden sich bückten desto stärker das Verrutschen. Das anschließende Richten des Geräts unterbrach nach Aussage der Probanden den Arbeitsfluss und minderte entsprechend auch die Produktivität, was vor allem bei Arbeitern die sich stark an ihren Leistungszahlen (wie z. B. Picks/Stunde) orientieren für starke Akzeptanzprobleme sorgte. Ein Proband berichtete von Schmerzen im Rücken nach dessen Schicht, woraufhin dieser den Test abbrach. Des Weiteren wurde von einem Probanden

über das Gefühl der allgemeinen Bewegungseinschränkung berichtet, sowie über das Stören der Beinschalen beim Laufen und Palettieren. Großer Kritikpunkt aller Probanden, die ein Flurförderzeug (Ameise) nutzen war die Behinderung bei der Benutzung durch das Exoskelett. Beim Ein- und Aussteigen blieben Probanden hängen, vereinzelt wurde durch die Beinschalen der Not-Aus-Schalter am Flurförderzeug betätigt. Der Gegendruck beim Bücken auf die Brust ist negativ aufgefallen.

Zu den großen Kritikpunkten gehört weiterhin der Druck bei den am Körper aufliegenden Teilen des Exoskelettes. Am Rücken ist vor allem eine Wärme- und Schweißbildung zu beobachten, wohingegen die Druckstellen an Brust und Beinschalen bei den meisten Probanden negativ aufgefallen ist und teilweise zu Hautirritationen geführt hat.

Die parallele Analyse des gleichen Datenmaterials durch den zweiten Analysten produzierte die Codes, die in Tabelle 5 präsentiert werden. Hier werden die Codes nach Häufigkeit sortiert und die Tabelle enthält eine kurze Definition des jeweiligen Codes.

Tabelle 54 zeigt die Ergebnisse dieser ersten Kodierung durch Analyst 1. Die Tabelle enthält die eine Auswahl der wichtigsten verwendeten Codes nach Kategorien sortiert und eine kurze Beschreibung wann der Code verwendet wurde.

Tabelle 4: Kodierungen Analyst 1

| Code | Häufigkeit | Beschreibung |
|---------------------------------|------------|---|
| An- & Ablegen | | |
| • Häufiges Nachjustieren | 1 | Häufiges nachjustieren der Einstellungen nötig |
| • Schnelles An - & Ablegen | 4 | An - & Ablegen des Skeletts ist schnell und unkompliziert |
| • Einstellungsmöglichkeiten | 3 | Positive Erwähnung zahlreicher Einstellungsmöglichkeiten |
| Belastungsreduktion | | |
| • Keine wahrgenommene Reduktion | 2 | Eine Reduktion der Belastung wurde von den Probanden nicht wahrgenommen |
| ○ Drehung des Oberkörpers | 3 | Bei Arbeiten die eine Drehung des Oberkörpers erfordern keine Reduktion |
| • Wahrgenommene Reduktion | 1 | Eine Reduktion der Belastung wurde von den Probanden wahrgenommen |
| ○ In die Knie gehen | 1 | Unterstützung beim in die Knie gehen |
| ○ Rücken/Bücken | 5 | Unterstützung im Rücken beim Bücken |
| ○ Schweres Heben | 1 | Unterstützung beim schweren Heben |

| | | |
|--|---|--|
| Eigengewicht des Gerätes | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Leicht – kaum/nicht wahrnehmbar | 1 | Das Eigengewicht des Geräts wurde nicht als störend empfunden |
| <ul style="list-style-type: none"> • Schwer – negativ wahrnehmbar | 1 | Das Eigengewicht des Geräts wurde als störend empfunden |
| Probleme | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Verrutschen | 4 | Verrutschen des Exoskelettes |
| <ul style="list-style-type: none"> • Schmerzen im Rücken | 1 | Schmerzen beim/ nach dem Tragen |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bewegungs-/Tätigkeitseinschränkungen | 1 | Gefühl der allgemeinen Bewegungseinschränkung |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Laufen | 1 | Stören der Beinschalen beim Laufen |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Palettieren | 2 | Behinderung der Beinschienen beim Palettieren |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Benutzung Flurförderzeug | 5 | Behinderung der Nutzung des FFZ, tätigen des Not-Aus-Schalters, Hängenbleiben beim Aus- & Einsteigen |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Bücken | 2 | „Gegendruck“ beim Bücken |
| <ul style="list-style-type: none"> • Wärme- /Schweißbildung | 1 | Allgemeine verstärkte Schweißbildung |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Beine | 1 | Wärme- /Schweißbildung im Bereich der Beine |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Brust | 0 | Wärme- /Schweißbildung im Bereich der Brust |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Rücken | 4 | Wärme- /Schweißbildung im Bereich des Rückens |
| <ul style="list-style-type: none"> • Druckstellen/ Reibung | 1 | Nicht näher spezifizierte Hautprobleme durch Druck/Reibung |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Hals | 1 | Probleme am Hals durch die Gurte des Systems |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Brust | 4 | Drücken und Reiben auf der Brust |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Beinschalen | 3 | V.a. Reiben der Beinschalen |

Quelle: Eigene Abbildung.

In der Tabelle wird ersichtlich, dass beim Kodieren der Daten zunächst zwecks besserer Übersicht Überkategorien/Themengebiete gebildet wurden. Weil diese Kategorien lediglich der Übersicht dienen, stellen sie keinen zuordenbaren Code dar. Die unter einer Kategorie zusammengefassten Codes (oftmals negative und/oder positive Bewertung) und deren Häufigkeit lassen eine Bewertung zu. Ist ein Code trotz weiterer Unter-codes einer allgemeineren Kategorie übergeordnet, so war auch die Aussage des Probanden allgemeinerer Natur, welche keine nähere Zuordnung zugelassen hatte. Die Abwesenheit eines Codes bedeutet aufgrund der induktiven Kategorienbildung nicht dessen Nichtberücksichtigung, sondern dessen Nichtnennung. So hat z. B. keiner der Probanden ausgesagt, dass es lange dauerte, das Exoskelett anzulegen – weshalb ein Code wie z. B. langsames An- & Ablegen nicht zu finden ist. Des Weiteren wurden die vielen Einstellungsmöglichkeiten positiv erwähnt, ein Proband merkte an, dass ein häufiges Nachjustieren der Einstellungen nötig war.

Hauptzweck des eingesetzten Exoskelets ist die Reduktion der Belastung im Rücken, weshalb sich ein eigenes Codefeld anbietet. Zwei Teilnehmer des Tests in Unternehmen B äußerten, dass sie allgemein keinerlei Entlastung spüren bzw. keinen Nutzen Erkennen konnten. Im Pallettiervorgang in Unternehmen A wurde von *allen* Probanden eine Belastungsreduktion beim Bücken angemerkt, allerdings merkten gleichzeitig drei der vier Probanden an, dass sie, sobald eine Drehbewegung des Oberkörpers stattfand, keine Entlastung beim Prozess mehr zu spüren war. Vom Eigengewicht des Gerätes wurde im Teil der qualitativen Antworten wenig gesprochen, was auf den quantitativen Teil des Fragebogens zurückzuführen ist, da dieser explizit auf das Gewicht des Geräts eingeht.

Für die insgesamt ablehnende Bewertung der Probanden konnten mehrere Problemfelder ausgemacht werden. Vier Mal (von drei Probanden) wurde ein störendes Verrutschen des Exoskelettes beim Bücken angeführt. In jedem dieser Fälle war dies beim Prozess des Bückens zu beobachten. Die Beinschalen des Exoskelettes rutschten am Oberschenkel hoch – je tiefer die Probanden sich bückten desto stärker das Verrutschen. Das anschließende Richten des Geräts unterbrach nach Aussage der Probanden den Arbeitsfluss und minderte entsprechend auch die Produktivität, was vor allem bei Arbeitern die sich stark an ihren Leistungszahlen (wie z. B. Picks/Stunde) orientieren für starke Akzeptanzprobleme

sorgte. Ein Proband berichtete von Schmerzen im Rücken nach dessen Schicht, woraufhin dieser den Test abbrach. Des Weiteren wurde von einem Probanden über das Gefühl der allgemeinen Bewegungseinschränkung berichtet, sowie über das Stören der Beinschalen beim Laufen und Palettieren. Großer Kritikpunkt aller Probanden, die ein Flurförderzeug (Ameise) nutzen war die Behinderung bei der Benutzung durch das Exoskelett. Beim Ein- und Aussteigen blieben Probanden hängen, vereinzelt wurde durch die Beinschalen der Not-Aus-Schalter am Flurförderzeug betätigt. Der Gegendruck beim Bücken auf die Brust ist negativ aufgefallen.

Zu den großen Kritikpunkten gehört weiterhin der Druck bei den am Körper aufliegenden Teilen des Exoskelettes. Am Rücken ist vor allem eine Wärme- und Schweißbildung zu beobachten, wohingegen die Druckstellen an Brust und Beinschalen bei den meisten Probanden negativ aufgefallen ist und teilweise zu Hautirritationen geführt hat.

Die parallele Analyse des gleichen Datenmaterials durch den zweiten Analysten produzierte die Codes, die in Tabelle 5 präsentiert werden. Hier werden die Codes nach Häufigkeit sortiert und die Tabelle enthält eine kurze Definition des jeweiligen Codes.

Tabelle 5: Kodierungen Analyst 2

| Code | Häufigkeit | Beschreibung |
|--------------------------|------------|--|
| Hautprobleme | 6 | Vergeben bei Rötungen, Scheuerstellen, etc. |
| Einfaches An-/Ablegen | 4 | Vergeben, wenn positiv berichtet wurde, dass das An- und Ablegen einfach ist. |
| Positive Anwendung | 4 | Vergeben, wenn Probanden berichten, dass das Exoskelett z. B. dem Rücken hilft. |
| Schwierigkeiten mit FFZ | 4 | Vergeben, wenn Schwierigkeiten im Umgang mit Flurförderzeugen bestanden. |
| Verrutschen | 4 | Vergeben, wenn Probanden über das Verrutschen, insbesondere der Beinschalen berichteten. |
| Druck Brustpartie | 3 | Vergeben, wenn Probanden über unangenehmen Druck auf die Brustpartie berichteten. |
| Entlastung Rücken | 3 | Vergeben, wenn Probanden sich positive über eine Rückenentlastung äußerten. |
| Gut beim Bücken | 3 | Vergeben, wenn eine Entlastung beim Bücken festgestellt wurde. |
| Häufiges Nachjustieren | 3 | Vergeben, wenn Probanden häufig nachjustieren mussten. |
| Nicht bei Dreh-tätigkeit | 3 | Vergeben, wenn das Exoskelett als hinderlich beim Drehen wahrgenommen wurde. |
| Nicht bei Bewe-gung | 3 | Vergeben, wenn das Exoskelett als hinderlich z. B. beim Gehen wahr-genommen wurde. |
| Drücken Bein-schalen | 2 | Vergeben, wenn Probanden das Drücken der Beinschalen als negativ wahrnahmen. |
| Gut bei schwe-rem Heben | 2 | Vergeben, wenn das Exoskelett als positiv beim Heben wahrgenommen wurde. |
| Negative An-wendung | 2 | Vergeben, wenn sich Probanden allgemein negativ über die Anwendung äußerten. |
| Schweißbildung | 2 | Vergeben, wenn Probanden über starke Schweißbildung klagten. |
| Wärmebildung Rücken | 2 | Vergeben, wenn Probanden über unangenehme Wärmebildung im Rücken berichteten. |

| | | |
|--------------------|---|---|
| Schmerzen Rücken | 1 | Vergeben bei Schmerzen im Rücken |
| Schmerzen Beine | 1 | Vergeben, bei Schmerzen in den Beinen |
| Schmerzen Schulter | 1 | Vergeben bei Schmerzen im Schulterbereich |

Quelle: Eigene Abbildung.

Tabelle 5 enthält sowohl positive als auch negative qualitative Beobachtungen den Probanden. Eine möglichst umfassende Beurteilung muss zusätzlich zu den qualitativen Attributen auch die quantitativen Daten berücksichtigen.

Positiv erwähnten einige Probanden, dass die Technik bei einigen Aufgaben den Rücken unterstützt und entlastend wirkt. Solche Anwendungsfälle wurden mit dem Code „positive Anwendung“ versehen. Hier besteht eine Schnittmenge mit den anderen positiven Beobachtungen die mit den Codierungen „Entlastung Rücken“, „Gut beim Bücken“ oder „Gut beim schweren Heben“ versehen wurden. Unter Beachtung insbesondere der quantitativen Ergebnisse stellen sich die geäußerten Problembereiche als aufschlussreicher dar.

Die am häufigsten verwendete Kodierung ist „Hautprobleme“ mit sechs Textstellen, die auf diese Art von Problemen hindeutet. Dies ist eine Sammelkategorie, die sowohl Juckreiz als auch Rötungen und Scheuerstellen beinhaltet. Häufig wurde diese Kodierung im Zusammenhang mit Schweißbildung oder dem Verrutschen von Teilen des Exoskelettes verwendet.

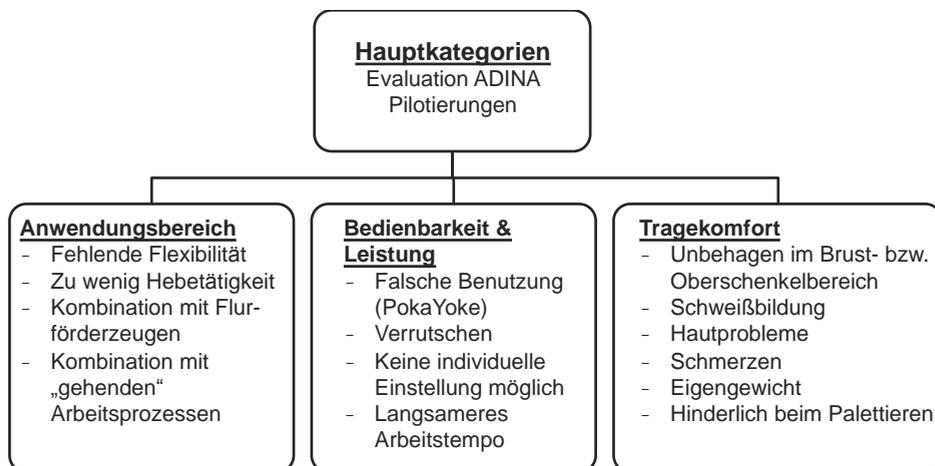
Neben Hautproblemen und Verrutschen sind Schwierigkeiten bei der Arbeit mit Flurförderzeugen die am häufigsten geäußerten Beschwerden. Solche Berichte von den Probanden wurden mit dem Code „Schwierigkeiten mit FFZ“ gekennzeichnet. Darüber hinaus berichteten die Probanden von „Druck auf die Brustpartie“ und ein „Drücken der Beinschalen“. Die Codierungen „Nicht bei Drehtätigkeit“ und „Nicht bei Bewegungen“ repräsentieren Aufgaben im Arbeitsumfeld der Probanden, bei denen das Exoskelett hinderlich war. Bei der anschließenden Pilotierung sind von den Probanden darüber hinaus Schmerzen in Schulter sowie im

Bein oder Rückenbereich berichtet worden. Diese wurden jeweils mit einem eigenen Code erfasst, könnten aber unter dem Oberbegriff „Schmerzen“ zusammengefasst werden.

Ziel ist es, für die zweite Pilotphase des ADINA-Projekts Anpassungen und Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren. Aus diesem Grund werden im weiteren Vorgehen nur solche Kodierungen berücksichtigt, die Textpassagen zitieren in denen Probanden problematische Erfahrungen wiedergeben. Die Ergebnisse der beiden induktiven Kategorienbildungsprozesse die in Tabelle 4 und 5 präsentiert wurden, können so im Wesentlichen in drei Hauptkategorien zusammengefasst werden.

1. Anwendungsbereich: Diese Hauptkategorie sammelt solche Schilderungen der Probanden, bei denen passive Exoskelette eher hinderlich sind.
2. Bedienbarkeit & Leistung: In diese Kategorie fallen solche Textstellen, die eine Bedienbarkeit bzw. eine Beeinträchtigung der Leistung beinhalten.
3. Tragekomfort: In dieser Kategorie finden sich solche Kodierungen die Unbehagen, Schmerzen oder ähnliche Beeinträchtigungen enthalten.

Abbildung 29: Ergebnis Qualitative Inhaltsanalyse



Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 299 werden die drei Hauptkategorien aus der fallübergreifenden komparativen qualitativen Inhaltsanalyse zusammenfassend dargestellt. Die jeweiligen Unterkategorien wie z. B. „Zu wenig Hebetätigkeit“ oder „Falsche Benutzung“ sind teils direkt den Kodierungen entnommen oder sie sind das Ergebnis von zusammenfassender bzw. interpretierender Analyse. Im Folgenden werden deshalb die drei Hauptkategorien im Detail beschrieben.

Anwendungsbereich:

In diesem Bereich werden alle Kodierungen zusammengefasst, bei denen mangels flexibler Anwendbarkeit des passiven Exoskelettes negative Erfahrungen der Probanden geäußert wurden. In verschiedenen Anwendungsbereichen der Pilotphasen haben sich die eingesetzten Exoskelette als zu inflexibel erwiesen. So wurde beispielsweise über Probleme beim Auf- und Absteigen von Flurförderzeugen berichtet. Weiter berichteten einige Probanden, dass die Exoskelette zwar entlastend bei schweren Hebetätigkeiten oder beim tiefen Bücken wirkten, dass solche Tätigkeiten aber häufig gar nicht so oft vorkommen. Bei Tätigkeiten die überwiegend drehende Arbeit, z. B. das Entnehmen von Packstücken auf 86 cm Höhe und Ablegen auf einer ähnlichen Höhe, können passive Exoskelette nicht die gewünschte Wirkung entfalten. Ebenso wurden die Hilfen beim Gehen, um z. B. Paletten zu holen, als hinderlich beschrieben. Insgesamt lässt sich aus dem Datenmaterial ableiten, dass der Anwendungsbereich der im ADINA-Projekt durchgeführten Pilotierungen oft eine höhere Einsatzflexibilität erforderte als das passive Exoskelett leisten konnte.

Bedienbarkeit und Leistung:

Unter dieser Hauptkategorie werden Kodierungen gesammelt und interpretiert, die negative Erfahrungen mit der Bedienbarkeit des passiven Exoskelettes und der Arbeitsleistung bei der Nutzung der Skelette beschreiben. Aus Textstellen, die mit „Häufiges Nachjustieren“ und „Verrutschen“ kodiert wurden, kann entnommen werden, dass es im operativen Einsatz zu häufig notwendig wird, das Exoskelett nachzujustieren bzw. neu einzustellen. Daraus kann zumindest abgeleitet

werden, dass es beim Anlegen, der Einstellung und Nachjustierung Fehler möglich bzw. wahrscheinlich sind. Solche Zusatzarbeit wirkt sich folglich auf die Arbeitsleistung der Lagermitarbeiter aus.

Tragekomfort:

Diese Hauptkategorie sammeln Textstellen, in denen die Probanden unterschiedlich schweres Unbehagen bis hin zu Schmerzen äußerten. Dies schließt den am meisten vergebenen Code „Hautprobleme“ mit ein, welcher als Sammelcode fungiert, für Textstellen die Rötungen, Jucken oder Scheuerstellen beschreiben. Weiter werden hier Kodierungen gesammelt, die Schweißbildung und Wärmebildung am Rücken beschreiben. Größeres Unbehagen haben Kodierungen ausgelöst, die über einen unangenehmen Druck auf Oberschenkel und Brustpartie beschreiben. Diese Codes wurden fünfmal vergeben. Den höchsten Grad an Unbehagen bilden solche Kodierungen ab, bei denen die Probanden über irgendeine Art von Schmerzen klagen. Dies sind die Kodierungen „Schmerzen Rücken“, „Schmerzen Beine“ und „Schmerzen Schulter“, die in insgesamt drei Fundstellen beschrieben werden. Viele dieser Codes beziehen sich auf Passform, Gewicht und Einstellung des passiven Exoskelettes. Dies muss bei der Auswahl einer neuen Technologie für die nächste Pilotierung berücksichtigt werden.

Die hier präsentierten Ergebnisse der komparativen fallübergreifenden qualitativen Analyse geben eine klare Indikation darüber, wo bei den getesteten passiven Exoskeletten Schwierigkeiten mit Kommissionier-, Umpack- und Palettierarbeitsplätzen bestehen. Insbesondere die geforderte Flexibilität im Anwendungsbereich, die Bedienbarkeit und der Tragekomfort in diesen Aufgabenfeldern stellen besondere Anforderungen an jede Technologie zur Ergonomieunterstützung.

Diese drei Hauptkategorien können folglich als Kriterien zur Bewertung möglicher Änderungen, Anpassungen oder anderer Technologien berücksichtigt werden. Welche Maßnahmen für die zweite Pilotierung daraus abgeleitet werden können, wurde von den Projektpartnern in einem Workshop unter Einbindung von Praxispartnern evaluiert. Methodik, Vorgehen und Ergebnisse dieses Workshops werden in nachfolgendem Abschnitt thematisiert.

Tabelle 6: Cross-Case Vergleich

| | Unternehmen A | Unternehmen B | Unternehmen C |
|--|--|---|--|
| Größenverstellbarkeit und Anlegen | Sehr einfach | Sehr einfach | Sehr einfach |
| Einschränkung Arbeitstätigkeit | Moderat | Sehr stark eingeschränkt | Weit unterdurchschnittlich eingeschränkt |
| Reduktion Rückenbelastung | Mehrheitlich beträchtliche Belastungsreduktion | Keine bzw. ein wenig Reduktion | Moderat → Hohe Varianz |
| Unterstützung beim Arbeitsprozess | Beim Palettieren wenig Unterstützung | Beim Umpacken keine Unterstützung | Wenig Unterstützung |
| Aufgabenunterstützung | Moderate Beeinträchtigung durch Beinschalen beim ziehen und Aufstellen der leeren Paletten | Sehr starke Beeinträchtigung der Beinschalen beim Folieren und Hocken sowie Benutzung des FFZ | Starke Beeinträchtigung durch Beinschalen beim Gehen, Fahren FFZ, Ein - & Aussteigen |
| Allgemeiner Tragekomfort | Mittel | Sehr niedrig | Niedrig |
| Brust | Größtes Unbehagen, hohe Varianz | Sehr hoch | Moderates Unbehagen |
| Bauch | Keine Beschwerden | Keine Beschwerden | Wenig Beschwerden |
| Unterer Rücken | Keine Beschwerden | Keine Beschwerden | Keine Beschwerden |
| Oberer Rücken | Wenig bis moderate Beschwerden | Moderate Beschwerden | Keine bis starke Beschwerden |
| Vorderer Oberschenkel | Wenig bis moderate Beschwerden | Sehr starke Beschwerden | Sehr starke Beschwerden |
| Hinterer Oberschenkel | Wenig bis moderate Beschwerden | Keine Beschwerden | Keine Beschwerden |
| Eigengewicht | Keine Beeinträchtigung | Keine Beeinträchtigung | Keine Beeinträchtigung |

Quelle: Eigene Abbildung.

7 Expertenworkshop und Ergebnisse

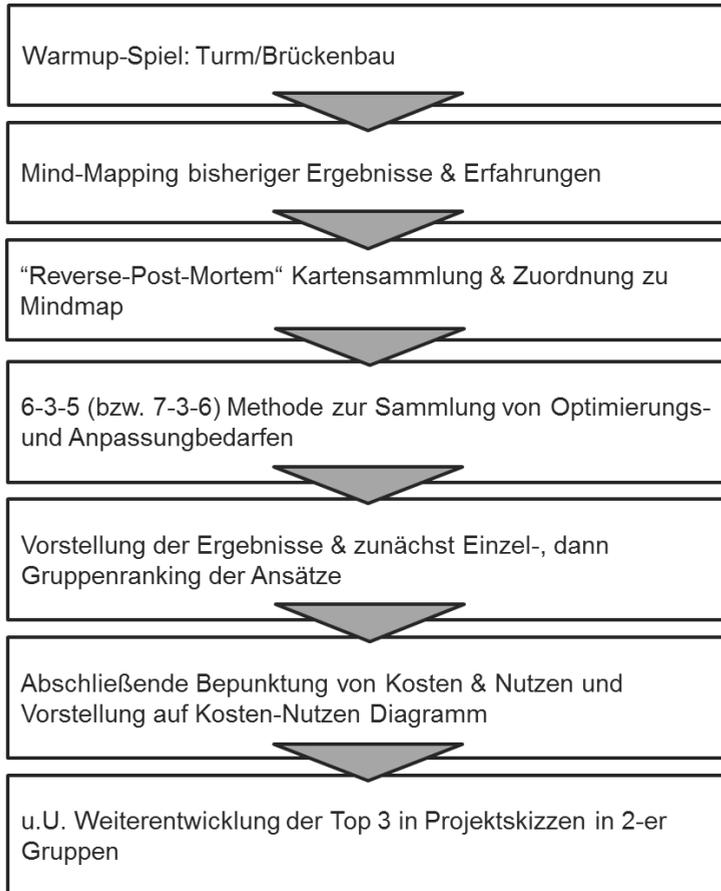
Um die Ergebnisse aus der fallübergreifenden qualitativen Analyse im vorangegangenen Abschnitt für die zweite Pilotierungsphase zu nutzen, wurde im Mai 2019 ein Expertenworkshop durchgeführt. Ziel dabei war es, durch die Zusammenführung von akademischer und praktischer Expertise die Erkenntnisse aus der ersten Pilotierung zu reflektieren und für Anpassungen bezüglich der zweiten Pilotphase zu nutzen.

Wie oben ausgeführt sind die wesentlichen Probleme mit passiven Exoskeletten in drei Bereichen zu finden:

- Als erstes sind hier Probleme mit dem Tragekomfort zu nennen, die auf das Eigengewicht, die Kontaktpunkte zwischen Mensch und Exoskelett und Wärme- bzw. Schweißentwicklung während der Nutzung zurückzuführen sind.
- Zweitens hat sich gezeigt, dass die getesteten Exoskelette nicht ausreichend flexibel im vielfältigen Arbeitsfeld der Kommissionierung, Verpackung und Palettierung eingesetzt werden können. Insbesondere in Kombination mit Flurförderzeugen, beim Gehen und bei Aktivitäten mit Körperdrehung wurden hier Beeinträchtigungen beobachtet.
- Drittens, wurde beobachtet wie Bedienbarkeit und Leistung der Mitarbeiter, beispielsweise durch die häufige Notwendigkeit der Nachjustierung oder das Verrutschen der Beinschalen, beeinträchtigt wurden.

Was aus diesen Erkenntnissen mit Blick auf die zweite Pilotphase zu lernen ist, und welche Anpassungen daraus resultieren, war die Ausgangsfrage für einen Expertenworkshop der Projektpartner am 7. Mai 2019. Abbildung 30 zeigt die ursprüngliche Workshopplanung, die als Leitfaden entwickelt wurde, um den Ideenfindungs- und Entscheidungsprozess methodisch zu unterstützen. Ziel war es hier, für den Findungsprozess passende Methoden vorbereitet zu haben und gleichzeitig hinreichend flexibel zu sein, um die Kreativität der Gruppe zu nutzen.

Abbildung 30: Workshop Vorgehensmodell ADINA Phase II



Quelle: Eigene Abbildung.

Nach einem Warm-Up-Spiel sollten zunächst die bisherigen Erkenntnisse in einer Mindmap gesammelt werden um den Projektstand als Grundlage für das weitere Vorgehen zu vergegenwärtigen.

Die Agendapunkte „Reverse-Post-Mortem“ und 6-3-5-Methode sollten auf den bisherigen Ergebnissen aufbauen, um Risiken im zukünftigen Projektverlauf zu identifizieren und den Ergebnisraum für zukünftige Optimierungs- und Anpassungsmöglichkeiten öffnen. Ein „Reverse Post-Mortem“ soll hier als eine gelenkte Gruppendiskussion mit folgender Ausgangsfrage zu verstehen sein: „Wenn wir am Ende des Projekts keinen Erfolg hatten, woran wird das gelegen haben?“. Die 6-3-5-Methode ist eine Kreativitätstechnik aus der Familie der Brainwriting-

Techniken. Hier werden sechs Teilnehmer dazu aufgefordert, drei Ideen zu entwickeln und aufzuschreiben. Anschließend werden die Ideenzettel im Kreis weitergegeben und die drei Ideen dienen dem Nachbarn jeweils als Inspiration zur Entwicklung drei neuer oder weiterführender Ideen.³⁵

Die folgenden beiden Agendapunkte, Einzel- & Gruppenranking und Kosten-Nutzen-Analyse, zielten darauf ab, methodisch den Ergebnisraum den Ergebnisraum wieder zu verkleinern und die besten Lösungen zu konkreten Handlungsansätzen zu spezifizieren.

In einem letzten Schritt wäre es so möglich gewesen, für die identifizierten Anpassungen oder Optimierungen Mini-Projektskizzen mit einem Fahrplan zu entwickeln.

Während des Workshops am 7. Mai 2019 wurde nach der Mindmappingaktivität entschieden, verschiedene technische Alternativen für den Einsatz im Laufe der zweiten Pilotierungsphase zu eruieren.

Dazu wurden vom Projektpartner UDE verschiedene technische Alternativen für die zweite Pilotierungsphase vorgestellt. Neben alternativen Technologien wie Umreifungssysteme und verschiedene Wearables, wurden dabei auch drei Exoskelette vorgestellt:

³⁵ Vgl. Andler, 2015, S.134.

- Beim SOFT-EXXO-Rücken-Protect-System „rakunie“ des japanischen Anbieters Morita Holdings Corporation handelt es sich um ein passives Rucksack- bzw. Gurtsystem, das bei leichter permanenter Beugeposition bzw. Zwangsbeugehaltung unterstützen soll und auch unter der Arbeitskleidung getragen werden kann.
- Das SoftExo Exoskelett der HUNIC GmbH ist ein passives Exoskelett mit textilen Federelementen und Aluminiumschiene zur Unterstützung der Oberschenkelmuskulatur. Es ist an den Körper anpassbar und soll in der Logistik und bei Arbeiten in der Hocke und Beugehalten eingesetzt werden.
- Das aktive Exoskelett des Herstellers German Bionic Systems ist das einzige aktive Exoskelett, das vorgeschlagen wurde. Es handelt sich um ein 8 kg schweres rückengetragenes, akkugetriebenes System mit einer Magnesiumschale und Alu-Gestängen. Ziel ist die Unterstützung des Rückenbereichs bei manuellen Hebetätigkeiten bis zu 20 kg.

Abbildung 31 bietet eine ex-post Übersicht der Entwicklung des Workshops nachdem die ursprüngliche Workshopagenda flexibel angepasst wurde. Die vorgestellten drei Exoskelette wurden mit Hilfe der oben identifizierten Hauptkategorien aus der qualitativen Analyse bewertet. Fragen, welche die Workshopteilnehmer diskutierten, waren u. a.:

- Ist die Technologie bzw. das Exoskelett im Pilotierungsfeld und insbesondere in Kombination mit Flurförderzeugen flexibel genug einzusetzen?
- Ist voraussichtlich eine einfache Nutzung ohne ständiges Nachjustieren gegeben?
- Reduziert das Exoskelett Probleme mit Schweißbildung und Brust- bzw. Oberschenkelbelastung?
- Ist der Einsatz des Exoskelettes wirtschaftlich attraktiv?

Abbildung 31: Workshop Inhalt und Ergebnisse



Quelle: Eigene Darstellung.

Für die zweite Pilotierungsphase wurde als Ergebnis des Workshops das Soft-Exxo-Rücken-Protect-System „rakunie“ als ein den in Abbildung 31 genannten Kriterien Exoskelett identifiziert. In allen drei Hauptkategorien erschien diese Lösung als diejenige, die die Anforderungen aus der ersten Pilotierungsphase am besten erfüllt und die identifizierten Limitationen am besten berücksichtigt.

Anwendungsbereich:

Mit Blick auf die Hauptkategorie „Anwendungsbereich“ wurde die „rakunie“-Orthese deshalb als vorteilhaft gesehen, weil sie als einzige keine festen Bestandteile hat und sehr leicht ist (ca. 400 g). Eine Kombination mit Flurförderzeug erscheint hier am ehesten möglich. Auch gehende Prozesse wurden aufgrund des leichten Gewichts und mangels fest anliegender Brustplatte oder Beinschalen als unproblematisch eingestuft. Die Abwesenheit fester Bestandteile im Hüftbereich erlaubt den Einsatz der Orthese auch mit Gabelstaplern oder bei sitzenden Tätigkeiten.

Bedienbarkeit / Leistung:

Da bei der „rakunie“-Orthese keine Winkeleinstellungen oder Gestänge angepasst werden müssen, wurde diese Alternative von den Workshopteilnehmern als am wenigsten fehleranfällig und als am leichtesten zu bedienen bewertet. Auch die Gefahr des Verrutschens wurde hier als am geringsten beurteilt. Leistungsbeeinträchtigungen wurden aufgrund des leichten Gewichts und der Möglichkeit des Tragens unter der Arbeitskleidung von den Experten als gering beurteilt.

Tragekomfort:

Beim Tragekomfort wurde die „rakunie“-Orthese ebenfalls als vorteilhaft bewertet. Das geringe Gewicht, die Abwesenheit von Brustplatte und Oberschenkel-schalen und die Flexibilität im Hüftbereich durch das Fehlen fester Bestandteile wurden von den Experten als Vorteile gesehen. Es wird davon ausgegangen, dass sich so Probleme mit Schweißbildung, Hautreizungen und Schmerzen vermeiden lassen.

8 Fazit der qualitativen Auswertung & Anpassung

Aufbauend auf der Einleitung wurden in der hier vorliegenden Studie in Kapitel 6 zunächst das Studiendesign und Erhebungs- und Analysemethoden erläutert. Basierend auf der ersten Pilotierungsphase des ADINA-Projekts wurden die drei Pilotierungen bei den Praxispartnern als multiples Fallstudiendesign konzipiert. In einer komparativen qualitativen Fallstudienanalyse sollten im Rahmen dieser Studie fallübergreifend Anpassungen und Optimierungen für die zweite Pilotphase des Projekts abgeleitet werden. Dabei wurden die qualitativen Daten aus den Fallstudien der ersten Pilotphase mit Methoden der qualitativen Inhaltsanalyse unabhängig von zwei Analysten kodiert.

Die Ergebnisse beider Prozesse wurden abschließend in ein gemeinsames Kategoriensystem mit drei Hauptkategorien übertragen. Die drei Hauptkategorien wurden als „Anwendungsbereich“, „Bedienbarkeit & Leistung“ und „Tragekomfort“ identifiziert. Probleme mit der Nutzung des in der ersten Pilotphase genutzten passiven Exoskelettes konnten ausnahmslos einer dieser drei Hauptkategorien zugeordnet werden. Die Entwicklung dieser Hauptkategorien aus den Kategoriensystemen der beiden Analysten wurden in Abschnitt 6.2 vorgestellt. Die identifizierten Kriterien sollten im weiteren Verlauf als Grundlage für die Auswahl der Technologie der zweiten Pilotphase genutzt werden.

Kapitel 7 zeigt auf wie im Rahmen des ADINA-Projekts ein Expertenworkshop geplant und durchgeführt wurde, um die zuvor entwickelten Hauptkategorien für die Auswahl einer adäquaten Technologie für die zweite Pilotphase zu nutzen. Da es bei der Planung und Durchführung von Workshops entscheidend ist, sich flexibel und ergebnisoffen der inhaltlichen Entwicklung im Workshop anzupassen, wurden in der Planung verschiedene Methoden vorbereitet, die im eigentlichen Workshop dann nur teilweise genutzt wurden.

Im Workshop wurden die durch die qualitative Analyse entwickelten Kriterien genutzt, um verschiedene technische Lösungsalternativen für die zweite Pilotphase zu bewerten. Wie in Abschnitt 7 dargestellt, wurde von den Experten ein konkretes passives Exoskelett als vorteilhaft eingeschätzt, das nun in der zweiten Pilotphase getestet werden soll.

Parallel zur ersten Pilotphase werden im weiteren Verlauf des Projekts Lagermitarbeiter in Kommissionier-, Umpack- und Palettierarbeitsplätzen als Probanden für den Einsatz der „rakunie“-Orthese zur Verfügung stehen. Da dieses ausgewählte passive Exoskelett die Erfahrungen der ersten Pilotierungen und die Kriterien aus den qualitativen Analysen berücksichtigt, wird zunächst eine bessere Anwendbarkeit der Orthese unterstellt. Diese Arbeitshypothese gilt es in der zweiten Pilotierungsphase des ADINA-Projekts zu überprüfen.

9 Gesamtfazit

Nach den ersten durchgeführten Pilotierungen lassen sich erste Erkenntnisse für den Einsatz von am Körper getragenen Ergonomieunterstützungssystemen festhalten. Zunächst hat sich gezeigt, dass ein geeigneter Einsatzbereich unabdingbar ist. Dies umfasst, dass ein Höhenausgleich im Arbeitsprozess nicht möglich und somit ein Bücken bzw. eine vorgebeugte Haltung nicht zu vermeiden ist. Ist ein Höhenausgleich ohne großen Mehraufwand realisierbar, gilt es, dieser einen Lösung mit Exoskelett vorzuziehen. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass das Gerät „aufträgt“, das heißt, es vergrößert die Körperfläche oder birgt das Risiko einer Behinderung im vorgesehenen Prozess (wie z. B. bei der Bedienung eines Flurförderzeugs hängen zu bleiben). Dies sollte unbedingt bei der Einsatzplanung berücksichtigt und gegebenenfalls eliminiert werden. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass teilweise schon von außen als gering eingeschätzte Probleme zu einem erheblichen Akzeptanzverlust führen können.

Die größten Probleme beim Tragekomfort ergaben sich durch Druck auf Oberschenkel und Brust. Diese Probleme können gegebenenfalls durch ein angepasstes Design des Geräts behoben werden. Es stellte sich heraus, dass für die testenden Personen „Trade-offs“ keine Optionen darstellen, indem beispielsweise das Argument einer langfristigen Entlastung des Körpers häufig durch geringfügige Behinderungen im Kommissioniervorgang entkräftet wird. Deshalb sollten Lösungen angestrebt werden, die keinerlei wahrgenommene Verschlechterungen der Prozessqualität für die Anwendenden darstellen. Da die Anpassung der Geräte in die Kompetenz der Hersteller fällt, wurden Kritik und Verbesserungsvorschläge analysiert und weitergegeben. Für eine zweite Pilotierungsphase wurde diese Kritik (z. B. mehr Flexibilität und weniger Druckstellen) ebenfalls in der Auswahl der neuen zu testenden Technologie durch die Experten und Expertinnen berücksichtigt.

So konnte eine den definierten Auswahlkriterien entsprechende Technologie für die zweite Pilotierungsphase gefunden und erprobt werden. Ein Augenmerk der nachfolgenden Forschungstätigkeit richtet sich auf die Wirksamkeit der ausgewählten Maßnahmen in den identifizierten Problembereichen (fehlender

Tragekomfort/Druckstellen, Sperrigkeit/Behinderungen im Prozess). Dazu wird ein weiterer Pilotierungseinsatz stattfinden und ebenfalls wissenschaftlich begleitet. Des Weiteren sollen allgemeine Ableitungen für die Anwendung von Exoskeletten und Orthesen getroffen werden. Die folgenden Publikationen dieser Schriftenreihe werden sich der Analyse dieser Themen noch ausführlich widmen.

Trotz der teilweise schlechten Bewertungen durch die Probanden bleibt das Potential der Technologie „Exoskelett“ zu beachten. Ersichtlich wurde, dass es sich um einen frühen Stand der Technik handelt, die mit Hilfe der hier durchgeführten Untersuchungen verbessert und auf die Bedürfnisse der Anwenderinnen und Anwender weiter zugeschnitten werden konnte. Im Zuge einer stetigen Verbesserung und Erprobung wird auch im Projekt ADINA eine weitere Technologie getestet die den Anforderungen der Probandinnen und Probanden besser entsprechen soll.

Literaturverzeichnis

- Andler, N. (2011): Tools for Project Management, Workshops and Consulting (2. Auflage), Erlangen: Publicis.
- Baltrusch, S.J., van Dieën, J.H., van Bennekom C.A.M., Houdijk H. (2018): The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. In: Applied ergonomics, 72: 94-106.
- Brenscheidt, S., Siefer, A., Hinnenkamp, H., Hünefeld, L. (2018): Arbeitswelt im Wandel: Zahlen - Daten - Fakten. Ausgabe 2018. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Bryman, A. (2012): Social Research Methods (4. Auflage). Oxford: Oxford University Press.
- Bryman, A., & Bell, E. (2011): Business Research Methods (3. Auflage). Oxford: Oxford University Press.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2014): Arbeitsmedizinische Regel 13.2: Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System. Dortmund, Berlin, Dresden: BAuA.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2018): Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2017. Dortmund, Berlin, Dresden: BAuA.
- Claßen, K. (2012): Zur Psychologie von Technikakzeptanz im höheren Lebensalter: Die Rolle von Technikgenerationen. Dissertation.
- De Looze, M.P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K.S., O'Sullivan, L.W. (2016): Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. In: Ergonomics 59(5), 671–681.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial und Humanwissenschaften, (5. Auflage). Berlin & Heidelberg: Springer.
- Herr, H. (2009): Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. In: Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation, 6(21): 1-9.
- Knieps, F., Pfaff, H. (2016): Gesundheit und Arbeit. Zahlen, Daten, Fakten. Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft (BKK Gesundheitsreport, 40).

- Liebers, F., Brendler, C., Latza, U. (2013): Alters- und berufsgruppenabhängige Unterschiede in der Arbeitsunfähigkeit durch häufige Muskel-Skelett-Erkrankungen. Rückenschmerzen und Gonarthrose. In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 56(3): 367-380.
- Lückmann, P. & Färber, K. (2016): The Impact of Cultural Differences on Project Stakeholder Engagement: A Review of Case Study Research in International Project Management. *Procedia Computer Science*, 100, 85–94. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.127>
- Marschall, J., Hildebrandt, S., Zich, K., Tisch, T., Sörensen, J., Nolting, H.D. (2018): Gesundheitsreport 2018: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Update: Rückenerkrankungen. DAK-Gesundheit, Hamburg.
- Mayring, P. (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken* (12. Auflage). Weinheim and Basel: Beltz Verlag.
- Myers, M. D. (2013): *Qualitative Research in Business and Management* (2. Auflage). Los Angeles: SAGE Publishing.
- Neyer, F., Felber, J., Gebhardt, C. (2016): Kurzsкала Technikbereitschaft (TB, technology commitment). ZIS - Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen, Mannheim.
- Schick, R. (2018): Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. In: *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68(5): 266 – 269.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2018): *Statistisches Jahrbuch – Deutschland und Internationales 2018*.
- Staveland, L., Hart, S. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: *Advances in Psychology* 52: 139-183.
- Yin, R. K. (2015): *Case Study Research – Design and Methods*, (5. Auflage). Los Angeles: SAGE Publishing.

Die Publikationsreihe

Schriftenreihe Logistikforschung / Research Paperseries Logistics

In der Schriftenreihe Logistikforschung des Institutes für Logistik- & Dienstleistungsmanagement (ild) der FOM werden fortlaufend aktuelle Fragestellungen rund um die Entwicklung der Logistikbranche aufgegriffen. Sowohl aus der Perspektive der Logistikdienstleister als auch der verladenden Wirtschaft aus Industrie und Handel werden innovative Konzepte und praxisbezogene Instrumente des Logistikmanagements vorgestellt.

The series research paper logistics by the Institute for Logistics and Service Management at FOM University of Applied Sciences addresses management topics within the logistics industry. The research perspectives include logistics service providers as well as industry and commerce concerned with logistics research questions. The research documents support an open discussion about logistics concepts and benchmarks.

- | | |
|---------|--|
| Band 1 | Klumpp, M., Bovie, F.: Personalmanagement in der Logistikwirtschaft |
| Band 2 | Jasper, A., Klumpp, M.: Handelslogistik und E-Commerce |
| Band 3 | Klumpp, M.: Logistikanforderungen globaler Wertschöpfungsketten |
| Band 4 | Matheus, D., Klumpp, M.: Radio Frequency Identification (RFID) in der Logistik |
| Band 5 | Bioly, S., Klumpp, M.: RFID und Dokumentenlogistik |
| Band 6 | Klumpp, M.: Logistiktrends und Logistikausbildung 2020 |
| Band 7 | Klumpp, M., Koppers, C.: Integrated Business Development |
| Band 8 | Gusik, V., Westphal, C.: GPS in Beschaffungs- und Handelslogistik |
| Band 9 | Koppers, L., Klumpp, M.: Kooperationskonzepte in der Logistik |
| Band 10 | Koppers, L.: Preisdifferenzierung im Supply Chain Management |
| Band 11 | Klumpp, M.: Logistiktrends 2010 |

- Band 12 Keuschen, T., Klumpp, M.: Logistikstudienangebote und Logistik-trends
- Band 13 Bioly, S., Klumpp, M.: Modulare Qualifizierungskonzeption RFID in der Logistik
- Band 14 Klumpp, M.: Qualitätsmanagement der Hochschullehre Logistik
- Band 15 Klumpp, M., Krol, B.: Das Untersuchungskonzept Berufswertigkeit in der Logistikbranche
- Band 16 Keuschen, T., Klumpp, M.: Green Logistics Qualifikation in der Logistikpraxis
- Band 17 Kandel, C., Klumpp, M.: E-Learning in der Logistik
- Band 18 Abidi, H., Zinnert, S., Klumpp, M.: Humanitäre Logistik – Status quo und wissenschaftliche Systematisierung
- Band 19 Backhaus, O., Döther, H., Heupel, T.: Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory?
- Band 20 Hesen, M.-A., Klumpp, M.: Zukunftstrends in der Chemielogistik
- Band 21 Große-Brockhoff, M., Klumpp, M., Krome, D.: Logistics capacity management – A theoretical review and applications to outbound logistics
- Band 22 Helmold, M., Klumpp, M.: Schlanke Prinzipien im Lieferantenmanagement
- Band 23 Gusik, V., Klumpp, M., Westphal, C.: International Comparison of Dangerous Goods Transport and Training Schemes
- Band 24 Bioly, S., Kuchshaus, V., Klumpp, M.: Elektromobilität und Ladesäulenstandortbestimmung – Eine exemplarische Analyse mit dem Beispiel der Stadt Duisburg
- Band 25 Sain, S., Keuschen, T., Klumpp, M.: Demographic Change and its Effect on Urban Transportation Systems: A View from India
- Band 26 Abidi, H., Klumpp, M.: Konzepte der Beschaffungslogistik in Katastrophenhilfe und humanitärer Logistik
- Band 27 Froelian, E., Sandhaus, G.: Conception of Implementing a Service Oriented Architecture (SOA) in a Legacy Environment
- Band 28 Albrecht, L., Klumpp, M., Keuschen, T.: DEA-Effizienzvergleich Deutscher Verkehrsflughäfen in den Bereichen Passage/Fracht

- Band 29 Meyer, A., Witte, C., Klumpp, M.: Arbeitgeberwahl und Mitarbeitermotivation in der Logistikbranche
- Band 30 Keuschen, T., Klumpp, M.: Einsatz von Wikis in der Logistikpraxis
- Band 31 Abidi, H., Klumpp, M.: Industrie-Qualifikationsrahmen in der Logistik
- Band 32 Kaiser, S., Abidi, H., Klumpp, M.: Gemeinnützige Kontraktlogistik in der humanitären Hilfe
- Band 33 Abidi, H., Klumpp, M., Bölsche, D.: Kompetenzen in der humanitären Logistik
- Band 34 Just, J., Klumpp, M., Bioly, S.: Mitarbeitermotivation bei Berufskraftfahrern – Eine empirische Erhebung auf der Basis der AHP-Methode
- Band 35 Keinhörster, M., Sandhaus, G.: Maschinelles Lernen zur Erkennung von SMS-Spam
- Band 36 Kutlu, C., Bioly, S., Klumpp, M.: Demographic change in the CEP sector
- Band 37 Witte, C., Klumpp, M.: Betriebliche Änderungsanforderungen für den Einsatz von Elektronutzfahrzeugen – eine AHP-Expertenbefragung
- Band 38 Keuschen, T., Klumpp, M.: Lebenslanges Lernen in der Logistikbranche –Einsatz von ergänzenden Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen
- Band 39 Bioly, S., Klumpp, M.: Statusanalyse der Rahmenbedingungen für Fahrberufe in Logistik und Verkehr.
- Band 40 Abidi, H., Klumpp, M.: Demografischer Wandel und Industrie-Qualifikationsrahmen Logistik
- Band 41 Bayer, F., Bioly, S.: Supply Chain Risk Management in der Industrie – am Beispiel der Metall- und Elektroindustrie
- Band 42 Bioly, S., Sandhaus, G., Klumpp, M.: Wertorientierte Maßnahmen für eine Gestaltung des demografischen Wandels in Logistik und Verkehr
- Band 43 Steltemeier, B., Bioly, S.: Real-time Tracking and Tracing bei Überseetransporten – technische Realisierung und wirtschaftliche Auswirkungen der Implementierung
- Band 44 Keuschen, T., Marnier, T., Bioly, S.: Nachhaltige Mobilitätskonzepte in der Pharmalogistik

- Band 45 Abidi, H., Marner, T., Schwarz, D.: Last Mile-Distribution im Großhandel
- Band 46 Witte, C., Marner, T., Klumpp, M.: Elektronutfahrzeuge in der Entsorgungslogistik
- Band 47 Berg, A., Abidi, H.: Humanitäre Logistiknetzwerke
- Band 48 Richter, N., Keuschen, T.: Merkmale und Umsetzungsmöglichkeiten nachhaltiger Logistik unter den Aspekten Erwartungshaltung und Zahlungsbereitschaft der Konsumenten
- Band 49 Dorten, E., Marner, T.: Ausschreibung versus Direktvergabe von ÖPNV-Leistungen
- Band 50 Marner, T., Zelewski, S., Gries, S., Münchow-Küster, A., Klumpp, M.: Elektromobilität in der Logistikzukunft - Analysen zur Wirtschaftlichkeit und zu möglichen Einsatzfeldern
- Band 51 Klumpp, M., Neukirchen, T., Jäger, S.: Logistikqualifikation und Gamification – Der wissenschaftliche und fachpraktische Ansatz des Projektes MARTINA
- Band 52 Neukirchen, T., Jäger, S., Paulus, J., Klumpp, M.: Sicherheit und Compliance in der Logistikqualifikation - Konzepte für Gamification-Anwendungen
- Band 53 Peretzke, J., Sandhaus, G.: Einsatzpotentiale von Cognitive Computing zur Unterstützung der Entscheidungsfindung im Supply Chain Management
- Band 54 Meier, C., Mönig, M., Koop, W., Kleffmann, M., Neukirchen, T., Jäger, S., Klumpp, M.: Logistikqualifikation und Gamification – Softwareentwicklung und Pilotierung der MARTINA-App
- Band 55 Metzlauff, P., Jäger, S., Neukirchen, T.: Praxistests der MARTINA-App
- Band 56 Neukirchen, T., Kleffmann, M., Koop, W., Jäger, S., Klumpp, M.: Evaluation von mobilen Trainingsanwendungen in der Logistik: Nutzerfeedback der MARTINA-App
- Band 57 Loske, D.: Hält Fairtrade was es verspricht? Eine wertschöpfungsorientierte Analyse der Fairtrade Kaffee Supply Chain
- Band 58 Neukirchen, T., Kleffmann, M., Koop, W., Gels, A., Jäger, S., Klumpp, M.: Serious Games in der Logistik: Das Beispiel Routenplanung

- Band 59 Abidi, H., Klumpp, M., Lehr, T., Jäger, S.: Zukunftsthemen in der Logistikweiterbildung – Ergebnisse einer Expertenbefragung mit dem Analytic Hierarchy Process
- Band 60 Loske, D.: Entwicklung eines Konzepts zur Deckung des streckenbezogenen LKW- Parkbedarfs in Süddeutschland mittels GAMS
- Band 61 Gruchmann, T., Klumpp, M., Hanke, T., Nestler, K.: Innovative Kommissionier- und Umschlagkonzepte der Logistik – der fachliche Ansatz des Forschungsprojektes ADINA
- Band 62 Koop, W., Kleffmann, M., Gels, A., Neukirchen, T., Jäger, S., Klumpp, M.: Serious Games in der Logistik: Generalisierbarkeit und Zertifizierung
- Band 63 Gruchmann, T., Nestler, K., Brauckmann, A., Schneider, J., Fischer, C., Hecht, A.: Hürden und Treiber für die Umsetzung innovativer Automatisierungstechnik und Ergonomieunterstützung der Intralogistik
- Band 64 Hoene, A., Jawale, M., Neukirchen, T., Bednorz, N., Schulz, H., Hauser, S.: Bewertung von Technologielösungen für Automatisierung und Ergonomieunterstützung der Intralogistik
- Band 65 Zaborek, J.: Effizienzmessung als Bewertungskriterium für das Produktionskonzept In-Line mit Hilfe einer Data Envelopment Analysis
- Band 66 Schulz, H., Bednorz, N., Lückmann, P., Hauser, S.: Anwendung von passiven Exoskeletten in der Intralogistik – Ergebnisse und Tendenzen aus ersten Piloteinsätzen

ISBN (Print) 978-3-89275-121-2

ISSN (Print) 1866-0304

ISBN (eBook) 978-3-89275-122-9

ISSN (eBook) 2569-5355



Institut für Logistik- &
Dienstleistungsmanagement
der FOM University of Applied Sciences

FOM Hochschule

FOM. Die Hochschule. Für Berufstätige.

Die mit bundesweit über 54.000 Studierenden größte private Hochschule Deutschlands führt seit 1993 Studiengänge für Berufstätige durch, die einen staatlich und international anerkannten Hochschulabschluss (Bachelor/Master) erlangen wollen.

Die FOM ist der anwendungsorientierten Forschung verpflichtet und verfolgt das Ziel, adaptionsfähige Lösungen für betriebliche bzw. wirtschaftsnahe oder gesellschaftliche Problemstellungen zu generieren. Dabei spielt die Verzahnung von Forschung und Lehre eine große Rolle: Kongruent zu den Masterprogrammen sind Institute und KompetenzCentren gegründet worden. Sie geben der Hochschule ein fachliches Profil und eröffnen sowohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als auch engagierten Studierenden die Gelegenheit, sich aktiv in den Forschungsdiskurs einzubringen.

Weitere Informationen finden Sie unter fom.de

ild

Das Ziel des ild Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement ist der konstruktive Austausch zwischen anwendungsorientierter Forschung und Betriebspraxis. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts untersuchen nachhaltige und innovative Logistik- und Dienstleistungskonzepte unterschiedlicher Bereiche, initiieren fachbezogene Managementdiskurse und sorgen zudem für einen anwendungs- und wirtschaftsorientierten Transfer ihrer Forschungsergebnisse in die Unternehmen. So werden die wesentlichen Erkenntnisse der verschiedenen Projekte und Forschungen unter anderem in dieser Schriftenreihe Logistikforschung herausgegeben.

Darüber hinaus erfolgen weitergehende Veröffentlichungen bei nationalen und internationalen Fachkonferenzen sowie in Fachpublikationen.

Weitere Informationen finden Sie unter fom-ild.de



Unter dem Titel »FOM forscht« gewähren Hochschullehrende der FOM Einblick in ihre Projekte. Besuchen Sie den Blog unter fom-blog.de